

Enquête publique 3ème ligne de métro



Les Faiseurs de Ville

contact@faiseursdeville.org

Synthèse

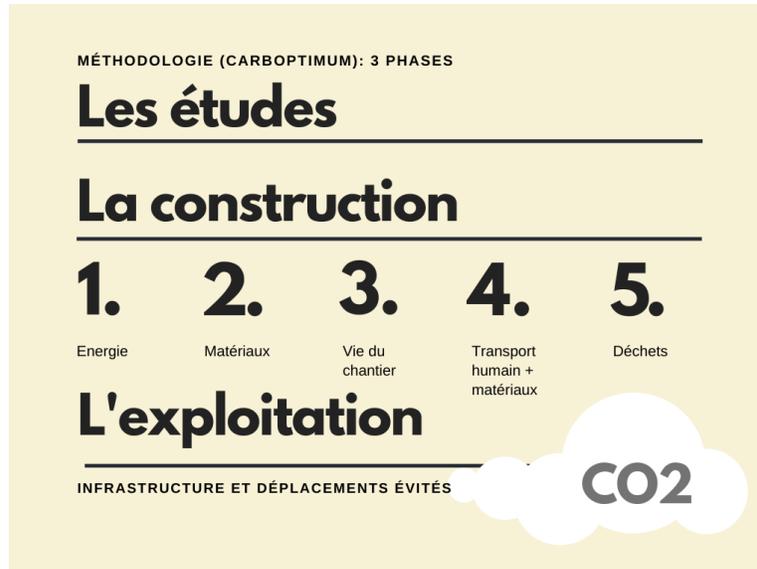
Contexte

A l'occasion de l'enquête publique pour la demande d'autorisation environnementale sur la 3ème ligne de métro ou Toulouse Aero Express (TAE), le collectif des Faiseurs de Ville s'est intéressé à l'empreinte carbone de la construction et de l'exploitation de cette nouvelle ligne.

Méthodologie

La Société du Grand Paris a publié en 2012 sa méthodologie d'évaluation Carboptimum élaborée avec le cabinet belge Statec pour les travaux des nouvelles lignes de métro du Grand Paris Express. Ces travaux constituent une référence extrêmement complète et détaillée qui peut être aisément déclinée pour le projet TAE. On pourra s'étonner que Tisséo n'ait pas choisi de l'utiliser alors qu'elle était disponible en accès libre. C'est donc sur cette méthodologie que nous avons choisi de baser notre analyse pour comparer avec les résultats présentés par Tisséo.

La méthodologie considère 3 phases de la vie du projet pour calculer son empreinte carbone globale : la phase études, la phase construction, et la phase d'exploitation. Si Tisséo reprend bien ces catégories, on peut constater que c'est au sein même de ces catégories que l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre manque de profondeur et d'informations détaillées, notamment pour la phase liée à la construction de l'infrastructure.



Pour la phase de construction, le bilan des émissions demande une connaissance fine des caractéristiques de l'ouvrage et des techniques de génie civil mises en œuvre en particulier pour le tunnel. C'est ce qui permet de dimensionner les quantités de matériaux à prendre en compte dans le bilan.

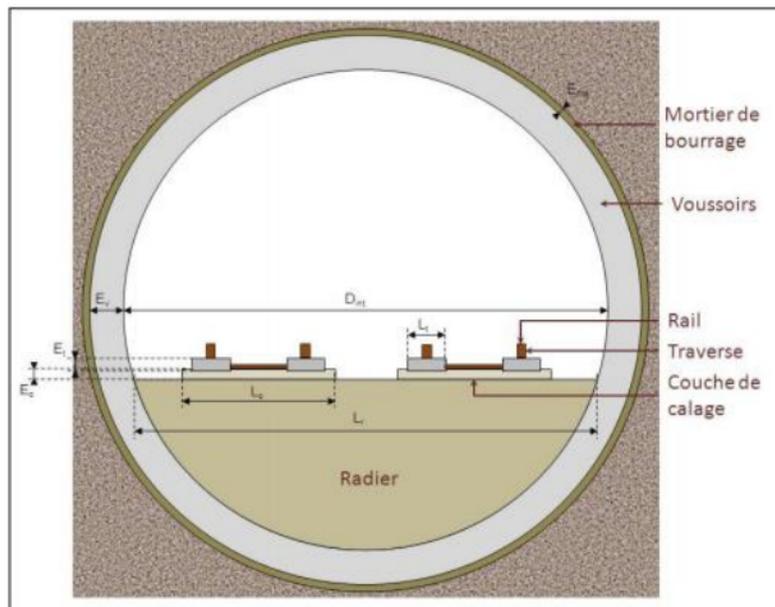


Figure 80 : Tunnel – Schéma d'une vue en coupe et dimensions prises en compte dans l'outil

L'ensemble des sources des chiffres utilisés ci-dessous est documenté dans la suite de ce document.

Nous avons relevé 3 erreurs dans l'analyse d'impact du dossier soumis à l'enquête :

Erreur n°1 : sous-estimation des émissions de gaz à effet de serre de la construction

L’empreinte carbone du projet TAE est principalement décrite dans la pièce F7 du dossier de l’enquête publique. Après analyse détaillée des chiffres présentés et comparaison avec le projet similaire du Grand Paris Express, il apparaît que **le bilan des émissions de la construction du TAE est largement sous-estimé, d’un facteur allant de 2 à 3 suivant les hypothèses retenues.**

De cette analyse, il ressort que l’étude environnementale menée pour le projet TAE souffre de plusieurs lacunes et approximations :

- Elle considère seulement les émissions de gaz à effet de serre dues au béton armé (béton et acier de ferrailage) des voussoirs et du radier des tunnels ainsi que des nouvelles stations de métro créées et omet donc dans son inventaire d’autres postes qui sont aussi source d’émissions importantes
 - Équipements des voies et des tunnels (rails, traverses, câbles, ...)
 - Mortier de bourrage pour les tunnels
 - Rames de métro
 - La part de voies ouvertes ou aériennes du projet (5.2 km)
 - Les consommations d’énergie des engins de chantier
- Par ailleurs, elle manque de précision sur le facteur d’émission des différents types de bétons utilisés et sur l’intégration des émissions liées au transport des matériaux entrant dans sa composition en amont de sa fabrication
- Enfin, elle prend des hypothèses exagérément optimistes sur les émissions dues au transport (un facteur 10 sur les émissions des camions) et sur les distances parcourues pour l’évacuation des déblais (30 km)

Ces insuffisances méthodologiques avaient déjà été relevées dans les recommandations de la Mission Régionale d’Autorité Environnementale publiées en juin 2021 (voir le paragraphe “Documents de référence”).

La MRAe recommande que les « pistes de réflexion » soient notées comme de réels engagements, et que le bilan intègre l’estimation des gains en termes de GES des mesures initiales et de celles ajoutées dans l’étude d’impact actualisée. Elle recommande également de considérer les interconnexions avec les autres réseaux de transport et les potentiels changements de pratiques de déplacements à l’échelle de la grande aire urbaine toulousaine.

Elle recommande qu’une synthèse chiffrée plus détaillée et représentative du bilan des émissions de GES soit apportée au document afin d’exprimer de manière plus claire et pédagogique les effets estimés positifs de ce projet de métro.

La consommation d’énergie, d’eau et autres consommables en phase travaux devrait également être décrite et chiffrée.

Il convient de noter qu’il existe une forte incertitude sur les émissions à comptabiliser pour le béton armé compte-tenu des éléments suivants :

- Le type de béton utilisé en fonction des ouvrages ainsi que la part de ferrailage relèvent de choix techniques qui dépassent nos compétences techniques et peuvent avoir un fort impact sur le bilan carbone du projet
- Depuis la diffusion de la méthodologie Carb optimum, les cimentiers ont fait des progrès pour réduire les émissions du béton en développant des “bétons bas carbone” qui permettraient de réduire leur impact de 30%
- Ces bétons “bas carbone” n’ont pas fait l’objet d’évaluations indépendantes à notre connaissance et les chiffres annoncés par les cimentiers demanderaient donc à être vérifiés. Par ailleurs, la disponibilité en du béton bas carbone en quantité suffisante pour un chantier aussi important que TAE demanderait à être vérifiée
- Les travaux du Grand Paris Express ont permis d’expérimenter de nouvelles techniques de fabrication notamment pour les voussoirs du tunnel : béton fibré permettant de limiter le ferrailage et béton ultra bas-carbone. Rien ne permet cependant de confirmer à ce jour que ces techniques seront retenues pour le chantier TAE.

Compte tenu de ces incertitudes, nous avons choisi d’évaluer l’impact du TAE selon 3 hypothèses :

Hypothèses	Emissions de gaz à effet de serre pour la construction de la 3ème ligne (tCO2eq)	Comparaison avec l’étude Tisséo
Etude Tisséo - TAE	200000	
Etude FdV 1 - Méthodologie Carb optimum	619990	+209%
Etude FdV 2 - Utilisation de béton bas carbone	412957	+106%
Etude FdV 3 - Utilisation de béton ultra-bas carbone ou de béton fibré	383170	+91%

Il nous semble raisonnable à ce stade de l’étude de **considérer la valeur intermédiaire de 412957 t CO2e**, qui est déjà 2 fois plus élevée que le chiffre du dossier soumis à l’enquête publique. Il convient de noter que ce calcul ne considère que les plus gros postes d’émissions du chantier et que le chiffre réel sera nécessairement plus important une fois intégrées les émissions annexes (équipement des stations, travaux supplémentaires, déplacements des autres engins de chantier ...).

Erreur n°2 : sur-estimation des déplacements évités

Le document F7 souffre d’une incohérence concernant les déplacements évités. En effet, l’étude comptabilise 73 000 déplacements journaliers pour 531 000 km parcourus en voiture évités chaque jour

grâce à la mise en service du TAE. On notera que le nombre de kilomètres en voiture évités retenu par TISSEO dans le dossier de l'enquête environnementale (-531 000 km/jour) **n'est pas cohérent avec** :

- le chiffre présenté par ATMO dans sa dernière étude d'impact du projet TAE : -211 000 km/jour
- avec le chiffre annoncé sur le site de Tisséo concernant la 3ème ligne : -250 000 km/jour

L'origine de cette différence d'évaluation des déplacements évités n'est pas justifiée dans le dossier et devrait donc être expliquée par TISSEO.

Erreur n°3 : sur-estimation du facteur d'émission des véhicules

Enfin, le document F7 souffre d'une troisième erreur majeure concernant les déplacements évités qui achève fausser le bilan global du projet. En effet, l'étude utilise **un facteur d'émissions pour ces véhicules de 230 g CO₂e/km (45 000 T CO₂e pour 531000 km) qui semble déjà largement surévalué par rapport à la flotte actuelle mais surtout qui reste constant jusqu'en 2070**. Or l'évolution naturelle du parc automobile et le renouvellement des véhicules thermiques (dont la vente sera interdite à partir de 2040 en France) par des véhicules électriques va entraîner une diminution constante des émissions du parc et donc réduire progressivement l'impact des déplacements évités. **Ce point avait déjà été relevé dans le rapport de contre-expertise de l'évaluation socio-économique du projet de la Ligne 3 publié en Mai 2019** par des experts indépendants (voir le paragraphe "Documents de référence").

3.3.2 Impact sur le réchauffement climatique

Le projet génère un impact favorable en matière de réchauffement climatique en lien avec une moindre consommation de carburants fossiles, atténué par un supplément d'émissions de gaz à effet de serres (GES) liée à la réalisation et à l'exploitation du projet. Le rapport affiche un temps de retour « climatique » d'environ 6 ans i.e. les émissions dues à la réalisation du projet sont compensées par de moindres émissions liées à la circulation routière au bout de 6 ans. A noter que les émissions de GES dues à la réalisation du projet telles qu'estimées par le maître d'ouvrage semblent faibles : 205 000 tCO₂, soit 11 000 tCO₂/km de ligne en souterrain, alors que la société Carbone 4 (2011) avait estimé un niveau d'émissions de 40 000 tCO₂/km en souterrain pour le projet du Grand Paris Express et la SGP (2015) annonce un niveau d'émissions de 4.1 MtCO₂ pour la réalisation de 174 km de métro, dont 154 km en souterrain (soit 27 000 tCO₂/km en souterrain).

Par ailleurs, les hypothèses relatives aux émissions de CO₂ des véhicules personnels apparaissent très pessimistes : 220 gCO₂/VP.km en 2015, puis baisse tendancielle limitée à 0.5 % par an (soit 180 gCO₂/VP.km en 2050), alors que l'évolution vers un parc de VP entièrement électrique en 2050 conduit à des émissions de CO₂ nulles à cet horizon.

La prise en compte d'un niveau d'émissions liées à l'infrastructure double de la valeur présentée par le maître d'ouvrage, d'hypothèses d'évolution du parc VP cohérentes avec la SNBC et de la chronique de valeurs tutélaires du CO₂ du rapport récent de France Stratégie (Commission Quinet 2018), fait passer le poste « émissions de GES » du bilan socioéconomique de + 500 M€ à -95 M€. Si on prend également en compte que l'exploitation de la ligne 3 devrait rapidement bénéficier d'une électricité totalement décarbonée (hypothèse également retenue pour estimer les émissions de CO₂ des VP électriques), la valeur socioéconomique du poste « émissions de GES » est proche de zéro, ce qui signifie que le projet ne génère pas de gains en matière d'atténuation du changement climatique (les gains obtenus en début de période d'évaluation, lorsque le parc VP est encore fortement émetteur de CO₂, permettent juste de compenser les émissions de CO₂ dues à la réalisation de l'infrastructure).

Nous formulons l'hypothèse que ce facteur d'émission sera de **125 g CO₂e/km à l'entrée en service de la 3ème ligne et diminuera de façon linéaire jusqu'à 47 g CO₂e/km en 2050** en accord avec le scénario prospectif de l'ADEME.

Conclusion

Du fait de ces trois erreurs majeures, le dossier d'enquête publique dresse un bilan trompeur du projet en laissant penser que les émissions de la construction seront compensées 5 ans à peine après la mise en service de la ligne TAE grâce aux déplacements en voiture évités. Nos calculs montrent au contraire que son empreinte carbone ne sera jamais positive (voir les courbes de cumul des émissions au fil du temps ci-dessous). La construction de la ligne TAE aggrave donc les émissions de gaz à effet de serre sur la métropole et contrevient à l'objectif de réduction de 44 % des émissions de gaz à effet de serre des transports de l'agglomération toulousaine en 2030 inscrit dans le Plan Climat (PCAET).

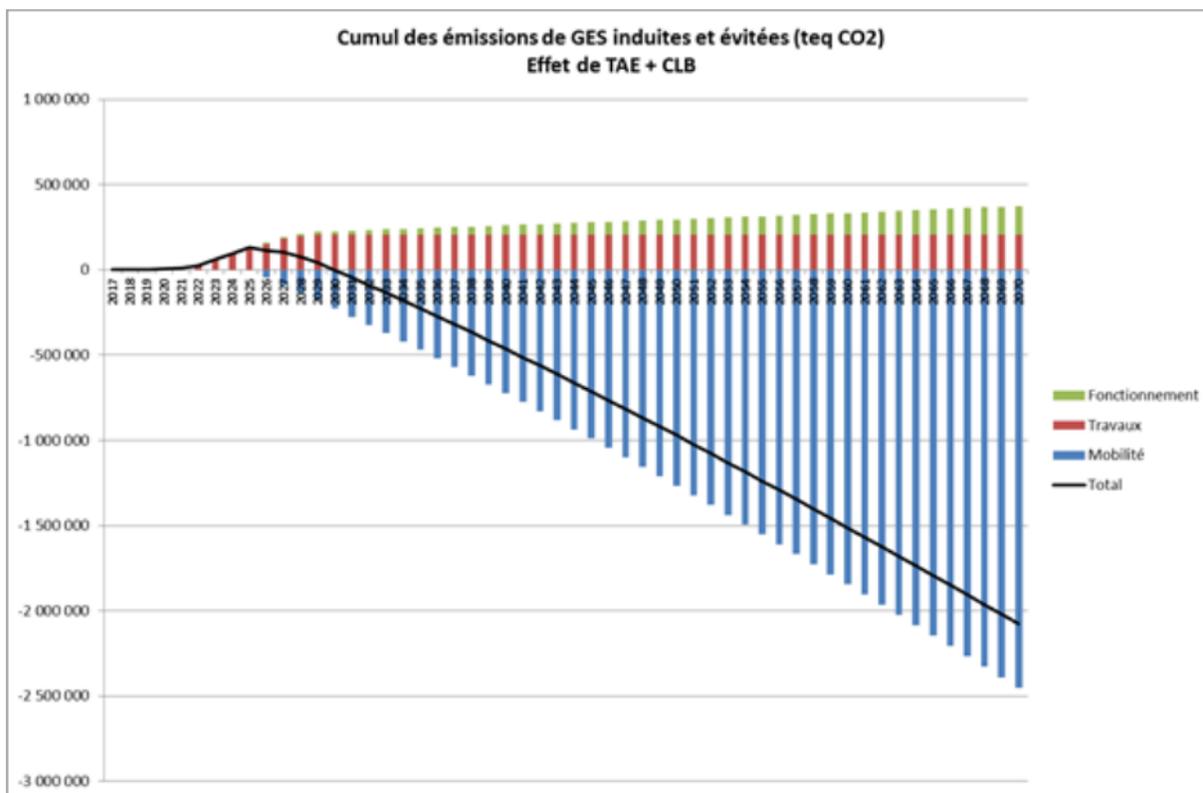
Il apparaît ainsi que ce projet présenté par la municipalité comme le moyen principal pour atteindre les objectifs climatiques du Plan Climat a finalement un impact négatif. Alors que les scientifiques du monde entier alertent sur l'urgence de réduire nos émissions de gaz à effet de serre, est-il pertinent d'émettre 360 000T de CO2 supplémentaires dans l'atmosphère ?

Nous demandons donc :

- **Que l'enquête publique soit actualisée sur les aspects émissions pour corriger les chiffres insincères et refaite pour palier au défaut d'information du public**
- **Que la 3ème ligne de métro soit reconsidérée ou que l'objectif de nombre de déplacements en voitures journaliers évités soit revu à la hausse pour atteindre 200 000 déplacements (ou 1.5M km/jour) grâce à un report modal plus conséquent. Cela implique l'instauration de contraintes fortes sur la circulation automobile (zone à trafic limitée dans le centre et dans les quartiers, plan de circulation entièrement revu pour éliminer le trafic de transit, rues scolaires permanentes, voie de circulation automobile transformées en pistes cyclables pour le Réseau Express Vélo) de façon concomitante avec la mise en service de la 3ème ligne.**
- **Qu'un nouveau plan de mobilité ambitieux, utilisant toute la palette des solutions, soit défini avec l'ensemble des parties prenantes de l'agglomération toulousaine.**

Cumul des émissions de gaz à effet de serre présentés dans l'étude TISSEO

D'après Tisséo, le bilan carbone de la 3ème ligne atteint la neutralité 5 ans après sa mise en service :

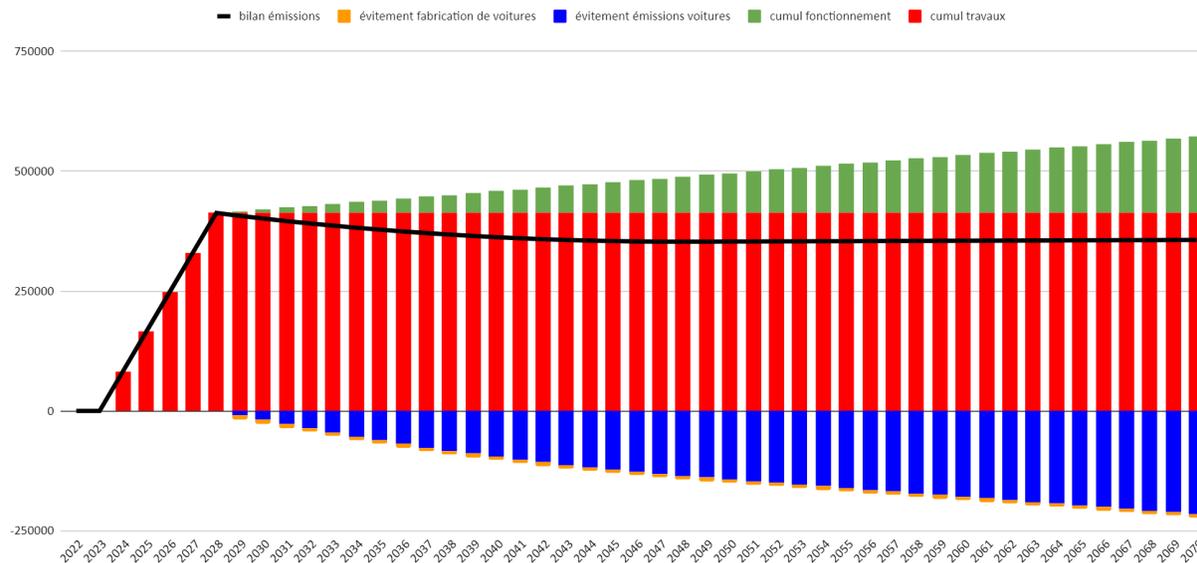


Cumul des émissions de gaz à effet de serre induites et évitées (en tonne équivalent CO₂) entre 2017 et 2070 par les projets TAE et CLB

Cumul des émissions de gaz à effet de serre résultant de notre analyse

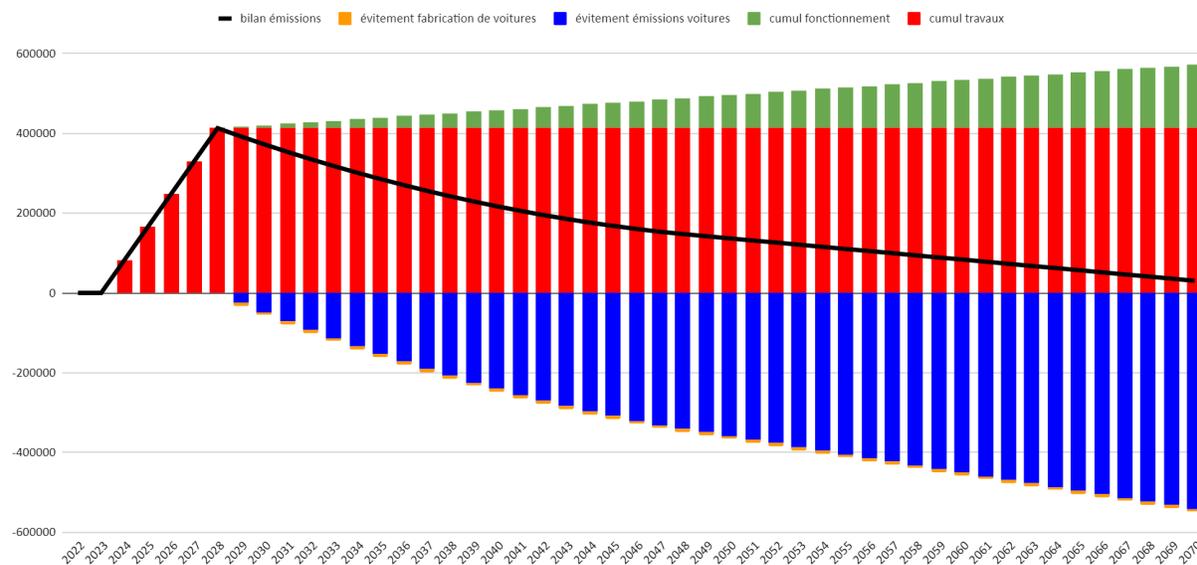
Si on retient l'hypothèse formulée par ATMO de 211 000 km évités par jour, le bilan carbone de la 3ème ligne n'atteint jamais la neutralité :

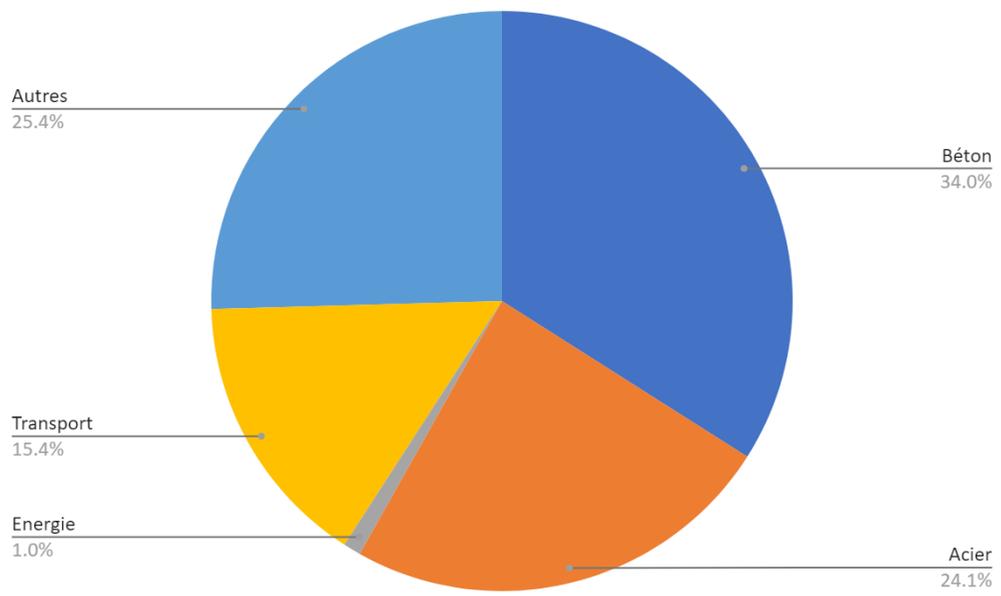
Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)



Si on retient l'hypothèse de 531 000 km évités par jour, le bilan carbone de la 3ème ligne atteint la neutralité en 2075 :

Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)





Documents de référence

Le dossier d'enquête publique

L'ensemble des documents est disponible ici :

<https://www.registre-numerique.fr/enquete-metro-toulouse/documents>

On regardera en particulier les documents suivants :

- La pièce A :
<https://www.registre-numerique.fr/enquete-metro-toulouse/telechargement?document2=48216>
- Le chapitre F2 "Description du projet" V2d :
<https://www.registre-numerique.fr/enquete-metro-toulouse/telechargement?document2=48228>
- Le chapitre F7 "Couts collectifs" V2d:
<https://www.registre-numerique.fr/enquete-metro-toulouse/voir?document2=48248>
- Le chapitre F 12 "Mémoire en réponse à l'avis de la Mission Régionale de l'Autorité Environnementale" V4 :
<https://www.registre-numerique.fr/enquete-metro-toulouse/telechargement?document2=48254>

Autre documents

- La contre-expertise de l'évaluation socio-économique du projet de la Ligne 3 de Métro à Toulouse (7 mai 2019) :
https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/04/rapport_ce_toulouse_lm3.pdf
- L'avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale sur l'étude d'impact actualisée du projet de 3ème ligne de métro, ligne Aéroport Express et Connexion ligne B (24 juin 2021) :
http://www.mrae.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2021ao51-9326-avis_metro.pdf
- Etude ATMO de l'impact des projets de Toulouse Aerospace Express et de la Connexion Ligne B (2018) :
<https://www.atmo-occitanie.org/sites/default/files/publications/2019-06/ETU-2018-119%C3%89tude%20de%20l%E2%80%99impact%20des%20projets%20Toulouse%20Aerospace%20Express%20et%20Connexion%20Ligne%20B%20E2%80%93%20ann%C3%A9e%202018.pdf>
- La méthodologie Carboptimum développée par la Société du Grand Paris pour l'évaluation environnementale du Grand Paris Express (2012) :
https://issuu.com/lrs15sud/docs/pi_ce_g6-1_m_thodologie_carboptim

Le projet

Hypothèses

Le tracé

Pièce A p33

La 3^{ème} ligne de métro desservira **21 stations**, parmi lesquelles **8 constitueront des pôles d'échanges multimodaux** et dont **4 intégreront un parc relais** (Colomiers Gare, Sept Deniers – Stade Toulousain, La Vache Nord Toulousain Gare et Labège la Cadène Gare).

Document F2 p251

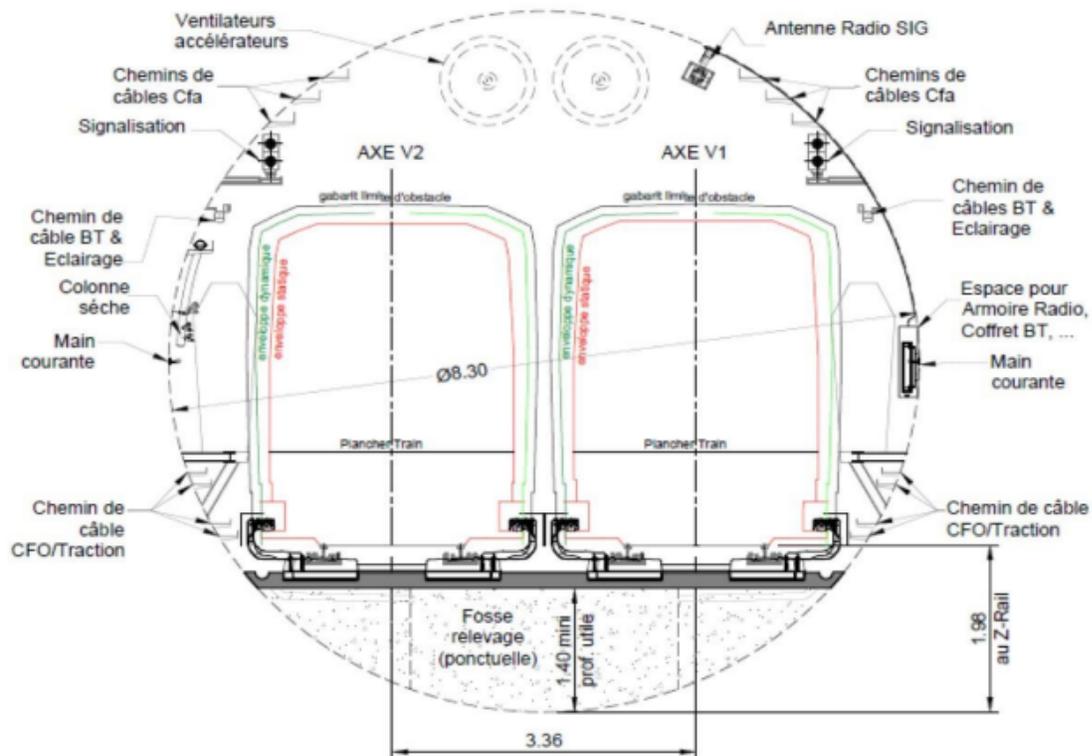
Le parcours s'inscrit ainsi en souterrain (ce terme regroupant l'insertion en tunnel, tranchée couverte et tranchée ouverte), pour un linéaire total d'environ 22,1 km, de la station Colomiers Gare à la station Montaudran Piste des Géants Gare, et inclut donc l'ensemble du centre urbain de Toulouse. Les pentes du tunnel varient entre 0,5 et 5%, cette valeur maximale étant rarement atteinte car les concepteurs ont cherché à maintenir une pente en dessous de 4,5%.

Une section aérienne (ce terme regroupant l'insertion au sol, rampe et en viaduc) est prévue, pour un total d'environ 5,2 km, entre la station Montaudran Piste des Géants Gare et le terminus Sud-Est de la ligne à Labège la Cadène Gare. Les pentes de cette section aérienne varient entre 0 et 4,5%, le viaduc étant majoritairement penté de l'ordre de 0,5%.

Les tunnels

Pièce A p63

Les tunnels présenteront une largeur (ou diamètre) d'environ 10 m. Ils peuvent être réalisés, soit à l'aide d'un tunnelier (on parle alors de tunnels forés), soit par creusement en méthode conventionnelle.



Coupe tunnel foré (Source : Études AVP – MOE Centre)

Pour la 3^{ème} ligne de métro, il est prévu de recourir à la technique du tunnel foré pour l'intégralité de la partie souterraine entre Colomiers Gare et Montaudran Piste des Géants Gare. Certains ouvrages spécifiques, comme des rameaux de connexion avec les puits de ventilation et d'accès pompiers seront réalisés en technique traditionnelle.

Méthodologie Carboptimum p92

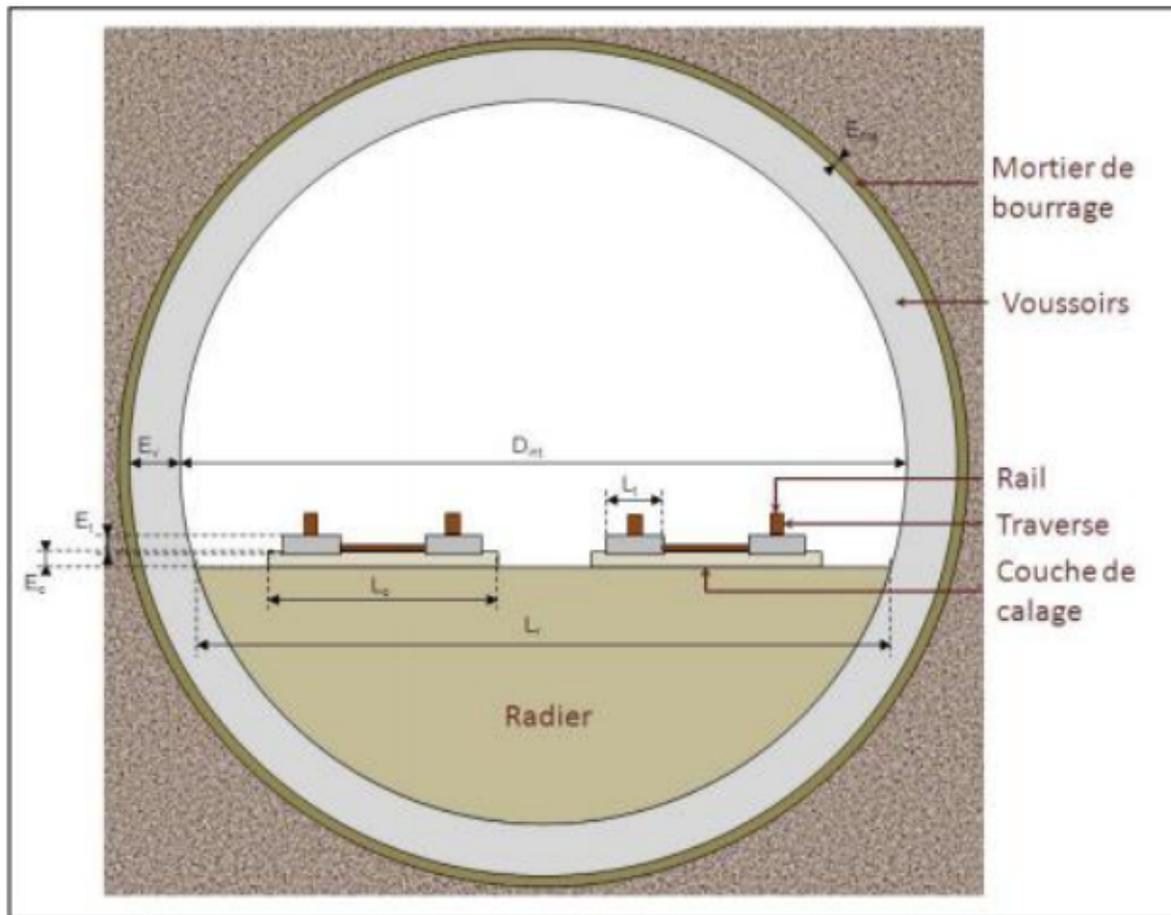


Figure 80 : Tunnel – Schéma d'une vue en coupe et dimensions prises en compte dans l'outil

Le matériel roulant

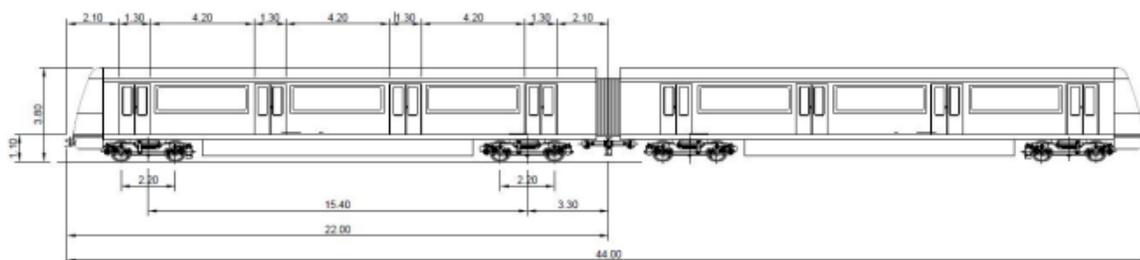
Document F2 p363

Concernant le matériel roulant, plusieurs options étaient envisageables, notamment entre les options sur rail et les options sur roue. C'est finalement une option rail qui a été retenue.

Les trains présenteront une largeur comprise entre 2.5 et 2.7 m et une longueur pouvant aller jusqu'à 45 m et pourront être composés d'une ou plusieurs voitures. D'autre part, pour les calculs de capacité des rames, il est retenu une charge de 4 personnes debout par m² et un taux de confort de 20 % de places assises.

Les dimensions pourraient par exemple être les suivantes :

Paramètres	
Longueur moyenne d'une voiture	11 à 13 m
Hauteur maximale	3,80 m
Largeur des portes	1,3 à 1,9 m
Hauteur des portes	1,95 m
Distance entre portes	3,7 à 4,7 m



Vue en élévation du matériel roulant roulement fer (Source : N-40T-EPR-SYS-LIG-SYSR-PL-2151_V0.1_MR)

Pour les lignes A et B, un métro sur pneus a été choisi, on peut supposer que le même choix sera fait pour le TAE afin de communaliser le matériel roulant.

L'impact sur les émissions de GES

En phase d'études préalables

Tisseo:

Ce poste fait l'objet d'un chapitre (7.2.2.1) où sont mentionnés les éléments suivants:

"Ce poste n'appelle pas de solution de réduction particulière. La mise en œuvre de bonnes pratiques de gestion des consommations dans les bureaux et lors des déplacements peut permettre de sensibiliser

l'ensemble des acteurs mobilisés sur le projet, sans toutefois avoir d'impact significatif sur les émissions totales du projet."

Carboptimum:

La méthodologie Carboptimum appliquée au Grand Paris recense plusieurs activités liées à ce poste, ainsi que les facteurs d'émissions associés, sans postulat ou à priori de départ. Ce faisant, il est ainsi offert la possibilité d'optimiser la dépense en carbone afin de la réduire ou la compenser - ce qui est en soit l'objectif d'une étude d'impact.

- a. Déplacements domicile-lieu de travail des employés
- b. Consommation énergétique des bâtiments
- c. Intrants et consommables bureautiques
- d. Amortissement du matériel utilisé
- e. Voyages et déplacements spéciaux
- f. Amortissement des bâtiments

Découpage du poste CO2 lié aux études préalables, Carboptimum.

En phase de construction

Tisseo:

Ce poste CO2 est traité uniquement via le béton mis en œuvre, selon qu'il soit dédié aux tunnels, aux stations et aux viaducs. Pas d'information concernant la consommation énergétique du chantier, le transport matériel et humain ou la question des déchets. Etant donné l'importance du chapitre construction dans un bilan Carbone, étant donné sa complexité, il est surprenant de constater que celui-ci se résume à deux pages et un seul tableau de calcul. C'est d'autant plus dommageable que l'expérience du métro du Grand Paris est riche d'enseignement, parce que la première à être confrontée à un bilan carbone complet de son infrastructure, à faire appel à des cabinets spécialisés pour définir une méthodologie détaillée. Le métro du Grand Paris a d'ailleurs conduit à souligner l'importance et le poids d'un bilan carbone dans une infrastructure dont l'objectif est de réduire ces mêmes émissions carbonées, et par ailleurs est à l'origine du développement du béton bas carbone - d'ailleurs cité dans le document Tisseo. Puisque cette méthodologie de bilan Carbone était disponible et en libre accès, pourquoi ne pas l'avoir reprise?

Dès lors, l'écart constaté avec les résultats du bilan carbone du Grand Paris (27000 Tonnes de CO2/km) ne peut trouver d'explication que dans un manque de rigueur méthodologique dans l'étude proposée par Tisseo. Ce que l'on peut constater en lisant ce chapitre dédié à la construction, qui sème le doute sur les réelles émissions carbone du projet et donc sur les moyens à utiliser pour le limiter voire le compenser.

7.2.2.6 Infrastructure

Au sein de ce chapitre nous intégrons à ce stade l'ensemble des infrastructures du projet, à savoir les stations, pôles d'échanges multimodaux et ainsi que les aménagements associés (voirie notamment).

La construction de l'ensemble des infrastructures liées au projet constitue probablement le principal poste émetteur de GES et en particulier la mise en œuvre de béton armé. En effet, les matériaux à base de ciment et de métaux sont fortement émetteurs et constituent généralement les principaux postes contributeurs à la somme des émissions d'un projet de construction.

Les données globales disponibles partielles pour le projet dont nous disposons à ce stade sont les suivantes :

- Pour les tunnels, le béton mis en œuvre est de l'ordre de 11 m³/ml de tunnel, ferrailé à 80 kg/m³ pour les voussoirs et 5 m³/ml non ferrailé pour le béton de voie. La longueur totale des tronçons souterrains (tunnel + tranchées + rampes) étant d'environ 19 km, le volume total de béton envisagé est d'environ 300 000 m³, soit environ 760 000 tonnes. La masse d'acier de ferrailage est de l'ordre de 17 000 t ;
- Pour les stations, le béton mis en œuvre est estimé à 6 500 m³ de béton ferrailé à 100 kg/m³, soit environ 16 000 t de béton et 650 t d'acier de ferrailage par station. Ces valeurs extrapolées aux 21 stations du projet équivalent à un total de près de 340 000 t de béton et 14 000 t d'acier de ferrailage.

En prenant en compte un facteur d'émission de la base KBOB pour le béton (béton de génie civil) et ADEME pour l'acier (avec 40% d'acier recyclé), et des distances de transport de 15 km pour le béton et 500 km pour l'acier en camion 24t, les premiers calculs d'émissions de GES liées à la fabrication, le transport et la mise en œuvre de ces matériaux sont présentés dans le tableau suivant :

	Emissions en kg eq CO ₂ Fabrication/mise en œuvre	Emissions en kg eq CO ₂ Transport	TOTAL EMISSIONS
Tunnels			
Béton de voie	25 412 500	95 063	25 507 563
Béton voussoirs	55 907 500	209 139	56 116 639
Armatures acier voussoirs	39 358 880	223 082	39 581 962
Stations			
Béton Paroi moulée	19 661 250	73 549	19 734 799
Armatures acier	17 301 900	98 065	17 399 965
Béton Dalles et radier	16 852 500	63 042	16 915 542
Armatures acier dalles et radier	14 830 200	84 056	14 914 256
	189 324 730	845 997	190 170 727

Tableau de calcul des émissions de GES du béton armé des principales infrastructures du projet au stade EP –
Opération TAE

Carboptimum:

Poste	Données nécessaires
Consommations énergétiques sur chantier	Volumes terrassés + ratio de consommation par m ³ Km de tunnel par type de terrain + ratio de consommation tunnelier associé Nombre de bases-vies + ratio de consommation électrique par base-vie
Fabrication des matériaux	Tonnage des matériaux utilisés par kilomètre de voies Tonnage des matériaux utilisés par gare, SMR, CDR, SMI Tonnage de matériaux utilisés pour les centres de maintenance Tonnage de matériaux par mètre linéaire d'ouvrage d'art (pont, tunnel, viaduc...) Nombre de gares Kilomètres de voies Mètres linéaires d'ouvrage d'art
Transport des matériaux et du matériel	Provenance des matériaux et matériels Modes de transport d'acheminement et distance par mode Nombre de transfert du matériel entre chantiers Modes de transport pour le transfert du matériel Distance entre chantier
Procédés	Carbonatation si possible : tonnage de béton (données Fabrication) Nombre de bases-vies climatisées
Déchets	Volume de déchets par type Destination des déchets Modes de transport d'expédition des déchets
Transport de personnes Domicile-Travail	Nombre de personnes travaillant en moyenne sur le chantier Durée du chantier Part de la VP dans les déplacements Domicile-Travail Taux d'occupation des VP Distance moyenne au chantier
Transport de personnes Grands déplacements	Part des employés en grand déplacement Part de la VP dans les retours hebdomadaires Taux d'occupation des VP Distance moyenne du retour hebdomadaire
Transport de personnes Déplacements professionnels	Nombre de véhicules professionnels Kilométrage annuel
Transport de personnes Visiteurs chantier	Nombre de visites chantier Distance moyenne au chantier

Tableau 11 : Postes d'émissions et données nécessaires concernant la construction de l'infrastructure

Ce poste intègre la consommation d'électricité et la combustion de carburants correspondant aux émissions émises sur le site et celles induites par la production et l'approvisionnement sur site. Les facteurs d'émission associés sont détaillés p131.

	Emissions directes sur site	Emissions directes hors site	Emissions indirectes
Combustibles fossiles (fioul, gaz...)	Combustion (pots d'échappement)		Extraction, transport et raffinage
Electricité provenant du réseau		Production de l'électricité consommée	Production de l'électricité perdue en ligne

3.8.2 Essence et fioul

En tenant compte de l'insertion progressive des biocarburants dans l'essence et le fioul (diesel et chauffage) et de l'amélioration des techniques industrielles de production tel que présenté au § 3.6.1.1, on obtient les facteurs d'émissions suivants :

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	kg éq CO ₂ / kg									
essence	3.741	3.538	3.495	3.452	3.410	3.368	3.326	3.284	3.243	3.202
diesel	3.471	3.276	3.237	3.198	3.159	3.121	3.082	3.044	3.006	2.968

Tableau 85 : Facteurs d'émissions d'utilisation d'essence et de fioul (diesel ou chauffage). Source des facteurs d'émissions 2005 : Guide des facteurs d'émissions V6.1, Ademe 2010

Découpage du poste énergétique et facteurs d'émissions associés aux carburants, Carboptimum.

Méthodologie Carboptimum p96

Tunnel	
Données d'entrée	Valeur par défaut (m)
Diamètre intérieur : Dint	8.2
Epaisseur des voussoirs : Ev	0.40
Ratio consommation Tunnelier (kWh/m ³)	20
Ratio consommation Engins (litre fioul/m ³)	1
Part des volumes déplacés pelletés après transport	50 %
Résultats intermédiaires	
Volume excavé par km (m ³)	63 617
Volume pelleté après transport par km (m ³)	31 809
Consommation énergétique du tunnelier par km (kWh)	1 272 345
Consommation énergétique des engins par km (litres fioul)	31 809

Tableau 33 : Consommation énergétique pour le creusement du tunnel - Données d'entrée

Méthodologie Carboptimum p96

a. Tunnel

❖ Voussoirs

Le volume de voussoirs est déterminé à partir du diamètre intérieur des tunnels (D_{int}) et de l'épaisseur des voussoirs (E_v). Les retours d'expériences dans la littérature font état d'épaisseur de voussoirs de 35 à 50 cm pour des diamètres intérieurs de 7 à 10 m. Nous retiendrons donc comme valeur par défaut une épaisseur de 40 cm, ce qui donne pour 1 kilomètre de tunnel de diamètre intérieur de 8,2 mètres un volume de voussoirs de 10 807 m³. Avec le facteur d'émissions par m³ du matériau (béton armé C32/40 avec 150 kg de ferrailage par m³ par défaut, soit un facteur d'émission $FE_v=0,622 \text{ tCO}_2\text{e/m}^3$), on obtient les émissions associées à la fabrication des voussoirs nécessaires pour 1 km de tunnel.

❖ Radier

Le même raisonnement est effectué pour le radier, qui remplit le fond du tunnel de façon à obtenir une plateforme de largeur L_r (fixée à 7,4 mètres par défaut dans l'outil, ce qui donne 12 382 m³ de béton par kilomètre). Pour le calcul, nous considérons un béton C25/30 avec 100 kg de ferrailles par m³ : $FE_r=0,474 \text{ tCO}_2\text{e/m}^3$.

❖ Mortier de bourrage

La coupe d'un tunnelier n'étant pas nette, un mortier de bourrage doit être injecté entre le sol et les voussoirs pour combler l'espace vide et éviter tout tassement de terrain ou mouvement des voussoirs. Par hypothèse, nous considérons une injection de mortier uniforme de 20 cm tout autour des voussoirs, soit un volume par kilomètre de 5 781 m³.

La composition de ce mortier de bourrage est très variable et fonction du sol rencontré. Cependant, nous avons vu précédemment que le facteur d'émissions variait peu en fonction de la composition. Nous retenons donc par défaut un facteur d'émissions égal à : $FE_m=0,375 \text{ tCO}_2\text{e/m}^3$.

	Volume (m ³ /km)	Matériau	Facteur d'émission (tCO ₂ e/m ³)
Voussoir	10 807	C32/40 Fers : 150 kg/m ³	0,622
Radier	12 382	C25/30 Fers : 100 kg/m ³	0,474
Mortier bourrage	5 781	Mortier	0,375

3.4.3.12 Synthèse voie+équipements

En ajoutant aux résultats des trois types de voies traitées précédemment (tunnel, tranche couverte et voies) ceux des divers équipements, nous obtenons les facteurs d'émissions globaux pour les matériaux mis en œuvre dans le cadre de la construction des voies.

Les valeurs en italiques correspondent à des voies équipées pour un métro sur pneus :

Tunnel et équipements (type voie béton et caténaire)	Facteur d'émission Matériaux (tCO ₂ e par kilomètre de voie double)
Tunnel	14 754
Couche de calage	531
Traverses	153
Fixations des rails	57
Rails	528
<i>(Fixations des pistes de roulement)</i>	<i>57</i>
<i>(Pistes de roulement et barres de guidage)</i>	<i>1208</i>
Caténaire	78
Câbles	20
Tunnel équipé	16 121 (17 386)

Tableau 42 : Facteur d'émission du poste Matériaux pour un tunnel équipé

Les matériaux

Méthodologie Carboptimum p92-93

Les facteurs d'émissions ainsi obtenus sont les suivants :

FE en kgCO ₂ e/kg	Bilan Carbone	EcoInvent 2.0	Norgate et Al ¹³⁴	ICE (Univ. Bath)	Valeur retenue
Acier	2,2 (47% recyclé)	1,75	2,3 (0% recyclé)	1,64 (47% recyclé)	2,2 kgCO₂e/kg
Aluminium	6,10 (40% recyclé)	8,34 (32% recyclé)	22,4 (0% recyclé)	7,55 (40% recyclé)	6,1 kgCO₂e/kg
Cuivre	2,93 (41% recyclé)	1,89 (22% recyclé)	3,3 (0% recyclé)	2,60 (37% recyclé)	2,6 kgCO₂e/kg

Tableau 28 : Facteurs d'émissions recensés pour les métaux

Nous retiendrons les valeurs suivantes pour les ciments et les bétons :

- Ciment portland (Type I) : **0,99 kgCO₂e/kg** en accord avec la base INIES et les valeurs du Bilan Carbone⁵
- Ciment de type II à X% de Clinker : $0,99 \times X\% / 95\%$. Par défaut, 80% de clinker pour un type II, soit **0,834 kgCO₂e/kg**
- **240 kgCO₂e/m³** pour un béton C16/20, **257** pour un béton C20/25, **271** pour un béton C25/30, **288** pour un béton C28/35, **317** pour un béton C32/40, **362** pour un béton C40/50 et **400** pour un béton C50/60 ; en accord avec les données issues de l'université de Bath, en partenariat avec Carbon Trust, et en cohérence avec les valeurs des ciments définies ci-dessus.

3.4.1.3 Béton armé

Pour le béton armé, nous tenons compte d'un acier à faible technicité dont le facteur d'émission est inférieur à l'acier standard. L'étude LGV Rhin-Rhône propose un facteur d'émission pour l'acier de 1100 kgCO₂e/t (Ce qui correspond à un taux de recyclé de 100%). L'université de bath propose de majorer le facteur d'émission du béton à hauteur de 77 kgCO₂e/t de béton pour chaque 100 kg de ferrailage par m³ de béton. Cela correspond à un facteur d'émission pour l'acier employé de 1900 kgCO₂e/t. Nous jugeons cette proposition plus réaliste compte tenu que cela revient à un taux de recyclé légèrement supérieur à 60%.

Nous simplifierons cette règle en raisonnant en volume de béton plutôt qu'en masse et en linéarisant. En tenant compte de la différence de densité entre un béton et un béton armé, il convient d'**ajouter 203 kgCO₂e/m³** de béton **pour chaque 100 kg** de ferrailage par m³ de béton.

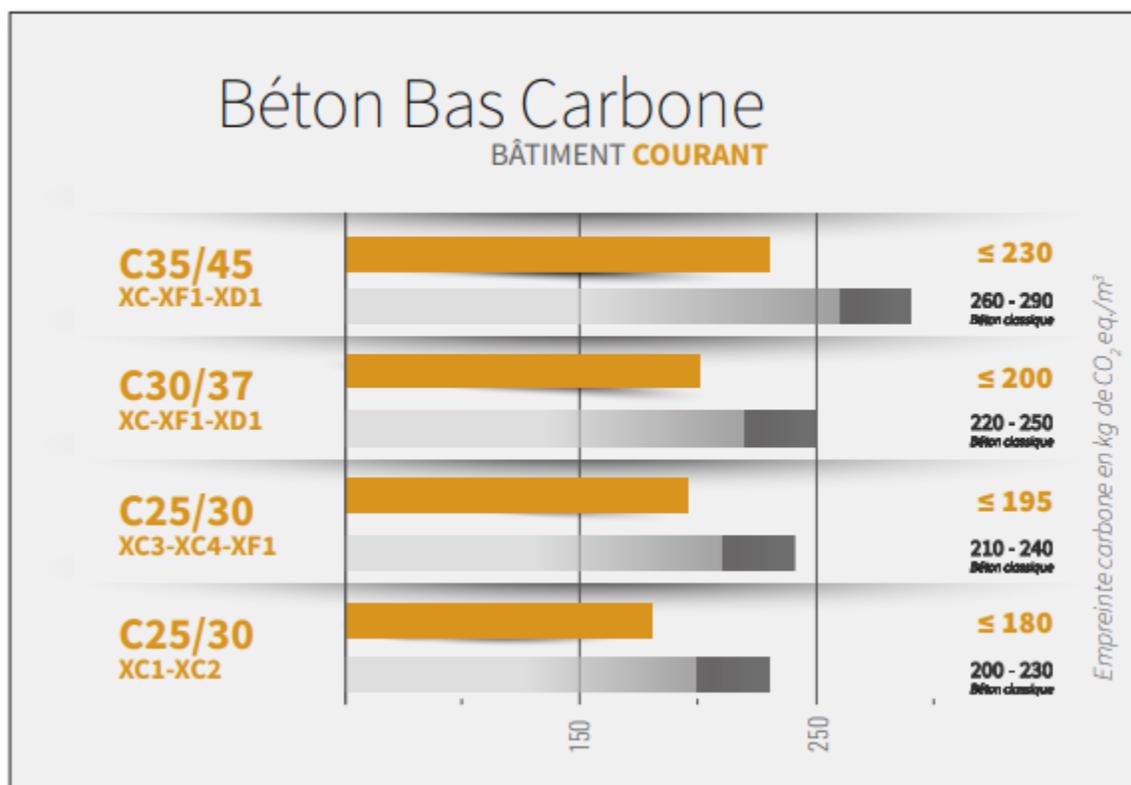
Par exemple, un béton 25/30 MPa avec 110 kg/m³ d'armature en acier (ordre de grandeur courant) aura un facteur d'émission de $271 + 1,1 \times 203 = 495 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$.

Pour le béton renforcé par des fibres, la base de l'université de Bath nous propose un facteur d'émission de 0,45 kgCO₂e/kg, soit 1,08 tCO₂e/m³ (avec l'emploi d'une densité de 2,4). Ce facteur d'émission très élevé est cependant indiqué peu fiable, avec une forte variation selon les sources. Nous ne disposons pas d'autres sources bibliographiques pour ce béton très particulier. Faute de mieux, nous nous baserons sur ce facteur d'émissions. Sa forte valeur revient à majorer les émissions de ce poste. Ainsi, les enjeux liés à ce type de béton seront visibles si les quantités mises en œuvre sont significatives.

Source FNTF : [http://omegatp.fntp.fr/pdf/OMEGA-V2-table FE.pdf](http://omegatp.fntp.fr/pdf/OMEGA-V2-table_FE.pdf)

Facteurs d'émissions Matériaux				
Acier standard				
Acier neuf	3 190	t	10 %	O.F.E.P. - 1998 - Cahiers de l'environnement, n°250-I
Acier recyclé	1 100	t	30 %	O.F.E.P. - 1998 - Cahiers de l'environnement, n°250-I
Produit chimique inorganique				
	1,9	kg	50 %	
Aluminium				
Aluminium neuf	11 500	t	25 %	
Aluminium recyclé	1 390	t	25 %	
Argile				
Argile	2,9	t	25 %	
Bentonite	2,63	t	25 %	
Béton				
Béton - C20/25	235	m ³	25 %	Vinci
Béton - C25/30	318	m ³	25 %	Vinci
Béton - C30/37 ou C32/40	344	m ³	25 %	Vinci
Béton - C35/45 ou C40/50	370	m ³	25 %	Vinci
Béton - C60/75	396	m ³	25 %	Vinci

Source UNICEM Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Juin 2021) : <https://www.unicem.fr/wp-content/uploads/2021/06/snbpe-plaquette-bbc-28042021.pdf>



Sur le Grand Paris Express, des tests ont été faits par Vinci pour fabriquer des voussoirs en béton Ultra Bas Carbone à 90kg CO₂e/m³ au lieu de 317 kg CO₂e/m³ comme dans la méthodologie Carboptimum : <https://www.lemoniteur.fr/article/premiers-tests-de-voussoirs-ultra-bas-carbone-sur-la-ligne-18-du-grand-paris-express.2167612>

Selon les estimations de cette dernière, l'usage de voussoirs UBC permettrait de réduire le bilan environnemental d'un chantier « de l'ordre de 70% par rapport à un béton traditionnel » et de « 50% par rapport à un béton très bas carbone », soit respectivement « 90 kg CO₂/m³ pour le béton UBC, 170 kg CO₂/m³ pour le béton très bas carbone et 330 kg CO₂/m³ pour le béton traditionnel ».

Vinci a aussi expérimenté des voussoirs en béton fibré à 50kg/m³ d'acier au lieu de 150kg/m³ dans la méthodologie Carboptimum : <https://www.societedugrandparis.fr/gpe/actualite/beton-fibre-le-nouveau-metro-creera-un-precedent-3310>

Le béton fibré, moins consommateur en acier, permet d'économiser de la ressource. « Comme son nom l'indique, le béton armé est renforcé par une armature métallique qui représente de grosses quantités d'acier, environ 100 kg d'acier pour 1 m³ de béton »,

décrypte Alex Moubé, responsable de la mission bas carbone à la Société du Grand Paris. La version fibrée est deux fois moins consommatrice en acier pour les mêmes performances. Il faut 50 kg de fibre métallique pour 1 m³ de béton. La consommation d'acier est divisée par deux et on économise 5 000 tonnes d'acier pour 10 km de tunnel. Permettant, du même coup, de réaliser de substantielles économies de coût.

Les voies ouvertes

Méthodologie Carboptimum p102

Tranchée couverte et équipements (type voie béton et caténaire)	Facteur d'émission Matériaux (tCO ₂ e par kilomètre de voie double)
Tranchée couverte	7 183
Couche de calage	531
Traverses	153
Fixations	57
Rails	528
(Fixations des pistes de roulement)	57
(Pistes de roulement et barres de guidage)	1208
Caténaire	78
Câbles	20
Tranchée couverte équipée	8 550 (9 815)

Tableau 43 : Facteur d'émission du poste Matériaux pour une tranchée couverte équipée

Voie de surface et équipements (type Ballast et caténaire)	Facteur d'émission Matériaux (tCO2e par kilomètre de voie double)
Plateforme de surface	475
Ballast	65
Traverses	153
Fixations	57
Rails	528
<i>(Fixations des pistes de roulement)</i>	57
<i>(Pistes de roulement et barres de guidage)</i>	1208
Caténaire	78
Câbles	20
Voie de surface équipée	1 376 (2 641)

Tableau 44 : Facteur d'émission du poste Matériaux pour une voie de surface équipée

Les stations

Document F7 p3831

- Pour les stations, le béton mis en œuvre est estimé à 6 500 m³ de béton ferrailé à 100 kg/m³, soit environ 16 000 t de béton et 650 t d'acier de ferrailage par station. Ces valeurs extrapolées aux 21 stations du projet équivalent à un total de près de 340 000 t de béton et 14 000 t d'acier de ferrailage.

En prenant en compte un facteur d'émission de la base KBOB pour le béton (béton de génie civil) et ADEME pour l'acier (avec 40% d'acier recyclé), et des distances de transport de 15 km pour le béton et 500 km pour l'acier en camion 24t, les premiers calculs d'émissions de GES liées à la fabrication, le transport et la mise en œuvre de ces matériaux sont présentés dans le tableau suivant :

	Emissions en kg eq CO ₂ Fabrication/mise en œuvre	Emissions en kg eq CO ₂ Transport	TOTAL EMISSIONS
Tunnels			
Béton de voie	25 412 500	95 063	25 507 563
Béton voussoirs	55 907 500	209 139	56 116 639
Armatures acier voussoirs	39 358 880	223 082	39 581 962
Stations			
Béton Paroi moulée	19 661 250	73 549	19 734 799
Armatures acier	17 301 900	98 065	17 399 965
Béton Dalles et radier	16 852 500	63 042	16 915 542
Armatures acier dalles et radier	14 830 200	84 056	14 914 256
	189 324 730	845 997	190 170 727

Tableau de calcul des émissions de GES du béton armé des principales infrastructures du projet au stade EP – Opération TAE

La gestion des déblais

Pièce A p143

4.2.3.3 Gestion des déblais

La quantité de terres excavées a été évaluée à **2,6 millions de m³** (cf chapitre précédent), soit environ 6 millions de tonnes de **déblais essentiellement inertes**.

Le nombre de Poids Lourds/heure ne saurait être fixe en raison des variations des conditions de circulation, le nombre de poids lourds que l'on peut attendre pouvant varier aux différentes heures de la journée.

Le nombre de poids lourds générés par jour au départ de chaque site de creusement du tunnel sera donc de l'ordre de **80 PL/jour** en moyenne et par base travaux de tunneliers.

C'est pourquoi des solutions alternatives de transport seront envisagées (voie ferroviaire ou par le canal latéral) lorsque cela est envisageable.

Pièce A p144

Pour ce qui concerne plus spécifiquement les déblais issus du creusement par tunnelier : les tunneliers à pression de boue disposeront d'une station de traitement des boues qui réalisera un tri granulométrique. Le pressage des boues permettra l'évacuation de déblais à l'état solide et de teneur en eau limitée.

Le traitement aboutit à l'évacuation de matériaux dits « secs » :

- graviers/blocs et/ou amas argileux ;
- sables ;
- boue centrifugée et/ou galette de fines.

Pour ce qui concerne les déblais issus du creusement par tunnelier à pression de terre, des additifs ont été employés pour former la pâte d'évacuation des déblais. Les additifs utilisés par les entreprises de travaux seront de type biodégradable et inoffensif pour la santé. Cette pâte présentera néanmoins une teneur en eau relativement importante.

Une étude spécifique relative à la gestion des déblais de l'opération de Toulouse Aérospatiale Express a permis d'identifier un certain nombre de filières possibles : réaménagement dans le cadre de remblaiement de carrières, utilisation dans le cadre des travaux de construction de l'autoroute Toulouse / Castres dont le chantier devrait débuter à l'horizon 2020, réutilisation dans divers travaux d'aménagement (merlons anti-bruit sur la rocade Sud de Toulouse...

Document F7 p3830

- Pour l'opération TAE, le volume global de déblais est d'environ 2,2 millions de m³, dont près de la moitié issue de la foration des tunnels par les tunneliers. En prenant comme hypothèse une distance moyenne d'évacuation de 30 km par camion 24 tonnes, et une excavation (hors tunnelier) à l'aide de pelles d'environ 20 tonnes consommant 18 l de Gasoil/h avec un rendement de 36 m³/h et une activité 7h/j, nous obtenons un total d'émissions de GES pour ce poste d'environ 10 000 teqCO₂ ;

Méthodologie Carboptimum p104

3.4.7.2.1 Déplacements des volumes terrassés

Les matériaux excavés ou déblayés pour la construction des tunnels et tranchées peuvent être déplacés de site en site ou évacués vers des centres de stockage ou des centres d'enfouissement techniques. En l'absence de données, il sera considéré par défaut un déplacement de ces matériaux de 50 kilomètres en semi-remorque (facteur d'émission de 118 gCO₂e/t.km). La distance ainsi que le mode de transport resteront paramétrables dans l'outil.

Le transport du béton

Méthodologie Carb optimum p104

3.4.7.2.2 Provenance régionale (Ciment, béton, mortier et matériaux de carrière)

Cette catégorie de matériaux a la particularité d'avoir une densité importante, et de pouvoir être sourcés localement. En raison de leur faible valeur marchande (par comparaison avec des métaux par exemple), les schémas d'approvisionnements correspondent souvent à un approvisionnement régional. Ainsi, les facteurs d'émissions proposés par l'université de Bath dans sa base de facteurs d'émissions se basent pour le béton sur la logistique suivante :

- Trajet routier de 38km pour les agrégats,
- Trajet routier de 100 km pour le ciment (produit à proximité des carrières de calcaire et d'argile),
- Trajet supplémentaire de 155 km pour le béton produit hors site ou pour les éléments préfabriqués (voussoirs...)

Nous nous baserons sur ces valeurs par défaut, lorsque la provenance du ciment et du béton est inconnue. Nous chercherons cependant à préciser la provenance de ces matériaux, la tendance observée sur le marché étant de regrouper les sites de production.

Le fret généré pour la production d'un mètre cube de béton (frais ou préfabriqué) ou de mortier (300 kg de ciment, 1800 kg d'agrégats, eau) est dans ce cas de :

$$(0,3 \times 100 + 1,8 \times 38 + 2,4 \times 155) \times 0,118 = 55,5 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3 \text{ de béton ou mortier}$$

La distance considérée pour un approvisionnement direct en ciment ou agrégats est de 155 km. Ce qui revient pour un mètre cube de béton produit sur chantier à un facteur d'émission du fret généré de :

$$(0,3 \times 155 + 1,8 \times 155) \times 0,118 = 38,4 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3 \text{ de béton ou mortier}$$

Pour les autres approvisionnements régionaux, un facteur d'émissions de $155 \times 0,118 = 18 \text{ kgCO}_2\text{e/t}$ sera à ajouter pour tenir compte du fret routier.

Le matériel roulant

Méthodologie Carb optimum p103

Constructeur	Longueur (m)	Masse (t)
Ansaldo Breda	39	55
	39	58
	50	77
	108	188
Bombardier	35	48
Siemens	11	16
	38	59
	54	94
	97	140
	111	168
Alstom	20	32

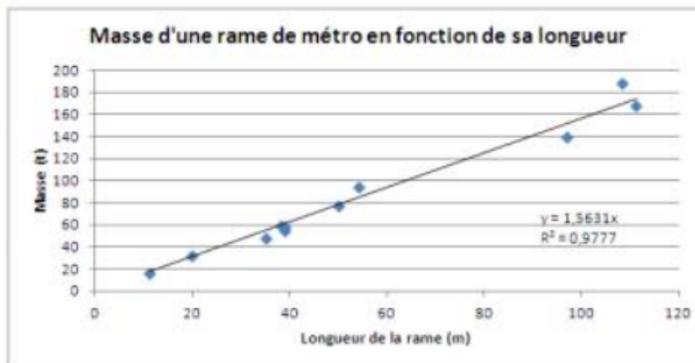


Figure 89 : Masse des rames de métro en fonction de leur longueur (Source : Etude sur les systèmes de transports –Débat public Arc Express)

Le réseau de transport public du Grand Paris devrait bénéficier de rames de grande longueur, de l'ordre de 120 mètres. Le prolongement de la droite de la Figure 89 à 120 mètres donne une masse de **187 tonnes par rame**.

Si l'aluminium est le constituant principal d'une rame, un très grand nombre d'autres matériaux, inconnus aujourd'hui, seront mis en œuvre. Le poste est donc simplifié en prenant comme hypothèse que l'ensemble de la rame est constitué d'aluminium.

Le facteur d'émissions de l'aluminium étant, dans les hypothèses retenues, de 6,1 tCO₂e/t, nous obtenons un total de **1 140 tCO₂e par rame**.

Etant donné le facteur d'émission élevé de ce métal, cette hypothèse est plutôt pénalisante et évitera de minimiser le rôle du poste Fabrications des rames dans le bilan total des émissions.

Pour une rame de 44m comme envisagé pour le TAE, on peut extrapoler à 418tCO₂e/rame.

L'impact de l'exploitation

Document F7 p 3836

7.2.3.7 Synthèse

Les émissions liées à l'exploitation des infrastructures du projet sont synthétisées dans le tableau suivant :

Poste	Emissions de GES annuelles (teqCO2)	Pourcentage
Maintenance des systèmes	1950	56%
Consommation électrique	1430	41%
Consommation en eau	0,5	0,01%
Billettique	64	2%
Bureautique	9	0,3%
Habillement	5	0,1%
TOTAL	3460	

Tableau de synthèse des émissions de GES du projet liées à l'exploitation de la ligne TAE

Méthodologie Carboptimum p130

3.8.1 L'électricité

Comme présenté en détails au § 3.1.1 du rapport de phase 1, partie 2, un facteur d'émission moyen du réseau sera utilisé. Ce facteur d'émission a été défini par le rapport de l'ensemble des émissions annuelles du parc de production par l'ensemble des émissions de GES générées. Cette définition permet d'avoir une vision prospective en intégrant l'évolution des moyens de production au cours du temps. Les valeurs récentes du facteur d'émissions moyen français varient entre 75 et 90 g de CO₂ par kWh produit (en sortie de centrale, hors perte en ligne et de transformation). Pour l'évolution d'ici 2050, nous proposons de prendre les mêmes hypothèses que celles retenues dans le cadre du Bilan Carbone de la LGV Rhin-Rhône, à savoir un facteur d'émissions de l'ordre de 60 g éq CO₂/kWh en 2020, qui est un chiffre prévisionnel RTE (Réseaux de Transport d'Electricité), et 50 g éq CO₂/kWh à horizon 2050, hypothèse qui avait été formulée par l'ADEME lors du travail avec RFF.

En outre, le facteur d'émission tient compte des pertes en ligne estimées à 8%¹⁹⁵. Le facteur d'émissions global par kWh consommé est donc le suivant :

FE électricité :	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
g éq CO ₂ /kWh centrale	84.3	74.3	67.2	60.0	58.3	56.7	55.0	53.3	51.7	50.0
g éq CO ₂ /kWh final	91.7	80.8	73.0	65.2	63.4	61.6	59.8	58.0	56.2	54.3

Tableau 84 : Facteur d'émissions de consommation d'énergie électrique du réseau de distribution

Les déplacements évités

Document F5 p3374

■ Réduction des émissions de GES dus à la circulation automobile

Pour l'année 2030, la réduction des émissions de GES à l'échelle de l'agglomération toulousaine est estimée à **45 000 tonnes équivalent CO2 par an grâce à TAE et à 1 300 tonnes équivalent CO2 par an grâce à CLB.**

Ces valeurs ont été calculées à partir des baisses de circulation routière induites par le report modal, en considérant qu'un véhicule émet en moyenne 202g de CO2 par kilomètre parcouru⁶.

À titre d'information, un habitant de l'agglomération toulousaine émet en moyenne 4,4 tonnes de dioxyde de carbone (CO2) chaque année pour l'ensemble de ses besoins (chauffage, transport, alimentation, etc.)⁷. Les gains permis par ces opérations compenseraient ainsi les émissions d'environ 10 000 personnes.

Document F5 p3375

- Une réduction des émissions liées au report modal de la voiture vers les transports en commun : le report modal permettra une réduction de l'utilisation de la voiture particulière et donc des émissions qui en découlent. Il devrait s'opérer pour les trajets en direction du centre-ville, mais aussi pour les trajets domicile – travail. Cette mesure passe également par l'aménagement de 4 parcs relais (P+R) dans le cadre de l'opération TAE auquel s'ajoute le P+R de la station Marengo dans le cadre du projet Toulouse EuroSudOuest.

Ainsi, les études de trafic réalisées montrent un **impact très positif du projet sur la répartition modale**. Les déplacements en voiture diminuent de 4% (-90 000 déplacements), alors que les déplacements en transports en commun augmentent de 8 à 9 % (+59 000 déplacements). Les déplacements des modes actifs (marche à pied et vélo) augmentent également de 3% (35 000 déplacements supplémentaires).

Mode	Impact TAE + CLB en absolu	Impact TAE + CLB en relatif
Voiture	-90 100	-4%
Transport en commun	58 600	+ 8 à 9%
Modes actifs (piétons, cycles)	34 900	3 %

Evolution des pratiques de déplacement avec et sans projet, source : dossier d'évaluation socio-économique de janvier 2019

Le report modal induit par les opérations TAE et CLB permettra – du fait de la réduction du trafic routier - une diminution de la consommation d'énergies fossiles. **Il est ainsi estimé que l'opération TAE permettra une réduction de 20 millions de litres de carburant par an, et que l'opération CLB permettra une économie de l'ordre de 400 000 litres de carburants par an.**

Document F7 p3833

7.2.3.1 Évolution des émissions directes liées au report de trafic routier

L'impact du projet sur les déplacements est étudié dans le cadre de l'étude socio-économique du projet.

L'agglomération toulousaine est caractérisée par une très forte utilisation de la voiture particulière dans les déplacements quotidiens (60% des déplacements selon l'EMD 2013), notamment pour réaliser les déplacements liés au travail, qui expliquent aujourd'hui la moitié des kilomètres parcourus dans l'agglomération. Elle verra à l'horizon de la mise en service des opérations TAE et CLB un recul de l'utilisation de la voiture.

L'ampleur et la complémentarité de ces deux opérations sont de nature à modifier les comportements de déplacements des usagers et contribuent à rendre la ville plus compacte : le réseau de transports en commun sera plus attractif, et la marche, le vélo et les transports en commun, qui sont peu compétitifs lorsque la ville est étalée, gagneront en attractivité.

Le tableau ci-dessous présente l'impact de chacune des opérations TAE et CLB sur le nombre de déplacements en voiture et de véhicules.Km. Ces éléments sont issus de l'étude trafic menées à l'aide du multimodale de déplacements (étude socio-économique réalisée dans le cadre de la DUP, librement consultable).

	Impact sur le nombre quotidien de déplacements de voitures	Pourcentage d'évolution	Impact sur le nombre quotidien de véhicules.Km	Pourcentage d'évolution
Opération TAE	-73 000	-3,6%	-531 000	-3,5%
Opération CLB	-2 000	-0,1%	-27 000	-0,2%

Évolutions de la circulation automobile engendrées par la mise en service des opérations TAE et CLB, par JOB pour l'année 2030, déplacements internes à l'agglomération toulousaine (PDU)

Grâce aux opérations TAE et CLB le nombre de déplacements de voitures et le nombre de véhicules.Km diminueront de l'ordre de 4%.

Ces effets sur la circulation peuvent être traduits en émissions de tonnes équivalent CO₂ évitées par l'intermédiaire des valeurs figurant dans les fiches outils du référentiel d'évaluation socio-économique des projets de transports en vigueur depuis 2014.

La réduction des émissions de GES à l'échelle de l'agglomération toulousaine est estimée à 45 000 tonnes équivalent CO₂ par an grâce à TAE et à 1 300 tonnes équivalent CO₂ par an grâce à CLB.

3.6.1.1 Estimation sur base des véhicules kilomètres parcourus uniquement

Véhicules particuliers

Des facteurs d'émissions généraux d'utilisation des véhicules particuliers donnés par les méthodologies Bilan Carbone® et Defra sont présentés dans les tableaux ci-dessous (Tableau 49 et Tableau 50). Ils intègrent les émissions liées à l'amortissement des véhicules ainsi que les émissions liées à leur consommation de carburant (émissions au pot d'échappement + émissions de la chaîne de production du carburant).

	Emissions d'amortissement	Consommation moyenne/100 km	Emissions de consommation de carburant*	Total
Véhicule essence France	40.15 g éq CO ₂ /km	8.1 litres	228.47 g éq CO ₂ /km	268.61 g éq CO ₂ /km
Véhicule essence Région Parisienne	40.15 g éq CO ₂ /km	9.1 litres	256.57 g éq CO ₂ /km	296.72 g éq CO ₂ /km
Véhicule diesel	40.88 g éq CO ₂ /km	6.8 litres	199.27 g éq CO ₂ /km	240.15 g éq CO ₂ /km

Tableau 49 : Facteurs d'émissions d'utilisation des véhicules particuliers. Source : Guide des facteurs d'émissions v6.1, Ademe 2010 * émissions au pot d'échappement et émissions de la chaîne de production du carburant

Méthodologie Carboptimum p111

S'il on tient compte de l'évolution du parc automobile roulant aux énergies fossiles¹⁴⁴ et s'il on y ajoute l'évolution du parc de véhicules électriques (non considérés dans les projections de l'INRETS) on obtient un parc roulant réparti entre 43% essence et 57% diesel en 2005 qui évolue vers une croissance du diesel au détriment de l'essence pour atteindre 37% essence et 63% diesel en 2010, 19% essence, 67 % diesel et 14% électrique en 2025 et finalement 16% essence, 59% diesel et 25% électrique entre 2035 et 2050.

Il ne reste alors plus que de considérer une masse volumique de l'essence d'approximativement 750 g/litre et de diesel de 840 g/litre pour obtenir un facteur d'émission global pour l'utilisation de véhicules particuliers dont les principales valeurs sont reprises dans le tableau ci-dessous :

Années	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Emissions moyennes pour l'utilisation des VP (g CO ₂ /km)	239.3	220.8	204.3	188.5	168.0	153.8	140.4	134.0	127.7	121.5

Tableau 52 : Facteurs d'émissions globaux d'utilisation des véhicules particuliers.

Dans un article concernant un scénario prospectif de l'ADEME publié en 2017, on trouve les éléments suivants: <https://www.flotauto.com/ademe-scenario-energie-climat-2035-2050-20171106.html>

Le rapport prend aussi compte de l'essor du vecteur gaz, notamment pour les parcs captifs et les usages urbains et péri-urbains, et en particulier du bioGNV. **En conséquence, les émissions moyennes du parc automobile passeraient de « 167 g CO2/km aujourd'hui à 103 g CO2/km en 2035 et à 47 g CO2/km en 2050 », selon l'Ademe. De même, « les véhicules neufs émettront en moyenne 66 g CO2/km en 2035 et moins de 50 g CO2/km en 2050 », contre 130 g aujourd'hui.**

Il nous semble par conséquent assez conservatif de prendre l'hypothèse de 125g CO2/km en 2029 à la mise en service et 47g CO2/km en 2050.

Etude ATMO sur les impacts TAE et CLB p46 :

Dans le tableau ci-contre est indiquée l'évolution des quantités de gaz à effet de serre émises en tonnes équivalent CO₂ des différents scénarii pour les deux horizons en relatif et en absolu.

L'impact de l'opération TAE a été évalué en comparant le scénario relatif à cette opération (scénario 2) au scénario de référence (scénario 0).
L'impact de l'opération CLB a été évalué en comparant le scénario incluant TAE et CLB (scénario 3) au scénario incluant uniquement TAE (scénario 2). Cette approche a été privilégiée par Tisséo Collectivités car CLB est une opération de connexion de la ligne B à la 3^{ème} ligne de métro, qui sera réalisée en complément de TAE.
L'impact cumulé des deux opérations a été évalué en comparant le scénario incluant TAE et CLB (scénario 3) et le scénario de référence (scénario 0).

En annexe 1 sont indiquées les émissions moyennes des différents polluants pour l'ensemble du réseau routier inclus dans le périmètre du PDU pour les différents horizons.

L'opération TAE permet une économie de 211 000 km parcourus par jour. Il permet ainsi un gain d'émissions de gaz à effet de serre de 23 652 tonnes par an soit l'équivalent des émissions d'une commune de 6 160 habitants¹.

L'opération CLB permet, une économie de 39 000 km parcourus par jour. Ainsi, le projet entrainera le gain d'émission de 5 042 tonnes de gaz à effet de serre par an dans l'atmosphère à l'horizon mise en service ce qui correspond à une baisse de 0.6% des émissions sur la bande d'études par rapport à la seule évaluation du TAE.

		Évolution des émissions de GES en fonction du scénario indiqué ci-contre	
		En %	En tonnes CO ₂ eq/j
Horizon mise en service	Impact TAE	-2,8%	-65
	Impact CLB	-0.6%	-14
	Impact TAE+CLB	-3.4%	-79
Horizon mise en service	Impact TAE	-2,8%	-58
	Impact CLB	-0.6%	-13
	Impact TAE+CLB	-3.4%	-71

Tableau 23 : Impact de TAE, de CLB et de TAE+CLB en matière d'émission des gaz à effet de serre pour l'ensemble du réseau routier retenu dans la bande d'étude pour chaque horizon

La réalisation des deux opérations TAE et CLB amplifient donc l'économie de kilomètres parcourus en comparaison de l'opération TAE seule en favorisant davantage le report modal. Les 250 000 km économisés par jour à l'horizon mise en service permettent un gain de près de 28 700 tonnes de gaz à effet de serre sur un an de fonctionnement soit l'équivalent des émissions d'une commune de 7 472 habitants¹.

Au global, c'est la combinaison TAE+CLB qui permet la réduction la plus importante des émissions de gaz à effet de serre.

Sur le site de TISSEO (<https://tisseo-collectivites.fr/actualites/la-3eme-ligne-de-metro-avance> du 29/05/2019), on trouve le chiffre de 250 000 km :

Les effets de la 3ème ligne : Un minimum de 250 000 km parcourus en voiture économisés par jour dans l'agglomération. Soit en moins :

- 28 700 tonnes/an de CO2
- 50,6 tonnes de Nox (dioxyde d'azote)
- 7,3 tonnes de particules PM10 (particules fines 10 microns)
- 4,2 tonnes de particules PM2,5 (particules très fines 2,5 microns)

Le chiffre présenté par ATMO pour le projet TAE (-211000 km/jour) n'est pas cohérent avec l'hypothèse retenue dans l'étude de TISSEO (-531000km/jour).

Bilan

Evaluation TAE

Document F5 p3373

5.3.1.1.2. Impact positif sur les émissions de gaz à effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. Indispensable à notre survie, ce fragile équilibre est menacé. Les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel.

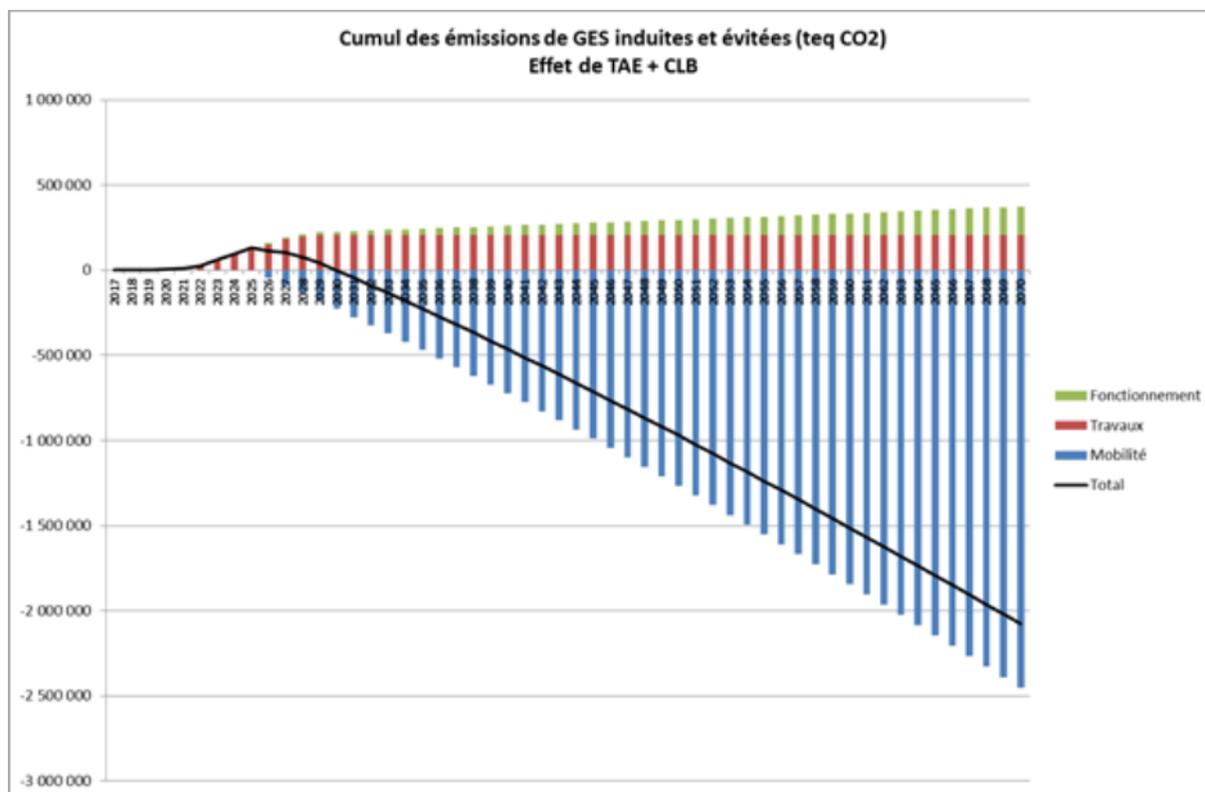
Les gaz à effet de serre sont notamment la vapeur d'eau, de dioxyde de carbone (CO2 ou gaz carbonique), le méthane (CH4), le protoxyde d'azote (N2O), l'ozone, les gaz fluorés...

La combustion d'énergie fossile constitue un des facteurs majeurs de l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, mais d'autres sources de contribution existent parmi lesquelles on citera par exemple la déforestation, l'agriculture, l'élevage, l'artificialisation des sols...

Le projet de réalisation de la troisième ligne de métro, de la connexion à la ligne B et de la Ligne Aéroport Express aura une incidence indirecte positive sur le climat en participant à la réduction des émissions de gaz à effet de serres (GES), notamment du fait des émissions qu'il permettra d'éviter grâce au report modal de l'usage de la voiture particulière sur le réseau de transport en commun.

En 2013, le secteur des transports représentait 56% des émissions totales des GES sur le territoire de la Grande Agglomération Toulousaine³. Ce territoire devrait connaître une augmentation continue de sa population jusqu'à l'horizon 2030 engendrant de fait une augmentation des émissions de GES (par le chauffage, le trafic routier, etc.) si aucune mesure n'est mise en œuvre.

Document F7 p3847



Cumul des émissions de gaz à effet de serre induites et évitées (en tonne équivalent CO₂) entre 2017 et 2070 par les projets TAE et CLB

Hypothèse 1 : Evaluation Carboptimum

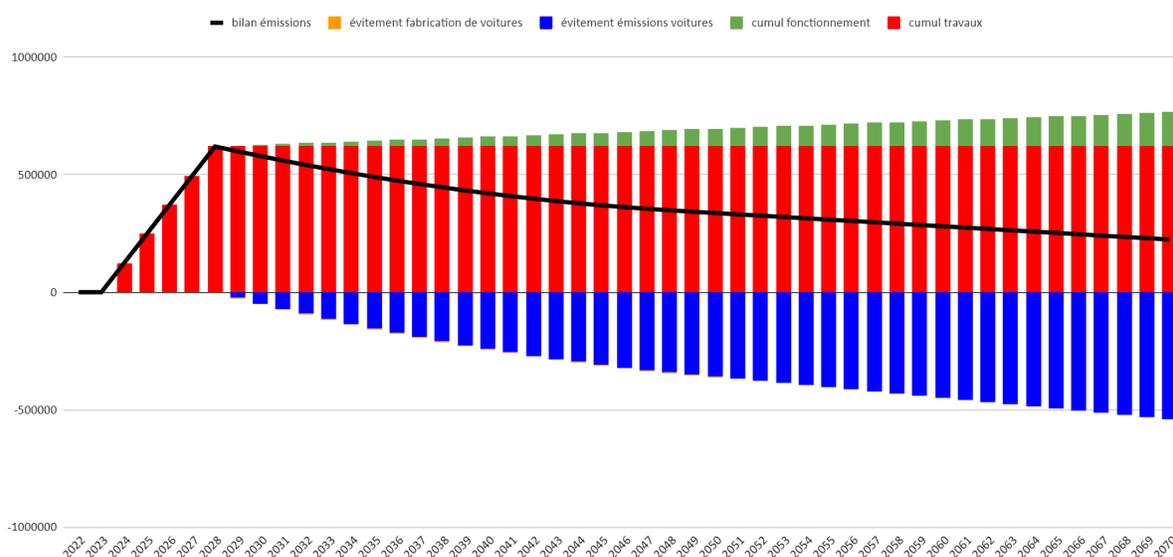
Emissions	Facteur d'émission en kg CO ₂ e	Emissions unitaires en kg CO ₂ e	Quantité	Unité	t CO ₂ eq
Bétons voussoirs		317	261054	m ³	82754
Acier voussoirs	2.2	150	261054	m ³	86148
Béton radier		271	298350	m ³	80853
Acier radier	2.2	100	298350	m ³	65637
Mortier de bourrage		375	138858	m ³	52072
Béton stations		271	136500	m ³	36992
Acier stations	2.2	100	136500	m ³	30030
Electricité excavation (/km)	0.065	1272345	22.1	km	1828
Fuel excavation (/km)	3.159	31809	22.1	km	2221
Transport déblais (/t)	0.118	5.9	1855853	m ³	25184
Transport		55.5	834762	m ³	46329

béton/mortier (/m3)					
Transport acier (/t)	0.118	59	82643.1	t	4876
Equipements tunnel (/km)		2632000	22.1	km	58167
Rames 44m		418000	50	rames	20900
Voie aérienne		5000000	5	km	26000
Total					619990

Modèle corrigé :

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Jk9-RJnL_18gY2JaofsvE97s1-FFjzZd/edit?usp=sharing&oid=102227704625947533009&rtpof=true&sd=true

Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)



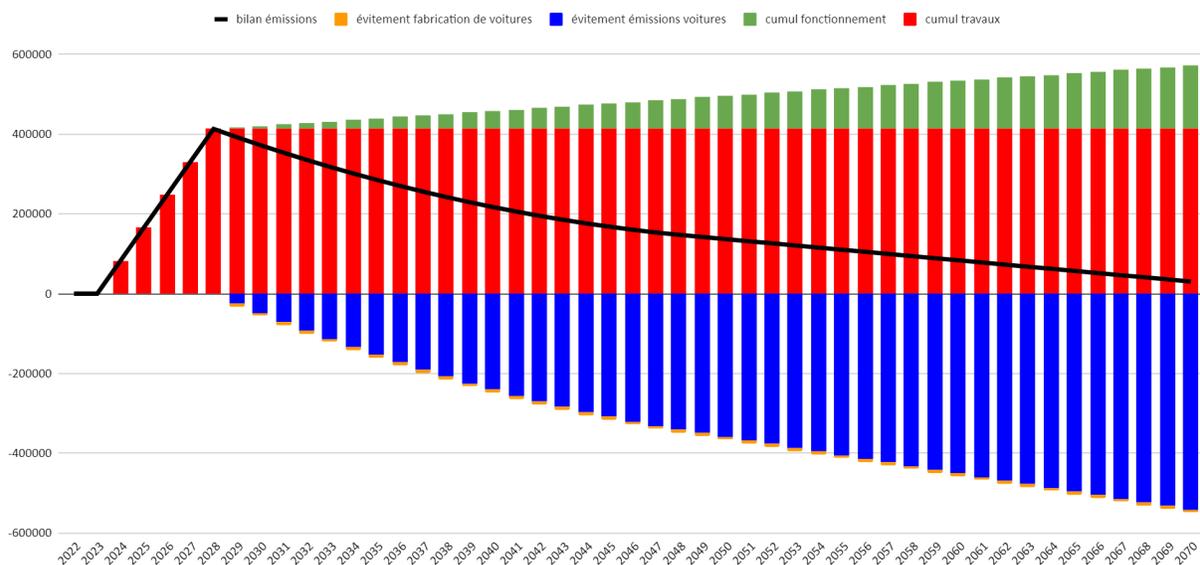
Hypothèse 2 : Evaluation béton bas carbone

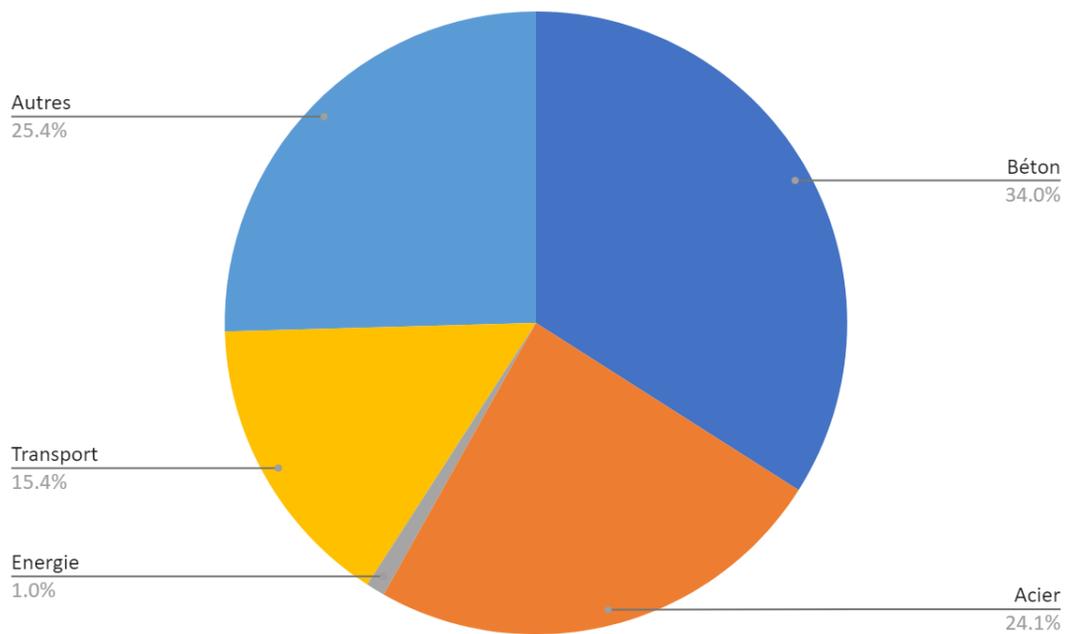
Béton et mortier bas carbone : -30%, ferrailage réduit pour voussoirs et radier

Emissions	Facteur d'émission en kg CO2e	Emissions unitaires en kg CO2e	Quantité	Unité	t CO2eq
Bétons voussoirs		220	261054	m3	57432
Acier voussoirs	2.2	100	261054	m3	57432
Béton radier		190	110500	m3	20995
Acier radier	2.2	50	110500	m3	12155
Mortier de bourrage		260	138858	m3	36103

Béton stations		190	136500	m3	25935
Acier stations	2.2	100	136500	m3	30030
Electricité excavation (/km)	0.065	1272345	22.1	km	1828
Fuel excavation (/km)	3.159	31809	22.1	km	2221
Transport déblais (/t)	0.118	5.9	1855853	m3	25184
Transport béton/mortier (/m3)		55.5	646912	m3	35904
Transport acier (/t)	0.118	59	45280.4	t	2672
Equipements tunnel (/km)		2632000	22.1	km	58167
Rames 44m		418000	50	rames	20900
Voie aérienne		5000000	5	km	26000
Total					412957

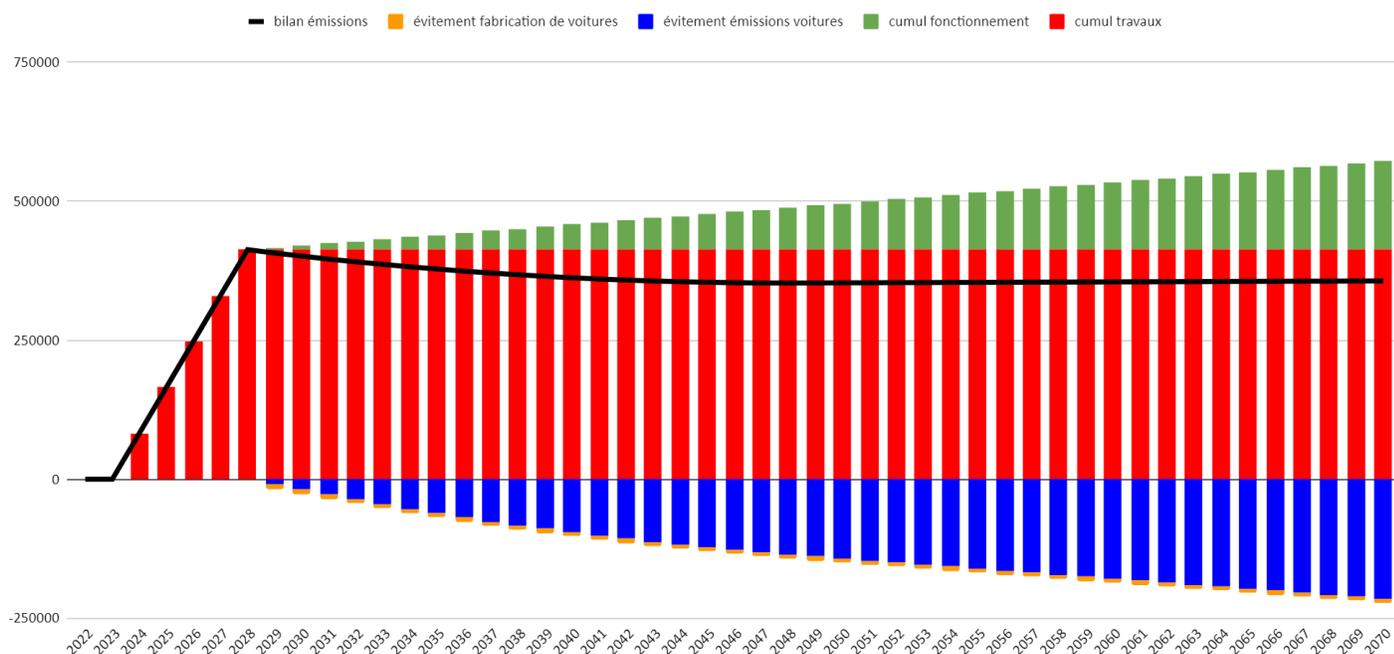
Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)





Dans cette hypothèse, si on retient le nombre de kilomètres évités présentés dans l'étude d'impact d'ATMO, on se rend compte que le bilan carbone de la 3ème ligne est significativement négatif.

Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)



Hypothèse 3 : Evaluation béton ultra bas carbone

Béton ultra bas carbone et fibré avec ferrailage réduit pour les voussoirs, pas de ferrailage pour le radier

Emissions	Facteur d'émission en kg CO2e	Emissions unitaires en kg CO2e	Quantité	Unité	t CO2eq
Bétons voussoirs		90	261054	m3	23495
Acier voussoirs	2.2	50	261054	m3	28716
Béton radier		190	298350	m3	56687
Acier radier	2.2	0	298350	m3	0
Mortier de bourrage		260	138858	m3	36103
Béton stations		190	136500	m3	25935
Acier stations	2.2	100	136500	m3	30030
Electricité excavation (/km)	0.065	1272345	22.1	km	1828
Fuel excavation (/km)	3.159	31809	22.1	km	2221
Transport déblais (/t)	0.118	5.9	1855853	m3	25184
Transport béton/mortier		55.5	834762	m3	46329

(/m3)					
Transport acier (/t)	0.118	59	26702.7	t	1575
Equipements tunnel (/km)		2632000	22.1	km	58167
Rames 44m		418000	50	rames	20900
Voie aérienne		5000000	5	km	26000
Total					383170

Cumul des émissions de GES induites et évitées pour TAE (T CO2e)

