

RAPPORT D'ÉTUDE

Février 2022

Aménagement de la RD751 Bilan Carbone

Rapport de synthèse

Aménagement de la RD751

Bilan Carbone – Rapport de synthèse

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Version 1	09/12/21	
Version 2	07/02/22	Intégration des commentaires du CD44

Affaire suivie par

Wilhémine LECOINTRE – Cerema Ouest – Département Mobilités Infrastructures – Groupe Mobilités
Tél. : 02 40 12 83 48
Courrier : wilhemine.lecointre@cerema.fr
Site de Nantes - MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 – 44262 Nantes cedex 2

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Wilhémine LECOINTRE	07/02/22	signé
Avec la participation de			
Contrôlé par	Damien COURBE	08/02/22	signé
Validé par	Anne GREGOIRE	11/02/22	signé

Résumé de l'étude :

Ce rapport de synthèse présente les principales hypothèses et principaux résultats de l'étude de variantes d'aménagement de la RD751 entre Port-Saint-Père et Pornic, sur le volet émissions de gaz à effet de serre, faisant suite à la concertation menée par le Conseil Départemental de Loire-Atlantique à l'automne 2020.

SOMMAIRE

Table des matières

1. CONTEXTE	4
2. PRÉSENTATION DES VARIANTES	5
3. PÉRIMÈTRE DU BILAN CARBONE	7
3.1. La stratégie nationale bas carbone dans le secteur des transports	8
3.2. Le budget carbone de l'aménagement de la RD751	9
3.3. Synthèse des périmètres d'évaluation	9
4. RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES ET MÉTHODOLOGIE RETENUE	10
4.1. Références méthodologiques d'évaluation des émissions de GES	10
4.2. Données d'entrée	10
5. LES SCÉNARIOS D'ÉVALUATION AMS ET AME	11
5.1. Le scénario AMS – « Avec Mesures Supplémentaires »	11
5.2. Le scénario AME – « Avec Mesures Existantes »	11
5.3. Les scénarios étudiés dans le bilan carbone	11
6. BILAN GES DES PHASES CONSTRUCTION / ENTRETIEN / EXPLOITATION	12
6.1. Guide Bilan Carbone des projets d'infrastructures routières	12
6.2. Coûts des scénarios	12
6.3. Bilan des émissions supplémentaires // à la référence - période 2027–2070	13
7. DÉMARCHE DE CALCUL DES ÉMISSIONS LIÉES À LA CIRCULATION	15
7.1. 1ère étape : analyse des variantes en différentiel avec la situation de référence	15
7.2. 2ème étape : analyse des variantes au regard de la SNBC	15
8. COMPARAISON DES VARIANTES SUR UN PÉRIMÈTRE ÉLARGI (SCOPES 1,2,3)	16
8.1. Sensibilité des variantes au scénario prospectif	16
8.2. Influence du choix des variantes sur les consommations d'énergie	17
9. RESPECT DU BUDGET CARBONE DE LA STRATÉGIE NATIONALE BAS CARBONE	20
9.1. Estimation du budget Carbone pour la RD751	20
9.2. Émissions de GES construction / entretien sur la période 2015-2050	21
9.3. Comparaison des variantes sur la période 2015 – 2050	21
9.4. Conclusions sur le respect du budget carbone	25
10. CONCLUSIONS DU BILAN CARBONE	26

1. CONTEXTE

Le Conseil départemental de Loire-Atlantique étudie le programme d'aménagement de la RD751 entre Port-Saint-Père et Pornic. Une concertation publique sous l'égide de la Commission nationale du débat public (2 garants) a été organisée, du 21 septembre au 4 novembre 2020.

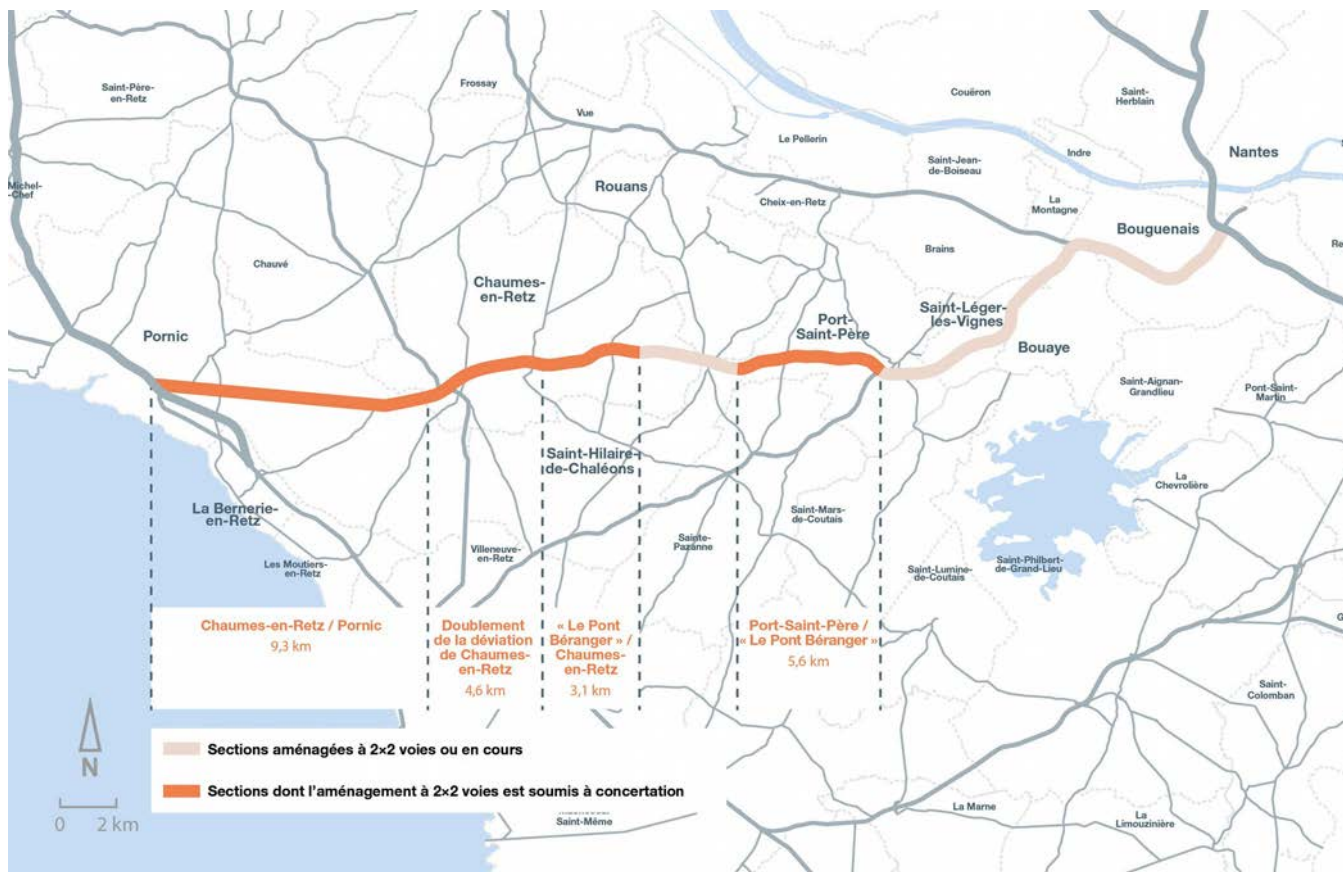


Illustration 1: Aménagements de la RD751 soumis à la concertation de 2020

Suite à la concertation, le Conseil Départemental a souhaité poursuivre l'étude des variantes d'aménagement. D'autre part, suite aux recommandations de la CNDP figurant dans le bilan de la concertation, le Conseil Départemental a décidé d'accompagner l'étude des variantes d'un bilan Carbone pour éclairer ses choix et apporter des éléments complémentaires d'information au public.

La réalisation du bilan Carbone poursuit deux objectifs :

- pouvoir comparer les différentes variantes entre elles, en tenant compte des émissions carbone complètes du projet, en phase construction et en phase exploitation et circulation des véhicules ;
- pouvoir analyser les émissions Carbone liées à la réalisation du projet au regard des engagements de la France quant aux accords de Paris de 2015 et à l'objectif de neutralité Carbone à l'horizon 2050, décliné dans la Stratégie Nationale Bas Carbone (version en vigueur de 2019). Il s'agit de comparer la trajectoire d'émissions des variantes à la trajectoire cible fixée par la SNBC.

Le Conseil départemental de Loire-Atlantique a missionné le Cerema pour réaliser la modélisation de trafic des variantes étudiées et leurs bilans Carbone.

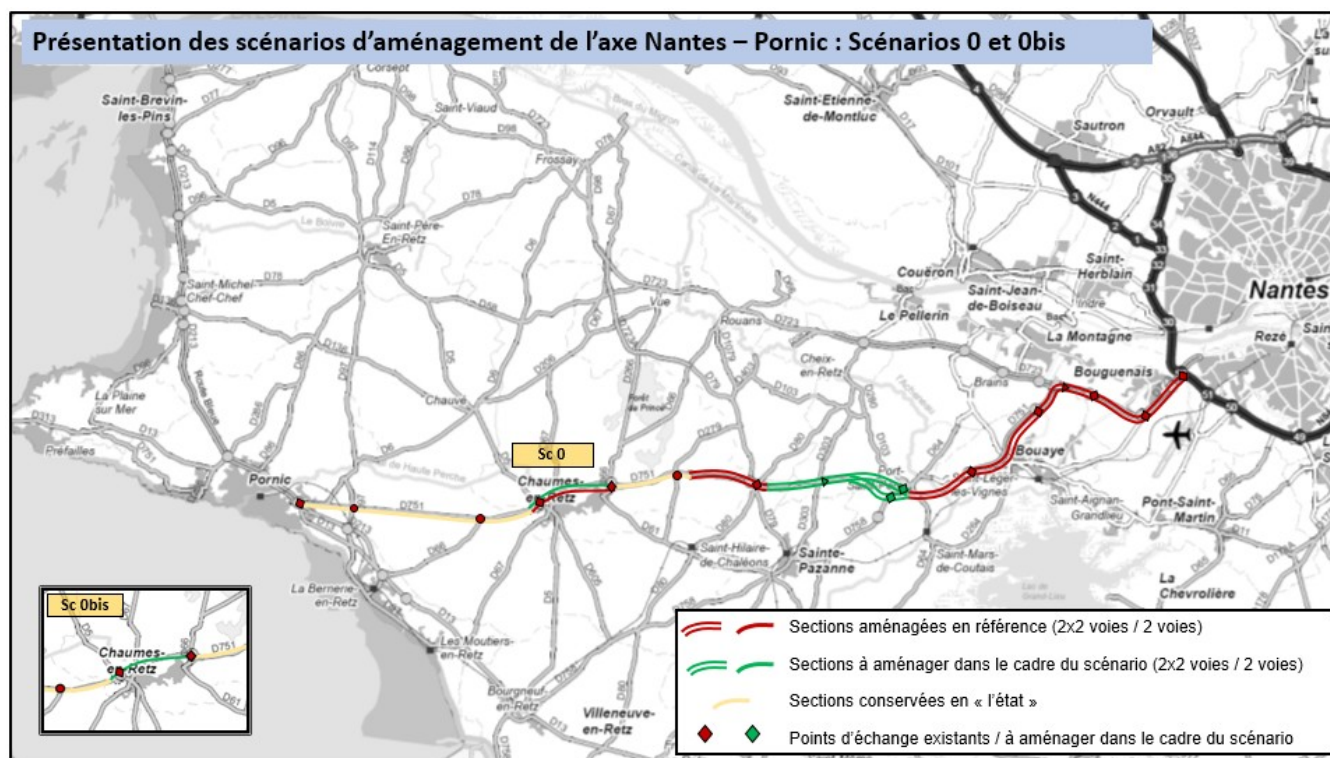
Ce rapport de synthèse présente les méthodologies utilisées et les principaux résultats. En complément, sont disponibles un rapport détaillé du bilan carbone, ainsi qu'un rapport de synthèse et un rapport détaillé de modélisation.

2. PRÉSENTATION DES VARIANTES

Les variantes étudiées dans le cadre du bilan carbone et de la modélisation de trafic sont des combinaisons des différents aménagements suivants envisagés sur les 4 sections composant l'itinéraire de la RD751 entre Port-Saint-Père et Pornic :

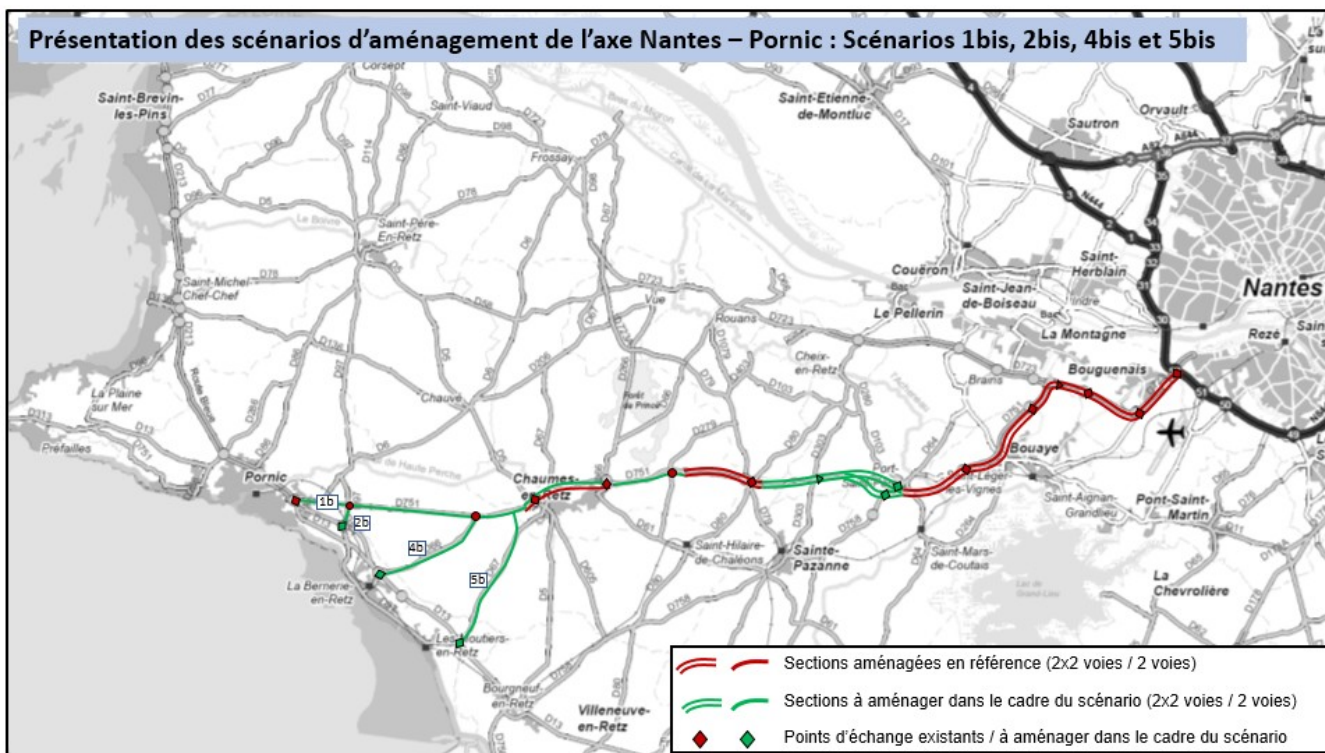
- Section Port-Saint-Père - « Le Pont Béranger » : à 2x2 voies
 - variante historique : contournement des lotissements de « Bellevue » et de « Bel air »
 - variante aménagement sur place
- Section « Le Pont Béranger » - Chaumes-en-Retz : à 2 voies (avec ou sans requalification) ou 2x2 voies
- Section déviation de Chaumes-en-Retz : à 2 voies ou à 2x2 voies
- Section Chaumes-en-Retz – Pornic : à 2 voies (avec ou sans requalification) ou à 2x2 voies
 - aménagement sur place
 - aménagement sur place et nouveau raccordement RD213
 - Raccordement RD213 par RD66
 - Raccordement RD213 par RD67

Les différents scénarios sont résumés dans les cartographies suivantes :

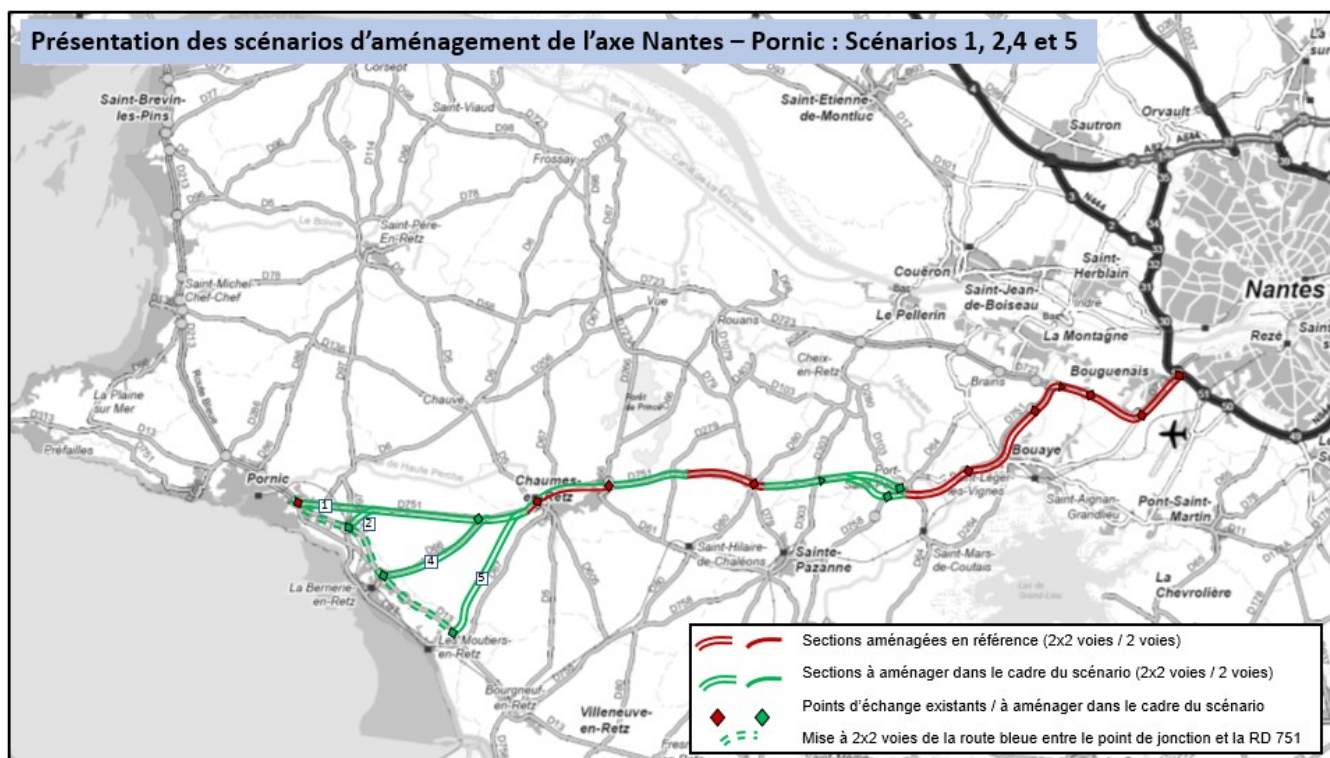


Dans le **scénario Obis**, l'itinéraire entre Le Pont Béranger et Pornic est conservé en « l'état ». Seule la section Port-Saint-Père – Le Pont Béranger est aménagée et passée à 2x2 voies.

Le **scénario 0** reprend les caractéristiques du scénario Obis et inclut la mise à 2x2 voies de la déviation de Chaumes-en-Retz.



Les quatre scénarios **1bis, 2bis, 4bis et 5bis** comportent la mise à 2x2 voies de la section Port-Saint-Père – Le Pont Béranger et de la déviation de Chaumes-en-Retz. La section entre Le Pont Béranger et Chaumes-en-Retz fait l'objet d'une requalification. Entre Chaumes-en-Retz et Pornic, les variantes se distinguent par leurs tracés, qui s'appuient très majoritairement sur le réseau existant requalifié dans le cadre du projet.



Les quatre scénarios **1, 2, 4 et 5** comportent la mise à 2x2 voies complète de l'itinéraire entre Port-Saint-Père et Pornic. Entre Chaumes-en-Retz et Pornic, les variantes se distinguent par leurs tracés. Le scénario 1 correspond à la mise à 2x2 voies sur place de l'itinéraire existant. Les scénarios 2, 4 et 5 s'appuient sur la RD213 qui est passée à 2x2 voies. Le scénario 2 comporte une liaison vers la RD213, le scénario 4 correspond à l'aménagement sur place de la RD66, le scénario 5 correspond à un itinéraire en tracé neuf.

3. PÉRIMÈTRE DU BILAN CARBONE

Le calcul des émissions carbone liées au projet est réalisé selon deux points de vue :

- **En valeur absolue**, pour tracer la trajectoire des émissions de GES liées au fonctionnement du projet. Ce périmètre permet de quantifier les GES rejetés dans l'atmosphère et de comparer les émissions du projet à un budget carbone compatible avec la stratégie nationale bas carbone définie pour le secteur des transports. Sont comptabilisées uniquement les émissions directes (scope 1) – cf ci-dessous ;
- **En différentiel avec la situation de référence (sans projet)**, pour apprécier l'effet du projet par rapport aux émissions liées à la poursuite du fonctionnement de la RD751 sans aménagement. Il permet de quantifier les émissions supplémentaires du fait de la réalisation du projet, et permet une comparaison plus aisée des variantes. Sont comptabilisées l'ensemble des émissions (scopes 1,2,3).

Pour chaque méthode, le périmètre des émissions prises en compte n'est donc pas identique. Pour mémoire, le Green House Gases Protocol (GHGP), permettant aux entreprises de rendre compte de leurs émissions, définit les 3 périmètres d'émissions suivants (scopes) :

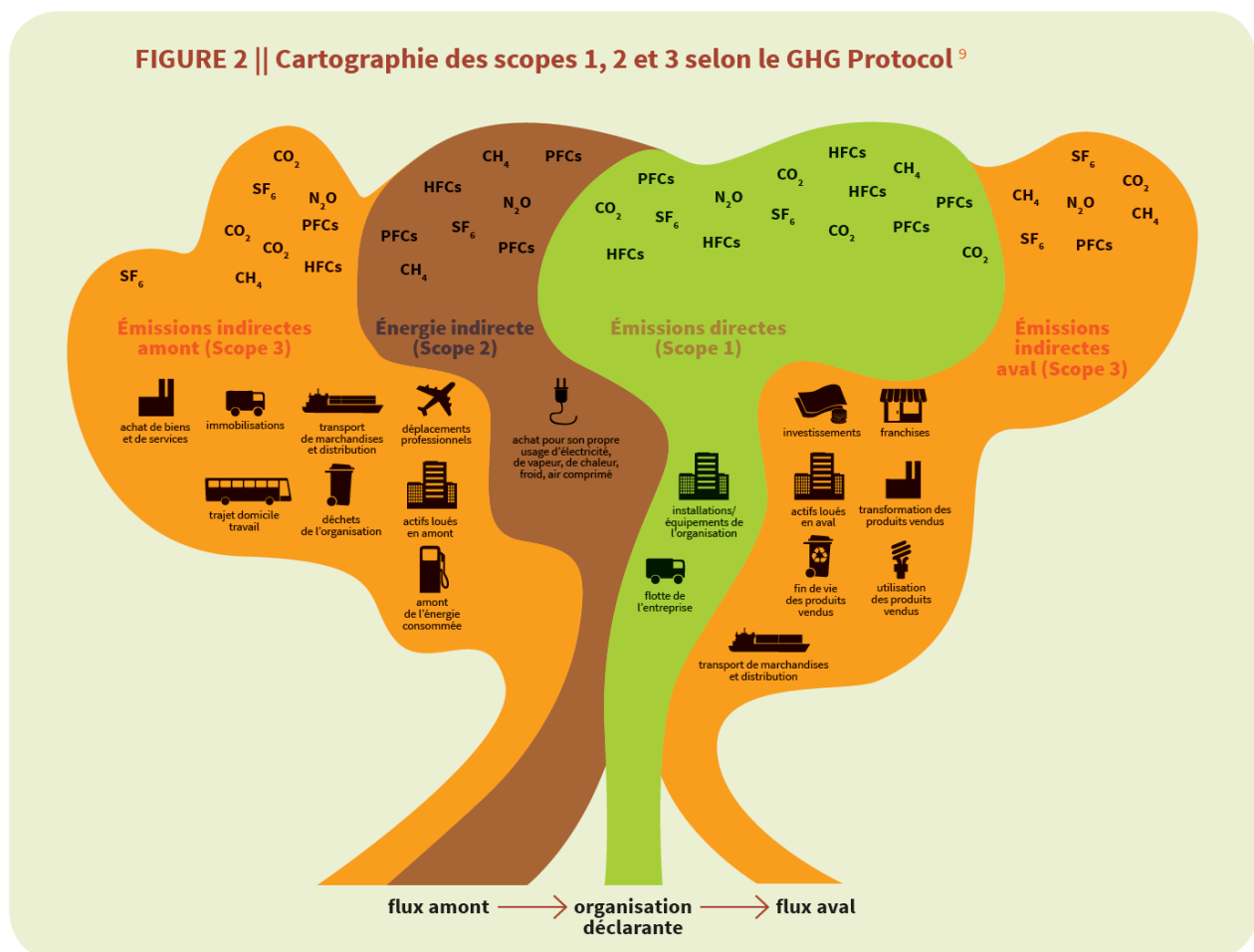


Illustration 2: Les 3 périmètres (scopes) de comptabilisation des émissions de GES

Source : «Réduire les émissions de gaz à effet de serre tout au long de la chaîne de valeur de votre activité», ADEME, 2016

Le scope 1 correspond à toutes les émissions générées directement par l'activité de l'entreprise.

Le scope 2 correspond aux émissions indirectes liées à la consommation d'électricité, de chaleur ou de froid.

Le scope 3 correspond à toutes les émissions indirectes autres, des phases amont et aval.

3.1. La stratégie nationale bas carbone dans le secteur des transports

La SNBC2 fixe les grandes trajectoires à suivre pour atteindre l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 et détermine les budgets d'émissions pour les différents secteurs d'activité sur la période 2015-2050 permettant de contenir le réchauffement climatique.

Le budget carbone pour le secteur des transports est construit autour de 2 échéances :

- 2030 : -28 % d'émissions par rapport à 2015
- 2050 : -97 % d'émissions par rapport à 2015

Ces deux échéances permettent de définir une enveloppe d'émissions de GES pour le secteur des transports sur l'ensemble de la France. On fait l'hypothèse simplificatrice que pour respecter cette enveloppe, chaque projet dispose ainsi d'une enveloppe maximum d'émissions entre 2015 et 2050, correspondant directement à la trajectoire nationale. Un budget carbone est donc calculé pour l'aménagement de la RD751 conformément à cette trajectoire, et les émissions de chacune des variantes de projet y seront comparées.

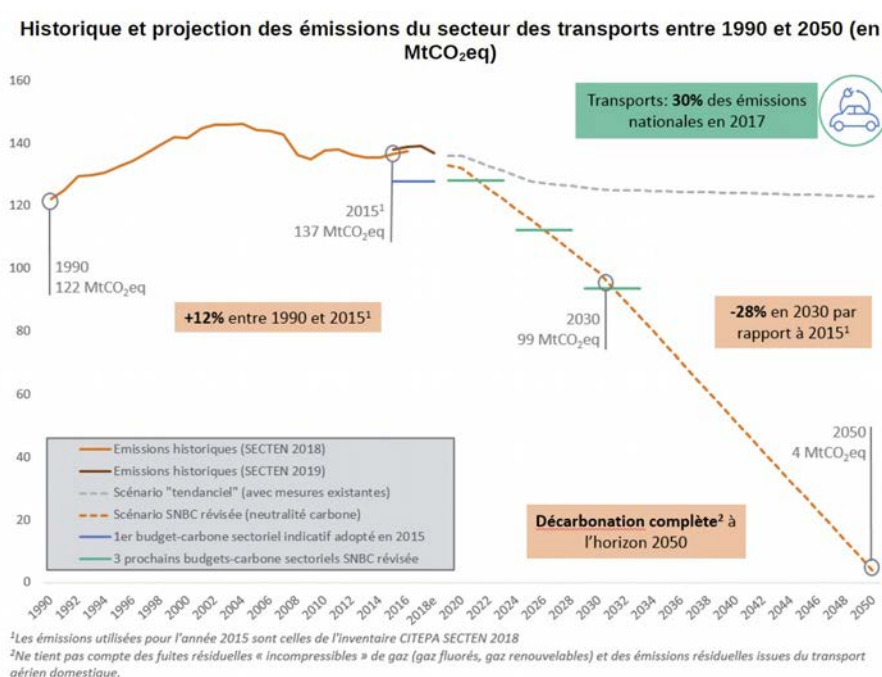


Illustration 3: SNBC 2019 pour le secteur des transports - Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire - Mars 2020

Cette transposition à l'échelle d'un projet de la stratégie nationale est toutefois simplificatrice, car elle suppose une trajectoire uniforme pour le secteur des transports sur tout le territoire. Or, pour aboutir à cette trajectoire nationale, les évolutions locales seront plus ou moins fortes selon le contexte :

- l'évolution de la mobilité (report modal vers les TC ou les modes actifs) sera différente entre milieux urbain, périurbain et interurbain ;
- la croissance démographique n'est pas homogène sur territoire national. La croissance démographique en Loire-Atlantique est particulièrement dynamique.

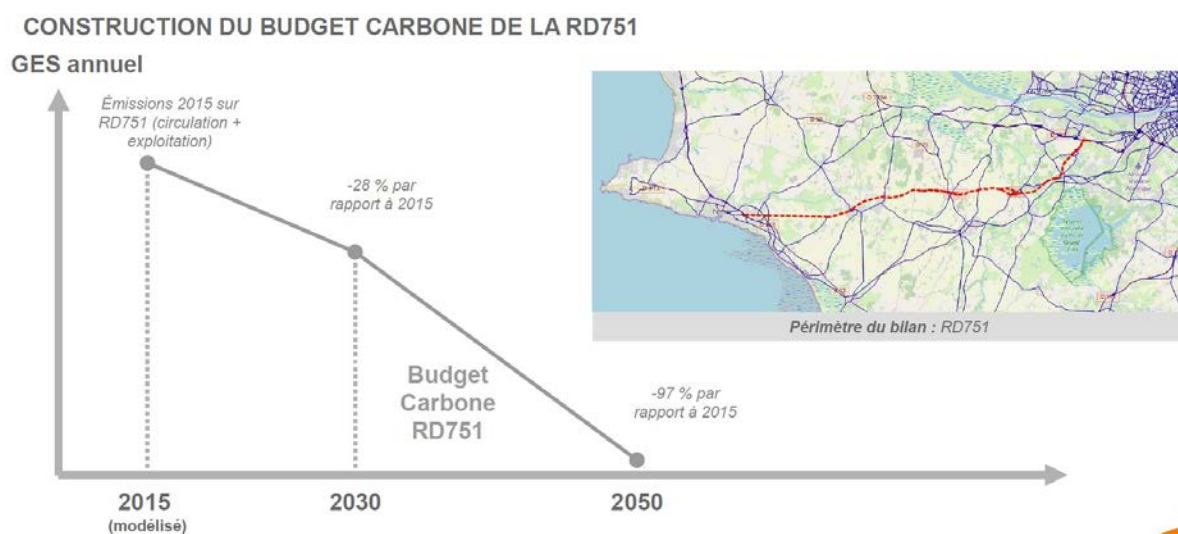
Aussi, le respect du budget national transposé au projet de la RD751 est un indicateur quantifiant l'impact des aménagements, mais ne constitue pas une mesure unique de l'opportunité du projet.

Pour le secteur des transports, les budgets carbone fixés par la SNBC ne concernent que le scope 1¹, soit les émissions directes liées à la consommation de carburant fossile. La décarbonation de l'électricité et les phases amont de la production des carburants relèvent du secteur de l'énergie, et la fabrication des véhicules du secteur de l'industrie. Pour que les émissions de GES des variantes soient comparables au budget carbone de la SNBC, on ne retiendra que la phase combustion des carburants fossiles (scope 1).

1 <http://indicateurs-snbc.developpement-durable.gouv.fr/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-secteur-a30.html> <https://www.citepa.org/fr/ominea/> (méthode de calcul de l'inventaire des émissions)

3.2. Le budget carbone de l'aménagement de la RD751

L'estimation du budget carbone de la RD751 s'appuie sur le calcul des émissions de GES de l'infrastructure en 2015 à l'aide du modèle de trafic, avec une réduction de 28 % des émissions en 2030 et de 97 % en 2050, définissant l'enveloppe d'émissions cumulées entre 2015 et 2050 correspondant à la cible SNBC :



Le budget carbone est calculé en s'appuyant sur le trafic et les vitesses pratiquées sur la RD751 à l'horizon de modélisation 2015, pour calculer les émissions liées à la circulation des véhicules. S'y ajoutent les émissions GES liées à l'entretien / exploitation de la route pour le linéaire d'infrastructure de l'année 2015. Ces émissions 2015 (circulation + entretien + exploitation) permettent de calculer les émissions cibles à l'année 2030 et à l'année 2050. L'ensemble dessine une enveloppe d'émissions annuelles compatible avec la SNBC

3.3. Synthèse des périmètres d'évaluation

	Émissions retenues :	Comparaison au budget carbone SNBC	Comparaison en différentiel // à la référence
Scope 1	<ul style="list-style-type: none"> émissions directes liées à la circulation des véhicules thermiques (combustion des carburants fossiles) + ensemble des émissions liées à la phase construction / entretien de l'infrastructure* 	✓	✓
Scope 2	<ul style="list-style-type: none"> émissions indirectes liées à la circulation des véhicules électriques (consommation d'électricité) en retenant les émissions liées à la combustion et aux pertes 	✗	✓
Scope 3	<ul style="list-style-type: none"> émissions indirectes liées à la production des carburants fossiles et organiques (amont) émissions indirectes liées à la production d'électricité (amont) émissions indirectes liées à la fabrication et à la fin de vie des véhicules (amont/aval) 	✗	✓

* Considérant que les émissions liées à la phase chantier / entretien / exploitation de l'infrastructure sont influencées directement par les choix du maître d'ouvrage (faire ou non, avec quels matériaux, quelles emprises), on considère qu'elles font partie du « scope 1 » du projet et sont intégrées à la comparaison de la trajectoire SNBC. C'est une approche pénalisante pour le maître d'ouvrage, car elles ne sont pas incluses dans le budget carbone du secteur des transports par la SNBC, mais affectées au secteur de l'industrie.

4. RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES ET MÉTHODOLOGIE RETENUE

4.1. Références méthodologiques d'évaluation des émissions de GES

Le bilan des émissions de GES s'appuie sur les documents de référence suivants :

- **Référentiel d'évaluation socio-économique des projets d'infrastructures de transport** (instruction cadre du 16 juin 2014 et fiche-outils dans leur version en vigueur – 2019) qui fournit 2 scénarios prospectifs pour l'évaluation des projets (un scénario AMS correspondant à la trajectoire fixée par la SNBC 2019, un scénario AME correspondant à un scénario tendanciel atteignant la neutralité carbone en 2070). Le scénario AMS est retenu en scénario central. Des tests de sensibilité avec le scénario AME sont réalisés sur les variantes les plus contrastées. Ces scénarios fournissent des projections sur :
 - La composition du parc roulant ;
 - L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules (consommation de carburant) ;
 - Le taux d'incorporation des bio-carburants.
- **Base Carbone de l'ADEME** qui fournit les facteurs d'émission GES des carburants à la pompe (phase amont + phase combustion : du « puits à la roue ») en situation actuelle. Ces facteurs d'émission sont prolongés dans le temps avec les scénarios prospectifs AMS et AME en fonction de l'évolution projetée d'incorporation des bio-carburants. Le bilan GES de la phase construction / fin de vie des véhicules est également pris en compte : la base carbone fournit un ratio d'émission par km (pour les VL essence, diesel, électrique et les PL diesel), rapportant les émissions totales des phases construction et fin de vie à des hypothèses de durée de vie des véhicules. Ces émissions traduisent les gains ou pertes sur l'usure et donc le renouvellement des véhicules liées aux distances parcourues en référence et en projet.
- **Méthodologie COPERT 5** permettant de calculer les consommations unitaires des véhicules (L/100 kms ou kwh/100 kms) en fonction de leur vitesse. Des courbes agrégées par type de motorisation sont reprises du référentiel d'évaluation socio-économique des projets de transport. Ces consommations unitaires sont corrigées dans le temps avec les scénarios prospectifs AMS et AME en fonction de l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules ;
- **Guide Cerema « Recommandations pour l'évaluation des émissions de GES des projets routiers »** de mai 2020 pour estimer les émissions de GES liées à la construction du projet et aux opérations d'entretien et de renouvellement sur la durée de vie du projet. La méthode simplifiée proposée en annexe 4 du guide et s'appuyant sur des ratios d'émissions en fonction des coûts d'investissement est utilisée. En effet, le niveau d'étude des variantes ne permet pas à ce stade de réaliser un bilan détaillé basé sur les quantités de matériaux mis en œuvre.

Les émissions de GES sont quantifiées en tonnes de CO₂e (CO₂ équivalent). Elles intègrent les émissions de CO₂ et les émissions des autres gaz à effet de serre converties en équivalent de tonnes de CO₂.

4.2. Données d'entrée

Les données d'entrée utilisées pour la réalisation du bilan Carbone sont les suivantes :

- Pour la phase construction et d'entretien de l'infrastructure : le coût estimatif des variantes décomposé par postes (ouvrages d'art, terrassements, chaussées notamment) fourni par le Conseil Départemental ;
- Pour la phase fonctionnement de l'infrastructure (circulation des véhicules) : les volumes de trafic VL/PL présents sur le réseau et leurs vitesses.

Les données de trafic sont extraites de la modélisation des variantes réalisées par le Cerema avec le modèle Sim44. Le périmètre modélisé correspond à l'intégralité de la Loire-Atlantique, ce qui permet de tenir compte des reports de trafic liés aux améliorations des conditions de service sur la RD751. Les 4 périodes modélisées (HPM, HPS, HCJ et HCN) permettent de reconstituer les émissions de GES sur un jour ouvré moyen (MJO). Des coefficients permettent le passage du TMJO (trafic moyen jour ouvré) au TMJA (trafic moyen journalier annuel).

3 horizons sont disponibles : 2015 (situation actuelle), 2027 (phase 1 du projet) et 2047 (phase 2 du projet). Les niveaux de trafic et les vitesses entre ces horizons modélisés sont reconstitués par interpolation linéaire. Au-delà de 2047, il est supposé une stabilité des conditions de circulation.

5. LES SCÉNARIOS D'ÉVALUATION AMS ET AME

Les scénarios AMS et AME correspondent à deux évolutions futures très contrastées pour le secteur des transports. Ces deux scénarios prospectifs sont présentés dans la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Le scénario AME (Avec Mesures Existantes) correspond une trajectoire tendancielle des comportements et des évolutions technologiques et n'inclut que les mesures votées par le gouvernement avant le 1^{er} juillet 2017 (notamment l'interdiction de vente des véhicules thermiques en 2040 n'est pas prise en compte).

Le scénario AMS (Avec Mesures Supplémentaires) vise à décrire un scénario possible d'évolution de la société, et notamment des transports, permettant d'atteindre la neutralité carbone en 2050 et de respecter les engagements relatifs au changement climatique (budgets carbone).

Ces scénarios posent un ensemble d'hypothèses sur la demande de mobilité, prises en compte dans la modélisation de trafic, et d'hypothèses concernant l'évolution du parc roulant, la performance énergétique des véhicules, l'incorporation des biocarburants qui impactent le bilan carbone.

5.1. Le scénario AMS – « Avec Mesures Supplémentaires »

- **Evolution très rapide du parc roulant :**
 - 16 % de VL électriques en 2030, 94 % en 2050, 100 % en 2070
- **Décarbonation totale de l'énergie en 2050** (hors phases amont) :
 - Electricité + biocarburants
- **Amélioration rapide de la performance énergétique des véhicules** par rapport à 2015 :
 - Environ -50 % de consommation en 2050 VL thermique, -25 % VL électrique

5.2. Le scénario AME – « Avec Mesures Existantes »

- **Evolution lente du parc roulant :**
 - 9 % de VL électriques en 2030, 29% en 2050, 94% en 2070
- **Décarbonation totale de l'énergie en 2070** (hors phases amont) :
 - Pas d'augmentation de la part des biocarburants avant 2050
- **Amélioration lente de la performance énergétique des véhicules** par rapport à 2015 :
 - Environ -25 % de consommation en 2050 VL thermique, -10 % VL électrique

5.3. Les scénarios étudiés dans le bilan carbone

Pour tester l'influence des scénarios prospectifs sur la comparaison des variantes d'aménagement et le respect du budget carbone, plusieurs combinaisons ont été testées, et notamment l'influence du scénario de parc :

Scénario de trafic	Scénario de parc (parc roulant, performance énergétique, biocarburants)	Variante testées
AMS	AMS	Toutes
AMS	AME	Toutes
AME	AME	REF, Sc 0, Sc 2
AME	AMS	REF, Sc 0, Sc 2

6. BILAN GES DES PHASES CONSTRUCTION / ENTRETIEN / EXPLOITATION

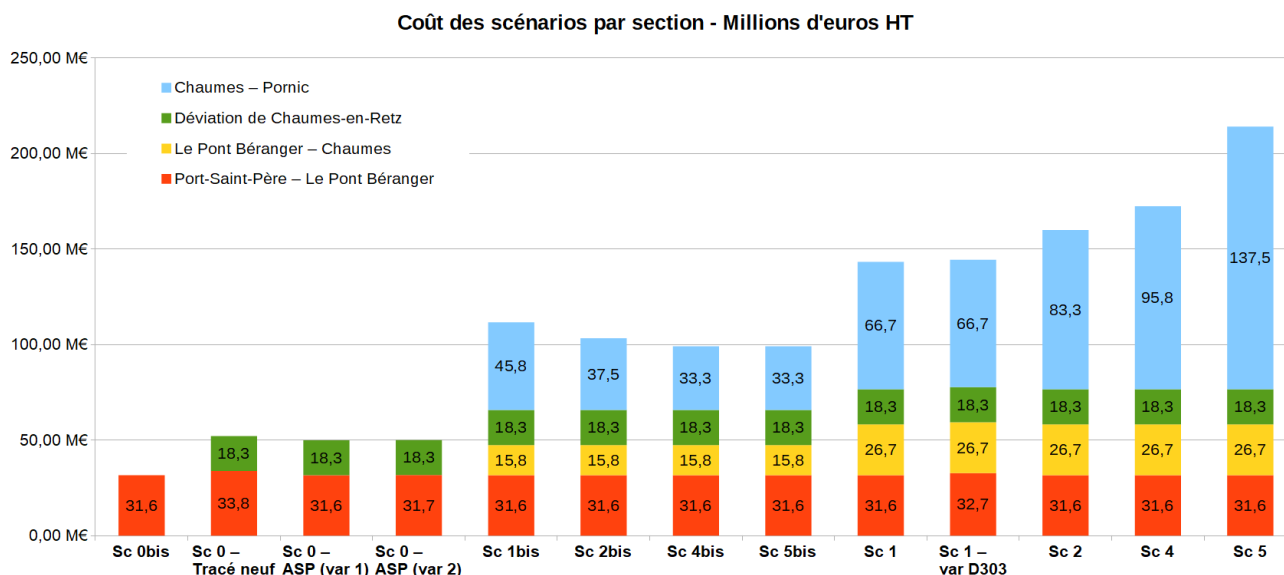
6.1. Guide Bilan Carbone des projets d'infrastructures routières

L'annexe n°4 du guide fournit une méthode simplifiée d'estimation du bilan carbone de la phase chantier et de la phase exploitation basée sur les coûts de construction décomposés par grands postes. Les ratios sont les suivants :

- ouvrages d'art : 485 teq CO₂ / M€ ;
- chaussées : 690 teq CO₂ / M€ ;
- terrassements : 702 teq CO₂ / M€ ;
- artificialisation des sols : 90 % des émissions du poste « chaussées » ;
- exploitation : 3 teq CO₂ / km de voie et par an (bidirectionnelle : 2 voies, 2x2 voies : 4 voies). Le périmètre se limite à la section courante ; les bretelles sont incluses dans ces émissions forfaitaires ;
- équipements : 5 % des émissions du projet hors trafic et équipements.

6.2. Coûts des scénarios

Les coûts HT des scénarios sont reconstitués d'après les coûts estimés pour chaque section. Les 3 postes de coûts nécessaires au calcul du bilan GES phase construction / entretien / exploitation sont précisés en complément.

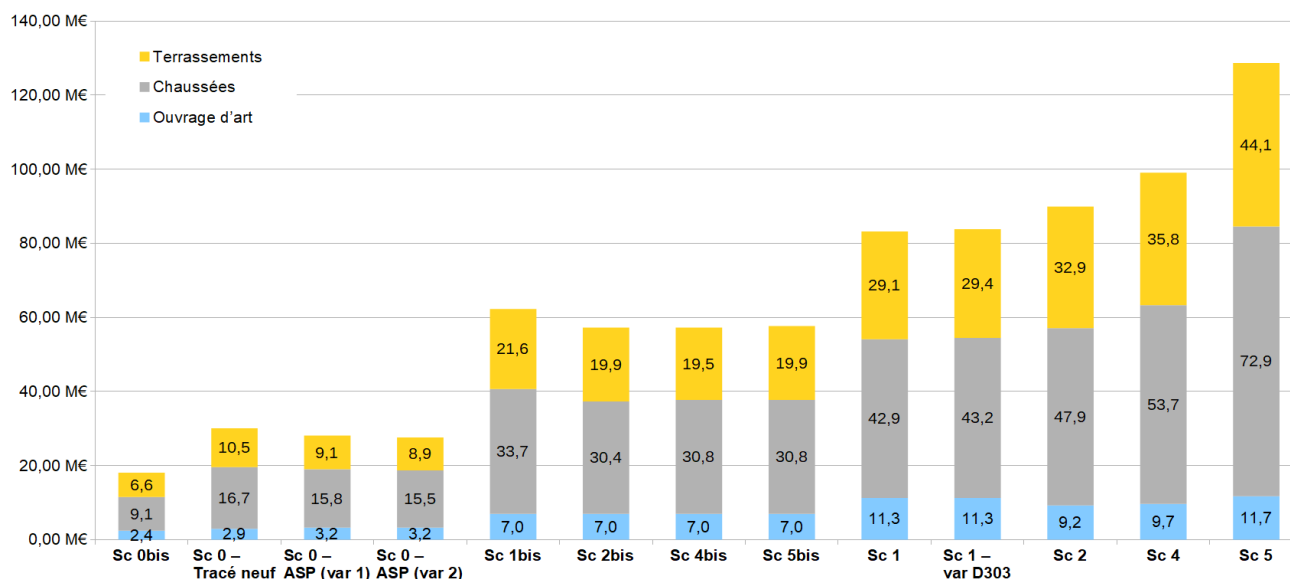


Pour les scénarios 1bis, 2bis, 4bis et 5bis, les coûts d'aménagement sur place à 2 voies de la section Chaumes-en-Retz – Pornic et de la section Le Pont-Béranger – Chaumes-en-Retz comprennent un calibrage et un renforcement de la chaussée (structure + création de bandes d'arrêt), et le regroupement et la sécurisation des carrefours.

Sur la section Chaumes-en-Retz – Pornic, les variantes 2bis, 4bis, 5bis présentent un coût inférieur au scénario 1bis, car une partie de l'aménagement s'appuie sur la RD13 déjà aménagée.

Les coûts par postes utilisés pour le calcul des émissions carbone sont les suivants :

Coût des postes retenus pour le bilan carbone - Millions d'euros HT

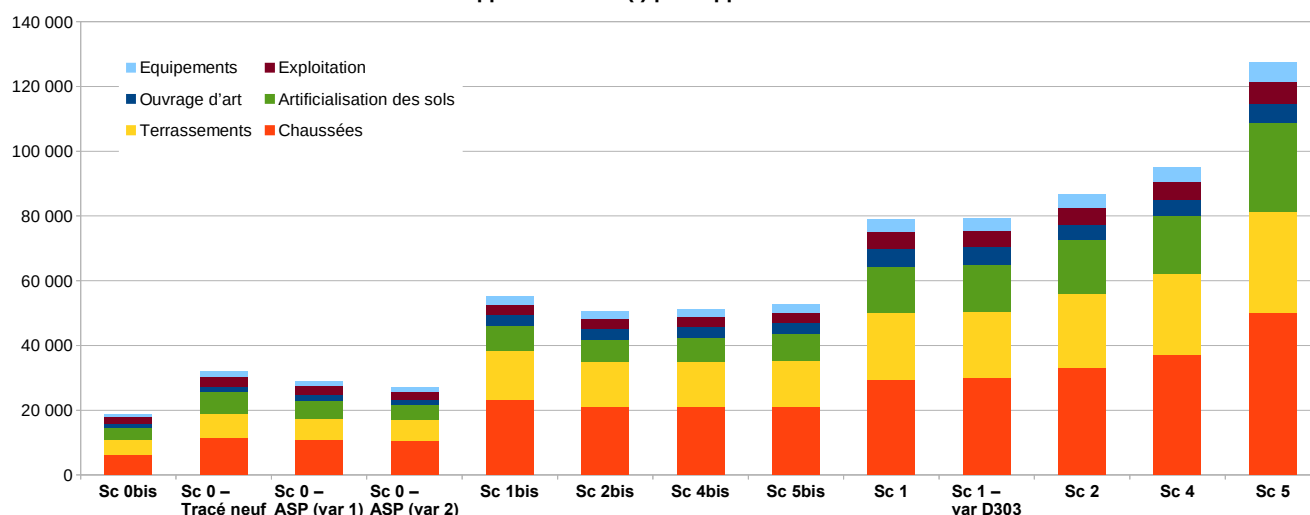


6.3. Bilan des émissions supplémentaires // à la référence - période 2027–2070

Ce calcul comprend les émissions de GES supplémentaires liées à l'aménagement progressif de la liaison Nantes-Pornic entre 2027 et 2070, par rapport au scénario de référence. Le calcul des émissions est prolongé jusqu'en 2070 pour disposer des effets de long terme de l'aménagement, car l'hypothèse de mise en service complète de la plupart des variantes est l'année 2047. Le bilan comprend les émissions suivantes :

- En 2027, mise en service des aménagements entre Port-Saint-Père – le Pont Béranger (toutes les variantes) et doublement de la déviation de Chaumes-en-Retz (sauf Sc 0bis) ;
- Entre 2037 et 2047 : mise en service progressive des aménagements supplémentaires pour une livraison complète en 2047. Pour le calcul des émissions annuelles liées à l'entretien et l'exploitation, une longueur moyenne entre la situation 2027 et la situation 2047 est retenue sur la période 2037-2046 pour caractériser l'aménagement progressif des sections ;
- Entre 2048 et 2070 : émissions liés à l'entretien et l'exploitation de l'infrastructure.

Cumul des émissions de CO2e supplémentaires (t) par rapport à la situation de référence de 2027 à 2070



Sous forme graphique, on constate que les postes prédominants sont les chaussées, les terrassements et l'artificialisation des sols. Les variantes à 2x2 voies ont naturellement un bilan carbone plus élevé.

Le bilan des émissions de CO₂e liées à la construction et l'entretien de l'infrastructure, cumulées sur la période 2027-2070, est le suivant :

**Cumul des émissions de CO₂e (tonnes) de 2027 à 2070 –
Construction et entretien de l'infrastructure**

	Variantes bidirectionnelles*								Variantes à 2x2 voies*				
	Sc 0bis	Sc 0 – Tracé neuf	Sc 0 – ASP (var 1)	Sc 0 – ASP (var 2)	Sc 1bis	Sc 2bis	Sc 4bis	Sc 5bis	Sc 1	Sc 1 – var D303	Sc 2	Sc 4	Sc 5
TOTAL (kilo-tonnes CO ₂ e)	19	32	29	27	55	51	51	53	79	79	87	95	128
Différentiel // Sc 0bis		+ 13	+ 10	+ 8	+ 36	+ 32	+ 33	+ 34	+ 60	+ 61	+ 68	+ 76	+ 109
Variation // Sc 0bis		+ 71%	+ 55%	+ 45%	+ 194%	+ 170%	+ 174%	+ 182%	+ 321%	+ 324%	+ 363%	+ 408%	+ 582%

* sauf précision, l'évaluation est réalisée avec l'aménagement de l'échangeur de Port-Saint-Père en ASP – variante 1

Bilan pour les variantes bidirectionnelles :

- Les émissions liées à la construction et l'entretien sont comprises entre 20000 (Sc 0bis) et environ 55000 tonnes de CO₂e (Sc1 bis).
- Le scénario 0bis est le moins émetteur, en l'absence d'aménagement entre le Pont-Béranger et Pornic.
- Pour les 3 variantes d'aménagement du scénario 0 (échangeur de Port-Saint-Père), la variante 2 (Sc 0 – ASP 2) réalisée au maximum en aménagement sur place réduit de 5000 t les émissions de GES par rapport à la variante en tracé neuf.
- Les écarts entre les variantes 1b et 2b sont peu représentatifs à ce stade compte tenu de la méthode d'évaluation simplifiée employée, basée sur les coûts, et qui prend mal en compte les points singuliers tels que les échangeurs (en l'occurrence ici raccordement à la RD13 pour le scénario 2bis).
- Le bilan carbone des variantes 4 bis et 5 bis est légèrement plus favorable, car ils s'appuient en partie sur la RD13 (non requalifiée).

Bilan pour les variantes à 2x2 voies :

- Les émissions liées à la construction et l'entretien sont comprises entre environ 80000 (Sc 1) et 130000 tonnes de CO₂e (Sc 5).
- Le scénario 1 est le moins émetteur, car il repose intégralement sur un élargissement de la plateforme existante, ce qui génère l'utilisation de moins de matériaux et une moindre artificialisation des sols. La méthode d'évaluation des émissions basée sur les coûts ne permet pas à ce stade de discriminer fortement l'impact de la réalisation de l'échangeur RD303 ;
- Le scénario 5 est le plus émetteur (tracé neuf entre Chaumes-en-Retz et les Moutiers-en-Retz) ;
- Le scénario 4 est plus émetteur que le scénario 2, car il induit un doublement à 2x2 voies sur un itinéraire plus long.

7. DÉMARCHE DE CALCUL DES ÉMISSIONS LIÉES À LA CIRCULATION

La démarche globale du calcul détaillé est illustrée par le schéma suivant :

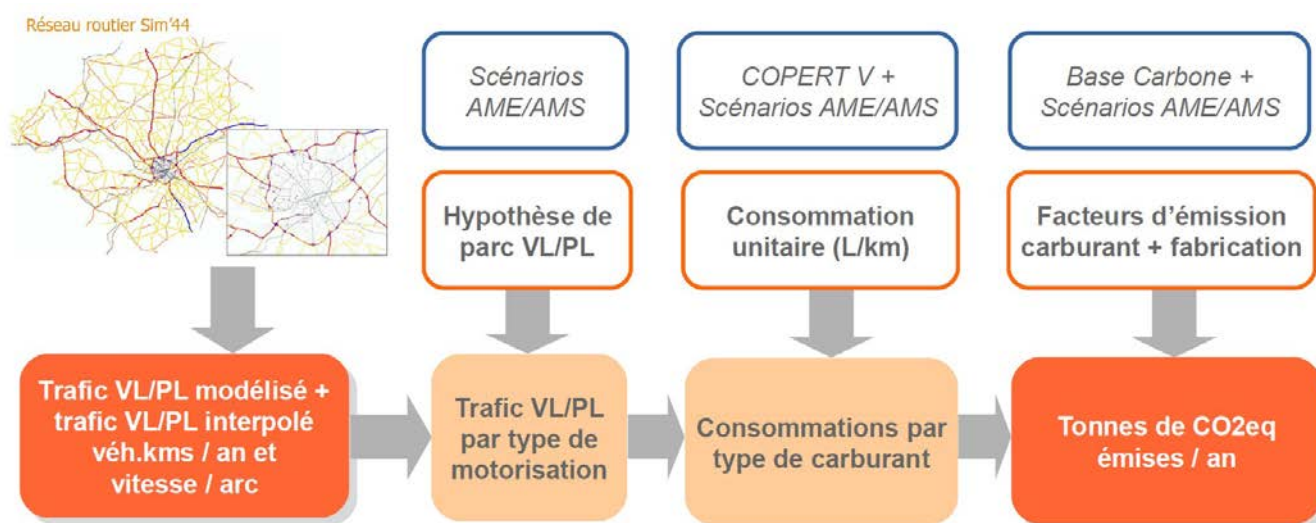


Illustration 4: Démarche de calcul détaillée des émissions de CO2

7.1. 1^{ère} étape : analyse des variantes en différentiel avec la situation de référence

La première étape du bilan carbone est le calcul des émissions de GES en différentiel entre situation de projet et situation de référence. Les émissions sont calculées sur l'ensemble du périmètre du modèle (Loire-Atlantique), pour les horizons modélisés (2015, 2027, 2047), sans le projet, puis avec le projet. Le différentiel correspond aux émissions supplémentaires générées par la mise en service du projet.

Le calcul des émissions est prolongé jusqu'en 2070 pour disposer des effets de long terme de l'aménagement, car l'hypothèse de mise en service complète de la plupart des variantes est l'année 2047.

Ce calcul différentiel est réalisé sur 2 périmètres d'émissions :

- sur les scopes 1, 2 et 3 et la période 2027-2070 pour analyser le cumul des émissions supplémentaires générées par le projet et comparer les effets des variantes sur un périmètre le plus élargi possible ;
- sur le scope 1 uniquement, et sur la période 2015-2050 pour analyser la trajectoire d'émissions par rapport au budget carbone fixé par la SNBC.

7.2. 2^{ème} étape : analyse des variantes au regard de la SNBC

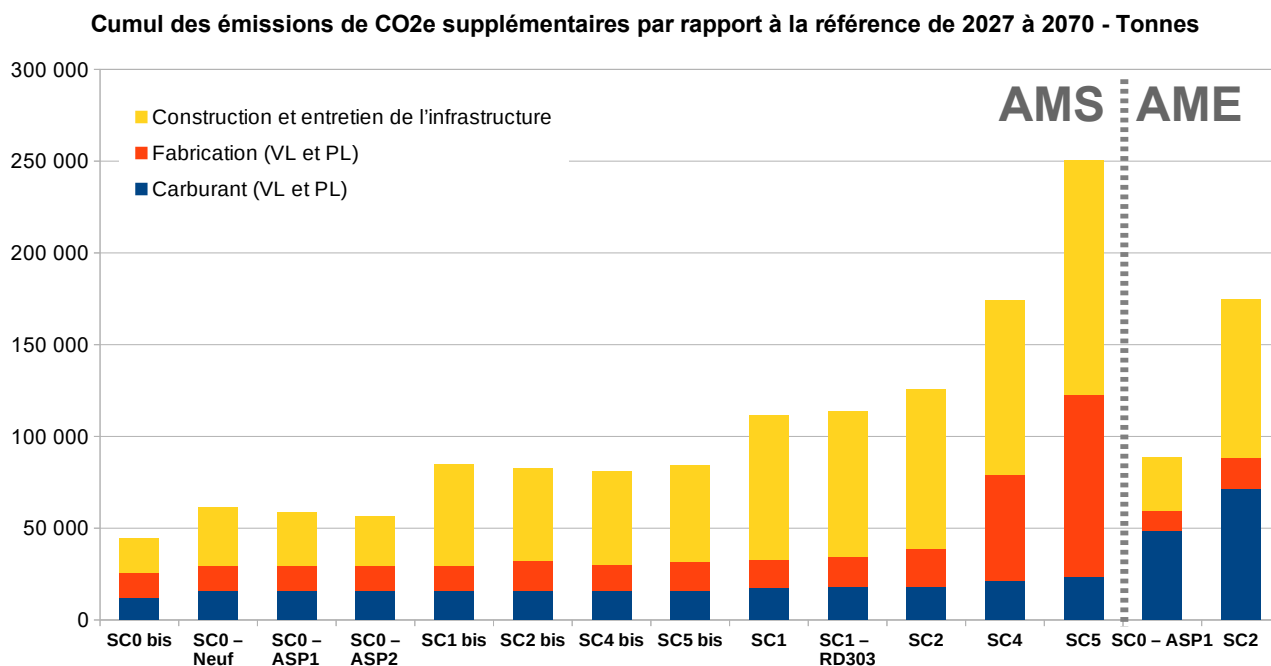
La deuxième étape du bilan carbone consiste à calculer en valeur absolue les émissions de la RD751 sur la période 2015-2050 pour les comparer au budget carbone estimé précédemment.

Pour cela, le volume total d'émissions résultant de l'usage et de l'aménagement de la RD751 entre 2015 et 2050 est calculé pour la situation de référence (sans projet) sur le scope 1, en se limitant uniquement aux arcs composant la RD751.

Cette trajectoire des émissions annuelles de la RD751 en situation de référence entre 2015 et 2050 permet de construire les trajectoires d'émissions des scénarios projet en lui ajoutant directement les différentiels d'émissions annuels calculés dans la première étape sur la période 2015-2050 et le scope 1. L'ajout de ces émissions différentielles permet, pour les usagers reportés vers la RD751, de ne prendre en compte que le surplus d'émissions lié à l'augmentation des vitesses et l'allongement des distances. Ces émissions projet cumulées sur la période 2015-2050 sont directement comparables au budget carbone fixé pour la RD751.

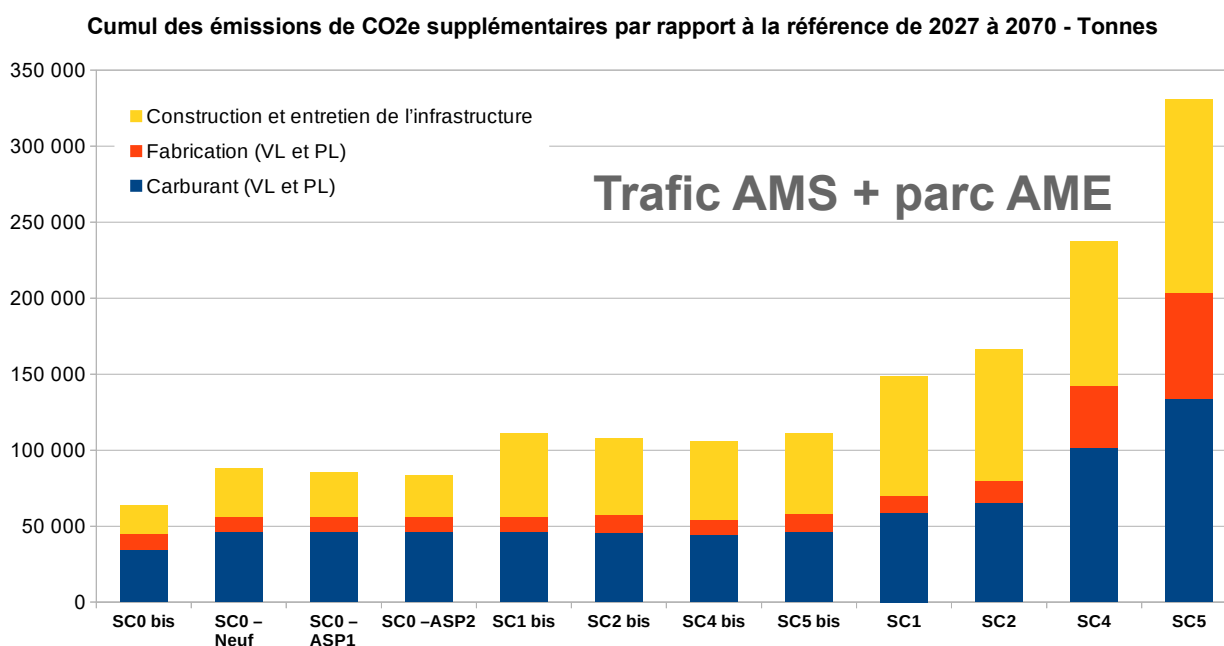
8. COMPARAISON DES VARIANTES SUR UN PÉRIMÈTRE ÉLARGI (SCOPES 1,2,3)

Sur la période 2027 – 2070 et le périmètre complet des émissions (scopes 1,2,3), on note un impact important des émissions liées à la fabrication des véhicules (rouge) pour les variantes Sc4 et Sc5. En effet, ces variantes à 2x2 voies induisent un allongement significatif des distances parcourues du fait du tracé choisi et des reports de trafic générés notamment pour la variante Sc5. En scénario AMS, l'effet de l'allongement des distances sur les émissions liées à la consommation de carburant (bleu) est peu sensible, car le parc est décarboné en 2050.



8.1. Sensibilité des variantes au scénario prospectif

Dans un scénario de trafic AMS + parc AME, les écarts entre les variantes sont plus contrastés sur les émissions liées aux consommations de carburant (bleu), car le parc est décarboné seulement en 2070 :



Selon les variantes, l'incertitude pesant sur le scénario prospectif d'évolution du parc a un impact plus ou moins fort sur les émissions des GES :

Cumul des émissions de CO2e supplémentaires par rapport à la référence de 2027 à 2070 – Kilo-tonnes

	Variantes bidirectionnelles *							Variantes à 2x2 voies *				
	SC0 bis	SC0 – Neuf	SC0 – ASP1	SC0 – ASP2	SC1 bis	SC2 bis	SC4 bis	SC5 bis	SC1	SC2	SC4	SC5
TOTAL (kt CO2) - AMS	44	62	59	57	85	83	81	84	112	125	174	250
TOTAL (kt CO2) – Trafic AMS / Parc AME	63	88	85	83	111	108	106	111	148	167	238	331
Variation // AMS	+ 19	+ 27	+ 27	+ 27	+ 27	+ 25	+ 25	+ 26	+ 37	+ 41	+ 63	+ 81

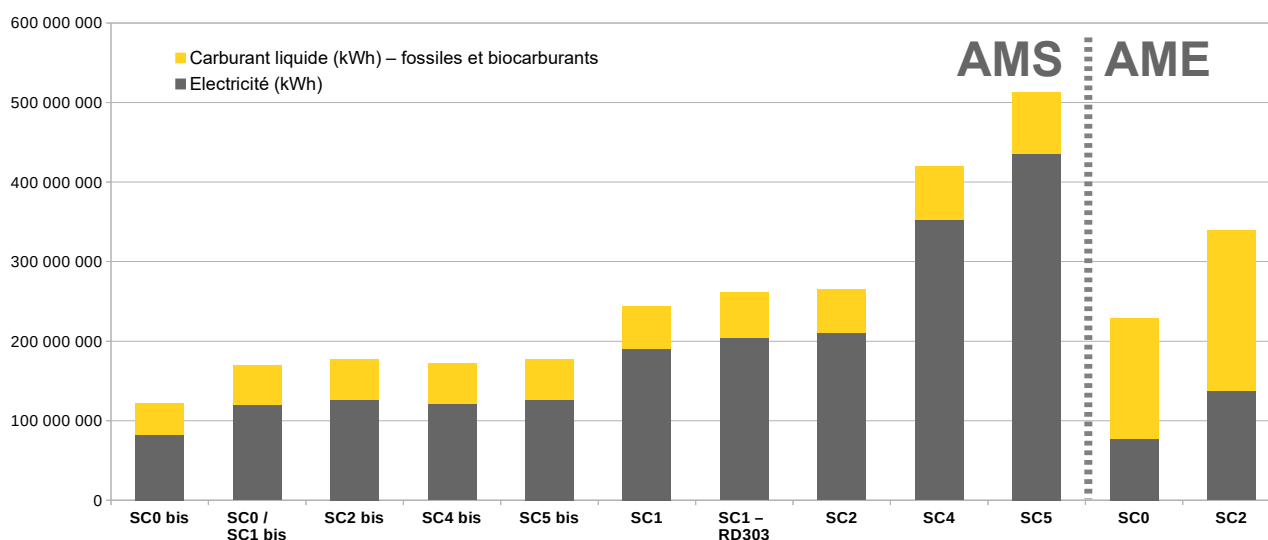
* sauf précision, l'évaluation est réalisée avec l'aménagement de l'échangeur de Port-Saint-Père en ASP – variante 1

Selon les variantes, le passage du parc AMS au parc AME induit une augmentation de 20000 à 80000 tonnes de GES. L'impact est d'autant plus fort que la variante est émettrice par sa configuration (tracé, vitesse). Ainsi les variantes Sc 4 et Sc 5 subissent l'augmentation la plus significative des émissions en cas de retard dans la transition du parc.

8.2. Influence du choix des variantes sur les consommations d'énergie

La décarbonation des carburants pouvant masquer les écarts entre les variantes sur les émissions liées à la consommation de carburants, les consommations d'énergie « brutes » sont présentées ci-après. Les volumes de carburant liquide ont été convertis en énergie consommée pour être comparables à l'énergie électrique. On observe ainsi plus directement l'impact des variantes sur les besoins énergétiques :

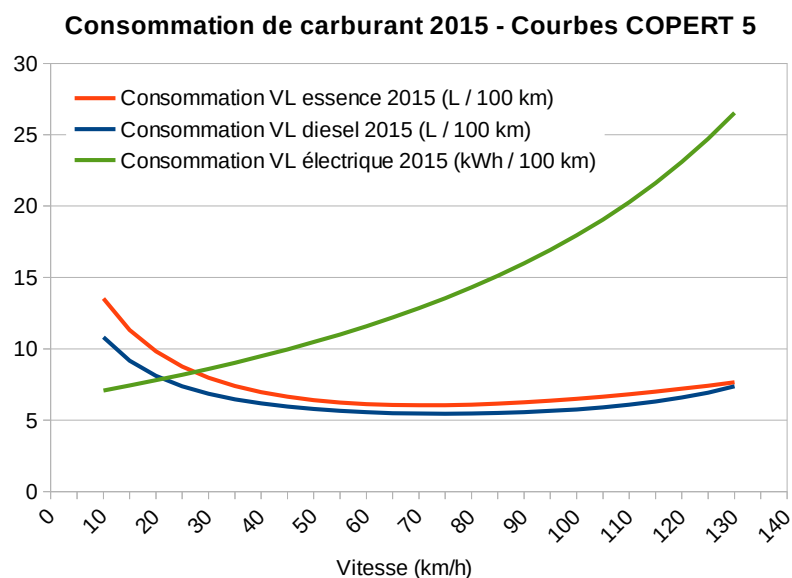
Cumul de la consommation d'énergie supplémentaires (kWh) // à la référence de 2027 à 2070



Dans le scénario AMS, on note un impact sensible des variantes sur la consommation d'électricité. Les variantes comportant les plus longues portions aménagées à 2x2 voies à 110 km/h et les tracés les plus longs induisent des consommations d'énergie électrique plus importantes :

- + 50 % d'électricité pour les variantes bidirectionnelles (0, 1bis, 2bis, 4 bis, 5bis) par rapport au Sc 0bis
- + 130 à + 150 % pour les variantes à 2X2 voies : Sc1 et Sc2
- + 330% pour la variante Sc4
- + 430% pour la variante Sc5

Les courbes de consommations de carburant issues de la méthodologie COPERT 5 montrent que le passage de 80 km/h à 110 km/h engendre environ + 10 % de consommations pour les VL thermiques et +40 % de consommation pour les VL électriques.



Au-delà de la décarbonation des carburants, la SNBC vise en premier lieu la sobriété de la demande de déplacements et la sobriété énergétique. Une forte augmentation des besoins énergétiques peut rendre plus difficile la couverture des besoins et retarder la transition du parc. D'autre part, des infrastructures induisant des consommations d'électricité plus élevées peuvent avoir une incidence sur le choix de conversion des ménages au regard de l'autonomie des véhicules électriques et de la disponibilité des points de recharge.

Conclusions :

La comparaison des variantes ne se limite pas aux émissions de GES. Elle doit également inclure l'impact sur la demande en énergie, notamment électrique, et privilégier la sobriété des consommations.

8.2.1.1. Conclusions sur la comparaison en périmètre élargi

- **Variantes bidirectionnelles : la variante 0bis**
 - + 45000 tonnes par rapport au scénario de référence en scénario AMS (inclus phase chantier)
 - + 20000 tonnes d'émissions supplémentaires en parc AME
 - Effet prédominant des émissions liées à la circulation en AMS : 26000 tonnes d'émissions

- **Variantes bidirectionnelles : les variantes 0, 1bis, 2bis, 4bis, 5bis**
 - + 55000 à 85000 tonnes par rapport au scénario de référence en scénario AMS
 - + 25000 tonnes d'émissions supplémentaires en parc AME
 - Émissions liés à la circulation (fabrication et carburant) quasi-identiques entre les variantes
 - + 50 % de consommation d'électricité par rapport au Sc 0bis en parc AMS
 - Émissions liées à la construction et l'entretien diminuées d'environ 20000 tonnes pour le scénario 0 par rapport aux autres variantes 1bis, 2bis, 4bis et 5 bis

- **Variantes à 2x2 voies : les variantes Sc1 et Sc2**
 - + 110000 à 125000 tonnes par rapport au scénario de référence en scénario AMS
 - + 40000 tonnes d'émissions supplémentaires en parc AME
 - Part prédominante de la phase chantier / entretien : 70 % des émissions en AMS
 - Effet significatif de l'augmentation des vitesses selon l'évolution du parc roulant :
 - Proche des émissions des variantes bidirectionnelles en AMS (+2000 à 3000 tonnes)
 - Effet discriminant par rapport aux variantes bidirectionnelles en parc AME (+12000 à 20000 t)
 - Écart modéré entre les 2 variantes sur les émissions liées à la circulation : la variante Sc2 induit environ 6000 tonnes d'émissions supplémentaires par rapport au Sc1 par l'allongement des distances et l'augmentation de vitesse dans le contournement de Pornic par la RD13 dans le scénario AMS, et + 10000 tonnes avec le parc AME.
 - Écart modéré entre les 2 variantes sur les émissions liées au chantier et à l'entretien : 8000 tonnes supplémentaires pour la variante Sc 2.
 - + 130 à + 150 % de consommation d'électricité par rapport au Sc 0bis en parc AMS

- **Variantes à 2x2 voies : les variantes Sc4 et Sc5**
 - + 175000 à 250000 tonnes par rapport au scénario de référence en scénario AMS
 - + 65000 à 80000 tonnes d'émissions supplémentaires en parc AME
 - Part moindre de la phase chantier / entretien dans les émissions totales
 - Effet significatif de l'augmentation des vitesses selon l'évolution du parc roulant :
 - Relativement proche des émissions des variantes bidirectionnelles en AMS (+5000 à 8000 t)
 - Effet très discriminant par rapport aux variantes bidirectionnelles en parc AME (+55000 à 90000 t)
 - Effet très marqué de l'allongement des distances lié au tracé ou aux reports d'itinéraires (émissions liées à la fabrication des véhicules) : +40000 à 80000 tonnes supplémentaires par rapport au Sc1 en scénario AMS
 - + 330 à + 430 % de consommation d'électricité par rapport au Sc 0bis en parc AMS

- **Synthèse**
 - Les variantes Sc 4 et Sc 5 sont les plus défavorables sur tous les postes : émissions de GES en phase construction / entretien, fabrication des véhicules du fait de l'allongement des distances parcourues, consommation d'énergie électrique (allongement des distances couplé à l'augmentation des vitesses), émissions de GES liées aux carburants en cas de retard sur l'électrification du parc roulant ;
 - Les variantes bidirectionnelles ont le bilan carbone le moins défavorable et sont les moins sensibles à un retard de transition sur le parc roulant ;
 - Les variantes à 2x2 voies Sc 1 et Sc 2 se distinguent des variantes bidirectionnelles par le bilan carbone de la phase chantier / entretien, par l'augmentation significative de la consommation d'énergie électrique du fait de l'augmentation des vitesses, et d'une certaine sensibilité des émissions de GES liées aux carburants en cas de retard sur l'électrification du parc roulant.

9. RESPECT DU BUDGET CARBONE DE LA STRATÉGIE NATIONALE BAS CARBONE

9.1. Estimation du budget Carbone pour la RD751

Pour mémoire, la trajectoire SNBC pour les transports est la suivante :

- horizon 2030 : diminution de 28 % des émissions de 2015 ;
- horizon 2050 : diminution de 97 % des émissions de 2015.

Les émissions 2015 liées à la circulation des véhicules sont calculées uniquement sur le linéaire de la RD751 entre Pornic et Bouguenais présenté sur la figure suivante :

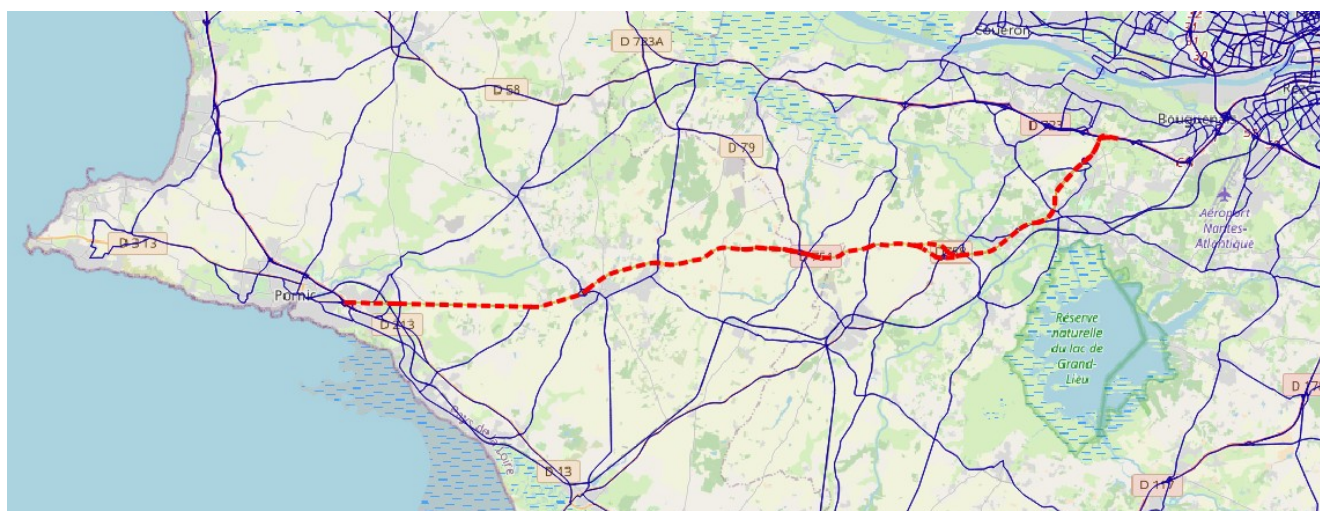


Illustration 5: Périmètre de calcul des émissions de GES pour le budget carbone de la RD751

On obtient pour l'année 2015 l'émission de 36987 tonnes de CO₂e (scope 1).

L'entretien / exploitation de la RD751 à l'année 2015 représente l'émission de 254 tonnes de CO₂e.

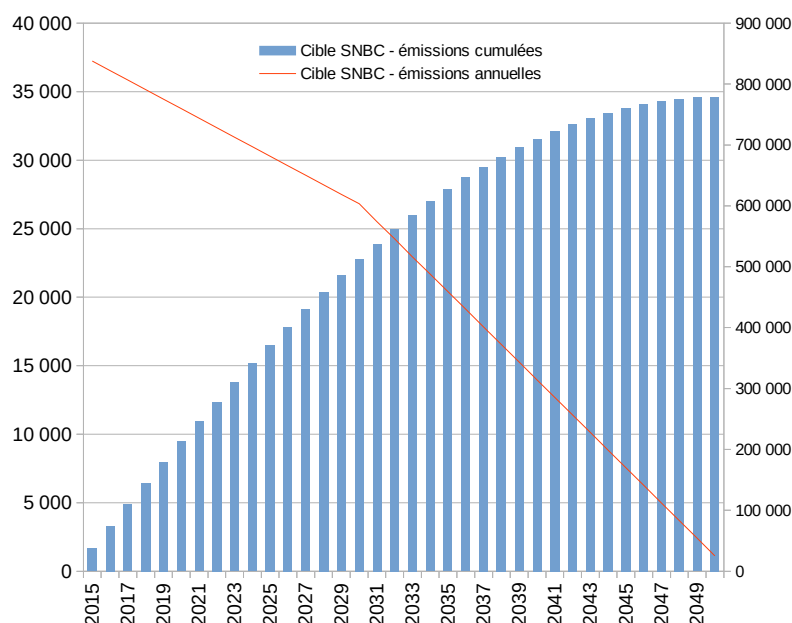
Les émissions retenues pour 2015 sont donc de 37241 t, soit une cible de 26814 t en 2030 et 1117 t en 2050.

Ces cibles intermédiaires permettent de tracer la trajectoire de diminution des émissions jusqu'à 2050 et en sommant ces émissions, de déterminer le « budget carbone » alloué au fonctionnement de la RD751 jusqu'à 2050.

Le budget carbone est ainsi estimé à environ 779000 tonnes sur la période 2015 – 2050.

Les émissions des variantes, en incluant les émissions des chantiers réalisés sur la même période, sont comparées à ce budget.

Budget carbone de la RD751 (tonne des CO₂e)
Emissions annuelles et émissions cumulées



9.2. Émissions de GES construction / entretien sur la période 2015-2050

Ce calcul comprend les émissions liées à l'aménagement progressif de la liaison Nantes-Pornic entre 2015 et 2050. Il comprend les émissions suivantes :

- Les émissions liées à l'aménagement de la RD751 en situation de référence (inclus déviation de Port-Saint-Père – mise en service prévue en 2023) ;
- Les émissions supplémentaires liées à la construction des sections aménagées en projet (calculées précédemment), qui s'ajoutent aux émissions de la situation de référence ;
- Les émissions cumulées liées à l'entretien / exploitation des sections aménagées en référence et en projet sur la période 2015-2050 (les linéaires nouvellement aménagés en projet s'ajoutent au linéaire de la RD751 en référence : l'entretien comprend le tracé historique de la RD751 et les portions nouvelles créées dans le cadre du projet).

Le bilan global des émissions de GES du scénario de référence et des scénarios projet sur la période 2015-2050 est le suivant (les scénarios projet incluent les émissions du scénario de référence) :

**Cumul des émissions de CO2e (kilo-tonnes) de 2015 à 2050
Construction et entretien de l'infrastructure**

	Variantes bidirectionnelles*									Variantes à 2x2 voies*				
	REF	Sc 0bis	Sc 0 – Tracé neuf	Sc 0 – ASP (var 1)	Sc 0 – ASP (var 2)	Sc 1bis	Sc 2bis	Sc 4bis	Sc 5bis	Sc 1	Sc 1 – var D303	Sc 2	Sc 4	Sc 5
TOTAL (kilo-tonnes CO2e)	24	42	55	52	50	78	74	74	76	100	101	108	116	148

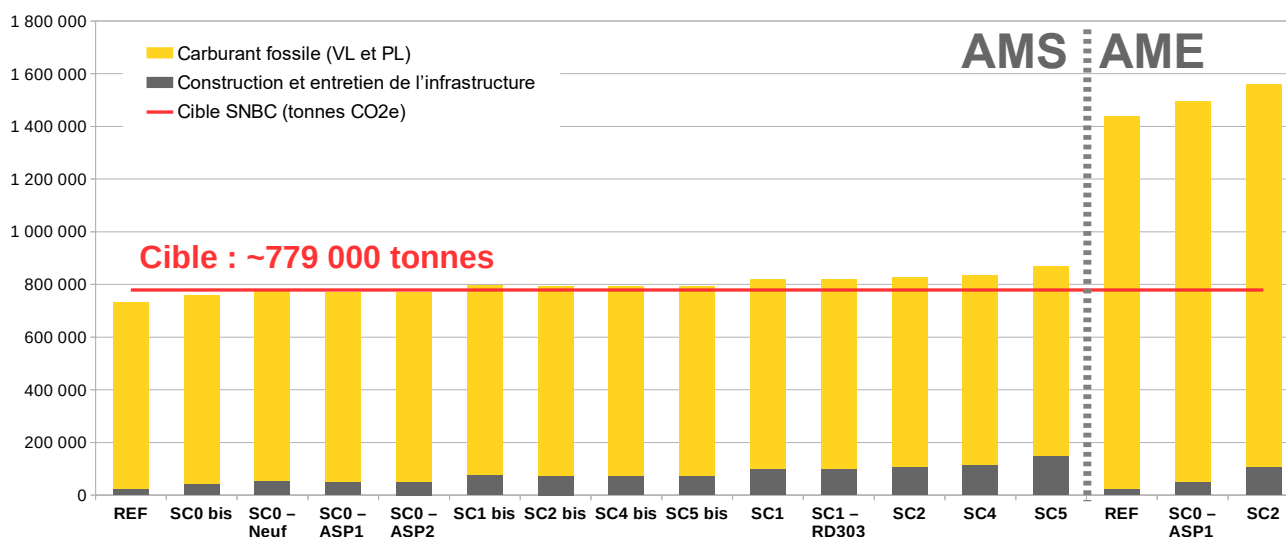
* sauf précision, l'évaluation est réalisée avec l'aménagement de l'échangeur de Port-Saint-Père en ASP – variante 1

Ces émissions cumulées sont utilisées pour analyser les scénarios au regard du budget carbone SNBC.

9.3. Comparaison des variantes sur la période 2015 – 2050

Les émissions cumulées des variantes sur la période 2015-2050 (émissions directes scope 1 + construction / entretien de l'infrastructure) sont assez peu contrastées dans le scénario AMS, et relativement proche du budget carbone SNBC. Dans le scénario AME complet (trafic + parc), même en situation de référence sans réalisation du projet, le budget carbone n'est pas respecté.

Cumul des émissions de CO2e de 2015 à 2050 (scope 1) - Tonnes



Ces premiers résultats montrent :

- 1/ Un faible écart entre les variantes dans le scénario AMS et un budget carbone presque respecté.
- 2/ L'importance du scénario de référence dans le respect du budget carbone.

Ces deux points sont développés ci-après.

9.3.1. Influence directe des variantes sur le respect du budget carbone en AMS

Les émissions des variantes liées à la consommation de carburant fossile (scope 1) sont quasiment identiques sur la période 2015 – 2050 :

	AMS	Carburant fossile (VL et PL)	Construction et entretien de l'infrastructure	TOTAL (tonnes CO2e)	Ecart à la cible SNBC
REF	Référence AMS	709 279	24 328	733 606	-5,81 %
SC0 bis	Scénario 0 bis – ASP (variante 1)	716 319	42 093	758 413	-2,63 %
SC0 – Neuf	Scénario 0 – Tracé neuf	718 234	54 744	772 978	-0,76 %
SC0 – ASP1	Scénario 0 – ASP (variante 1)	718 234	52 013	770 247	-1,11 %
SC0 – ASP2	Scénario 0 – ASP (variante 2)	718 234	50 323	768 556	-1,33 %
SC1 bis	Scénario 1b (bidirectionnelle)	718 234	77 969	796 203	2,22 %
SC2 bis	Scénario 2b (bidirectionnelle)	718 633	73 540	792 173	1,70 %
SC4 bis	Scénario 4b (bidirectionnelle)	718 615	74 219	792 834	1,79 %
SC5 bis	Scénario 5b (bidirectionnelle)	718 643	75 544	794 188	1,96 %
SC1	Scénario 1	718 749	100 264	819 013	5,15 %
SC1 – RD303	Scénario 1 – variante D303	718 911	100 830	819 741	5,24 %
SC2	Scénario 2 (2x2 voies)	718 821	107 979	826 800	6,15 %
SC4	Scénario 4 (2x2 voies)	719 033	116 266	835 298	7,24 %
SC5	Scénario 5 (2x2 voies)	719 294	147 930	867 223	11,34 %

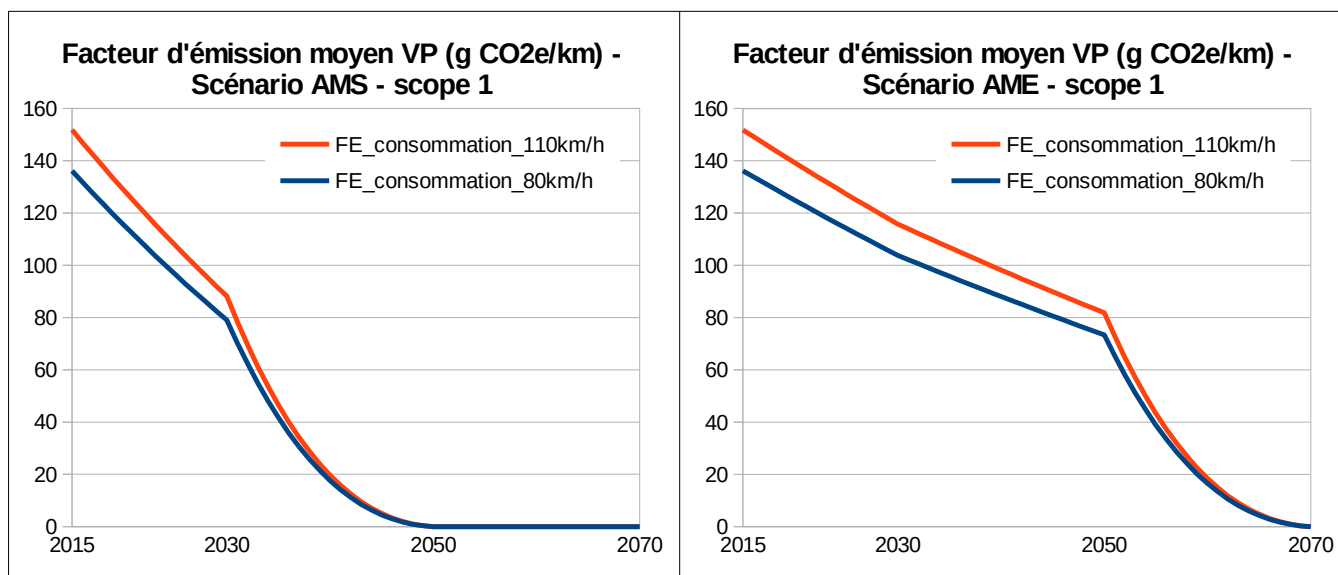
Ceci s'explique par le phasage du projet :

- Phase 1 (2027) : déviation de Port-Saint-Père + doublement de Chaumes en Retz (sauf 0bis)
- Phase 2 (2037 - 2047) : aménagement progressif Le Pont Béranger – Chaumes et Chaumes – Pornic

Ainsi, jusqu'à 2037, les projets sont quasiment identiques. À partir de 2037, les différences (distances, vitesses) sont atténuées par un parc fortement décarboné (électricité et biocarburants), ce qui explique les très faibles écarts entre les variantes sur les émissions liées à la consommation de carburant.

La seule différence sensible concerne la variante 0bis par rapport aux autres variantes (environ -2000 tonnes), car cette variante n'intègre pas la mise à 2x2 voies de la déviation de Chaumes-en-Retz, alors qu'elle intervient en 2027 pour tous les autres scénarios. Malgré tout cet écart reste très limité sur le budget global.

Pour illustrer l'impact du phasage du projet sur les émissions de GES, les facteurs d'émission moyens du parc VL (pour le scope 1) sont représentés ci-dessous :



On peut noter tout d'abord que l'impact des variantes sur les distances parcourues est prépondérant par rapport à l'augmentation des vitesses, quel que soit le stade d'évolution du parc. 1 km supplémentaire parcouru à 80 km/h génère beaucoup plus d'émissions, que l'augmentation de la vitesse de 80 à 110 km/h.

En AMS, on constate que les émissions unitaires (gCO₂e / km) sont divisées par 3 entre 2027 et 2037, pour être quasiment nulles en 2047, et le différentiel d'émissions liée à l'augmentation de vitesse est d'environ 3 gCO₂e / km en 2037, ce qui explique les faibles écarts entre les variantes.

En AME, les émissions unitaires sont seulement réduites de 15 % entre 2027 et 2037, puis à nouveau de 15 % entre 2037 et 2047. En moyenne de 2027 à 2047, l'augmentation de vitesse de 80 à 110 km/h augmente les émissions d'environ 10 gCO₂e/km.

Conclusions :

- **Le phasage du projet est déterminant pour le respect du budget carbone.** Plus les aménagements sont éloignés dans le temps, moins ils génèrent d'émissions supplémentaires sur le scope 1. Le phasage concrétise également l'inscription du projet dans un scénario AMS de maîtrise de la demande (les augmentations de capacité sont décalées dans le temps) et il contribue à réduire les risques de dépassement du budget carbone en cas de transition retardée du parc roulant.
- Quel que soit le scénario de parc roulant, **l'augmentation des distances parcourues** (par le tracé de la variante ou par les reports qu'elle engendre par son attractivité) **est plus pénalisant que l'augmentation des vitesses.** Cet effet est sensible sur les émissions de GES tant que le parc n'est pas fortement décarboné. En parc AMS, ce n'est pas discriminant pour les variantes. En parc AME, les écarts sont un peu plus contrastés (cf. tableau ci-dessous).

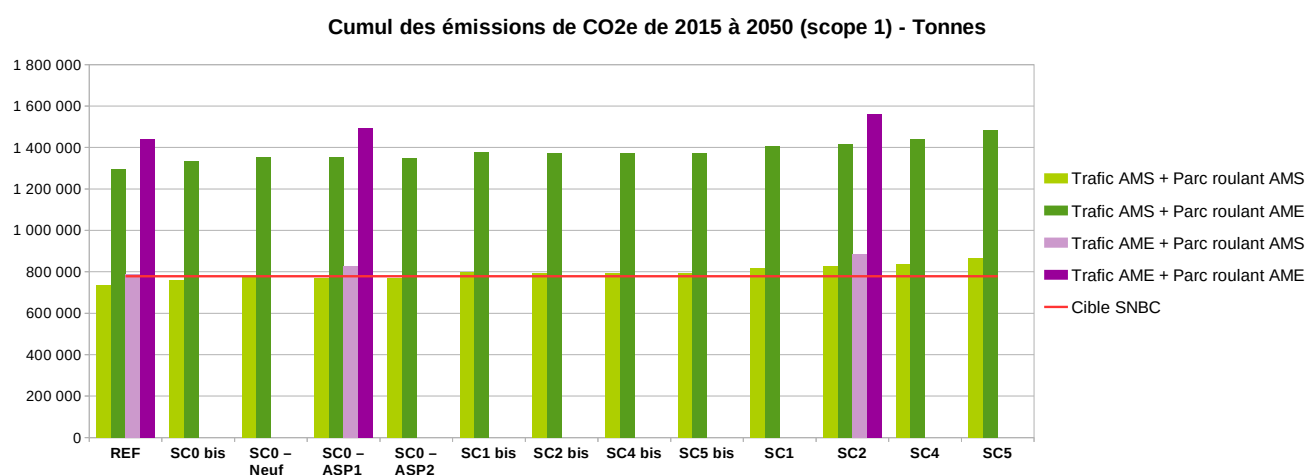
Cumul des émissions de CO₂e de 2015 à 2050 (scope 1) – Kilo-tonnes – Trafic AMS + Parc AME

	Variantes bidirectionnelles – AMS*									Variantes à 2x2 voies – AMS*			
	REF	SC0 bis	SC0 – Neuf	SC0 – ASP1	SC0 – ASP2	SC1 bis	SC2 bis	SC4 bis	SC5 bis	SC1	SC2	SC4	SC5
Carburant fossiles (kilo tonnes CO ₂)	1 273	1 293	1 299	1 299	1 299	1 299	1 299	1 299	1 300	1 304	1 307	1 323	1 336

9.3.2. Influence du scénario prospectif sur le respect du budget carbone

Les émissions cumulées des variantes sont peu contrastées dans le scénario AMS (vert clair), et relativement proches du budget carbone SNBC. Dans le scénario AME complet (violet), le budget carbone n'est pas respecté, même en situation de référence.

Dans un scénario de trafic AMS couplé à un parc AME (vert foncé), le budget carbone n'est pas non plus respecté en situation de référence et quel que soit le projet. Dans un scénario de trafic AME + parc AMS (rose), le budget carbone n'est pas respecté en projet.



Ces résultats montrent tout d'abord que l'évolution du parc roulant et la décarbonation des carburants sont des paramètres prédominants pour le respect du budget carbone. Si la trajectoire de parc AMS n'est pas atteinte, aucune variante d'aménagement ne pourra respecter le budget carbone fixé.

Tous les scénarios prospectifs pour les transports incluent l'électrification quasi-complète du parc VL en 2050 pour atteindre la neutralité carbone (AMS de la SNBC, Transition(s) 2050 de l'ADEME), aussi cette hypothèse est globalement partagée comme un levier majeur pour la transition du secteur des transports.

Toutefois le rythme du renouvellement est incertain : un retard dans l'évolution du parc et dans l'incorporation de biocarburants pourrait conduire à un dépassement du budget carbone pour le projet. Ainsi la demande de trafic AMS couplée au parc AME (qui est certes assez pessimiste) dépasse largement le budget carbone.

Par ailleurs, la rapidité d'évolution du parc constitue un levier plus ou moins mobilisé dans les différents scénarios de transition à l'étude, en complément des leviers agissant sur la demande de déplacement. Un scénario très volontariste d'évolution du parc pourrait s'accompagner d'efforts moins importants sur la maîtrise de la demande. À l'inverse, un projet favorisant la maîtrise de la demande est plus à l'abri des incertitudes sur l'évolution du parc. Le projet peut également agir sur l'ensemble des leviers de manière équilibrée pour maximiser les chances de respecter le budget carbone.

Conclusions :

Le respect du budget carbone ne peut s'inscrire que dans un scénario AMS fondé sur l'évolution rapide du parc roulant vers la neutralité carbone en 2050 (selon un rythme très rapide dès 2030) accompagné d'une maîtrise de la demande selon les hypothèses retenues dans le modèle de trafic.

Pour le projet, l'effet du parc est prédominant pour le respect du budget carbone, mais la maîtrise de la demande est un paramètre complémentaire nécessaire (un trafic AME + un parc AMS ne respecte pas le budget). Les 2 leviers sont les conditions nécessaires pour le respect du budget carbone.

La réalisation du projet doit contribuer à la réussite du scénario de transition, en accompagnant et facilitant la transition du parc roulant, et en contribuant à maîtriser la demande de déplacements.

9.4. Conclusions sur le respect du budget carbone

- **Scénario de référence : le respect du budget carbone n'est envisageable que dans un scénario AMS impliquant une forte évolution du parc roulant et la décarbonation des carburants associées à une maîtrise de la demande**
 - Le projet devra contribuer ou faciliter la réalisation de ce scénario AMS, et son choix devra être guidé par sa compatibilité avec :
 - La maîtrise de la demande de déplacements (infrastructure limitant l'augmentation de la demande : leviers vitesse, attractivité de l'itinéraire, capacité des aménagements, aménagements pour le covoiturage, les TC, les vélos)
 - La sobriété énergétique (infrastructure limitant l'augmentation des consommations d'énergie : leviers vitesse, maîtrise de l'allongement des distances)
 - La transition du parc de véhicules (infrastructure facilitant l'usage des véhicules électriques : leviers vitesse, distance, équipements de recharge sur le territoire)
- **Variantes bidirectionnelles : le budget carbone est respecté, les incertitudes sont faibles et externes au projet (parc et carburants)**
 - -2,5 % par rapport à la cible pour le scénario 0bis (-20000 tonnes)
 - +2,5 % pour le scénario 1bis avec requalification lourde de l'existant (+20000 t)
 - Les incertitudes sur l'induction et la concurrence modale sont faibles (moindre augmentation des vitesses et du confort sur l'itinéraire), ce qui réduit les risques d'une sous-estimation de la demande par le modèle. Le risque de dépassement du budget carbone est surtout porté par l'évolution du parc de véhicules.
- **Variantes à 2x2 voies : les incertitudes sont fortes, le budget carbone n'est pas respecté**
 - +5 % par rapport à la cible pour le scénario 1 (+40000 t)
 - +11 % pour le scénario 5 (+90000 t)
 - L'impact de l'induction et de la concurrence modale sont plus forts pour les variantes à 2x2 voies (confort et attractivité de l'itinéraire), ce qui pourrait augmenter la demande dès 2037 (risque de sous-estimation de la demande par le modèle) et accentuer le dépassement du budget carbone, en plus des incertitudes sur l'évolution du parc de véhicules
 - Le phasage du projet est un levier pour adapter les aménagements à la transition du parc, en reculant la phase 2 du projet à un horizon où le parc est fortement décarboné.

10. CONCLUSIONS DU BILAN CARBONE

Tableau de synthèse pour le scénario AMS (trafic AMS + parc AMS) :

	Respect du budget carbone (scope 1, 2015-2050)	Émissions carbone (tous scopes, 2027-2070)	Consommation d'énergie électrique (2027-2070)	Risques, incertitudes, paramètres déterminants
	Écart à la cible en %	Tonnes supplémentaires	Giga Wh supplémentaires	
Référence (RD751)	- 5,8%	1357000	1037	
Variantes bidirectionnelles				
Sc 0bis	- 2,6 %	+ 45 000	+ 82	<ul style="list-style-type: none"> • Risque moindre de sous-estimation de la demande et des émissions de GES (faible évolution de l'attractivité de l'itinéraire, peu d'augmentation de capacité) • Émissions liées à la circulation quasi-identiques entre les variantes • Effet discriminant de la phase construction / entretien de l'infrastructure • Sensibilité modérée à un retard sur l'évolution du parc roulant
Sc 0 – Tracé neuf	- 0,8 %	+ 62 000	+ 119	
Sc 0 – ASP 1	- 1,1 %	+ 59 000	+ 119	
Sc 0 – ASP 2	- 1,3 %	+ 57 000	+ 119	
Sc 1bis	+ 2,2 %	+ 85 000	+ 119	
Sc 2bis	+ 1,7 %	+ 83 000	+ 127	
Sc 4bis	+ 1,8 %	+ 81 000	+ 121	
Sc 5bis	+ 2,0 %	+ 84 000	+ 127	
Variantes à 2x2 voies				
Sc 1	+ 5,2 %	+ 112 000	+ 190	<ul style="list-style-type: none"> • Importance du phasage du projet • Consommation d'électricité accrue • Risque de sous-estimation de la demande et des émissions de GES (induction et report modal liés à l'attractivité de l'aménagement, augmentation de capacité) • Sensibilité accrue à un retard sur l'évolution du parc roulant • Augmentation des émissions liées à la fabrication des véhicules pour les variantes Sc4 et Sc5 (allongement des distances)
Sc 1 - RD303	+ 5,2 %	+ 114 000	+ 204	
Sc 2	+ 6,1 %	+ 125 000	+ 210	
Sc 4	+ 7,2 %	+ 174 000	+ 353	
Sc 5	+ 11,3 %	+ 250 000	+ 435	

Le bilan carbone ne peut être conclusif à lui seul. Ces résultats ont vocation à compléter l'analyse de l'atteinte des objectifs du projet et à aider au choix parmi les variantes répondant le mieux aux besoins.



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN