

1^{er} Bilan Carbone® ferroviaire

ADEME

Direction régionale Franche-Comté
25, rue Gambetta
BP 26367
25018 Besançon cedex 6
Tél. 03 81 25 50 00
Fax 03 81 81 87 90
ademe.franche-comte@ademe.fr

RFF

Direction d'opérations de la LGV Rhin-Rhône branche Est
3, allée de l'Île aux Moineaux
25042 Besançon cedex
Tél. 03 81 21 37 00
Fax 03 81 21 37 39
contact@lgrhinrhone.com

SNCF

Direction TGV Rhin-Rhône
29 bis, rue de l'Arquebuse
21000 Dijon
Tél. 03 80 40 53 59
Fax 03 80 40 53 61
tgvrhinrhone@sncf.fr

Études réalisées par Objectif Carbone, Altern Consult et Inexia



1^{er} Bilan Carbone® ferroviaire global

La Ligne à Grande Vitesse Rhin-Rhône au service d'une Europe durable

évaluer
agir
changer

PRÉAMBULE

La France s'est fixé pour objectif de réduire de près de 22 % ses émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2020 à travers un ensemble de mesures issues du Grenelle de l'environnement, dont la création de la taxe Carbone.

Dans le domaine des transports, qui représente 27 % des émissions de GES, la diminution attendue entre 2005 et 2020 est de 11 %, notamment grâce au report modal permis par la construction de 2000 km de lignes ferroviaires à grande vitesse ou encore au développement des transports collectifs urbains en site propre. En tant qu'acteurs majeurs du secteur ferroviaire, Réseau Ferré de France et la SNCF ont souhaité accompagner cet engagement de l'État en lançant avec l'ADEME une démarche de Bilan Carbone® permettant de préciser l'apport des nouvelles Lignes à Grande Vitesse (LGV) en faveur de la lutte contre les GES. En effet, au-delà de 2020, c'est un programme de mesures sans doute encore plus ambitieux qui devra être préparé pour atteindre les objectifs français et européens fixés à l'horizon 2050, c'est-à-dire une division par 4 des émissions de GES par rapport à 1990.

La branche Est de la LGV Rhin-Rhône, en construction depuis 2006, et dont la mise en service est prévue en décembre 2011, constitue à cet effet un cas d'étude particulièrement pertinent dans la mesure où les données relatives aux différentes sources d'émissions de GES ont pu être récoltées pour établir son Bilan Carbone®.

Le périmètre défini porte en effet sur la phase passée de conception du projet, sur sa phase actuelle de réalisation et sur la phase prochaine d'exploitation/maintenance. Ainsi, c'est un bilan global du projet qui a pu être réalisé sur des cycles de vie variant de 30 à 100 ans.

La démarche se fait en 3 temps. Elle consiste tout d'abord à inventorier l'ensemble des émissions de GES générées directement ou indirectement par le projet. Ainsi, toute la chaîne de production et de construction, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'exploitation et la fin de service de l'infrastructure, en passant par les phases de fabrication des matériaux, leur mise en œuvre, et les travaux d'entretien et de maintenance sont pris en considération.

Le deuxième temps est celui du calcul du bilan par phase à partir de facteurs d'émission mis à disposition par l'ADEME, ou qui ont été élaborés à cette occasion, et qui permettent de convertir des « données activités » en émissions de tonnes équivalent CO₂ (teCO₂).

Le troisième temps consiste à identifier les postes les plus émetteurs de GES et d'en déduire un plan d'actions qui permet d'impliquer à la fois les constructeurs, les concepteurs et les exploitants dans la recherche et la mise en œuvre de mesures pour réduire ces émissions.

Cette initiative sera élargie aux prochains projets de Ligne à Grande Vitesse et progressivement aux projets de modernisation des lignes existantes.

SOMMAIRE

Préambule	p 3
Le Bilan Carbone® en questions	p 4
Études et travaux de génie civil	p 6
Travaux d'équipements et bâtiments ferroviaires	p 8
Opérations d'exploitation et de maintenance	p 10
Synthèse générale	p 12
Axes de progrès	p 13

Chiffres clés de la branche Est

- 140 km de tracé en cours de réalisation
- 160 ponts et 13 viaducs
- 1 tunnel de 2 km
- 30 millions de m³ de déblais
- 22 millions de m³ de remblais
- 550 000 traverses
- 600 km de rails
- 6000 emplois liés au chantier
- 2 gares nouvelles
- 10 gares rénovées
- 12 millions de voyageurs prévus par an
- 30 rames TGV
- 2 nouvelles bases maintenance
- 7 700 m² supplémentaires dans 2 Technicentres



Composée de trois branches complémentaires, la Ligne à Grande Vitesse (LGV) Rhin-Rhône constituera un maillon ferroviaire essentiel entre le nord et le sud de l'Europe et permettra d'améliorer les relations est-ouest entre l'Île-de-France, la Bourgogne, la Franche-Comté, l'Alsace et la Suisse. La branche Est (de Dijon à Mulhouse) est la première étape de cette LGV.



LE BILAN CARBONE® EN QUESTIONS



Qu'est ce qu'un Bilan Carbone® ?

Toute activité humaine, quelle qu'elle soit, engendre directement ou indirectement des émissions de GES. Le Bilan Carbone® a pour objet principal d'évaluer et de hiérarchiser le poids des émissions de GES, au sein d'un périmètre d'étude donné, afin de dégager des conclusions pratiques et des pistes d'amélioration.

Quels sont les gaz à effet de serre ?

Les deux gaz à effet de serre les plus importants sont présents de longue date dans l'atmosphère: il s'agit de la vapeur d'eau (H₂O)

sans cesse renouvelée et du dioxyde de carbone (CO₂) dont la proportion a varié au cours des âges. Les émissions de CO₂ d'origine humaine sont dues à la combustion d'énergies fossiles comme le charbon, le gaz, le pétrole (transports, chauffage, etc.) ainsi qu'à la déforestation, réduisant les puits de carbone stocké au sol.

Aujourd'hui, les émissions anthropiques (engendrées par les activités humaines) de CO₂ sont estimées entre 28 et 30 milliards de tonnes par an et sont responsables de 75 % de l'effet de serre additionnel. Il existe également d'autres gaz responsables de l'effet de

serre additionnel dû aux activités humaines (méthane, protoxyde d'azote, gaz réfrigérants...).

Comment sont calculées les émissions de GES ?

Le Bilan Carbone® a pour vocation première de fournir des ordres de grandeur pour les émissions de GES. La méthode Bilan Carbone® a été mise au point pour permettre de convertir des données physiques dites d'activité (consommation d'énergie, utilisation et transport de matériaux, etc.), en émissions de GES estimées, ceci grâce à des facteurs d'émission.

Les émissions de GES sont exprimées en tonne équivalent CO₂, unité retenue pour les calculs du Bilan Carbone®. 1 tonne de CO₂ = 272 kg de carbone. Émissions de GES (teCO₂) = Données d'activité (kWh, tonnes, km...) x Facteur d'émission correspondant.

Quelle mobilité avec 500 kg de carbone (= 1,8 tonnes de CO₂) par an et par personne ?

Les derniers travaux du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) montrent qu'un objectif annuel de

rejet d'environ 3 milliards de tonnes de carbone par an permettrait de stabiliser leur concentration dans l'atmosphère. Sachant qu'il y a actuellement 6 milliards d'êtres humains sur terre et en admettant que chacun disposerait du même droit à « émettre », le droit d'émission individuel serait de 500 kg de carbone par an.

En l'état actuel des technologies, et sans tenir compte des émissions dues à la construction des infrastructures et des matériels, cela nous autoriserait à :

- effectuer un aller-retour Paris – New-York en avion;

- parcourir 15 000 km en citadine (120 g CO₂/km, 4 l/100 km);

- parcourir 8 000 km en berline (220 g CO₂/km, 7,5 l/100 km);

- faire 18 fois le tour de la terre en TGV !

Mise en garde

Une des principales caractéristiques d'un Bilan Carbone® est d'estimer les émissions de gaz à effet de serre en ordre de grandeur, chacune des valeurs étant assortie d'une incertitude plus ou moins forte.

Les résultats obtenus permettent donc de hiérarchiser les émissions des différents secteurs. Ils ne peuvent en revanche pas être directement comparés à d'autres résultats similaires. Il faut au préalable vérifier l'environnement et les hypothèses prises en compte pour les calculs.



Bilan Carbone® et rentabilité carbone d'une LGV ?

Une nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse modifie les flux de transport sur les liaisons qu'elle va proposer. Pour la branche Est de la LGV Rhin-Rhône, le gain de trafic généré par la nouvelle offre est estimé à 2,7 millions de voyageurs supplémentaires en train, dont la moitié aura été détournée de la route et de l'aérien. Afin d'obtenir une idée du « retour sur investissement carbone », le Bilan Carbone® du

projet a donc été mis en relation avec les émissions de GES évitées grâce au report modal attendu de la voiture ou de l'avion vers le transport ferroviaire.

Cette démarche permet d'évaluer le temps nécessaire à la « rentabilité carbone » d'un projet ferroviaire, comme le prévoit dorénavant le Schéma National des Infrastructures de transport (SNIT).

ÉTUDES ET TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Phase conception

22 000 teCO₂

1 Études

Il s'agit des émissions générées par les études d'ingénierie liées au projet. Ces émissions sont très faibles en regard de celles dégagées par les travaux proprement dits. On applique ici l'approche forfaitaire proposée par la méthode Bilan Carbone®, à savoir 110 teCO₂ par million d'euro de budget d'études.

Phase réalisation

1 166 000 teCO₂

2 Travaux préparatoires

110 000 teCO₂

Les travaux préparatoires concernent pour 90 % des émissions liées aux changements d'affectation des sols (déboisement...) et pour le reste, aux engins (prospection archéologique, libération des emprises foncières, déplacement des réseaux concessionnaires) et aux déplacements domicile travail et professionnels de l'ensemble des intervenants de cette phase. Le déboisement est réalisé sur une largeur moyenne de 100 m tout au long de la section courante. Cela correspond à une surface de 10 ha/km.

Ces travaux préparatoires ont nécessité 6 hommes.mois par km de section (4 hommes.mois pour le déboisement et 1 à 2 hommes.mois pour l'archéologie).

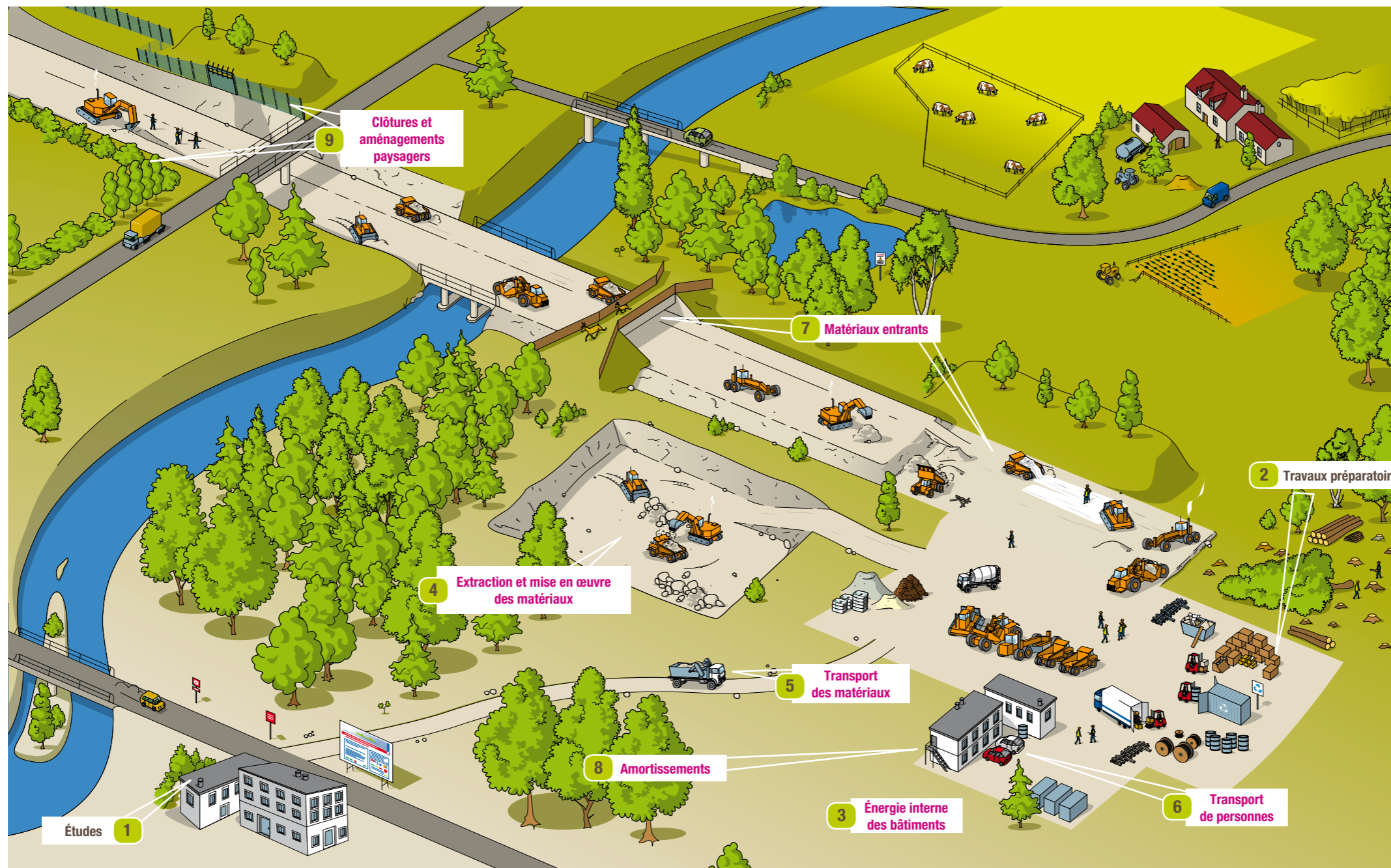
Travaux de génie civil

750 000 teCO₂

Les calculs sont réalisés à partir des données collectées auprès des entreprises.

3 Énergie interne des bâtiments dédiés à la LGV: 1 100 teCO₂

L'énergie interne rassemble les émissions de GES induites par les sources fixes de consommation d'énergie qui servent à exploiter (éclairer, chauffer) les bâtiments utilisés à l'occasion de la mise en œuvre du projet LGV et le tunnel de Chavanne.



Dans le cas présent, la grande majorité des surfaces, et en particulier 100 % des bases vie, sont exclusivement chauffées à l'électricité.

4 Extraction et mise en œuvre des matériaux (procédés internes): 41 000 teCO₂

On a retenu dans la famille « procédés internes » l'ensemble des émissions de GES engendrées par les opérations d'extraction et de mise en œuvre des matériaux. Cela comprend donc la consommation de l'ensemble des engins de chantier à l'exception

des engins de transports qui sont comptabilisés dans le fret (semi-remorques et tombereaux).

De manière très secondaire, ce poste intègre également la consommation de GES engendrée par les groupes électrogènes qui alimentent les sites distants.

5 Transport des matériaux par camions (fret): 107 400 teCO₂

Matériaux de chantier (terre)
Chaque m³ extrait (en carrière externe, ou en déblais) ou mis en place (en dépôt, ou en remblais)

a fait l'objet d'un déplacement. Les volumes de matériaux considérés pour le mouvement de terre sont basés sur les estimations des marchés de génie civil, recoupés avec les informations remontées des chantiers, en particulier pour les volumes extraits des carrières.

> À l'échelle du projet, le mouvement de terre représente la majorité des opérations de transfert, soit 83 000 teCO₂.

Transport des autres matériaux

- Le géotextile pour 164 tonnes mises en œuvre : 33 teCO₂
- Le béton pour 380 000 m³ soit 900 000 tonnes mises en œuvre : 14 700 teCO₂

- L'acier de ferrailage (environ 45 000 tonnes mises en œuvre) et les aciers plats (environ 27 000 tonnes mises en œuvre) : 10 300 teCO₂

6 Transport de personnes: 47 300 teCO₂

Deux familles de déplacements ont été prises en compte pour

les émissions de GES:

- Les déplacements domicile – travail des salariés chargés du projet de construction;
- Les déplacements professionnels de l'ensemble des intervenants sur le chantier.

À partir du nombre d'hommes.mois travaillés en tout sur chaque lot de travaux :

- 80 % des salariés sont en grand déplacement;
- 20 % des salariés sont locaux.

7 Matériaux entrants: 550 000 teCO₂

On distingue ici les émissions de GES pour l'ensemble des matériaux mis en œuvre ou consommés sur le chantier.

- La chaux pour le traitement de sol (282 000 teCO₂)
- Le ciment contenu dans le béton (47 300 teCO₂)
- Les aciers d'armature (51 300 teCO₂)
- Les aciers profilés des ouvrages d'art (33 000 teCO₂)

- Les autres matériaux (environ 55 000 teCO₂)

Les facteurs d'émission de ces matériaux ont été spécialement étudiés dans le cadre de ce bilan, car certains facteurs existants dans la méthode n'étaient pas adaptés.

On a donc retenu pour la chaux un facteur d'émission de **1 100 kgeCO₂ / tonne**, ce qui représente le poste le plus important.

Le facteur d'émission pour le ciment est de **862 kgeCO₂ / tonne**.

Pour les aciers, on retiendra comme facteur d'émission, celui de l'acier recyclé à 95 %, soit un contenu carbone de **1 192 kgeCO₂ / tonne**.

8 Amortissements : 2 750 teCO₂

Pour ce poste, on prend en compte le matériel acquis par les entreprises qui est dédié au chantier pour cette période mais qui pourra être utilisé à nouveau ailleurs en d'autres temps.

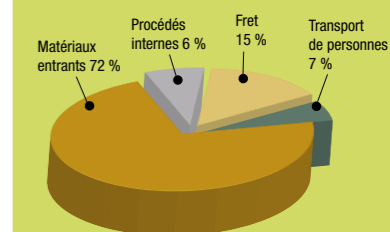
Pour l'ensemble du projet, on retiendra 500 ordinateurs pesant chacun environ 1 teCO₂ et dont la durée de vie correspond à la durée du chantier, c'est-à-dire 3 ans. Cela représente 550 teCO₂ dans le Bilan Carbone® de la LGV.

On considère qu'il y a également de l'ordre de 4 000 tonnes d'engins de chantier, bungalows etc., qui passeront 15 % de leur vie sur le chantier de la LGV.

Synthèse des émissions liées aux travaux de génie civil

750 000 teCO₂

Sur les 140 km de la branche Est, on arrive, par poste, à la répartition suivante :



9 Travaux annexes : 9 200 teCO₂

- Clôtures y compris la clôture provisoire en phase chantier : 4 800 teCO₂
- Aménagements paysagers : 4 400 teCO₂

TRAVAUX D'ÉQUIPEMENTS ET BÂTIMENTS FERROVIAIRES

Raccordements au réseau ferroviaire existant

55 000 teCO₂

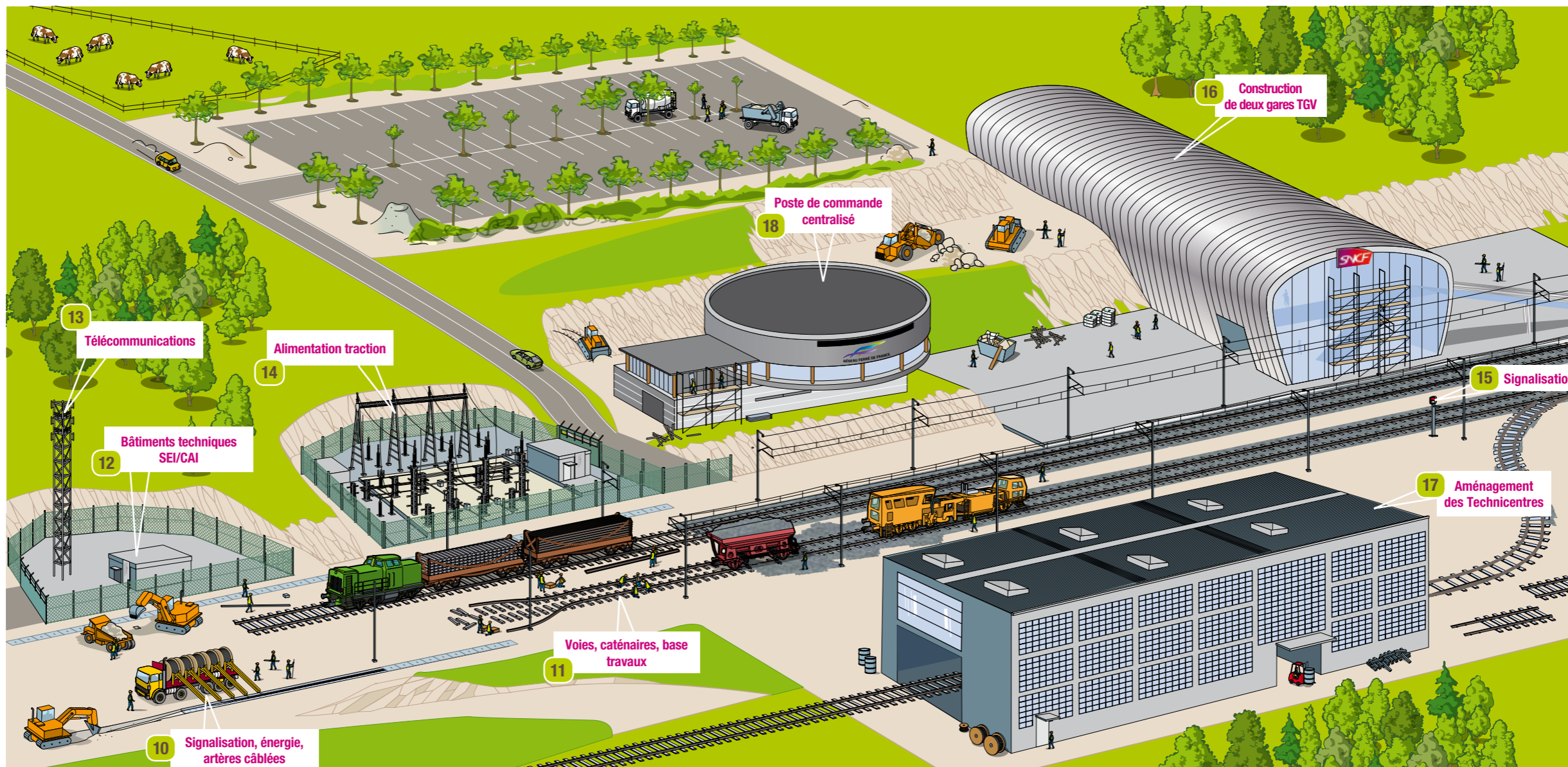
- Raccordement de Perrigny (21) : aménagement à Dijon pour améliorer la liaison de la LGV Rhin-Rhône vers Lyon ■ 13 600 teCO₂
- Raccordement de Villers-les-Pots (21) à l'extrémité ouest de la LGV Rhin-Rhône ■ 7 700 teCO₂
- Raccordement entre la nouvelle gare Besançon Franche-Comté TGV et la gare existante Besançon Viotte (réaménagement de la ligne de Devecey-25) ■ 18 300 teCO₂
- Réaménagement de la ligne Lure-Villersexel (70) pour desservir la base travaux ■ 550 teCO₂
- Raccordement de Petit Croix (90) à l'extrémité Est de la LGV Rhin-Rhône ■ 7 300 teCO₂

Équipements ferroviaires

117 000 teCO₂

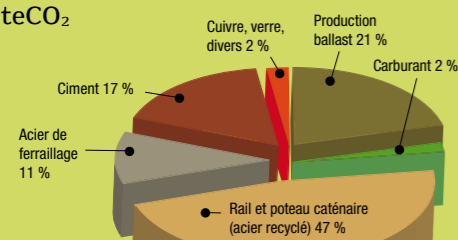
Il s'agit pour l'essentiel des émissions liées aux rails, caténaires et ballast. Cela correspond aux lots de travaux suivants :

- 10 **Signalisation, énergie, artères câblées** : 5 500 teCO₂
- 11 **Voies, caténaires, base travaux** : 106 300 teCO₂
- 12 **Bâtiments techniques SEI/CAI** : 730 teCO₂
- 13 **Télécommunications** : 730 teCO₂
- 14 **Alimentation traction** : 1 100 teCO₂ création de 2 sous-stations électriques à Besançon (25) et Héricourt (70)
- 15 **Équipements signalisation et détecteur de boîte chaude (SEI DBC)** : 2 200 teCO₂



Synthèse des émissions liées aux travaux d'équipements ferroviaires

117 000 teCO₂



Construction des rames TGV

95 000 teCO₂

À l'occasion de la mise en service de la LGV, la SNCF a mis au point une nouvelle offre de dessertes ferroviaires TGV qui l'a amené à augmenter de 30 unités son parc de rames TGV, en l'occurrence des rames à 2 niveaux (« 2N2 »). Ce sont donc les émissions liées à la fabrication de ces 30 rames, pesant chacune 390 tonnes, qui ont été prises en compte.

Pour calculer le Bilan Carbone® de la fabrication d'une rame TGV, le facteur d'émission a été estimé à partir de la méthodologie proposée par l'ADEME pour la construction d'une voiture, à savoir :

- d'une part les émissions propres à la fabrication des matériaux de chaque tonne d'une rame « 2N2 » (acier, aluminium, plastique, verre, caoutchouc, soit un total de 3,6 teCO₂/tonne) ;
- et d'autre part, la consommation d'énergie due au processus de fabrication (montage, soudage... soit un total de 2,5 teCO₂/tonne).

Gares et autres bâtiments ferroviaires

29 000 teCO₂

La construction des bâtiments est amortie sur 50 ans.

16 Construction de deux gares TGV : 20 000 teCO₂

Deux gares nouvelles sont construites le long de la LGV : la

gare de Besançon Franche-Comté TGV et la gare Belfort-Montbéliard TGV. La conception de ces gares s'est inscrite dans une démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE). Les émissions générées par la construction de ces deux gares ont été estimées en amont des travaux. Il s'agit donc d'une première approche. Le Bilan Carbone® sera suivi et actualisé avec les données du chantier.

17 Aménagement des Technicentres : 2 000 teCO₂

Pour entretenir les 30 nouvelles rames TGV qui circuleront sur le réseau national lors de l'ouverture de la LGV Rhin-Rhône, des aménagements vont être réalisés dans les centres de maintenance (Technicentres) de Lyon (construction

d'un bâtiment de 7 000 m²) et de Nice (construction d'un bâtiment de 700 m²). Il s'agit de bâtiments de type industriel avec une dominante « métal » pour leur structure, conduisant à considérer l'ordre de grandeur de 275 kg équivalent CO₂ émis par m² construit.

18 Construction d'un poste de commande : 630 teCO₂

Les équipements de gestion des circulations sur la LGV sont intégrés dans un nouveau bâtiment construit à Dijon d'où sera également commandée la majeure partie des trafics ferroviaires sur les lignes situées en Côte-d'Or. L'activité de ce poste consacrée à la gestion du trafic sur la LGV étant estimée à 30 %, un pourcentage identique des émissions de GES

issues de la construction de ce bâtiment a été retenu.

19 Construction des bases maintenance : 4 500 teCO₂

Les bases maintenance situées sur les communes de Geneuille (25) et de Montreux (90) comprennent :

- 3 500 ml de voie ;
- un ensemble de 3 500 m² de surface bâtie (atelier, bureau, garage, réfectoire...);
- 3 300 m² de plateforme.

Considérant que le bâti et les plateformes sont construites selon les procédés traditionnels (enrobé, maçonnerie béton ou charpente métallique), le bilan de l'ensemble s'élève à 4 500 teCO₂ dont 60 % pour les voies et 37 % pour le bâti.

Aménagements des gares existantes

1 800 teCO₂

La gare de Besançon-Viotte fait l'objet d'un programme de modernisation significatif à l'occasion de la mise en service de la LGV Rhin-Rhône. Pour ce qui concerne l'aménagement des voies et des quais, les émissions de GES sont estimées à 1 800 teCO₂. D'autres aménagements sont prévus par la SNCF à Besançon Viotte ainsi que dans neuf autres gares existantes.

OPÉRATIONS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

Phase d'exploitation et de maintenance durant 30 ans

685 000 teCO₂

Les données rassemblées dans cette rubrique sont basées sur le retour d'expérience de l'exploitation d'autres lignes ferroviaires à grande vitesse. Elles sont calculées sur une durée de 30 ans, période retenue pour faire le Bilan Carbone® des phases exploitation et maintenance.

Fonctionnement des gares nouvelles

5 600 teCO₂

Les gares de Besançon Franche-Comté TGV et Belfort-Montbéliard TGV ont été conçues selon une démarche de Haute Qualité Environnementale mettant notamment l'accent sur l'utilisation d'énergies renouvelables pour le confort thermique. Elles sont toutes deux équipées de dispositifs solaires-thermiques sur les toits, permettant la diffusion de chaleur vers les chauffes-eaux sanitaires, mais aussi de panneaux ou membranes photovoltaïques permettant la réinjection d'électricité « verte » sur le réseau. Elles seront également dotées de puits canadiens, permettant une moindre consommation d'énergie pour la régulation de la température à l'intérieur du bâtiment. La gare de Besançon Franche-Comté TGV sera principalement chauffée au bois alors qu'à Belfort-Montbéliard TGV des techniques de géothermie seront utilisées pour mettre à profit la chaleur du sous-sol.

Maintenance des rames TGV

24 100 teCO₂

La collecte des données de référence a été opérée auprès du Technicentre Est européen. Les résultats de chaque grande famille d'émissions de GES ont été ramenés au nombre de rames maintenu durant l'année de référence sur ce Technicentre (soit 52 rames TGV



en 2008), de façon à obtenir des données moyennes par rame.

Les différentes sources étudiées sont :

- la consommation d'énergie du Technicentre (électricité et gaz) ;
- les matériaux entrant dans les opérations de maintenance ;
- les déchets générés lors de la maintenance et les eaux usées.

Maintenance de l'infrastructure

19 900 teCO₂

Les données de référence ont été récoltées auprès de l'Infrapôle de Pagny-sur-Moselle, chargé de la maintenance de la LGV Est Européenne. Les techniques de maintenance de l'infrastructure ont été considérées comme constantes pour les 30 années d'exploitation. La démarche d'étude a consisté à évaluer les consommations de

cet Infrapôle et de les rapporter au km maintenu afin d'estimer les émissions de GES qui pourront être générées par les 280 km de voies (140 km par sens) de la LGV Rhin-Rhône branche Est.

Les différentes sources étudiées sont :

- l'énergie consommée par les différentes bases de l'Infrapôle, c'est-à-dire les bâtiments qui regroupent les hommes et le matériel dédiés aux opérations de maintenance ;

- les déplacements des personnels pour effectuer les visites d'inspections, en hélicoptère et en voiture ;
- les consommations des engins de ballastage, bourrage, meulage, désherbage ;

- les différents matériaux mis en œuvre : ballast, rail, traverses, produits phytosanitaires pour le désherbage...

Énergie de traction

635 000 teCO₂

Les émissions de GES ont été estimées pour les 30 rames « 2N2 » achetées afin de permettre au parc TGV de satisfaire les nouveaux besoins de dessertes consécutifs à l'ouverture de la LGV Rhin-Rhône branche Est. Le calcul tient compte des consommations d'énergie pour la traction des rames et le fonctionnement des auxiliaires

(climatisations, éclairage, etc.) mais aussi des pertes en ligne d'électricité. Le mix énergétique retenu pour les évaluations est celui de la France, avec une évolution prospective sur la période 2012 – 2042 basée sur les hypothèses suivantes :

- passage progressif de 80 geCO₂/kWh en 2007 à 60 geCO₂/kWh en 2020 (prévision RTE) ;
- passage progressif de 60 geCO₂/kWh en 2020 à

50 ge CO₂/kWh en 2050 (prévision ADEME).

Aucune hypothèse d'amélioration de l'efficacité énergétique des TGV (kWh consommé par train.km) n'est prise en compte dans ce calcul alors que des progrès techniques et des innovations importantes (voir page suivante), permettent d'escompter une réduction significative des kWh d'électricité consommée/train.km.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Report modal vers la nouvelle offre TGV Rhin-Rhône durant 30 ans

3 895 000 teCO₂ économisées

Les études réalisées pour le dossier d'approbation ministériel du projet ont permis de quantifier les reports modaux de la route et de l'aérien vers le fer sur la période 2012-2042. En moyenne, 1,2 million de personnes devraient être détournées annuellement de la route et de l'air grâce à la nouvelle offre TGV Rhin-Rhône.

Pour les reports de la route, les émissions ont été évaluées en considérant une amélioration carbone du parc de véhicules français, selon les hypothèses suivantes :

- 145 g CO₂/km et 2,2 passagers/véhicule.km en 2007 ;
- 107 g CO₂/km et 2,5 passagers/véhicule.km en 2020 ;
- 91 g CO₂/km et 2,7 passagers/véhicule.km en 2050.

Pour le report air-fer, le scénario étudié projette le facteur d'émission par passager.km sur la période 2012-2042, à partir du calculateur DGAC pour 2009 et des extrapolations de l'ADEME pour 2020 et 2040 :

- 301 g CO₂/passager.km en 2009 ;
- 240 g CO₂/passager.km en 2020 ;
- 150 g CO₂/passager.km en 2040.

Ce facteur d'émission a été majoré des émissions amont du carburant mais n'intègre pas la construction de l'avion, ni les impacts des émissions d'oxyde d'azote et des traînées de condensation pour lesquels il est encore nécessaire de préciser les connaissances scientifiques.

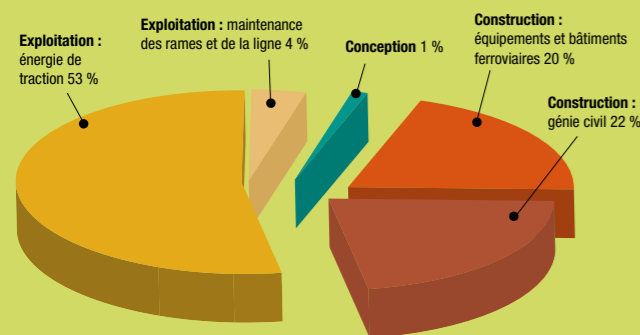
Selon ce scénario, les émissions évitées du fait des reports modaux air-fer, sur 30 ans, sont de l'ordre de 2 758 000 tonnes équivalent CO₂.

Au total

ce sont donc 3 895 000 tonnes équivalent CO₂ qui auront été évitées grâce à l'offre de transport permise par cette infrastructure nouvelle.

Répartition des émissions générées durant les 3 phases du projet sur 30 ans

Les amortissements de l'infrastructure (100 ans) et des bâtiments (50 ans) ont été ramenés à 30 ans



Une démarche carbone globale pour renforcer les bénéfices du transport ferroviaire et lutter contre le réchauffement climatique

Le Bilan Carbone® de la LGV Rhin-Rhône branche Est, constitue une première car il inclut l'ensemble de la durée de vie du système de transport (conception, construction, exploitation) et prend en compte un périmètre large (infrastructure, gares, matériel roulant). Cette étude montre que :

- sur l'ensemble du cycle de vie de la LGV, le poste d'émissions de carbone prépondérant demeure l'énergie de traction, loin devant la construction de la ligne ;
- si l'on compare les émissions liées à la construction et au fonctionnement de la nouvelle ligne aux émissions « évitées » grâce au report modal depuis la route et l'aérien, on peut affirmer que les avantages de la LGV prédominent largement sur ses impacts en terme de changement climatique ;
- l'étude a permis d'identifier les principaux postes d'émission liés à la construction (le fonctionnement des matériels de chantier, le transport des matériaux, les techniques de terrassement) et de mettre en place des plans d'actions et des outils d'optimisation qui serviront sur les prochains projets ;

À retenir

La conception, la construction et l'exploitation pendant 30 ans génèrent environ 2 millions teCO₂, ce qui équivaut aux émissions de CO₂ des habitants d'une ville comme Dijon (200 000 habitants) pendant un an.

On estime que 12 ans après la mise en service, la LGV Rhin-Rhône devient « carbone positive » : les émissions évitées par le report modal deviennent supérieures aux émissions générées par la conception, la construction et l'exploitation-maintenance de la ligne.

L'exploitation et les bénéfices environnementaux de la ligne se poursuivront bien au-delà des 30 ans pris en compte dans le calcul, la durée de vie d'une infrastructure étant d'une centaine d'années.

AXES DE PROGRÈS

Du Bilan Carbone® à la réduction des émissions de gaz à effet de serre : préconisations

Le Bilan Carbone® de la LGV Rhin Rhône confirme l'utilité du transport ferroviaire en matière de lutte contre le réchauffement climatique même lorsque l'on inclue l'ensemble des émissions de GES nécessaires à la construction et à la future exploitation d'une ligne nouvelle. RFF et la SNCF souhaitent néanmoins engager des plans d'action ambitieux afin de diminuer encore les émissions de GES sur ce type de projet.

Dès à présent, le Bilan Carbone® des travaux de génie civil, équipements ferroviaires, construction des gares nouvelles et ateliers maintenance sera suivi et précisé au fur et à mesure de l'avancement des chantiers dans le but d'améliorer la connaissance des opérations les plus émettrices de GES et de proposer des solutions de remplacement.

Cette démarche bénéficiera à d'autres projets de construction et rénovation de bâtiments ainsi qu'aux futurs projets de lignes nouvelles et aux grands investissements sur le réseau ferré national.

Le Bilan Carbone® des opérations d'exploitation fera également l'objet d'une actualisation à l'aide de données réelles d'exploitation. Le Bilan Carbone® du projet sera intégré au Bilan LOTI (Loi d'Orientation des Transports Intérieurs) qui constitue le bilan environnemental et socio-économique de la LGV Rhin-

Rhône branche Est.

D'ores et déjà, des pistes d'amélioration se dégagent sur les principaux postes émetteurs de GES. La décision de mise en œuvre de ces mesures ne doit toutefois pas se limiter au seul critère carbone, mais doit également prendre en compte des critères du développement durable (environnementaux, économiques, techniques, ou encore sociaux).

La pertinence carbone des projets d'infrastructure ferroviaire

Le Bilan Carbone® de la LGV Rhin Rhône doit servir de modèle pour mesurer l'utilité carbone des différents projets ferroviaires actuellement étudiés. Cette nouvelle approche permettra de vérifier l'intérêt des projets avec une vision « gaz à effet de serre » qui s'avère nécessaire pour accompagner les engagements de l'État en matière de lutte contre le changement climatique.

Dans cette optique, l'ADEME, RFF et la SNCF présenteront prochainement un guide méthodologique expliquant comment calculer le Bilan Carbone® d'un projet ferroviaire. Ce guide viendra enrichir le travail que réalise l'Observatoire Énergie, Environnement, Transport (OEEET) sur le sujet à la demande de l'État.



>> fournir aux collectivités et à l'État, comme outil d'aide à la décision, un bilan carbone prévisionnel lors des études préliminaires puis d'avant-projet pour tous les projets ferroviaires en cours d'étude.



>> solliciter l'INRA, (Institut National de la Recherche Agronomique) pour déterminer si de nouvelles techniques de décapage des sols permettraient de mieux préserver le contenu carbone des sols impactés par des travaux de cette nature.

Phase réalisation

Les travaux préparatoires

Le carbone est contenu majoritairement dans le sol. Trente ans après le chantier, la nature a repris ses droits sur la totalité de l'emprise à l'exception d'une bande de 20 m environ réservée à la voie ferrée et entretenue régulièrement.

Les matériaux mis en œuvre

20 à 25 % des matériaux mis en place sur la LGV font l'objet d'un traitement aux liants hydrauliques (chaux, ciment et dérivés). Depuis une trentaine d'années, les procédures de terrassement ont permis de considérablement augmenter la part des matériaux réutilisables grâce au traitement de sol. Cette démarche a permis en particulier de préserver des sites naturels en réduisant le nombre de carrières et de réduire le trafic routier, mais il ressort du Bilan Carbone® que l'impact climatique des matériaux mis en œuvre est considérable à l'échelle du chantier.

AXES DE PROGRÈS SUITE

• La chaux (33% des émissions des travaux de génie civil).

Par son processus de fabrication, la chaux est le poste le plus générateur d'émissions de GES. L'action prioritaire est donc la réduction des volumes de chaux consommés. Cette évaluation doit cependant se faire dans le cadre d'une approche environnementale globale (préservation des milieux naturels sensibles, zones humides, zones agricoles etc.)



stricte période de construction de la ligne ;

>> solliciter le SETRA (Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements) pour mettre en place un groupe de travail sur la chaux et appliquer les préconisations dans les prochains chantiers de LGV.

Exemple : rajouter 45 kg de chaux par m³ de matériaux génère autant de GES que d'emprunter un camion pour aller chercher des matériaux dans une carrière éloignée de 500 km.

• Le ciment (15% des émissions des travaux de génie civil).

L'utilisation du ciment pour les ouvrages d'art est le deuxième poste le plus générateur d'émissions de GES.

>> comparer en phase conception les variantes d'ouvrages d'art pour déterminer les procédés de construction les moins générateurs en carbone ;

>> étudier en particulier des variantes ayant recours aux bétons haute performance ;

>> diminuer autant que possible l'utilisation du ciment et de ses dérivés dans la construction et la rénovation des gares.

Exemple de variante à envisager pour les ouvrages courants : structure en poutrelles métalliques enrobées ou béton préfabriqué, dalle de béton pleine ou haubanée...

>> anticiper la planification des travaux afin de permettre un séchage des matériaux humides sur une plus longue durée, afin d'améliorer leur portance et réduire d'autant les besoins de liants hydrauliques ;

>> ouvrir davantage de carrières proches du chantier (extension de déblais) pendant la



• L'acier (10% des émissions des travaux de génie civil)

>> comparer en phase conception les variantes d'ouvrages d'art pour déterminer les procédés de construction les moins émetteurs en carbone (ouvrage en acier ou mixte), en favorisant l'utilisation d'acier recyclé, dont le facteur d'émission moyen est de 1 100 kgeq CO₂/t par rapport à celui de l'acier neuf qui est de 3 200 kgeq CO₂/t ;

>> évaluer auprès de la profession dans quelle mesure le recours massif à l'acier recyclé risque de « purger » le marché en créant indirectement un appel significatif d'acier de première fonte pour l'industrie courante.

Transport des matériaux 9,5% des émissions des travaux de génie civil

L'action prioritaire de ce poste est de réduire la consommation de carburant dont 1/3 du volume est utilisé pour l'extraction des matériaux et 2/3 pour leur transfert.

>> envisager d'autres solutions pour assurer les transferts de matériaux.

Exemples :

- bande transporteuse : très courant en carrière, parfois en tunnel ;

- téléphérique pour les zones de montagnes ;
- tombereau alimenté par trolley électrique (déjà pratiqué dans les mines à ciel ouvert).
- recherche de modes alternatifs (ferroviaire, fluvial etc.)

>> privilégier en phase chantier l'éco conduite ;

>> optimiser le mouvement de terre pour réduire les volumes déplacés, sans pour autant augmenter le recours aux liants hydrauliques.

Ouvrages hydrauliques : buses fonte et béton

L'action prioritaire sur ce poste concerne le choix des matériaux pour les buses.

Les matériaux les plus couramment utilisés sont par ordre d'importance :

- le béton préfabriqué ;
- la fonte ductile ;
- le PVC, et autres matériaux plastiques.

>> évaluer (sous réserve de validation du référentiel technique) la faisabilité des buses en

PVC et PEHD en gros diamètre, dont le facteur d'émission est très inférieur à celui de la buse fonte ou béton, en évaluant notamment leur durabilité dans le temps.

Les déplacements domicile-travail

L'hypothèse retenue est qu'un salarié de travaux publics parcourt de l'ordre de 3 350 km/mois, dont 95 % les week-ends pour rentrer chez lui.

L'amélioration du facteur d'émission du trajet domicile-travail relève largement des politiques d'entreprises qui versent généralement des indemnités de grand déplacement à leurs salariés.

>> demander des engagements et des résultats aux entreprises dans le cadre des marchés, les suivre dans le cadre de la comptabilité carbone du projet et vérifier que cela reste socialement acceptable pour les salariés.

Équipements ferroviaires

>> privilégier un approvisionnement par rail et à proximité du chantier des matériaux d'équipements ferroviaires.

Exemple : sur la LGV Rhin-Rhône, la plupart des matériaux a été livrée par voie ferrée (ballast, rails, traverses...).

Phase d'exploitation et de maintenance

L'énergie de traction

L'objectif est de réduire de 30 à 40 % la consommation d'électricité de traction d'ici 2025. Pour y parvenir les leviers identifiés visent autant l'innovation, que l'évolution des techniques, les organisations et le matériel roulant.

>> former le personnel à l'éco-conduite des trains, ce qui devrait permettre de réduire de 5 % l'énergie consommée d'ici 2010 ;

>> réduire les consommations d'énergie lors des stationnements prolongés ;

>> acquérir du matériel roulant plus performant au niveau énergétique : des trains plus aérodynamiques, allégés de 15 à 20 % (notamment grâce à des matériaux composites), permettant de récupérer l'énergie de freinage (5 % de réduction des émissions attendue du stockage de l'énergie), et de mieux gérer les consommations des auxiliaires.

Les bâtiments ferroviaires

L'objectif de réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments appartenant à la SNCF est fixé à 38 % conformément aux prescriptions de la loi Grenelle 1.

>> équiper 500 000 m² de toitures de cellules photovoltaïques à partir de 2010. En cohérence avec les deux gares nouvelles Besançon Franche-Comté TGV et Belfort-Montbéliard TGV, les dix autres gares impactées par l'arrivée du TGV Rhin Rhône seront également équipées de panneaux photovoltaïques et bénéficieront d'un diagnostic de performances énergétiques devant permettre d'identifier les travaux nécessaires aux économies d'énergies ;

>> optimiser l'isolation thermique des gares du réseau national d'ici 2020 ;

>> équiper l'ensemble des bâtiments ferroviaires d'éclairage basse consommation avant fin 2011.

RFF a également en charge la construction de certains bâtiments ferroviaires (poste de commande, d'aiguillage...).

>> équiper l'ensemble des bâtiments ferroviaires de panneaux photovoltaïques (exemple : le poste de commande centralisé de Dijon est équipé de 588 m² de panneaux photovoltaïques).

Les rames à grande vitesse

Près de trente ans après la mise en service de la première ligne à grande vitesse entre Paris et Lyon, la SNCF doit lancer un grand programme de renouvellement de ses rames TGV les plus anciennes. Le renouvellement de ces rames doit inclure la problématique carbone depuis le coût carbone de construction des rames jusqu'au coût carbone de leur recyclage sans oublier bien entendu la phase exploitation avec notamment la consommation d'électricité.

>> intégrer dans le cahier des charges comme élément majeur l'efficacité énergétique et les émissions de CO₂ (diminuer la masse à la place offerte, intégrer une assistance à l'éco-conduite...).

La maintenance de l'infrastructure

Une grande partie de la production carbone lors des opérations de maintenance résulte du déplacement du personnel en véhicule routier.

>> Réduire la production de GES par l'utilisation de « véhicules propres », c'est-à-dire hybrides, électriques, au gaz naturel ou avec une production de GES inférieure à 120 gCO₂/km.

