

# ÉVALUER L'IMPACT CARBONE DES INVESTISSEMENTS D'INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES

MÉTHODOLOGIE DU  
PROGRAMME GREEN BONDS  
2016 DE SNCF RÉSEAU

Septembre 2017



# SOMMAIRE

## 01/ INTRODUCTION

### P.06/ 1.1. CONTEXTE

1.1.1. Projets financés par les Green Bonds

### P.07/ 1.1.2. Estimation de l'impact carbone des projets financés par les Green Bonds

### P.09/ 1.2. OBJECTIFS ET CONTENU DU DOCUMENT

1.2.1. Objectifs du document

1.2.2. Contenu du document

### P.10/ 1.3. SNCF Réseau

### P.10/ 1.4. ALLOCATION DES GREEN BONDS 2016

### P.11/ 1.5. CARBONE 4

## 02/ ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

### P.12/ 2.1. PRÉAMBULE

2.1.1. Présentation des principaux composants de l'infrastructure ferroviaire

### P.14/ 2.1.2. Répartition du financement des projets de renouvellement d'infrastructure pour l'année 2016

### P.15/ 2.2. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

### P.16/ 2.3. EMPREINTE CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

2.3.1. Principes généraux

2.3.2. Profils carbone des équipements de l'infrastructure

### P.17/ 2.3.3. Périmètre de l'empreinte carbone d'un projet représentatif

### P.18/ 2.3.4. Allocation d'une part de l'empreinte au financement issu des Green Bonds

2.3.5. Extrapolation à l'ensemble des projets financés par des Green Bonds

### P.20/ 2.4. ÉMISSIONS ÉVITÉES PAR LES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

#### P.20/ 2.4.1. Principes généraux

2.4.1.1. Situation de référence et situation avec projet de renouvellement

2.4.1.2. Éviter les doubles comptes : mise en place de règles d'allocation

2.4.1.3. Estimation des émissions évitées par un projet de renouvellement

2.4.1.4. Extrapolation à l'ensemble des projets financés par des Green Bonds

### P.22/ 2.4.2. Méthode de calcul des émissions évitées grâce au maintien du service ferroviaire sur une section de ligne renouvelée

2.4.2.1. Types de trains parcourant la section de ligne renouvelée

2.4.2.2. Remplissage des trains

2.4.2.3. Processus général de calcul des émissions évitées par des projets de renouvellement

2.4.2.4. Périmètre temporel de l'étude

2.4.2.5. Évolution du trafic

2.4.2.6. Trajectoire de réduction de la vitesse de circulation et impact sur le trafic

2.4.2.7. Évolution de la demande suite à la réduction des vitesses de circulation

2.4.2.8. Équivalences de distance parcourue selon le mode utilisé

2.4.2.9. Facteurs d'émission des modes de transport

### P.39/ 2.4.3. Allocation des émissions évitées au financement issu des Green Bonds

### P.42/ 2.4.4. Extrapolation à l'ensemble des projets

## P.44/ 2.5. IMPACT CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

# SOMMAIRE

## 03/ ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

### P.46/ 3.1. PRÉAMBULE

- 3.1.1. Synthèse des financements des projets de ligne nouvelle pour l'année 2016

### P.47/ 3.2. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

### P.47/ 3.3. EMPREINTE CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

- 3.3.1. Principes généraux
- 3.3.2. Empreinte carbone d'une ligne nouvelle

### P.48/ 3.3.3. Allocation d'une part de l'empreinte au financement issu des Green Bonds

### P.49/ 3.4. ÉMISSIONS ÉVITÉES PAR LES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

- 3.4.1. Principes généraux
  - 3.4.1.1 Situation avec projet et situation de référence
  - 3.4.1.2 Éviter les doubles comptes : mise en place d'une règle d'allocation
  - 3.4.1.3 Estimation des émissions évitées par une ligne nouvelle : une approche en deux étapes

### P.50/ 3.4.2. Méthode de calcul pour une ligne nouvelle

- 3.4.2.1 Processus général de calcul des émissions évitées par une ligne nouvelle
- 3.4.2.2 Périmètre temporel de l'étude
- 3.4.2.3 Évolution du trafic
- 3.4.2.4 Reports modaux et induction de trafic

### P.51/ 3.4.3. Allocation au financement issu des Green Bonds

### P.52/ 3.5. IMPACT CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

## 04/ ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES GREEN BONDS

## LISTE DES SIGLES UTILISÉS

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
AOT	Autorité organisatrice de transports.
AIE	Agence internationale de l'énergie.
BPL	LGV Bretagne - Pays de la Loire.
CCR	Commande centralisée du réseau.
CGDD	Commissariat général au développement durable. Contournement de Nîmes et Montpellier (ligne nouvelle).
CNM	LGV Est Européenne, phase 2.
Est 2	Facteur d'émission.
FE	Gaz à effet de serre.
GES	Grande-opération équivalent.
GOPEQ	Île-de-France.
IdF	Installations fixes de traction électrique.
IFTE	Ligne à grande vitesse.
LG	Matériel roulant.
MR	Ouvrage d'art.
OA	Ouvrage en terre.
OT	Réseau express régional.
RER	LGV Sud Europe Atlantique.
SEA	Services (d'autocar) librement organisés.
SLO	Stratégie nationale bas carbone.
SNBC	Train apte à la grande vitesse.
TAGV	Train express régional.
TER	Train à grande vitesse.
TGV	Union internationale des chemins de fer.
UIC	

## LISTE DES RÉFÉRENCES CITÉES

GHG Protocol – *Methodology for carbon accounting*, 2017  
ADEME – *Base Carbone*, 2017  
AIE – *Energy Technology Perspectives 2017*  
CGDD – *Projections de la demande de transport sur le long terme*, 2016  
INSEE – *Projections de la population à horizon 2030*  
RTE – *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France*, 2014

### Rédaction et contacts

Pour SNCF Réseau  
Direction financements et trésorerie : Étienne Oberthür et Guillaume Hintzy  
Direction environnement et développement durable : Sophie Jalabert, Jean-Baptiste Frier et Bernard Torrin.  
Direction de la régulation, service d'analyse économique : Sylvain Séguret

Pour Carbone 4  
Clément Ramos et Sylvain Borie

SNCF Réseau © octobre 2017

# 01 INTRODUCTION

## 1.1. CONTEXTE

Un programme Green Bonds, ou obligations « vertes », est une émission obligataire d'une entreprise, d'une organisation internationale ou d'une collectivité publique sur les marchés financiers afin de financer un projet ou une activité à bénéfice environnemental. Le transport ferroviaire étant l'un des modes de transport les plus respectueux de l'environnement, il entre dans la catégorie des activités éligibles à ce type d'obligations.

Le 27 octobre 2016, SNCF Réseau a émis son premier programme Green Bonds en majorité pour financer la modernisation durable de son réseau. SNCF Réseau devient ainsi le premier gestionnaire d'infrastructures ferroviaires au monde, et la première entreprise de transport en Europe à émettre un programme Green Bonds. L'entreprise envisage de pérenniser cette démarche en émettant un Green Bond par an.

Ce guide méthodologique vient compléter la partie méthodologique du rapport 2016 du programme Green Bonds de SNCF Réseau, disponible sur le site Internet de SNCF Réseau. Davantage d'informations sur l'entreprise et le programme y sont indiquées.

### 1.1.1. PROJETS FINANCÉS PAR LES GREEN BONDS

Les fonds récoltés seront affectés au financement de projets dits éligibles, qui relèvent de trois catégories.

- **Investissements dans la maintenance, la modernisation et l'efficacité énergétique du système ferroviaire.**

Il s'agit notamment du renouvellement des voies ferrées, des installations de fourniture d'énergie des trains ou des systèmes de signalisation, ou encore de l'électrification de lignes, etc.

- **Investissements dans la construction de lignes nouvelles.** Il s'agit en général de lignes à grande vitesse, permettant une nette amélioration de la mobilité des personnes et des marchandises sur les axes concernés, par exemple la LGV Est européenne, la LGV Sud Europe Atlantique, la LGV Bretagne - Pays de la Loire, le Contournement de Nîmes et Montpeller.

Afin de mettre en avant les conséquences positives de ces financements, et par souci de transparence vis-à-vis de ses investisseurs et de la société civile, SNCF Réseau souhaite quantifier l'impact des projets financés par ses Green Bonds dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre.

- **Autres investissements** liés à la lutte contre le changement climatique, et à la protection de la biodiversité et des ressources naturelles, en aménageant le réseau existant.

Les critères d'éligibilité définis par SNCF Réseau concernent les projets de renouvellement sur les principales lignes de son réseau, à savoir :

- les lignes à grande vitesse mises en service à partir de 1981 ;
- les lignes classiques regroupées dans les catégories 1 à 4 de la classification UIC.

L'ensemble totalise environ 12000 km de lignes, toutes électrifiées, sur un total de 28000 km de lignes du réseau ferré national.

## LA CLASSIFICATION UIC

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) a établi une méthode de classification des lignes de chemin de fer en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic. Le groupe UIC 1 correspond à des lignes très chargées et, à l'opposé, le groupe UIC 9 correspond à des lignes très faiblement chargées.

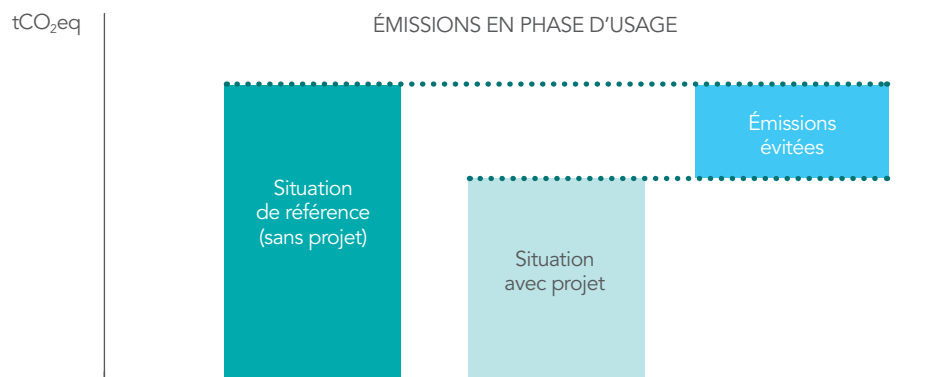
Les principales lignes du réseau ferré français appartiennent aux groupes UIC 1 à 4. Les lignes importantes moins chargées (Paris – Caen, Poitiers – La Rochelle ou Toulouse – Bayonne, par exemple) relèvent des groupes UIC 5 et 6. Les lignes faiblement chargées des groupes UIC 7 à 9 correspondent, en général, au réseau d'intérêt régional.

### 1.1.2. ESTIMATION DE L'IMPACT CARBONE DES PROJETS FINANCÉS PAR LES GREEN BONDS

Pour tout projet d'infrastructure de transport, il convient de distinguer l'« empreinte carbone » d'un projet et son « impact carbone ». Dans ce document, l'impact carbone d'un projet ferroviaire considère l'empreinte carbone du projet ainsi que la comparaison des émissions lors de la phase d'usage avec une situation de référence (sans projet). L'empreinte carbone d'un projet d'infrastructure correspond aux émissions directes et indirectes de GES pour sa réalisation (consommation des engins de chantier, etc.), en incluant notamment les émissions amont (production des matériaux utilisés, etc.).

**Cette empreinte carbone correspond donc à une vision « chantier » du projet et n'inclut pas les émissions associées à son usage**, traitées dans l'analyse des émissions évitées. L'usage du projet d'infrastructure génère également des émissions de GES, par la circulation des trains. Or, la réalisation de ce projet permet d'améliorer la compétitivité du transport ferroviaire par rapport aux modes de transport concurrents – dont les émissions de GES par unité transportée sont supérieures au train – et donc de réduire les émissions du système de transport. La comparaison de ces émissions d'usage induites avec une situation de référence (sans projet) est désignée ci-après par « émissions évitées ».

## ILLUSTRATION DU CALCUL DES ÉMISSIONS ÉVITÉES LORS DE LA PHASE D'USAGE



Ainsi, les émissions de GES engendrées par le projet d'infrastructure permettront, *in fine*, d'éviter des émissions lors de la phase ultérieure d'usage: la comparaison de ces deux ensembles permet d'évaluer l'impact carbone du projet étudié.

**Empreinte carbone du chantier  
– émissions évitées à l'usage  
= impact carbone**

Ainsi, si les émissions induites par la réalisation du projet sont inférieures aux émissions évitées lors de la phase d'usage, le projet étudié peut être considéré comme contribuant à la lutte contre le changement climatique. Ceci étant le cas pour la grande majorité des projets de SNCF Réseau, leur financement par des Green Bonds permet de valoriser le mode ferré par rapport aux autres modes de transport plus émetteurs de GES.

SNCF Réseau a conçu une méthode de calcul permettant de quantifier l'impact carbone des projets financés par les Green Bonds:

- le renouvellement et la modernisation des infrastructures ferroviaires;
- la construction de lignes nouvelles.

**SNCF Réseau souligne que la plupart des hypothèses de calcul mettant en œuvre la présente méthodologie se rapportent au contexte français. Il s'agit en particulier des facteurs d'émission de GES des modes de transport, du contenu carbone de l'électricité, de la structure du territoire, des termes de la concurrence entre modes et du trafic exceptionnel réalisé par le réseau TGV. Appliquer la présente méthodologie à un autre réseau ferré nécessiterait d'adapter ces hypothèses au contexte idoine, pouvant grandement influencer le résultat.**

## 1.2. OBJECTIFS ET CONTENU DU DOCUMENT

### 1.2.1. OBJECTIFS DU DOCUMENT

SNCF Réseau est le premier gestionnaire d'infrastructures ferroviaires au monde et la première entreprise de transport en Europe à émettre des Green Bonds. Le caractère novateur de la démarche a conduit à la mise au point d'une méthode inédite de calcul de l'empreinte et de l'impact carbone appliquée aux investissements financés, qui faisait jusqu'ici défaut dans le secteur de la gestion d'infrastructures de transport. SNCF Réseau souhaite par le présent document diffuser publiquement la méthode de calcul mise en œuvre pour ses Green Bonds passés et à venir. Cette publication répond ainsi à la volonté de SNCF Réseau de faire preuve de transparence sur la traçabilité des fonds envers ses investisseurs. Présente dans le domaine public et traduite en anglais, elle pourra également servir de base méthodologique pour les gestionnaires de réseau souhaitant une publication rigoureuse de l'impact carbone de leurs Green Bonds.

### 1.2.2. CONTENU DU DOCUMENT

SNCF Réseau a choisi de fournir dans ce document deux types d'informations:

- **Le cadre méthodologique dans lequel SNCF Réseau souhaite réaliser ces évaluations:** il contient les axes méthodologiques auxquels SNCF Réseau se conforme pour réaliser l'estimation de l'empreinte et de l'impact carbone des Green Bonds dédiés aux infrastructures ferroviaires.
- **Les choix retenus par SNCF Réseau pour réaliser ces analyses pour la première fois,** dans le cadre de l'évaluation de ses Green Bonds émis le 27 octobre 2016: les approches retenues pour ce premier exercice sont explicitées et s'inscrivent dans la mise en application concrète des principes précédents, compte tenu de la nature inédite de la démarche et du temps disponible limité.

**SNCF Réseau s'inscrit dans une démarche de long terme et d'amélioration continue quant à l'évaluation de l'empreinte et de l'impact carbone des investissements financés par ses Green Bonds. Au fil des futurs reportings, les principaux axes méthodologiques développés dans le présent document resteront constants, avec potentiellement quelques évolutions pouvant améliorer la qualité de l'évaluation.**

### 1.3. SNCF RÉSEAU

Au sein du groupe SNCF, l'un des premiers groupes mondiaux de mobilité et de logistique, SNCF Réseau développe, modernise et commercialise l'accès au réseau ferré. 54 000 collaborateurs y travaillent pour garantir la sécurité et la performance de 28 000 km de lignes, dont 2 700 à grande vitesse (LGV). SNCF Réseau fait de la maintenance et de la modernisation de l'infrastructure existante sa priorité absolue. Plus de 5 Mrd€ sont investis par an et plus de 1 600 chantiers sont réalisés au bénéfice des trains du quotidien circulant sur le réseau classique. SNCF Réseau a missionné Carbone 4 pour l'assister dans la rédaction d'un guide méthodologique sur le calcul de l'impact carbone d'un ensemble de projets de renouvellement sur le réseau existant ou de projets de nouvelles lignes, financés par des Green Bonds.

Cette méthodologie s'intègre dans le reporting global des Green Bonds 2016, disponible dans un rapport dédié.

### 1.4. ALLOCATION DES GREEN BONDS 2016

Le tableau suivant présente l'allocation de l'émission SNCF Réseau 1,875 % novembre 2031 pour un montant de 900 M€ (montant net de 885 330 000 €). Sur un total de 1 479 M€ d'investissements éligibles aux Green Bonds, 885 M€ sont financés par les Green Bonds.

### ALLOCATION DES GREEN BONDS 2016

INVESTISSEMENTS EN M€	PÉRIMÈTRE GREEN BONDS		ALLOCATION GREEN BONDS 2016	
	AU 31/12/2016	RÉPARTITION	ALLOCATION	RÉPARTITION
<b>Maintenance et mise à niveau</b>	<b>1 303</b>	<b>88 %</b>	<b>710</b>	<b>80 %</b>
Voies ferrées, ballast et traverses...	889	68 %	484	
Appareils de voie	195	15 %	106	
Signalisation	183	14 %	100	
Installations fixes de traction électrique	36	3 %	20	
<b>Nouvelles lignes et extensions de lignes</b>	<b>175</b>	<b>12 %</b>	<b>175</b>	<b>20 %</b>
Est 2	14	8 %	14	
SEA	73	42 %	73	
BPL	53	30 %	53	
CNM	36	20 %	36	
<b>Autres projets</b>	<b>0</b>	<b>0 %</b>	<b>0</b>	
<b>Total</b>	<b>1 479</b>		<b>885</b>	

### 1.5. CARBONE 4

Carbone 4 est un cabinet de conseil indépendant et engagé, spécialiste de la stratégie bas-carbone et de l'adaptation au changement climatique. Son nom fait référence à l'objectif pris par la France de diviser ses émissions de GES par un « facteur 4 » à l'horizon de 2050 par rapport à 1990.

Depuis sa création, en 2007, Carbone 4 accompagne des acteurs publics et privés dans la construction de nouveaux modèles économiques résilients au changement climatique. Du diagnostic à la construction d'une stratégie compatible avec l'objectif

des 2 °C de l'Accord de Paris, Carbone 4 met au point des outils opérationnels adaptés aux besoins spécifiques de ses clients et de leur domaine d'activité. L'expertise du cabinet, développée au fil de 800 missions réalisées, s'étend sur de nombreux secteurs, avec un focus particulier sur la mobilité, l'énergie, la finance et le bâtiment.

*Nota : dans l'ensemble du présent document, la sommation de valeurs (arrondies) par le lecteur peut aboutir à un résultat légèrement différent (+/-1 unité de compte) des totaux mentionnés, du fait des arrondis à la valeur entière la plus proche. Les totaux mentionnés font foi.*

# 02

## ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

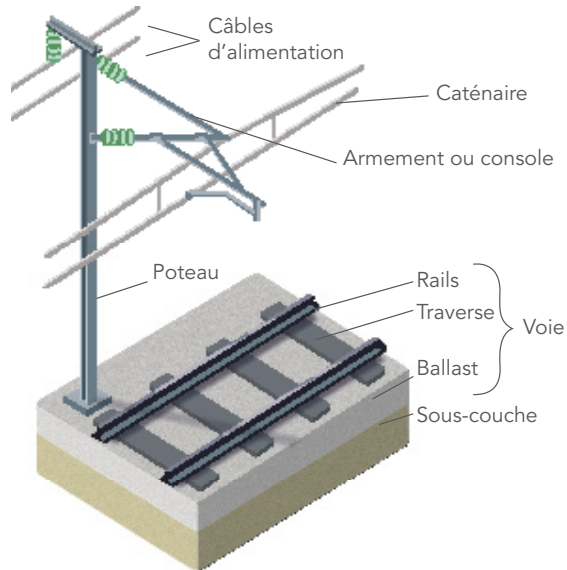
### 2.1. PRÉAMBULE

#### 2.1.1. PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX COMPOSANTS DE L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE

L'infrastructure ferroviaire est principalement composée de quatre éléments :

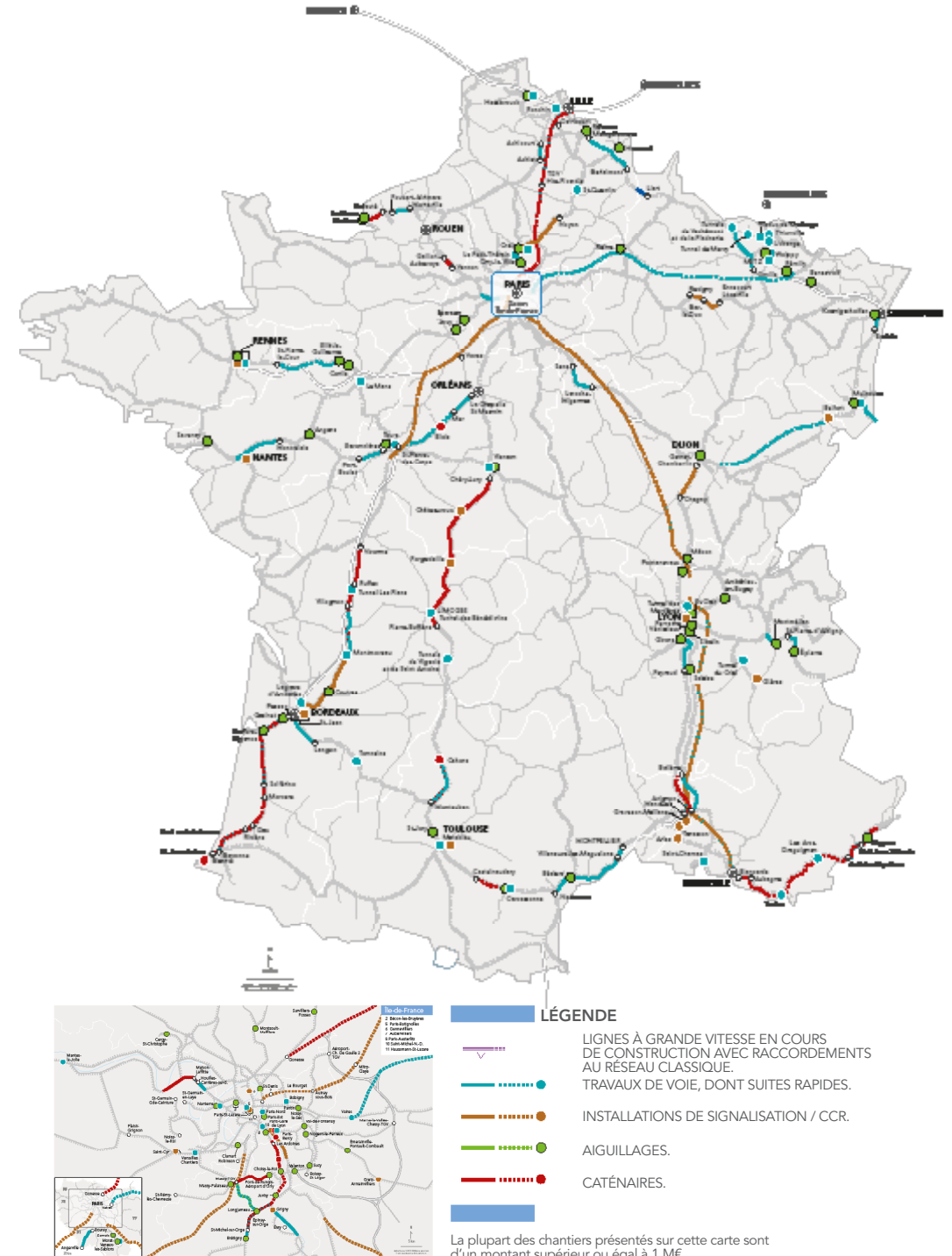
- la voie ferrée, constituée principalement de deux files de rails, de traverses et de ballast et permettant le roulement des trains;
- les installations fixes de traction électrique (IFTE), permettant l'alimentation des trains électriques en énergie;
- les ouvrages d'art (ponts, tunnels, etc.) et ouvrages en terre, permettant à la voie de franchir les obstacles naturels ou artificiels;
- la signalisation, permettant la régulation des circulations<sup>1</sup> (y compris commandes centralisées du réseau).

La durée de vie de ces équipements est variable selon leurs caractéristiques et leur usage. Il est nécessaire d'entretenir régulièrement puis de renouveler ces équipements au terme de cette durée afin de maintenir la performance de l'infrastructure, ce qui mobilise entre 2 et 3 Mrd€ par an sur le réseau français.



Le matériel roulant (rames, locomotives, voitures, wagons, etc.) relève des entreprises ferroviaires, clientes de SNCF Réseau telle que SNCF Mobilités. La carte page suivante présente la répartition géographique des principaux projets éligibles aux Green Bonds 2016 et donc en partie financés par eux. Le présent document se rapporte en particulier au renouvellement de ces équipements.

1. La signalisation ferroviaire est un moyen de donner des ordres au conducteur de train et a pour objectif d'éviter les risques inhérents à la circulation ferroviaire : déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux), rattrapages, collisions aux passages à niveau, etc. La signalisation comporte différents types de signaux : signaux lumineux, signaux mécaniques, signaux à main/mobiles (lampes, drapeaux), signaux acoustiques (pétards, coups de klaxon). Le renouvellement de la signalisation permet d'améliorer la fluidité des circulations ferroviaires.



## 2.1.2. RÉPARTITION DU FINANCEMENT DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE POUR L'ANNÉE 2016

En 2016, les projets de renouvellement représentent 1304 M€ d'investissement pour SNCF Réseau sur le périmètre éligible aux Green Bonds, soit 88 % des dépenses relevant du périmètre thématique des Green Bonds. Ces dépenses se répartissent comme suit :

### RÉPARTITION DES DÉPENSES DE RENOUVELLEMENT EN 2016 SUR LE PÉRIMÈTRE DES GREEN BONDS

INVESTISSEMENTS EN M€	PÉRIMÈTRE GREEN BONDS	
	AU 31/12/2016	RÉPARTITION
<b>Maintenance &amp; mise à niveau</b>	<b>1 303</b>	<b>88 %</b>
Voies, ballast et traverses...	889	68 %
Appareils de voie	195	15 %
Rénovation de la signalisation	183	14 %
Rénovation de la caténaire	36	3 %

Ces montants correspondent au financement de centaines de chantiers en 2016 sur l'ensemble du réseau ferré français, dont les principaux figurent sur la carte précédente.

Les Green Bonds émis en 2016 ont permis de financer une partie de ces projets<sup>2</sup>. Sur les 885 M€ collectés, 710 M€ ont été alloués à des projets de renouvellement (soit 80 % de l'ensemble), selon la répartition suivante :

### ALLOCATION D'UNE PART DU FINANCEMENT DES DÉPENSES DE RENOUVELLEMENT AUX GREEN BONDS

INVESTISSEMENTS EN M€	ALLOCATION GREEN BONDS	
	AU 31/12/2016	RÉPARTITION
<b>Maintenance &amp; mise à niveau</b>	<b>710</b>	<b>80 %</b>
Voies, ballast et traverses...	484	
Appareils de voie	106	
Rénovation de la signalisation	100	
Rénovation de la caténaire	20	

2. Pour l'opération 2016, SNCF Réseau a choisi de ne pas financer de renouvellement d'ouvrages d'art par les Green Bonds. Il est tout à fait probable qu'une partie des financements récoltés par les prochains Green Bonds soit allouée à ce type de projets.

## 2.2. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

Les obligations émises par les Green Bonds permettent de financer plusieurs centaines de projets de renouvellement par an. Évaluer l'impact carbone de chaque projet nécessiterait des processus de reporting et une mobilisation de ressources très lourds. En outre, la majorité de l'investissement se rapporte à un nombre limité de projets et la plupart des projets ne représentent qu'une faible part du montant total investi. Une analyse rigoureuse de tous les projets constituerait donc un gain de précision seulement marginal sur le résultat final.

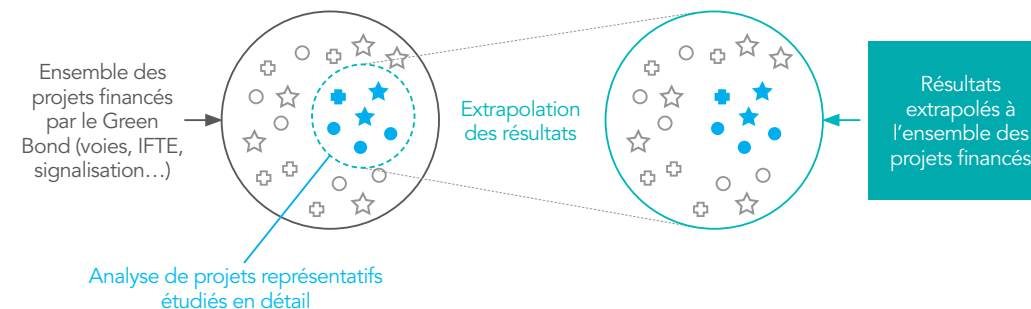
Ce nombre conséquent de projets de renouvellement financés implique donc de prendre deux mesures méthodologiques essentielles :  
– Pour certains paramètres, **l'utilisation de valeurs moyennes est privilégiée**, plutôt que d'exploiter des données propres à chaque projet. Par exemple, le remplissage de chaque train sur chaque section de ligne n'est pas connu de SNCF Réseau. On recourt donc pour l'instant à des

moyennes nationales de remplissage par type de train. Le biais introduit par ce type d'hypothèse est d'autant plus faible que le nombre de projets est élevé et réparti sur le réseau, ce qui se vérifie bien pour un ensemble de chantiers sur une année.

– **Une méthode d'extrapolation est appliquée.** Le calcul de l'impact carbone de l'ensemble des projets de renouvellement financés par les Green Bonds est donc réalisé à partir de certains projets représentatifs des projets éligibles, puis est extrapolé à l'ensemble de ces projets. Le biais introduit par ce type d'extrapolation est également faible dans la mesure où les projets étudiés individuellement seront retenus sur la base de leur représentativité des projets financés par les Green Bonds.

Enfin, comme mentionné précédemment, l'application par SNCF Réseau des principes méthodologiques décrits dans ce document s'inscrit dans une volonté d'amélioration continue. En effet, SNCF Réseau met en place une « démarche carbone » dont l'ambition est d'affiner progressivement la connaissance des émissions de GES de ses chantiers et d'étayer en conséquence ses analyses lors des évaluations carbone des prochains Green Bonds.

### ILLUSTRATION DU PRINCIPE D'EXTRAPOLATION DE RÉSULTATS





## 2.3. EMPREINTE CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

### 2.3.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Évaluer l'empreinte carbone d'un projet de renouvellement consiste à appliquer une des méthodes d'analyse carbone existantes, et déjà largement répandues, par exemple la méthode du Bilan Carbone® ou celle du GHG Protocol. Comme expliqué précédemment, il n'est pas envisageable à ce stade de mesurer une empreinte carbone exacte pour chaque projet de renouvellement. Une approche par extrapolation est donc appliquée à l'ensemble des projets, à partir d'empreintes carbone de projets représentatifs qui ont pu être estimées pour l'exercice 2016. Les projets couverts par les Green Bonds de SNCF Réseau ayant des caractéristiques très différentes (matériaux, durée de vie, etc.), il est nécessaire de les regrouper en ensembles cohérents, au sein desquels les projets ont le même « profil carbone ». En effet, deux projets de renouvellement similaires (par les techniques de renouvellement, les équipements renouvelés ou les matériaux utilisés, etc.) peuvent avoir des intensités carbone très proches<sup>3</sup>. Afin d'évaluer justement l'empreinte carbone globale des projets éligibles aux Green Bonds 2016, il est donc nécessaire de disposer des profils carbone de différents types de renouvellement d'infrastructure.

3. La notion d'intensité carbone correspond à une empreinte carbone ramenée à une unité d'œuvre telle que la longueur renouvelée, ou le montant investi. Ainsi, si deux projets ont a priori une intensité carbone semblable, l'empreinte carbone du premier projet peut être extrapolée sur le second à partir d'unités d'œuvre communes aux deux projets.

### 2.3.2. PROFILS CARBONE DES ÉQUIPEMENTS DE L'INFRASTRUCTURE

Pour SNCF Réseau, chaque projet de renouvellement de l'infrastructure peut être assimilé à l'un des profils carbone suivants :

- **Renouvellement de voie** : pour moitié environ en suite rapide (cf. détails page suivante), le reste hors suite rapide, appareils de voie (aiguillages) ;
- **Renouvellement d'installations fixes de traction électrique** (IFTE) : systèmes en 1500 V ou en 25000 V (caténaires, supports, sous-stations, etc.) ;
- **Renouvellement de signalisation** : commandes centralisées du réseau (CCR), systèmes de signalisation hors CCR ;
- **Renouvellement d'ouvrages d'art et d'ouvrages en terre** (NB : non financé par les Green Bonds en 2016) : ponts-rails, tunnels, déblais, remblais.

Dans le cadre des travaux de renouvellement de SNCF Réseau, il convient donc de déterminer une empreinte carbone pouvant servir de référence d'extrapolation pour chacun des profils identifiés ci-dessus lors de ce premier exercice d'évaluation des Green Bonds. Cette catégorisation pourra être affinée par SNCF Réseau au fil des évaluations successives et de l'enrichissement des analyses carbone de ses activités.

## LE RENOUVELLEMENT DE VOIE

Un chantier de renouvellement de voie consiste à remplacer la totalité ou une partie des éléments qui la constituent : le ballast, les traverses, les rails et les systèmes de fixation des rails. Les raisons qui motivent un renouvellement des voies peuvent relever de l'usure de la voie ou d'impératifs de confort, de performance ou de productivité. En effet, passé un certain âge, l'état de la voie ne permet plus de garantir, par des méthodes classiques d'entretien, une résistance des éléments de structure et des performances convenables. Le renouvellement engage des travaux lourds et coûteux pour remplacer des composants dont la durée de vie est comprise entre 20 et 50 ans. Les travaux sont réalisés selon deux procédés :

- Pour les plus grosses opérations : par un « train usine » (cf. ci-après).
- Pour les autres opérations : de manière classique avec une multitude d'engins de chantier (procédé dit « hors suite rapide »).

### LA SUITE RAPIDE

Véritable usine roulante, la suite rapide est capable de remettre à neuf l'ensemble des constituants de la voie dans un temps très limité, le principal enjeu étant de gêner le moins possible la circulation des trains. Quatre suites rapides existent en France, dont une est dédiée à la zone dense qu'est l'Île-de-France.

La suite rapide est longue de plusieurs centaines de mètres et intègre de nombreux engins les uns à la suite des autres. Elle est capable de renouveler jusqu'à 1000 mètres de voie en une nuit tout en permettant des circulations commerciales entre les interventions. Ce dispositif industriel nécessite l'intervention simultanée d'environ 400 ouvriers, techniciens et ingénieurs.

Voir une vidéo sur le fonctionnement d'une suite rapide : [www.youtube.com/watch?v=TUbd4f-bTck](https://www.youtube.com/watch?v=TUbd4f-bTck)

### 2.3.3. PÉRIMÈTRE DE L'EMPREINTE CARBONE D'UN PROJET REPRÉSENTATIF

Les règles de comptabilité carbone répartissent les émissions d'une entité (un projet, une entreprise, une collectivité, etc.) selon trois périmètres, ou scopes :

- Le scope 1** regroupe toutes les émissions directes de l'entité. Ces émissions peuvent provenir de la combustion d'énergies fossiles, par le rejet direct de GES dans l'atmosphère, ou encore par la réalisation d'un changement d'usage des sols (déforestation, artificialisation, etc.).
- Le scope 2** regroupe l'ensemble des émissions indirectes de l'entité associées à une consommation d'énergie. On trouve ainsi dans cette catégorie les émissions associées à la consommation d'électricité (non directement émises par l'entité mais par le producteur

d'électricité) ainsi qu'aux consommations de chaleur, de froid ou de vapeur.

**Le scope 3** regroupe l'ensemble des autres émissions indirectes présentes sur la chaîne de valeur de l'entité. Il s'agit, en amont, des émissions de fret, de fabrication des biens et services achetés et immobilisés ou encore des déplacements professionnels ou domicile-travail des employés. En aval, le scope 3 regroupe les émissions associées au fret aval, au traitement des déchets générés ou encore à l'usage des produits vendus.

Les réglementations actuellement en vigueur (en France et à l'international) concernant la réalisation de bilans carbone de projets ne portent que sur les périmètres des scopes 1 et 2.

Dans le cadre du calcul d'empreinte carbone de ses Green Bonds, SNCF Réseau va plus loin, en fixant un périmètre d'évaluation de l'empreinte carbone d'un projet couvrant toutes les émissions directes et indirectes (scopes 1, 2 et 3) de la chaîne de valeur des travaux réalisés :

- Fuites de fluides frigorigènes des engins de chantier et caisses mobiles (scope 1).
- Énergie consommée sur le chantier (scopes 1 et 2).
- Fabrication des intrants: produits de construction et équipements (scope 3).
- Fret amont et interne (scope 3).
- Construction des caisses mobiles, engins de chantier et matériels (scope 3).
- Déplacements professionnels dans le cadre du chantier (scope 3).
- Déplacements domicile-travail des employés du chantier (scope 3).
- Transport et traitement des déchets directs (scope 3).

Ce périmètre ne couvre pas les émissions de GES aval dues à l'exploitation et à l'entretien de l'infrastructure concernée, ni aux futures circulations de trains sur celle-ci. L'application de la méthode de calcul de l'empreinte carbone est en ligne avec les principes méthodologiques du GHG Protocol, afin d'en assurer la cohérence et la lisibilité à l'international.

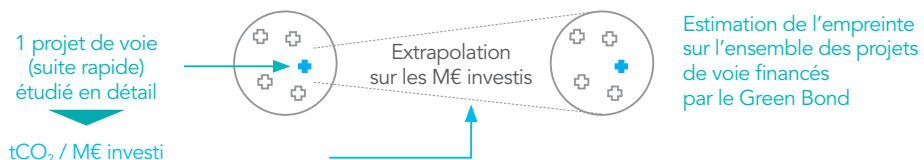
#### 2.3.4. ALLOCATION D'UNE PART DE L'EMPREINTE AU FINANCEMENT ISSU DES GREEN BONDS

Les Green Bonds ne sont pas directement affectés au financement complet de projets de renouvellement, mais participent au financement d'un programme global annuel de projets. Il est par conséquent nécessaire de rapporter l'empreinte carbone allouée aux Green Bonds à sa part dans le financement de l'ensemble, ceci afin d'éviter les doubles comptes d'empreinte carbone et de traduire la contribution réelle des Green Bonds 2016 au renouvellement des équipements considérés.

#### 2.3.5. EXTRAPOLATION À L'ENSEMBLE DES PROJETS FINANCÉS PAR DES GREEN BONDS

Une fois l'ensemble des projets répartis en catégories selon leur profil carbone, l'empreinte carbone des projets représentatifs de chacune de ces catégories leur est généralisée sur la base d'unités d'œuvre pertinentes (longueur de ligne, poids des matériaux, montants, etc.). Le choix de l'unité d'œuvre au sein d'une catégorie dépend des données disponibles pour les projets s'y rapportant.

### EXEMPLE D'EXTRAPOLATION SUR LE RENOUVELLEMENT DE VOIE PAR SUITE RAPIDE À PARTIR DES MONTANTS INVESTIS



#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

##### Étape 1 - Sélection des profils carbone étudiés

Pour l'année 2016, trois profils carbone ont été considérés, correspondant à trois grandes catégories d'équipements de l'infrastructure: voie, IFTE et signalisation. L'analyse des Green Bonds 2016 repose uniquement sur ces trois catégories, faute de données disponibles par sous-catégories d'équipements, comme proposé à terme en 2.1.1. Les opérations se rapportant aux appareils de voie sont provisoirement considérées comme celles de voie, du fait de la relative similitude des composants (rails en acier, traverses).

##### Étape 2 - Empreinte carbone de projets représentatifs des profils carbone retenus

Une empreinte carbone a été déterminée pour le renouvellement des catégories équipements suivantes :

- **Voie**: le Bilan Carbone® d'un chantier de renouvellement de 90 km de voie en suite rapide a été calculé lors du renouvellement d'une des deux voies de la ligne Montpellier – Narbonne en 2015. L'analyse de ce projet a permis de définir un ratio moyen d'émissions de 533 tCO<sub>2</sub>eq/km de voie renouvelée. Pour un coût de 132,4 M€ (soit 1,47 M€ par km, ce qui est proche de la moyenne du coût des opérations en suite rapide sur ligne classique UIC 1-4), il ressort un ratio de 361 tCO<sub>2</sub>eq/M€ investi. D'une part, 80 % des émissions de GES d'un renouvellement en suite rapide étant dus à la consommation de matériaux et, d'autre part, les matériaux utilisés étant les mêmes en suite rapide et hors suite rapide, on peut considérer que l'empreinte carbone d'un chantier de renouvellement hors suite rapide est similaire à celui d'un chantier en suite rapide.

- **IFTE**: l'empreinte carbone d'un renouvellement moyen de caténaires a été estimée à partir d'analyses de cycle de vie opérées sur des caténaires 1 500 V et 25 kV. Cette analyse a permis de définir un ratio moyen d'émissions de 73 tCO<sub>2</sub>eq/km d'IFTE renouvelée, soit – compte tenu du coût moyen de ce type d'opération – un ratio de 86 tCO<sub>2</sub>eq/M€ investi.

- **Signalisation**: par manque de données pertinentes pour estimer l'empreinte carbone d'un renouvellement de signalisation, on recourt à un ratio de 380 tCO<sub>2</sub>eq/M€ investi, résultant de la moyenne des deux facteurs d'émissions monétaires suivants établis par l'ADEME<sup>4</sup>:
  - produits informatiques, électroniques et optiques (400 tCO<sub>2</sub>eq/M€), les installations de signalisation relevant essentiellement de ce type de matériaux;
  - construction (360 tCO<sub>2</sub>eq/M€), les investissements de signalisation de SNCF Réseau comportant une part importante de construction de bâtiments pour l'hébergement des CCR.

Dans une perspective d'amélioration continue, SNCF Réseau consolidera l'empreinte carbone de ses projets de renouvellement d'infrastructure par la réalisation de nouveaux bilans carbone, trois étant déjà prévus à court terme (voie et CCR).

4. Facteurs d'émissions monétaires de produits et services sur [http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?ratio-monetaires.htm](http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?ratio-monetaires.htm).

### Étape 3 - Extrapolation

L’empreinte carbone de ces projets est ensuite rapportée au montant investi, qui est la seule unité d’œuvre commune aux différents types d’installations (les investissements de signalisation ne peuvent tous être rapportés à des km de ligne). Il en ressort une valeur de référence applicable aux autres projets de la même catégorie.

VALEURS D’EXTRAPOLATION OBTENUES POUR L’ANNÉE 2016 (EN TCO <sub>2</sub> EQ/M€ INVESTI)	
Renouvellement de voie et d’appareils de voie	361
Renouvellement d’IFTE	86
Renouvellement de signalisation	380

## 2.4. ÉMISSIONS ÉVITÉES PAR LES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D’INFRASTRUCTURE

### 2.4.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

#### 2.4.1.1. Situation de référence et situation avec projet de renouvellement

Les renouvellements effectués sur le réseau ferré permettent de maintenir les infrastructures en service à leur performance nominale, pérennisant l’attractivité du service ferroviaire pour les usagers. Sans ces renouvellements, la qualité des infrastructures ferroviaires se dégraderait, entraînant une réduction progressive des vitesses de circulation des trains afin de maintenir leur sécurité. Le ralentissement

des trains rallongerait les temps de parcours dans des proportions croissantes. Les voyageurs et les chargeurs seraient de plus en plus enclins à préférer d’autres modes de transport, qui seraient entre-temps devenus plus performants que le train.

Malgré un entretien courant renforcé, l’état de l’infrastructure deviendrait de plus en plus hétérogène et sa performance de plus en plus aléatoire. Les ralentissements se poursuivraient, alimentant le report des clients vers les autres modes jusqu’à quasiment vider les trains. La chute de la fréquentation remettrait en question la consistance du service et de nombreux trains seraient supprimés. Le coût élevé d’entretien de l’infrastructure pour de faibles performances et un usage marginal questionnerait son maintien. Finalement, les circulations seraient suspendues jusqu’à ce que l’infrastructure soit renouvelée. Cet enchaînement a été maintes fois observé sur des lignes secondaires du réseau ferré français. C’est bien le renouvellement régulier des équipements qui permet aux lignes principales de ne pas connaître une telle évolution.

Dans ce cadre, le calcul des émissions évitées consiste à comparer la différence des émissions de GES du transport des voyageurs et des marchandises dans deux situations :

- **Situation avec renouvellement des équipements**: l’opération de renouvellement permet le maintien du niveau de service sur la section considérée, garantissant le maintien du trafic.
- **Situation de référence (sans renouvellement)**: l’infrastructure n’est pas renouvelée, elle se dégrade progressivement, ce qui conduit à sa fermeture à terme. Les usagers du transport ferroviaire se reportent

vers d’autres modes de transport. La diversité des pratiques de maintenance d’une voie ferrée met en évidence **la possibilité d’une situation intermédiaire entre le renouvellement et l’entretien courant : l’entretien renforcé**. Celui-ci consiste à remplacer les constituants de l’infrastructure au fur et à mesure, avec des moyens (humains, matériels, capitaux) réguliers, plutôt que de façon industrialisée en mode projet. D’une part, l’âge du réseau structurant en France est globalement trop avancé pour permettre un entretien renforcé sans perte de performance. Le recours au renouvellement est une nécessité industrielle. D’autre part, concernant les émissions de GES, l’entretien renforcé conduirait sur la durée d’amortissement d’un renouvellement :  
– à la consommation d’un volume équivalent de matières, dont la production représente 80 % des émissions d’un renouvellement. L’entretien renforcé permet certes d’être plus sélectif dans le remplacement des constituants mais il ne permet pas la revalorisation d’une aussi grande part de matériaux (ballast en particulier);  
– à une organisation différente des chantiers d’intervention, certes moins lourds mais plus nombreux et nécessitant davantage de transport (démassification des acheminements de personnel et de matières).

La principale différence entre entretien renforcé et renouvellement porterait donc sur la répartition temporelle de volumes équivalents d’émissions de GES (principalement en une seule fois pour le renouvellement, de façon régulière pour l’entretien renforcé), ceci n’ayant finalement que peu d’effet sur le résultat global.

Le renouvellement est comparé à la dégradation progressive de l’infrastructure, inhérente à l’absence de renouvellement. Du point de vue des émissions de GES, l’entretien renforcé ne se présente pas comme un scénario d’étude différent du renouvellement.

#### 2.4.1.2. Éviter les doubles comptes : mise en place de règles d’allocation

Les projets financés ne correspondent pas au renouvellement de l’intégralité de l’infrastructure sur une section donnée : ils ne concernent en général qu’un seul type d’équipement (voie, signalisation, IFTE, OA/OT, comme précisé en préambule en 2.1.1), sur une section de ligne limitée. Par ailleurs, les Green Bonds peuvent ne financer qu’une partie seulement des dépenses nécessaires à un projet.

Il apparaît donc que l’ensemble des émissions évitées par le maintien du service ferroviaire ne peut être attribué aux seuls éléments renouvelés et financés par des Green Bonds, mais seulement une fraction des émissions évitées correspondant à la part de l’infrastructure renouvelée. Ce principe permet de prévenir un double comptage d’émissions évitées quand deux projets de renouvellement (ex. : renouvellement de la voie puis de la caténaire) sont situés sur une même section de ligne.

Afin de se prémunir de ces doubles comptes, une allocation des émissions évitées est donc nécessaire en fonction des équipements dont le renouvellement est financé par un Green Bond. Un projet de renouvellement se voit donc allouer une part de l’ensemble des émissions qui seraient évitées

si toute l'infrastructure de la section en question était renouvelée. Cette part est déterminée en fonction de la nature des équipements renouvelés et au regard de l'intégralité des équipements nécessaires au fonctionnement du service ferroviaire fourni aux utilisateurs finaux.

Cette part traduit ainsi la contribution propre d'un projet au maintien d'un service ferroviaire.

**Les règles d'allocation doivent être construites de manière à prévenir le double compte des émissions évitées pour plusieurs opérations concernant une même section de ligne, ceci sur toute la durée de vie des équipements renouvelés.**

#### 2.4.1.3. Estimation des émissions évitées par un projet de renouvellement

La méthode de calcul permettant d'estimer les émissions évitées par un projet de renouvellement est divisée en deux étapes :

- calcul des émissions évitées grâce au maintien du service ferroviaire sur l'intégralité d'une section de ligne ;
- allocation d'une part de ces émissions évitées au projet éligible financé.

#### 2.4.1.4. Extrapolation à l'ensemble des projets financés par des Green Bonds

Comme expliqué précédemment, dans le contexte de SNCF Réseau, il n'est pas envisageable de calculer les émissions évitées de chacun des très nombreux projets de renouvellement. Une extrapolation est donc appliquée pour couvrir l'ensemble des projets, à partir d'émissions évitées de projets représentatifs.

### 2.4.2. MÉTHODE DE CALCUL DES ÉMISSIONS ÉVITÉES GRÂCE AU MAINTIEN DU SERVICE FERROVIAIRE SUR UNE SECTION DE LIGNE RENOUELÉE

Le calcul des émissions évitées recourt à de nombreux paramètres. Les principes pour les déterminer ainsi que leur mise en application pour les Green Bonds 2016 de SNCF Réseau sont exposés par la suite.

#### 2.4.2.1. Types de trains parcourant la section de ligne renouvelée

Différents types de trains circulent généralement sur une section de ligne renouvelée. Sur le réseau ferré français, cinq catégories de trains se distinguent :

- **les trains aptes à la grande vitesse** (TGV, Eurostar, Thalys, etc.), parcourant de grandes distances principalement sur lignes à grande vitesse (LGV) et en complément sur le réseau classique, avec peu d'arrêts et à une vitesse élevée à très élevée ;
- **les trains classiques de longue distance** (principalement Intercités), parcourant de plus ou moins grandes distances sur le réseau classique, avec peu d'arrêts et à une vitesse élevée ;
- **les trains express régionaux** (TER), parcourant des distances très variables (en général à l'intérieur d'une région administrative), avec plus ou moins d'arrêts et une vitesse moyenne variable selon leur régime (omnibus, express, etc.) ;
- **les trains Transilien**, soit les trains régionaux sous l'autorité du Syndicat des transports d'Île-de-France, parcourant de courtes distances à faible vitesse ;
- **les trains de marchandises**, de Fret SNCF ou d'autres transporteurs, parcourant toutes distances à des vitesses très variables.

Chaque type de train répond à une certaine demande de mobilité ; leurs caractéristiques sont considérablement différentes. Il est donc indispensable de les analyser séparément au moment d'estimer les émissions évitées sur une section de ligne.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

SNCF Réseau connaît le nombre de trains circulant annuellement, par type et par section de ligne. Toutefois, calculer les trafics sur les centaines de sections renouvelées chaque année représente un travail trop fastidieux. Il a donc été retenu que les émissions évitées seront calculées sur un panel de sections de ligne représentatif du programme de renouvellement de l'année (cf. 2.4.4). Le nombre de trains considéré est celui de l'année entière la plus proche possible de la réalisation des travaux.

#### 2.4.2.2. Remplissage des trains

Le facteur d'émission du transport ferroviaire est généralement connu en émissions de GES par voyageur-km ou tonne-km, et non par train-km. Il est donc nécessaire de quantifier le volume des trafics voyageurs et fret sur la section de ligne concernée. Les données de trafic disponibles pour SNCF Réseau étant exprimées en nombre de trains circulant par section de ligne, on recourt à des hypothèses de remplissage des trains pour déterminer le nombre de voyageurs et de tonnes transportés et les voyageurs-km et tonnes-km associés.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Le remplissage des trains est déterminé par les moyennes nationales observées sur le réseau ferré national pour l'année 2016 pour chaque type de train (cf. 2.4.2.1).

Les valeurs observées en 2016 sont les suivantes.

### REPLISSAGE MOYEN DES TRAINS CIRCULANT EN 2016 SUR LE RÉSEAU FERRÉ NATIONAL

Trains aptes à la grande vitesse	408 voyageurs par train
Autres trains de longue distance	207 voyageurs par train
Trains express régionaux (hors autocars TER)	75 voyageurs par train
Transilien	238 voyageurs par train
Trains de marchandises	473 tonnes par train

Source : calculs SNCF Réseau

### 2.4.2.3. Processus général de calcul des émissions évitées par des projets de renouvellement

La méthode de calcul des émissions évitées par le maintien en service d'une ligne est construite de la façon suivante :

Pour chaque type de train parcourant la section de ligne :

#### A. Calcul des émissions dans la situation avec projet de renouvellement

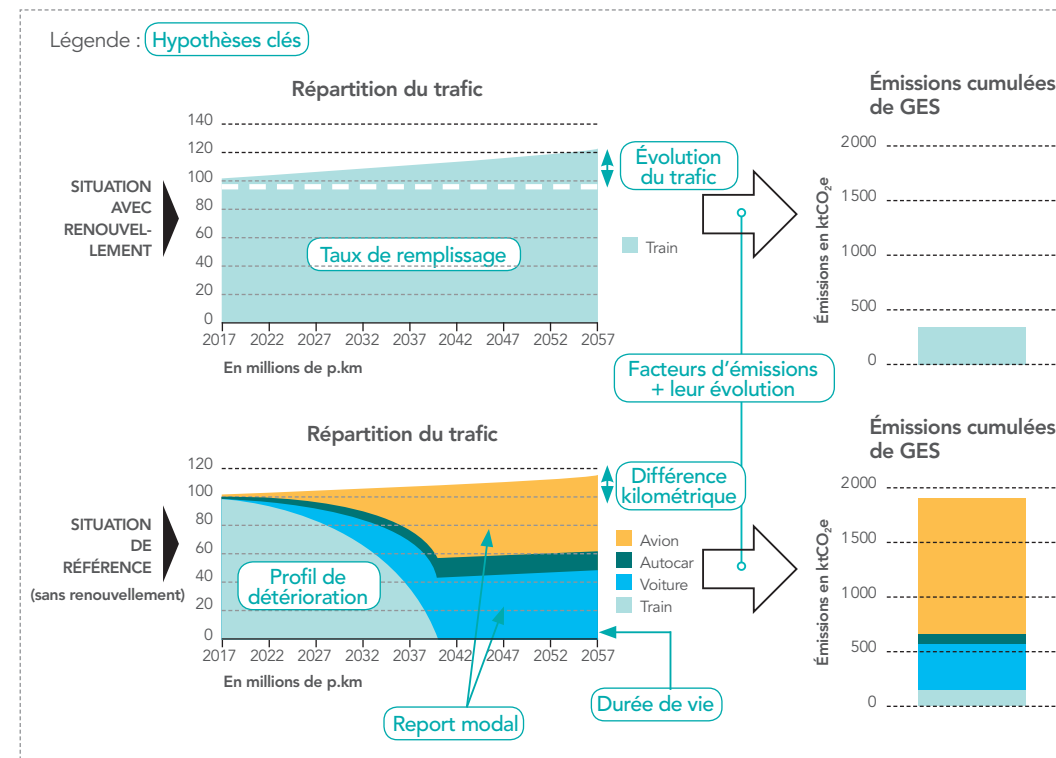
1. Estimation du trafic circulant sur la section de ligne pendant l'année précédant le renouvellement ;
2. Application d'une hypothèse d'évolution de ce trafic au cours de la durée de vie des équipements renouvelés ;
3. Application de facteurs d'émissions du transport ferroviaire, intégrant des hypothèses d'évolution sur la durée de vie des équipements considérés (y compris par exemple l'évolution du facteur d'émission de l'électricité utilisée par les trains).

#### B. Calcul des émissions dans la situation de référence

1. Reprise des résultats des points 1 et 2 précédents.
2. Application d'hypothèses de report modal lié à la dégradation des équipements de la section de ligne non renouvelée.
3. Application de facteurs d'émissions pour les modes bénéficiaires du report modal, intégrant des hypothèses d'évolution sur la durée de vie des équipements considérés (y compris par exemple l'évolution du facteur d'émission des véhicules particuliers).

La comparaison des émissions dans les deux situations permet d'estimer pour chaque type de train la quantité d'émissions évitées par le renouvellement de la section de ligne. Une fois ce processus réalisé pour chaque type de train, les émissions évitées sont sommées pour aboutir au total des émissions évitées par le renouvellement de la section de ligne. L'illustration ci-contre présente la méthode de calcul pour une catégorie de train donnée en mettant en exergue les hypothèses clés de la méthode. Ces hypothèses sont explicitées en détail par la suite.

## MÉTHODE DE CALCUL DE LA QUANTITÉ D'ÉMISSIONS ÉVITÉES POUR UNE CATÉGORIE DE TRAIN DONNÉE



### 2.4.2.4. Périmètre temporel de l'étude

La période étudiée pour le calcul des émissions évitées doit prendre en compte l'impact du renouvellement sur la durée de vie des équipements considérés. Celle-ci correspond à l'intervalle de temps entre deux renouvellements, variable selon l'équipement. Par exemple, la voie doit être renouvelée plus souvent que les IFTE. Ainsi, la durée prise en compte pour le calcul des émissions évitées attribuées à un renouvellement de voie

est plus courte que celle prise en compte dans le cas d'un renouvellement d'IFTE.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Concernant le renouvellement de la voie, la période d'étude retenue est de 40 ans, correspondant à l'intervalle de temps observé entre deux renouvellements complets sur les lignes UIC 1 à 4. Pour les IFTE, la durée de vie moyenne retenue est de 43 ans, celle des installations de signalisation est de 33 ans (source : comptabilité SNCF Réseau).

#### 2.4.2.5. Évolution du trafic

L'étude des émissions évitées par un projet de renouvellement porte sur plusieurs décennies (cf. point précédent). Au cours de cette période étendue, des évolutions démographiques, économiques, sociales et sociétales sont à considérer. Ainsi, il convient de formuler une hypothèse portant sur l'évolution du trafic ferroviaire sur la section de ligne renouvelée. Cette évolution du trafic est qualifiée d'extrinsèque.

En sus de cette évolution extrinsèque du trafic, un renouvellement peut parfois améliorer les équipements par rapport à la situation antérieure. Ses effets sont considérés par une hypothèse d'évolution intrinsèque du trafic, c'est-à-dire cette fois-ci directement liée à l'opération de renouvellement effectuée.

Un renouvellement peut en effet avoir des impacts notables sur le trafic, par exemple dans les cas suivants :

- une ligne profondément dégradée où les voyageurs habituels se seraient déjà reportés vers d'autres modes de transport (cas exceptionnel pour une ligne principale du réseau français) : le renouvellement permettrait ainsi de remettre à niveau l'offre de mobilité ferroviaire, ce qui permettrait de récupérer les voyageurs perdus ;
- une opération de renouvellement permettant une importante modernisation de la ligne, et donc une amélioration de ses performances : le renouvellement permettrait éventuellement de capter de nouveaux voyageurs.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

SNCF Réseau a choisi de retenir une hypothèse d'évolution du trafic égale à celle de la croissance de population de France métropolitaine continentale (projection de l'INSEE) sur la période étudiée (40 ans), soit +0,3 % par an. De cette façon, il est considéré une stabilité de la distance parcourue en train par habitant et par an. Cette hypothèse s'appuie pour cela sur la stabilité du trafic ferroviaire observée depuis 2011, aussi bien pour le trafic voyageurs que pour le fret.

Notons qu'il s'agit d'une hypothèse prudente par rapport aux projections de la demande de transport réalisées par les services de l'État (Commissariat général au développement durable), prévoient les évolutions présentées pour information dans le [tableau A](#) page ci-contre.

Parmi les hypothèses de croissance du transport ferroviaire retenues par l'État, les plus prudentes aboutissent à une croissance du trafic de 70 % entre 2012 et 2050. Pour mémoire, sur une période passée équivalente de 38 ans (1974-2012), le trafic ferroviaire de voyageurs a augmenté de 87 % et celui de fret baissé de 56 %. En retenant une hypothèse de croissance du trafic égale à celle de la population (+0,3 %/an, [tableau B](#) page ci-contre), pour la présente évaluation, le volume de trafic futur considéré est nettement moins important, ce qui minore l'estimation du volume d'émissions évitées sur la durée de vie des équipements.

## A. PROJECTIONS DE TRAFIC FERROVIAIRE ÉTABLIES PAR LES SERVICES DE L'ÉTAT

PROJECTIONS DE TRAFIC ET ÉVOLUTION ANNUELLE MOYENNE		2012	2030	2050
Transport ferroviaire de voyageurs pour les déplacements supérieurs à 100 km	Sans covoiturage et SLO*	65,5 Mrd vkm	88,9 Mrd vkm (+ 1,7 % par an)	125,8 Mrd vkm (+ 1,7 % par an)
	Avec covoiturage et SLO*		78,0 Mrd vkm (+ 1,0 % par an)	112,0 Mrd vkm (+ 1,8 % par an)
Transport ferroviaire de marchandises	Tendanciel	32,5 Mrd vkm	47,2 Mrd tkm (+ 2,1 % par an)	70,5 Mrd tkm (+ 2,0 % par an)
	Cadrage SNBC*			54,6 Mrd tkm (+ 0,7 % par an)

\* SLO : services (d'autocars sur longue distance) librement organisés. SNBC : Stratégie nationale bas carbone.  
Source : CGDD, Projections de la demande de transport sur le long terme, 2016.

## B. PROJECTIONS DE TRAFIC FERROVIAIRE RETENUES POUR LE CALCUL DES ÉMISSIONS ÉVITÉES

PROJECTIONS DE TRAFIC ET ÉVOLUTION ANNUELLE MOYENNE		2012	2030	2050
Transport ferroviaire de voyageurs		89,1 Mrd vkm	94,0 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)	99,8 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)
dont pour les déplacements supérieurs à 100 km		65,5 Mrd vkm	69,1 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)	73,4 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)
Transport ferroviaire de marchandises		32,5 Mrd tkm	34,3 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)	36,5 Mrd vkm (+ 0,3 % par an)

De même, SNCF Réseau a choisi de retenir une hypothèse d'évolution intrinsèque du trafic nulle sur la période étudiée. Ce choix est motivé par deux arguments :

– SNCF Réseau effectue en général ses opérations de renouvellement sur le réseau structurant avant que se manifestent les effets de la dégradation de l'infrastructure sur la circulation. Ainsi, le renouvellement permet en général un maintien du niveau de service et non pas une remise à niveau de ce dernier. – S'il est vrai que certaines opérations de renouvellement permettent une modernisation de la section considérée, il est en général procédé au renouvellement à fonctionnalités nominales constantes ou sans incidence significative sur le trafic. SNCF Réseau décide ainsi de ne pas tenir compte du trafic qui pourrait être généré par les opérations mixtes de renouvellement et de modernisation.

#### 2.4.2.6. Trajectoire de réduction de la vitesse de circulation et impact sur le trafic

Sans renouvellement, la qualité de l'infrastructure se dégraderait, entraînant une réduction progressive de la vitesse de circulation des trains. Plus la vitesse se dégraderait, plus les voyageurs (et les chargeurs) seraient enclins à préférer d'autres modes de transport, qui seraient entre-temps devenus plus performants. Cette diminution du trafic en faveur d'autres modes de transport ne serait pas instantanée, mais progressive au fil de la dégradation de l'infrastructure et des réductions de la vitesse de circulation qui en découlent. Une trajectoire de réduction de la vitesse de circulation doit donc être établie, ainsi que la sensibilité des voyageurs et du fret à cette réduction.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

##### • Trajectoire de réduction de la vitesse de circulation

Une vitesse maximale autorisée est définie pour chaque section de ligne du réseau en fonction des caractéristiques de l'infrastructure et parfois du matériel roulant. Faute de renouvellement des composants de l'infrastructure, celle-ci vieillit et, au bout d'un certain temps, n'est plus capable de fournir le service nominal en toute sécurité (risque de déraillement notamment), même avec un entretien accru. La préservation de la sécurité des circulations impose alors une réduction de cette vitesse maximale autorisée, dite « ralentissement ».

Deux types de lignes se distinguent en termes de réduction de la vitesse maximale autorisée en cas de non-renouvellement de l'infrastructure : les lignes classiques et les lignes à grande vitesse (LGV).

Deux trajectoires de réduction de la vitesse ont donc été modélisées. Sur les graphiques suivants, l'année 0 correspond à l'année où le renouvellement aurait dû être réalisé, correspondant à un optimum entre la qualité de voie, le coût de son entretien et son usage. En l'absence de renouvellement, l'hypothèse suivie est que la vitesse maximale autorisée se maintient pendant une période initiale moyenne de trois ans. Au-delà, l'état de la voie impose une baisse de la vitesse autorisée – dans le cas typique d'une ligne classique UIC 1-4 – de 160 à 100 km/h, soit à 63 % de la vitesse nominale.

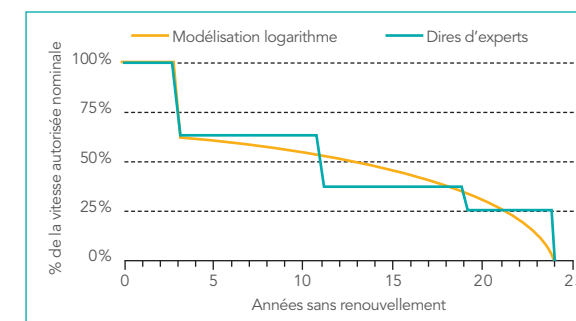
Il a été considéré que la vitesse maximale se dégrade alors progressivement pendant une période de vingt ans, au terme de laquelle les circulations doivent être suspendues.

Ces modélisations qui suivent l'année 3 sont fondées sur l'expertise interne de SNCF Réseau, qui a déterminé un rythme moyen de la réduction de la vitesse par paliers successifs en fonction de l'âge de la voie. Ces paliers ont ensuite été lissés afin d'éviter les effets de seuil et pour tenir compte du fait que les ralentissements de vitesse ne sont pas appliqués automatiquement en fonction de l'âge de la voie mais en fonction de son état, qui évolue de façon très variable selon les situations sur le terrain.

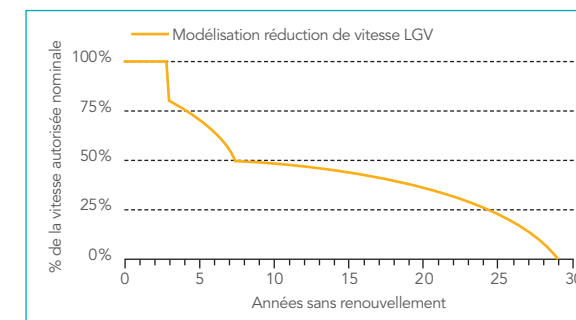
Dans le cas des LGV, sur la base de l'expertise interne de SNCF Réseau, la réduction de vitesse considérée se décompose en trois phases :

– Une première phase de trois ans, similaire à celle pour les lignes classiques, durant laquelle la vitesse autorisée nominale est conservée.  
– Une seconde phase de cinq ans, engagée en année 3 par une baisse de vitesse typique de 320 à 250 km/h<sup>5</sup> (soit 78 % de la vitesse nominale) et s'achevant en année 8 à une vitesse de 160 km/h, soit 50 % de la vitesse nominale. La forte réduction de vitesse au cours de cette phase résulte d'une part du fait qu'une infrastructure curulée à grande vitesse se dégrade plus rapidement qu'une infrastructure classique et d'autre part du fait que les circulations à grande vitesse sont très exigeantes en qualité de la voie.  
– Une troisième phase de vingt ans, semblable à la trajectoire d'une ligne classique.

### RÉDUCTION DE LA VITESSE MAXIMALE AUTORISÉE SUR LIGNE CLASSIQUE



### RÉDUCTION DE LA VITESSE MAXIMALE AUTORISÉE SUR LGV



5. La grande vitesse est définie au niveau européen par une vitesse maximale autorisée d'au moins 250 km/h sur voie dédiée (directive 96/48 EC, annexe I).

• **Sensibilité de la demande de transport ferroviaire à la réduction de la vitesse de circulation**

La réduction de la vitesse de circulation a pour conséquence de rallonger les trajets en train, ce qui rend l'offre ferroviaire moins attractive pour les clients finaux qu'initialement. En fonction des possibilités de chacun, ces clients finaux choisissent de réaliser ou non les déplacements prévus et, le cas échéant, avec quels modes de transport. La demande de transport ferroviaire baisserait ainsi logiquement avec la réduction de la vitesse.

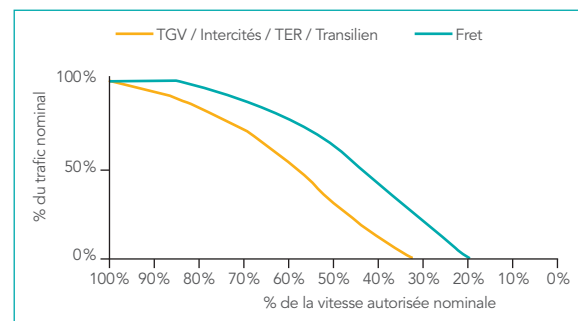
Des trajectoires de sensibilité de la demande ferroviaire ont été déterminées par SNCF Réseau sur la base des considérations suivantes:

- Le référentiel d'analyse socio-économique de SNCF Réseau fournit des valeurs d'élasticité de la demande en fonction de l'évolution du temps de trajet en train. Ce référentiel étant toujours utilisé pour des projets d'amélioration du transport ferroviaire à longue distance, il considère qu'une baisse de temps de parcours de 10 % augmente la demande de 9 %. Les valeurs inverses sont utilisées pour amorcer la courbe de sensibilité.
- La concurrence entre le train et l'avion, largement documentée publiquement<sup>6</sup> et en interne à SNCF Réseau, détermine une courbe d'évolution de la part de marché du train en fonction de son temps de trajet. Elle dessine une tendance qui prolonge les élasticités.

- Les différents types de train de voyageurs s'inscrivent dans des marchés très différents. Un raisonnement en pourcentage de perte de trafic permet de parer aux différences de volumes ou de distances parcourues.
- Tous les trains de voyageurs s'inscrivent dans un champ de contraintes de concurrence devant engendrer une baisse de trafic à peu près équivalente selon le rallongement de leur temps de parcours (une hausse de 20 % du temps de parcours en TGV ou en Transilien engendre une même perte de fréquentation).
- Les marchandises sont moins sensibles à la hausse du temps de trajet, leur courbe de sensibilité est donc décalée par rapport à celle des voyageurs.
- La demande ferroviaire devrait s'éteindre quand le temps de trajet d'un train de voyageurs est multiplié par trois par rapport à la situation actuelle (par cinq pour les trains fret). Ce niveau est déterminé par l'offre actuelle ou potentielle des modes de transport concurrents.

Le graphique suivant présente les courbes de sensibilité retenues.

**SENSIBILITÉ DU TRAFIC À LA RÉDUCTION DE LA VITESSE DE CIRCULATION**



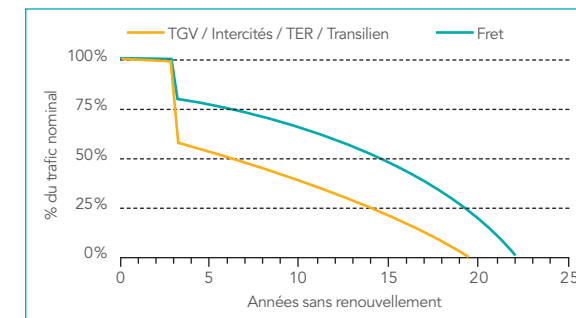
• **Baisse du trafic en réponse à la réduction de la vitesse**

La combinaison de la trajectoire de réduction de la vitesse avec la sensibilité de la demande à cette réduction de vitesse permet de déduire les courbes ci-contre, traduisant l'évolution du trafic (exprimée en voyageurs-km ou tonnes-km) suite au non-renouvellement de l'infrastructure.

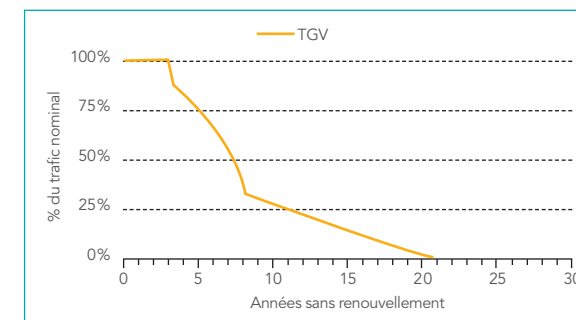
On observe que le trafic tombe à un niveau nul avant l'expiration de la durée de vie résiduelle en cas de non-renouvellement (24 ans pour ligne classique et 29 ans pour LGV) en raison des temps de trajet très longs qui résulteraient de circulations à faible vitesse sur de longues distances. Ceci semble valider la cohérence des hypothèses prises précédemment.

L'évaluation des émissions évitées sur la durée de vie d'un projet de renouvellement s'appuie donc sur ces deux trajectoires. En particulier, elle intègre année après année cette évolution du trafic ferroviaire avec d'autres paramètres comme les facteurs d'émission des modes de transport concurrents (cf. 2.4.2.9).

**TRAJECTOIRE DE BAISSÉ DU TRAFIC SUR LIGNE CLASSIQUE NON RENOUVELÉE**



**TRAJECTOIRE DE BAISSÉ DU TRAFIC SUR LGV NON RENOUVELÉE**



6. Par exemple : Michel Lebœuf, Grande vitesse ferroviaire, Cherche Midi, 853 pages, 2013.



#### 2.4.2.7. Évolution de la demande suite à la réduction des vitesses de circulation

Vis-à-vis d'un service ferroviaire dont le temps de trajet serait rallongé en raison du non-renouvellement de l'infrastructure, différents choix s'offrent aux voyageurs et aux chargeurs :

- ne rien changer dans leur choix modal ou d'itinéraire et subir directement le rallongement du temps de parcours en train;
- renoncer à certains déplacements, faute de service suffisamment adapté à leurs besoins ou contraintes (désinduction de trafic);
- se reporter vers un autre itinéraire ferroviaire;
- se reporter vers un autre mode de transport (avion, voiture, autocar), pour effectuer le même déplacement (report modal).

##### • Désinduction de trafic

Lorsque les conditions de transport entre deux points s'améliorent, le trafic augmente significativement. Cette réalité est, par exemple, démontrée lors de la mise en service de chaque LGV en France, dont les gains de temps ont pour conséquence d'intensifier le trafic de l'ordre de 20 à 40 % selon les cas par rapport à la situation initiale. On suppose alors que la dégradation des conditions de transport par le non-renouvellement d'une infrastructure conduirait au phénomène inverse, soit à une désinduction de trafic, plus ou moins forte selon les alternatives de transport disponibles pour les usagers. La désinduction de trafic désigne donc les déplacements qui ne seraient plus effectués, ni en train, ni par d'autres modes de transport (car trop chers, trop lents, trop contraignants, etc.).

La désinduction de trafic pour cause de baisse de performance est un phénomène complexe. Sans transport performant, la localisation des activités et la compétitivité de l'économie – phénomènes éminemment multifactoriels – seraient fondamentalement différentes.

De la même façon que pour l'induction générée par une LGV, définir une désinduction de trafic semble possible sur un axe déterminé, avec un nombre limité d'origines-destinations et pour une augmentation donnée du temps de parcours.

En revanche, dans une approche globale portant sur des centaines de projets sur l'ensemble du réseau, il semble impossible d'estimer la désinduction de trafic et ses conséquences en termes d'émissions de GES. On considère en effet que la fermeture totale du réseau ferré en France aurait, par désinduction, des conséquences *a priori* majeures sur l'activité du pays, telles que l'abandon d'activités économiques fortement dépendantes du train (chimie, carrières, etc., elles-mêmes émettrices de GES), le recul général de l'activité touristique, la relocalisation des ménages recourant quotidiennement au train ou encore la baisse de compétitivité de l'économie par restriction géographique des aires de marché et de l'emploi. Ces évolutions auraient des conséquences significatives sur les émissions de GES du pays, dont il est impossible de déterminer l'ampleur et les liens exacts de causalité.

##### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Étant donné, d'une part, l'objectif d'évaluer l'impact de la pérennisation du réseau ferré sur les émissions de GES et, d'autre part, la complexité des phénomènes de désinduction à grande échelle, SNCF Réseau ne prend pas en compte la désinduction de trafic (et donc l'évolution des émissions indirectes

liées) dans l'estimation des émissions de GES évitées grâce au renouvellement d'infrastructures sur l'ensemble du réseau. On considère donc que chaque voyageur perdu pour le train se reporte vers un autre mode de transport. Il serait en revanche possible d'évaluer l'effet de la désinduction sur un périmètre limité, comme sur un projet isolé de renouvellement dans un environnement géographique simple. Le résultat – *a priori* fortement dépendant du contexte local – ne pourrait toutefois pas être généralisé à l'ensemble du réseau.

##### • Reports d'itinéraire ferroviaire

Comme indiqué page précédente, un voyageur ou un chargeur peut réagir à la dégradation du service ferroviaire sur une ligne non renouvelée par un changement d'itinéraire ferroviaire, quand plusieurs itinéraires sont possibles. Par exemple, les LGV en France sont toutes situées sur des axes également parcourus par des lignes classiques, qui pourraient devenir plus compétitives si le renouvellement des LGV n'était pas assuré. Concrètement, le trafic serait ainsi reporté sur une ligne de substitution, avec certes un rallongement du temps de parcours mais sans subir la suspension du service qui interviendrait au bout d'un certain temps sur la LGV non renouvelée. Le rallongement du temps de parcours ferroviaire serait en quelque sorte plafonné au temps de parcours sur la ligne classique – dans l'hypothèse où les renouvellements y sont réalisés – et les reports modaux ainsi limités.

Ce raisonnement implique de procéder :  
– à un calcul des flux au cas par cas (parfois même par origine-destination) pour les axes ou les origines-destinations bénéficiant de plusieurs lignes, en général sur des itinéraires de long parcours ((axes LGV, axe Saône – Rhône, axe Paris –

Nord, etc.) mais aussi parfois régionaux (Lyon – Savoie, Paris – Montereau, etc.);  
– à la définition de valeurs d'option sur les lignes de substitution, afin que les émissions potentiellement évitées grâce à l'existence de ces lignes puissent être mises au compte de leurs projets de renouvellement, dont la temporalité est différente des projets de renouvellement sur la ligne d'origine des trafics. Ceci suppose des estimations croisées augmentant grandement la complexité des calculs.

##### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Au regard de l'échelle nationale du programme de renouvellement, des nombreuses hypothèses à formuler et de la grande complexité de mise en œuvre, SNCF Réseau considère que les reports d'itinéraire ferroviaire ne peuvent être pris en compte dans le calcul.

##### • Reports modaux

Du fait du rallongement des temps de parcours en train sur les sections de ligne non renouvelées, une partie des trafics voyageurs et fret se reporteraient vers les autres modes de transport, qui seraient entre-temps devenus plus compétitifs que le train. Leur proportion augmenterait à mesure que le temps de parcours en train se rallongerait au fil des années. Deux composantes interviennent dans l'estimation des reports modaux :  
– la répartition des reports entre les différents modes de transport ;  
– le rythme du report modal en fonction du rallongement du temps de parcours des trains.

## Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Concernant la répartition des reports entre les différents modes de transport, SNCF Réseau a fixé les hypothèses suivantes :

TRAFIC FERROVIAIRE EN FRANCE (2016) EN VOYAGEURS-KM OU TONNES-KM		HYPOTHÈSE DE REPORT MODAL
Trains aptes à la grande vitesse (TGV, Eurostar Thalys, etc.)	53,7 Mrd v-km	50 % avion 40 % voiture 10 % autocar national
Trains classiques de longue distance (Intercités)	7,1 Mrd v-km	75 % voiture 20 % autocar national 5 % avion
Trains express régionaux	13,1 Mrd v-km	80 % voiture 10 % autocar national 10 % autocar régional
Transilien	14,4 Mrd v-km	70 % voiture 10 % deux-roues motorisés 10 % métro 10 % bus
Fret	32,6 Mrd t-km	90 % camion 10 % fluvial

Sources : CGDD, expertise interne SNCF Réseau.

Ces hypothèses doivent être lues comme dans l'exemple suivant : « S'il n'y avait plus de transport ferroviaire en France, 50 % des voyageurs des trains aptes à la grande vitesse se reporteraient vers l'avion. » Soulignons le caractère inédit du raisonnement dans lequel ces hypothèses sont formulées. Ces hypothèses sont appliquées pour les cas généraux. Dans le cas d'une section de ligne pouvant présenter des particularités quant à la répartition des reports modaux, des hypothèses plus adaptées peuvent être retenues.

Les hypothèses de répartition ci-dessus reposent sur les éléments suivants :

**TAGV :** la nature du trafic des TAGV (longue distance et vitesses élevées) est assez similaire au trafic aérien : distance moyenne d'un voyage (TGV : 488 km en 2015), flux essentiellement entre Paris et les métropoles de province, principes de tarification comparables, etc. Les deux modes sont d'ailleurs régulièrement comparés, par les voyageurs comme par les études économiques. On considère donc que la moitié du trafic TAGV serait reporté vers l'avion. L'autre moitié du trafic serait essentiellement reportée vers la voiture (covoiturage compris), surtout quand les distances ne dépassent pas 500 km et que l'origine ou la destination ne sont pas une métropole (sinon, une liaison aérienne remporterait le report modal). Enfin, une part marginale est attribuée à l'autocar de longue distance, dont la phase de croissance en France n'est manifestement pas encore achevée. L'autorité de régulation des activités ferroviaires et routières estime que ces autocars ont détourné jusqu'en octobre 2016 environ 1 % des voyageurs du TGV, sans que le service de celui-ci ait connu de modification substantielle.

**Intercités :** les trains Intercités (dans l'état de leur réseau en 2016, qui devrait fortement évoluer dans les années futures) peuvent être répartis en trois catégories à peu près équivalentes en termes de trafic : les lignes radiales de longue distance, les lignes interrégionales, les lignes radiales du bassin parisien. La distance moyenne d'un voyage en train Intercités étant de 237 km en 2015, la voiture (covoiturage compris) semble être le mode de transport devant capter la plupart des trafics, quel que soit le type d'Intercités. L'autocar se développerait sur la base de sa comparabilité avec les Intercités (système organisé pour effectuer des longues distances, avec des horaires, des prix publics, etc.) mais ses temps de parcours supérieurs à la voiture limiteraient probablement sa part relative. Enfin, l'avion capterait une part minoritaire des trafics des deux premières catégories, essentiellement pour les trafics entre métropoles et à fort pouvoir d'achat.

**TER :** la voiture (covoiturage compris) est le principal concurrent des trains régionaux de province, dont les voyageurs effectuent en moyenne 41 km par voyage en 2015. Une part significative mais minoritaire des trafics semble pouvoir être prise par les autocars, qu'ils soient conventionnés ou non avec une AOT. Les services librement organisés (autocars nationaux) capteraient une partie des plus longs voyages en TER et les autocars conventionnés (régionaux) une partie des voyages à distance plus réduite.

**Transilien :** les voyages en trains régionaux d'Ile-de-France (moyenne : 17 km) peuvent se regrouper en trois catégories : 1) Les trajets internes à la zone dense (soit Paris et les communes proches), où métro et tramways combinés aux bus peuvent se substituer essentiellement aux RER (NB : il s'agit là des plus courts trajets réalisés en Transilien); 2) Les trajets entre les zones dense et peu dense, celle-ci ne bénéficiant

pas d'autres transports ferrés que le train ; 3) Les trajets en zone peu dense. Les transports en commun capteraient la grande majorité des déplacements internes à la zone dense, probablement environ la moitié des déplacements entre zones dense et peu dense et très peu des déplacements en zone peu dense. La voiture et les deux-roues motorisés capteraient la différence, si l'on considère que les distances réalisées en Transilien sont généralement trop importantes pour être réalisées en mode non-motorisé.

**Fret:** le transport de marchandises présente peu de modes alternatifs possibles. Le transport routier, qui assure déjà près de 85 % du transport en France, capterait 90 % du trafic ferroviaire, le reste étant reporté vers la voie d'eau, principalement sur les axes de la Seine, du Rhône et dans le Nord.

#### 2.4.2.8. Équivalences de distances parcourues selon le mode utilisé

La quantité d'énergie utilisée (électricité, carburant), et donc les émissions de GES associées à un déplacement, sont directement liées à la distance parcourue. L'étude portant sur une section de ligne sur laquelle circulent des trains dont les parcours sont connus, il est possible d'estimer la distance totale parcourue par un voyageur en train. Pour une même origine et une même destination, la distance parcourue peut varier en fonction du mode de transport. Il est donc nécessaire de formuler des hypothèses d'équivalences kilométriques en fonction du mode utilisé.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Pour une origine-destination donnée, il est possible de connaître exactement les distances selon le mode de transport. En revanche, une section de ligne donnée est souvent parcourue par des voyageurs dont les origines-destinations sont très nombreuses. Par exemple la section Dijon – Lyon peut être parcourue par les voyageurs voyageant de Dijon à Lyon, mais également de Strasbourg à Marseille, de Nancy à Montpellier ou partiellement de Besançon à Nevers. Chaque origine-destination présente des écarts de distance entre modes plus ou moins importants. Étant donné que la répartition de toutes les origines-destinations des voyageurs n'est pas disponible, le calcul de la différence kilométrique entre modes pour chaque section de ligne étudiée n'est pas possible. L'approche retenue par SNCF Réseau consiste donc à raisonner en valeurs moyennes pour l'ensemble des sections de ligne concernées par les projets de renouvellement.

Les distances réelles<sup>7</sup> parcourues par les trains et les véhicules routiers ont donc été comparées sur la base :

- de l'itinéraire ferroviaire de gare à gare des trains directs les plus rapides ;
- de l'itinéraire routier le plus rapide de centre à centre ;

sur un panel d'origines-destinations composé de celles :

- entre Paris et les 100 autres plus grandes agglomérations en France ;
- entre Paris et 30 destinations TGV à l'étranger ;
- entre Lyon et 10 destinations majeures en France et à l'étranger proche.

Dans 90 % des cas, la distance routière se situe dans la fourchette [90 % – 110 %] de la distance ferroviaire, les valeurs

extrêmes étant à – 19 % et + 34 % de la distance ferroviaire. En moyenne (non pondérée selon la population ou le nombre de voyageurs), la distance routière est plus courte de moins de 1 % que la distance ferroviaire. SNCF Réseau a donc retenu une équivalence kilométrique entre les modes ferroviaire et routier. Un kilomètre parcouru initialement par un voyageur en train se traduira dans la situation sans renouvellement par un kilomètre parcouru en voiture, autocar ou camion. En revanche, pour l'étude en particulier de certaines sections de ligne où la différence kilométrique entre les modes ferroviaire et routier est significative, les distances réelles peuvent être prises en compte.

Pour la différence de distance entre les itinéraires ferroviaires et aériens, il est considéré que les distances aériennes sont 10 % plus courtes que les distances ferroviaires correspondant aux trajets directs les plus rapides, du fait que la trajectoire aérienne (y compris les courbes d'approche des aéroports) est plus rectiligne que l'itinéraire par le réseau ferré. SNCF Réseau a choisi de retenir en 2016 une équivalence kilométrique train/avion de 0,9 : un kilomètre parcouru initialement par un voyageur en train se traduira dans la situation sans renouvellement à 0,9 kilomètre parcouru en avion.

#### 2.4.2.9. Facteurs d'émission des modes de transport

Les facteurs d'émission (FE) ici considérés correspondent aux émissions moyennes de GES d'un voyageur ou d'une tonne de marchandise pour parcourir un kilomètre en fonction du mode de transport utilisé. Les valeurs récentes de la plupart des FE par mode sont connues et peuvent dépendre du périmètre géographique étudié. L'estimation des émissions évitées par un projet de renouvellement porte sur

plusieurs décennies : leur volume est amené à évoluer dans le temps, sous l'effet d'un grand nombre de paramètres (amélioration de la performance énergétique des véhicules de transport, augmentation du remplissage des véhicules, évolution des usages ou du contenu en GES de l'électricité, changement de vecteur énergétique, etc.). Des trajectoires d'évolution sont ainsi à définir afin de prendre en compte ces paramètres dynamiques durant la période d'étude.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Plusieurs sources ont été mobilisées concernant les facteurs d'émission :

- Les FE des modes de transport en 2016 sont issus de la Base Carbone de l'ADEME. Ces valeurs incluent les émissions associées à l'amont des combustibles consommés ainsi que les émissions de fabrication des véhicules de transport.
- L'évolution des FE jusqu'en 2050 est donnée, pour les modes de transport terrestre de voyageurs et le fret ferroviaire, par une étude de prospective du CGDD<sup>8</sup>. L'évolution du FE du transport aérien est issue du scénario 4DS de l'Agence internationale de l'énergie<sup>9</sup>, considéré comme le plus réaliste vis-à-vis des émissions du transport aérien<sup>10</sup>. Enfin, l'évolution des modes de transport ferroviaire (hors fret) est basée sur l'évolution du facteur d'émission de l'électricité jusqu'en 2050, selon le scénario tendanciel fixé par RTE<sup>11</sup>.

8. Source : CGDD, *Projections de la demande de transport sur le long terme*, 2016.

9. AIE, *Energy Technology Perspectives 2016*.

10. Une étude de cohérence ad hoc a été réalisée afin d'estimer la trajectoire d'évolution du facteur d'émission de l'aérien. Les valeurs obtenues sont extrêmement proches de celles du scénario 4DS de l'AIE, validant ainsi la pertinence de retenir ce scénario.

11. Il s'agit du scénario A de RTE, « fondé sur un contexte économique peu porteur, sur l'évolution tendancielle des capacités de production et des interconnexions et sur un maintien de la part actuelle du nucléaire dans le mix de production ».

7. La distance réelle est à distinguer de la distance tarifaire, qui a notamment cours pour les TGV.

## FACTEURS D'ÉMISSION DES MODES DE TRANSPORT (GCO<sub>2</sub>EQ PAR VOYAGEUR-KM OU TONNE-KM)

MODE DE TRANSPORT		2016	TCAM 2016-2030	2030	TCAM 2030-2050	2050
Train de voyageurs	TAGV	3,6	-0,6 %	3,4	-0,6 %	3,0
	Intercités	5,5	-0,6 %	5,1	-0,6 %	4,5
	TER électrique	8,8	-0,6 %	8,1	-0,6 %	7,2
	Transilien	5,6	-0,6 %	5,2	-0,6 %	4,6
Voiture	Parcours interurbain	137	-2,7 %	87,5	-2,1 %	46,3
	Parcours en IdF	230	-2,7 %	147,4	-2,1 %	78,0
Deux-roues urbain		223	-2,7 %	151,8	-2,1 %	87,7
Avion	Vol intérieur	275	-1,7 %	214,9	-1,7 %	151,2
Autocar	Longue distance	59	-1,6 %	30,0	-1,6 %	21,8
	Autocar régional	154	-1,6 %	123,1	-1,6 %	89,4
Métro et tramways en IdF		5,7	-0,6 %	5,2	-0,6 %	4,6
Bus RATP en IdF		154	-1,6 %	123,1	-1,6 %	89,4
Train de marchandises		4,3	-0,6 %	3,9	-0,6 %	3,5
Camion	Poids lourds de 40 t	105	-0,7 %	83,9	-0,5 %	61,0
Transport fluvial		67	-1,2 %	55,9	-0,7 %	43,6

Sources : cf. paragraphes précédents.

NB : le FE des deux-roues urbains, bien que contre-intuitif, a été vérifié.

### 2.4.3. ALLOCATION DES ÉMISSIONS ÉVITÉES AU FINANCEMENT ISSU DES GREEN BONDS

Le principe et la nécessité d'allocation des émissions évitées est introduit dans la section 2.4.1.2. Cette allocation permet de s'affranchir de doubles comptes d'une part, et d'estimer la contribution du projet au maintien des circulations ferroviaires d'autre part.

Les règles d'allocation appliquées rendent compte de trois constats :

- une opération de renouvellement ne porte en général que sur un seul équipement de l'infrastructure (voie, IFTE, signalisation, OA/OT), chacun étant nécessaire au maintien des circulations existantes sur la section de ligne (sauf les IFTE pour les trains à traction diesel, mais ce point est considéré comme négligeable);
- chaque opération de renouvellement porte sur une section de ligne déterminée, plus ou moins longue que la section de calcul des trafics;
- les Green Bonds ne financent pas l'intégralité du programme de renouvellement, mais une partie seulement. Trois règles successives d'allocation des émissions évitées doivent donc être définies.

### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

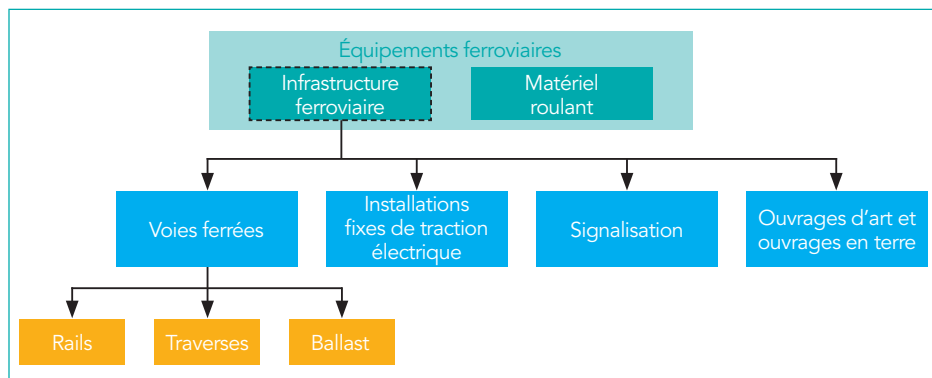
#### 1. Allocation par type d'équipement renouvelé

Les investissements portés par le gestionnaire d'infrastructure sur le réseau existant (voies, IFTE, signalisation, ouvrages d'art ou en terre) et par les entreprises ferroviaires (matériel roulant) sont tous indispensables au transport des voyageurs et des marchandises.

Les dépenses d'investissement s'y rapportant sont cependant très inégales; leur attribuer des parts égales d'émissions de GES évitées ne refléterait donc pas l'effort financier à fournir pour renouveler l'actif concerné. **Les émissions évitées grâce au renouvellement sont donc contingentées par équipement selon leur coût relatif dans l'ensemble des investissements récurrents du système ferroviaire.** Soulignons que les dépenses de fonctionnement (exploitation et entretien) ne sont pas prises en compte dans le périmètre du calcul, dans la mesure où il est couramment exclu de les financer par l'emprunt (elles sont plutôt couvertes par des recettes directes d'exploitation).

Le contingentement en fonction du coût d'investissement des équipements permet par ailleurs de ne pas dévier l'investissement dans les équipements qui apparaîtraient artificiellement plus efficaces en carbone, l'ensemble des équipements étant en réalité un tout indivisible. Par cette méthode d'allocation, investir 1 M€ dans un renouvellement de voie génère donc le même volume d'émissions évitées qu'investir 1 M€ dans un renouvellement de signalisation, d'IFTE ou de matériel roulant.

La règle d'allocation entre équipements est déterminée à différents niveaux, selon la hiérarchie suivante :



La part des émissions évitées attribuée à chaque équipement du système ferroviaire a été déterminée par différentes méthodes selon le périmètre considéré.

– **Périmètre vert**: selon les immobilisations corporelles (hors projets de LGV) comptabilisées dans les rapports financiers de SNCF Réseau et SNCF Mobilités de 2009 à 2016.

– **Périmètre bleu**: selon les dépenses de renouvellement prévues par SNCF Réseau de 2017 à 2030.

– **Périmètre orange**: selon les valeurs de GOPEQ<sup>12</sup> des opérations de renouvellement d'un seul composant (renouvellement de rails, renouvellement de traverses, renouvellement de ballast). Le calcul des parts d'émissions évitées attribuées à chacun des équipements est donc basé sur leur coût respectif d'investissement.

Il en ressort la répartition suivante :

Rails 15%	IFTE 9%
Traverses 15%	Signalisation 18%
Ballast 15%	OA et OT 8%
	Matériel roulant 20%

Cette répartition du coût d'investissement récurrent est donc appliquée pour établir celle des émissions évitées.

Exemple: le renouvellement des rails représente 15 % des investissements de renouvellement du système ferroviaire. Les émissions totales évitées grâce aux investissements de renouvellement (infrastructure et matériel roulant) sur une section de ligne donnée sont donc affectées pour 15 % à ce type d'opération.

12. Le GOPEQ (« grande-opération équivalent ») est une unité d'œuvre créée et utilisée par SNCF Réseau afin de pondérer des opérations de renouvellement de consistance inégale en fonction du coût moyen de chaque type de renouvellement. Par exemple, le renouvellement d'un km de ballast vaut 0,55, celui d'un km de traverses 0,58 et celui d'un km d'une double file de rails 0,35. Les rails étant renouvelés plus souvent que les traverses et le ballast, on considère que le GOPEQ des rails est équivalent aux deux autres composants sur la durée de vie moyenne d'une voie. Une part égale des émissions évitées est donc attribuée au renouvellement de chacun des trois composants de la voie.

## 2. Allocation à une section renouvelée

Les bornes de la section de ligne sur laquelle sont calculés le trafic et les émissions évitées correspondent rarement à celles de la section faisant l'objet de l'opération de renouvellement. On attribue donc à l'opération des émissions évitées au prorata de la longueur renouvelée au sein de la section de mesure du trafic.

Exemple: si une opération consiste à renouveler les rails sur 20 km de voie au sein d'une section de ligne à voie unique longue de 100 km, alors 20 % des émissions évitées grâce au renouvellement de l'intégralité des rails sur cette section sont attribuées à cette opération (soit 20 % des 15 % = 3% des émissions totales évitées sur les 100 km de ligne grâce aux investissements de renouvellement du système ferroviaire).

## 3. Allocation à la source de financement

Les Green Bonds ne pourvoient pas seuls au financement des investissements de renouvellement de SNCF Réseau. Une partie seulement de ces investissements est affectée au périmètre des Green Bonds. La part des investissements de renouvellement de SNCF Réseau financée par les Green Bonds est donc appliquée au résultat issu du calcul à l'étape précédente.

Exemple: si les Green Bonds financent globalement 40 % du renouvellement de rails, alors les émissions évitées attribuées aux Green Bonds sur l'opération prise en exemple ci-dessus correspondent à 40 % des émissions évitées attribuées à cette opération (soit 40 % des 20 % des 15 % = 1,2 % des émissions totales évitées sur les 100 km de ligne).

## SYNTHÈSE ILLUSTRATIVE DES ALLOCATIONS SUCCESSIVES EFFECTUÉES POUR UN PROJET

Quantité à répartir : renouvellement complet d'une section de ligne de 100km : **3 MtCO<sub>2</sub>e évitées**

Allocation en fonction du type d'élément renouvelé

Renouvellement complet des rails 100km : **450 ktCO<sub>2</sub>e évitées** (3 MtCO<sub>2</sub>e x 15%)

Allocation à la section renouvelée

Renouvellement des rails sur 20 km de la section : **90 ktCO<sub>2</sub>e évitées** (450 MtCO<sub>2</sub>e x 20%)

Allocation d'une part financée par le Green Bond

Part des émissions évitées allouée au Green Bond : **36 ktCO<sub>2</sub>e évitées** (40% du financement issu du Green Bond)

#### 2.4.4. EXTRAPOLATION À L'ENSEMBLE DES PROJETS

Il a été jusqu'ici présenté la méthode de calcul des émissions évitées pour une seule opération de renouvellement. SNCF Réseau entreprend chaque année plus de mille de ces opérations, dont il ne serait pas possible de calculer distinctement les émissions évitées. La constitution d'un panel d'opérations représentatives s'impose donc, afin de calculer une valeur de référence qui sera ensuite extrapolée à l'ensemble du portefeuille de projets éligibles. L'unité d'œuvre retenue est le montant investi, seule unité commune à tous types de projets.

Soulignons que la méthode employée permet d'appliquer ce ratio à toute opération de renouvellement d'équipement ferroviaire (voies, IFTE, signalisation, OA/OT, matériel roulant). Le panel des opérations représentatives sera progressivement élargi à différents types d'opérations.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Le panel d'opérations représentatives se compose des opérations de renouvellement les plus importantes par la dépense d'investissement au cours de l'année considérée. Les opérations concernant la voie occupent les premières places de ce classement, avec l'avantage d'être géographiquement bien identifiées. En revanche, celles de renouvellement d'IFTE et de signalisation sont caractérisées par des montants plus faibles, une plus grande dispersion et un bornage géographique plus difficile voire impossible. Le panel des sections de ligne sélectionnées pour le calcul de la valeur d'extrapolation des émissions évitées sera donc composé uniquement de sections portant les principales

opérations de renouvellement de voie. Soulignons que ce choix, basé sur le renouvellement de voie, n'interfère pas significativement sur la qualité d'évaluation des émissions évitées par le renouvellement d'IFTE ou de signalisation. Il oriente seulement le choix des sections de ligne – et donc principalement les quantités de trafic – qui constitueront la base du calcul des émissions évitées.

Le panel d'opérations représentatives se compose, par ordre décroissant de dépenses en 2016 :  
- des 7 premières opérations sur lignes classiques UIC 1 à 4, toutes réalisées en suite rapide (total : 397 M€);  
- des 3 premières opérations sur LGV (total : 74 M€).

**Ce panel représentatif totalise 471 M€, soit 35 % des investissements de renouvellement de l'infrastructure en 2016** (et 51 % des investissements de renouvellement de voie sur UIC 1 à 4 et LGV). Le tableau suivant en détaille la composition.

Les calculs sur ce panel d'opérations représentatives ont permis d'établir une moyenne des émissions évitées à 108 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> évitées par an par million d'euros investis. Cette valeur est notamment le résultat des pondérations opérées par les trois règles d'allocation des émissions évitées (cf. 2.4.3). La pondération par type d'équipement renouvelé étant établie en fonction du coût relatif de renouvellement des équipements, la moyenne de 108 tCO<sub>2</sub>eq/M€ peut être transposée aux autres types d'équipements renouvelés. Cette moyenne est ainsi appliquée à l'ensemble des autres opérations de renouvellement sur la base des montants investis et pour leur durée de vie moyenne respective.

### COMPOSITION DU PANEL D'OPÉRATIONS REPRÉSENTATIVES DU PROGRAMME DE RENOUELEMENT

TYPE DE LIGNE	AXE	SECTION DE LIGNE	INSTALLATION RENOUVELÉE	LONGUEUR DE VOIE RENOUVELÉE (GOPEQ)	DÉPENSES 2016 (M€)	TCO <sub>2</sub> EQ ÉVITÉES PAR M€ INVESTI	TCO <sub>2</sub> EQ ÉVITÉES PAR AN PAR M€ INVESTI
UIC 1-4	Montpellier – Narbonne	Montpellier – Narbonne	Voie	91	116	4 946	124
UIC 1-4	Chambéry – Turin	Chambéry – Les Chavannes - Saint-Rémy	Voie	42	63	2 373	59
UIC 1-4	Orléans – Tours	La Chapelle-Saint-Mesmin – Mer	Voie	56	55	1 653	41
UIC 1-4	Charleville-Mézières – Nancy	Longuyon – Onville	Voie	43	47	826	21
UIC 1-4	Metz / Nancy – Strasbourg	Stambach – Strasbourg – Erstein	Voie	38	43	6 823	171
UIC 1-4	Paris – Dijon	Sens – Laroche-Migennes	Voie	53	38	1 311	33
UIC 1-4	Marseille – Nice	Anthéor-Cap-Roux – Golfe-Juan Vallauris	Voie	16	35	2 903	73
LGV	Paris – Lyon (LN 1)	Ecuisses – Vaux-en-Pré	Ballast	32	26	10 607	265
LGV	Paris – Le Mans / Tours (LN 2)	Saint-Martin-de-Bréthencourt – Boisville-la-Saint-Père	Ballast	24	24	8 861	222
LGV	Paris – Lille (LN 3)	Conchy-les-Pots – Ablaincourt-Pressoir	Ballast	23	24	9 938	248
<b>Totaux</b>				<b>418</b>	<b>471</b>	<b>4 304</b>	<b>108</b>

NB : calculs basés sur les trafics 2014.

Arrondi à 417 mais selon calculs de la colonne : 418

## 2.5. IMPACT CARBONE DES PROJETS DE RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURE

L'impact carbone des projets est obtenu en rapprochant:

- les émissions de la réalisation des projets (empreinte carbone);
- les émissions évitées de la phase d'usage des projets.

Le tableau suivant en synthétise le calcul.

Aux 252500 tCO<sub>2</sub>eq de l'empreinte carbone affectée aux dépenses de renouvellement financées par les Green Bonds 2016 sont soustraites 2980200 tCO<sub>2</sub>eq sur la phase d'usage des infrastructures renouvelées.

**Les Green Bonds ont ainsi financé des dépenses de renouvellement permettant la réduction de 2,7 MtCO<sub>2</sub>eq du système de transport sur une durée moyenne de 40 ans.**

Les émissions de la réalisation des projets afférents **sont compensées après 3,3 ans d'exploitation** des infrastructures correspondantes (dont la durée de vie est d'environ 40 ans).

## IMPACT CARBONE DES DÉPENSES DE RENOUVELLEMENT FINANCÉES PAR LES GREEN BONDS

		VOIES	APPAREILS DE VOIE	IFTE	SIGNA-LISATION	TOTAL
Dépenses financées par les Green Bonds 2016 (M€)	A	484	106	20	100	710
<b>EMPREINTE CARBONE (MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
Des opérations de renouvellement par M€ investi (cf. 2.3.5)	B	361	361	86	380	-
affectée aux dépenses financées par les Green Bonds	C=A*B	174,5	38,2	1,7	38,0	252,5
<b>ÉMISSIONS ÉVITÉES (MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
par an par M€ investi (cf. 2.4.4)	D			0,108		
par an affectées aux dépenses financées par les Green Bonds	E=A*D	52,1	11,4	2,2	10,8	76,4
par M€ investi sur la durée de vie des installations	F	4,3	4,3	4,6	3,5	-
affectées aux dépenses financées par les Green Bonds	G=A*F	2 082,9	456,2	91,5	349,7	2 980,2
<b>IMPACT CARBONE (EMPREINTE - ÉMISSIONS ÉVITÉES) (MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
affecté aux dépenses financées par les Green Bonds	H=C-G	-1 908,4	-418,0	-89,7	-311,7	-2 727,8
Temps de neutralité carbone*	I	3,4 ans	3,4 ans	0,8 an	3,5 ans	3,3 ans

\* NB : le temps de neutralité carbone est calculé en moyenne sur l'ensemble de la durée d'amortissement.

Pas de demande d'arrondis

# 03 ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

## 3.1. PRÉAMBULE

### 3.1.1. SYNTHÈSE DES FINANCEMENTS DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE POUR L'ANNÉE 2016

En 2016, les projets de ligne nouvelle représentent 175 M€ d'investissement pour SNCF Réseau, soit 12 % des dépenses relevant du périmètre thématique des Green Bonds. Le tableau ci-contre présente la répartition de ces dépenses par projet :

En 2016, l'ensemble des dépenses de SNCF Réseau pour les projets de ligne nouvelle (175 M€) ont été financées par les Green Bonds, représentant ainsi 20 % des fonds levés (885 M€).

### INVESTISSEMENT PAR PROJET DE LIGNE NOUVELLE EN 2016 AFFECTÉ AU PÉRIMÈTRE DU GREEN BOND

INVESTISSEMENTS EN M€	PÉRIMÈTRE GREEN BONDS	
	AU 31/12/2016	RÉPARTITION
<b>Nouvelles lignes et extensions de lignes</b>	<b>175</b>	<b>12 %</b>
Est 2	14	8 %
SEA	73	42 %
BPL	53	30 %
CNM	36	20 %

### ALLOCATION AUX GREEN BONDS DU FINANCEMENT DES DÉPENSES AU TITRE DES LIGNES NOUVELLES

INVESTISSEMENTS EN M€	ALLOCATIONS GREEN BONDS 2016	
	ALLOCATION	RÉPARTITION
<b>Nouvelles lignes et extensions de lignes</b>	<b>175</b>	<b>20 %</b>
Est 2	14	
SEA	73	
BPL	53	
CNM	36	

## 3.2. PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

Les projets de ligne nouvelle sont en nombre très limité – à la différence des projets de renouvellement – et peuvent donc être traités individuellement. Les concepts d'empreinte carbone, d'émissions évitées et d'impact carbone pour les projets de ligne nouvelle sont similaires à ceux pour des projets de renouvellement.

Les études menées pour les projets de ligne nouvelle fournissent généralement des éléments circonstanciés sur l'impact de ces lignes en termes d'émissions de GES. Elles sont la meilleure source possible pour apprécier l'empreinte carbone, les émissions évitées et l'impact carbone des projets. Il ne paraît donc pas nécessaire de recourir à des méthodes d'extrapolation pour calculer ces valeurs. Les pages suivantes présentent donc simplement les étapes de calcul d'empreinte carbone et d'émissions évitées intervenant pour chaque projet de ligne nouvelle.

## 3.3. EMPREINTE CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

### 3.3.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Comme pour le renouvellement d'infrastructure, évaluer l'empreinte carbone d'un projet de ligne nouvelle consiste à appliquer une méthode d'analyse carbone existante, comme celle du Bilan Carbone® ou du GHG Protocol.

### 3.3.2. EMPREINTE CARBONE D'UNE LIGNE NOUVELLE

Le périmètre d'évaluation de l'empreinte carbone d'un projet de ligne nouvelle est identique à celui d'un projet de renouvellement et couvre toutes les émissions directes et indirectes, en amont et en aval, des travaux réalisés. Les principaux postes d'émissions sont désignés dans la section dédiée à l'empreinte carbone d'un renouvellement (cf. 2.3.3) et sont alignés avec les principes méthodologiques du GHG Protocol.

Le périmètre ne couvre pas les futures émissions de GES de l'exploitation de l'infrastructure (consistant essentiellement à réguler la circulation des trains sur la ligne mise en service), ni celles de son entretien courant. Ceci est identique pour les autres modes de transport : les émissions de GES pour l'exploitation et l'entretien des infrastructures ne sont pas comprises dans les facteurs d'émission des modes de transport concurrents du train. Ce point pourrait toutefois évoluer à moyen terme.



### 3.3.3. ALLOCATION D'UNE PART DE L'EMPREINTE AU FINANCEMENT ISSU DES GREEN BONDS

Les Green Bonds ne pouvoient pas seuls au financement des projets de ligne nouvelle de SNCF Réseau; une partie seulement de ces investissements est affectée au périmètre des Green Bonds. Il est par conséquent nécessaire d'appliquer une règle d'allocation pour éviter les doubles comptes d'empreinte carbone, afin d'estimer la contribution des Green Bonds au développement des lignes nouvelles.

### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

#### 1. Estimation de l'empreinte carbone des lignes nouvelles financées par les Green Bonds 2016

L'empreinte carbone des quatre projets de ligne nouvelle est issue des Bilans Carbone® réalisés pour chacun d'eux par leurs maîtres d'ouvrage respectifs (SNCF Réseau pour Est 2, Eiffage Rail Express pour BPL, LISEA pour SEA, Oc'via pour CNM). Le tableau suivant synthétise les résultats.

## RÉSULTAT DES BILANS CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

PROJET	LONGUEUR (lignes, raccordements)	COÛT (M€)			ÉMISSIONS DE GES (BILAN CARBONE®)			
		Total	dont financé par SNCF Réseau	dont financé par les Green Bonds 2016	milliers de tCO <sub>2</sub> eq	milliers de tCO <sub>2</sub> eq par km	tCO <sub>2</sub> eq par M€ investi	milliers de tCO <sub>2</sub> eq allouées aux Green Bonds 2016
	A	B	C	D	E	F=E/A	G=E/B	H=D*G
Est 2	L : 107 km R : 9 km	2 191	580	14	1 049	9	479	7
BPL	L : 182 km R : 32 km	3 380	1 435	53	1 350	6	400	20
SEA	L : 302 km R : 38 km	7 546	2 098	73	1 671	5	221	16
CNM	L : 60 km R : 20 km	2 291	465	36	621	8	271	10
<b>Total</b>	<b>L : 651 km R : 99 km</b>	<b>15 408</b>	<b>4 578</b>	<b>176</b>	<b>4 691</b>	<b>6</b>	<b>304</b>	<b>54</b>

Sources : Bilans Carbone® des projets établis par les maîtres d'ouvrage sur leurs périmètres respectifs.  
 - Est 2 : tableau de calcul établi par EcoAct pour SNCF Réseau (2017).  
 - BPL : BC final établi par ERE (2017) et échanges complémentaires.  
 - SEA : BC établi par LISEA (2017) sur le périmètre de la concession (hors raccordements) : 1,485 MtCO<sub>2</sub>eq. Hypothèse que le bilan carbone par km des raccordements est égal à celui de la ligne.  
 - CNM : BC établi par Oc'via (2017).

Les Bilans Carbone® établis par les maîtres d'ouvrage couvrent le périmètre des lignes nouvelles, hors travaux d'adaptation du réseau existant – dont l'impact est largement moindre voire négligeable vis-à-vis de l'intervalle de confiance pour ce type d'évaluation. En outre, pour SEA, le Bilan Carbone® a été établi sur le périmètre de la concession de LISEA (la ligne proprement dite). Le périmètre de SNCF Réseau (raccordements) n'ayant pas fait l'objet d'un bilan carbone spécifique, il est retenu l'hypothèse d'une intensité carbone au km de ligne équivalente à celle du périmètre de LISEA (4900 tCO<sub>2</sub>eq par km), soit un total de 186000 tCO<sub>2</sub>eq sur le périmètre de SNCF Réseau.

#### 2. Allocation au financement issu des Green Bonds

Pour chaque projet, une allocation financière a été réalisée afin de calculer l'empreinte carbone affectée au financement issu des Green Bonds.

Exemple : si les Green Bonds financent 10 % d'une ligne nouvelle, 10 % de l'empreinte carbone du projet sera affectée aux Green Bonds.

## 3.4. ÉMISSIONS ÉVITÉES PAR LES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

### 3.4.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

#### 3.4.1.1. Situation avec projet et situation de référence

Lorsqu'une ligne nouvelle est mise en service, elle est utilisée par :

- des voyageurs issus des services ferroviaires reportés sur la ligne nouvelle;
- des voyageurs issus d'autres modes de transport (report modal vers le train);
- des voyageurs qui ne se seraient pas déplacés sans l'existence de ce nouveau service (induction de trafic).

Le train étant un mode de transport moins émetteur de GES que les modes concurrents, la mise en service d'une ligne nouvelle permet *a priori* de réduire les émissions globales du système de transport. Le calcul des émissions évitées consiste à comparer l'empreinte carbone des déplacements des voyageurs et des marchandises dans deux situations :

- Situation de référence : le projet étudié n'est pas réalisé et la situation initiale perdure.
- Situation avec projet : la mise en service de la ligne nouvelle génère un report modal ainsi qu'une induction de trafic en faveur du mode ferré.

#### 3.4.1.2. Éviter les doubles comptes : mise en place d'une règle d'allocation

Les Green Bonds ne pouvoient pas seuls au financement des projets de ligne nouvelle de SNCF Réseau; une partie seulement de ces investissements est affectée au périmètre des Green Bonds. Il convient donc d'attribuer aux Green Bonds une part des émissions évitées à hauteur de leur contribution dans le financement du projet.

### 3.4.1.3. Estimation des émissions évitées par une ligne nouvelle : une approche en deux étapes

La méthode de calcul permettant d'estimer les émissions évitées par un projet de ligne nouvelle se divise en deux étapes :

1. calcul des émissions évitées par le projet de ligne nouvelle ;
2. allocation d'une part de ces émissions au financement issu des Green Bonds.

### 3.4.2. MÉTHODE DE CALCUL POUR UNE LIGNE NOUVELLE

#### 3.4.2.1. Processus général de calcul des émissions évitées par une ligne nouvelle

La méthode de calcul des émissions évitées par la mise en service d'une ligne nouvelle est construite de la façon suivante :

#### A. Calcul des émissions induites dans la situation de référence (sans projet)

1. estimation par mode de transport des trafics voyageurs et marchandises circulant sur l'axe impacté par le projet de ligne nouvelle ;
2. application d'hypothèses d'évolution de ce trafic sur une longue durée ;
3. application de facteurs d'émission aux différents trafics, intégrant des hypothèses d'évolution sur la période d'analyse (ex. : gCO<sub>2</sub>/km des véhicules particuliers).

#### B. Calcul des émissions induites dans la situation avec projet (émissions d'usage)

1. estimation des trafics circulant sur la ligne nouvelle mise en service et de leur provenance (train, reports modaux, induction de trafic) ;
2. application d'hypothèses d'évolution de ce trafic sur une longue durée ;
3. application de facteurs d'émission aux différents trafics, intégrant des hypothèses d'évolution sur la période d'analyse (ex. : gCO<sub>2</sub>/kWh du mix électrique français). La différence d'émissions induites entre

les deux situations permet d'estimer le volume d'émissions évitées lors de l'usage de la ligne nouvelle.

#### 3.4.2.2. Périmètre temporel de l'étude

La durée de la période d'étude des émissions évitées doit permettre de prendre en compte l'effet de la ligne nouvelle jusqu'à la date de renouvellement de ses équipements ferroviaires.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

La période d'étude retenue est de 40 ans, correspondant à la durée de vie des équipements ferroviaires.

#### 3.4.2.3. Évolution du trafic

Les émissions évitées par un projet de ligne nouvelle se répartissent sur plusieurs décennies. Au cours de cette période étendue, des évolutions démographiques, économiques, sociales et sociétales (entre autres) sont à considérer. Comme pour l'analyse des émissions évitées par un chantier de renouvellement, il convient donc de formuler des hypothèses portant sur l'évolution du trafic.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Les études des projets estiment les trafics et leur croissance selon les référentiels socio-économiques en vigueur au moment de leur réalisation.

#### 3.4.2.4. Reports modaux et induction de trafic

Les reports modaux et l'induction de trafic suite à la mise en service de la ligne nouvelle doivent être quantifiés afin de calculer les émissions de GES évitées.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

SNCF Réseau s'est appuyé sur les études socio-économiques réalisées dans le

cadre de chaque projet de ligne nouvelle, certaines internes et d'autres dont les principaux résultats sont publiés lors des enquêtes publiques des projets.

### 3.4.3. ALLOCATION AU FINANCEMENT ISSU DES GREEN BONDS

Les Green Bonds ne pourvoient pas seuls au financement des projets de ligne nouvelle de SNCF Réseau ; une partie seulement de ces investissements est affectée au périmètre des Green Bonds. Une allocation est nécessaire afin de leur attribuer les émissions évitées correspondant à leur part dans le financement du projet.

#### Application au Green Bond 2016 de SNCF Réseau

Pour chaque projet, une allocation financière a été réalisée : la règle utilisée est identique à celle appliquée dans le cadre du calcul de l'empreinte carbone des financements de lignes nouvelles (cf. 3.3.3).

Exemple : si les Green Bonds financent 10 % d'une ligne nouvelle, 10 % des émissions évitées seront affectées aux dépenses financées par les Green Bonds.

Le tableau ci-après indique les émissions de GES évitées grâce aux quatre projets de ligne nouvelle et la part de ces émissions affectées aux Green Bonds.

## ÉMISSIONS DE GES ÉVITÉES GRÂCE AUX PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

PROJET	LONGUEUR (lignes, raccor-dements)	COÛT (M€)			ÉMISSIONS DE GES ÉVITÉES		
		Total	dont financé par SNCF Réseau	dont financé par les Green Bonds 2016	milliers de tCO <sub>2</sub> eq	tCO <sub>2</sub> eq par M€ investi	milliers de tCO <sub>2</sub> eq allouées aux Green Bonds 2016
	A	B	C	D	E	F=E/B	G=D*F
Est 2	L : 107 km R : 9 km	2 191	580	14	794	362	5
BPL	L : 182 km R : 32 km	3 380	1 435	53	2 285	676	36
SEA	L : 302 km R : 38 km	7 546	2 098	73	10 173	1 348	99
CNM	L : 60 km R : 20 km	2 291	465	36	6 682	2 917	105
<b>Total</b>	<b>L : 651 km R : 99 km</b>	<b>15 408</b>	<b>4 578</b>	<b>176</b>	<b>19 935</b>	<b>1 294</b>	<b>244</b>

### 3.5. IMPACT CARBONE DES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

L'impact carbone des projets est obtenu en rapprochant:

- les émissions de la réalisation des projets (empreinte carbone calculée par les bilans carbone des projets);
- les émissions évitées de la phase d'usage des projets.

Le tableau suivant en synthétise le calcul.

Aux 53 500 tCO<sub>2</sub>eq de l'empreinte carbone affectée aux dépenses de ligne nouvelle financées par les Green Bonds 2016 sont soustraites 243 700 tCO<sub>2</sub>eq sur les 40 premières années de la phase d'usage des infrastructures construites. **Les Green Bonds ont ainsi financé des dépenses de développement permettant la réduction de 190 300 tCO<sub>2</sub>eq du système de transport sur 40 ans.**

Notons la contribution légèrement négative à ce bilan de la deuxième phase du projet de LGV Est (116 km), du fait que la grande majorité du report modal – et des émissions évitées associées – est intervenue suite à la mise en service de la première phase du projet (300 km) en 2007.

Les émissions dues à la réalisation des quatre projets de ligne nouvelle sont compensées après 7,4 ans d'exploitation des infrastructures correspondantes.

### IMPACT CARBONE DES DÉPENSES FINANÇÉES PAR LES GREEN BONDS POUR LES PROJETS DE LIGNE NOUVELLE

		EST 2	BPL	SEA	CNM	TOTAL
Coût total des projets (M€)	A	2 191	3 380	7 546	2 291	15 408
Dépenses financées par les Green Bonds 2016 (M€)	B	14	53	73	36	175
<b>EMPREINTE CARBONE (MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
Empreinte totale des projets (cf. tableau p.48)	C	1 049	1 350	1 671	621	4 691
affectée aux dépenses financées par les Green Bonds	D= C*(B/A)	7	21	16	10	54
<b>ÉMISSIONS ÉVITÉES (MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
Total des projets sur 40 ans (cf. tableau p. 51)	E	794	2 285	10 173	6 682	19 935
Affectées aux dépenses financées par les Green Bonds	F= E*(B/A)	5	36	98	105	244
<b>IMPACT CARBONE (EMPREINTE – ÉMISSIONS ÉVITÉES ; EN MILLIERS DE TCO<sub>2</sub>EQ)</b>						
Affecté aux dépenses financées par les Green Bonds	G=D-F	2	-15	-82	-95	-190
Temps de neutralité carbone*	H	70,4 ans	20 ans	5 ans	2,9 ans	7,4 ans

\* NB : le temps de neutralité carbone est calculé au réel, dans l'ordre chronologique de l'impact carbone, qui est croissant au fil du temps.

# ÉVALUATION DE L'IMPACT CARBONE DES GREEN BONDS

L'impact carbone total affecté aux dépenses financées par les Green Bonds 2016 est obtenu en additionnant :  
– l'impact carbone affecté aux dépenses financées par les Green Bonds pour les

projets de renouvellement (cf. partie 2);  
– l'impact carbone affecté aux dépenses financées par les Green Bonds pour les projets de ligne nouvelle (cf. partie 3).

## IMPACT CARBONE TOTAL DES DÉPENSES FINANCIÉES PAR LES GREEN BONDS

IMPACT CARBONE AFFECTÉ AUX DÉPENSES FINANCIÉES PAR LES GREEN BONDS	
Projets de renouvellement	-2 727 800 tCO <sub>2</sub> eq
Projets de ligne nouvelle	-1 90 200 tCO <sub>2</sub> eq
<b>Total</b>	<b>-2 918 000 tCO<sub>2</sub>eq</b>
TEMPS DE NEUTRALITÉ CARBONE	
Projets de renouvellement	3,3 ans
Projets de ligne nouvelle	7,4 ans

**Au total, les dépenses financées par les Green Bonds 2016 permettent de réduire les émissions de GES du système de transport de 2,9 millions de tonnes CO<sub>2</sub> équivalent.**

À titre de comparaison, l'empreinte carbone par habitant en France (émissions de GES en France et des importations) est estimée à 11,9 tCO<sub>2</sub>eq en 2015<sup>13</sup>. L'impact carbone des Green Bonds est donc **comparable à l'empreinte carbone d'environ 6 000 Français sur 40 ans.**

13. Source : [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits\\_editoriaux/Publications/Documents\\_de\\_travail/2016/document-travail-27-empreinte-carbone-novembre-2016.pdf](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Documents_de_travail/2016/document-travail-27-empreinte-carbone-novembre-2016.pdf)



Conditions générales d'utilisation. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, de ce document, faite sans l'autorisation de SNCF Réseau ou de Carbone 4, est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste ou à des analyses et courtes citations.

Conception et réalisation : **ici Barbès**