

Réseau structurant de transport en commun

Audiences publiques sur l'environnement

Bilan GES du tramway durant les phases de construction et d'exploitation

356

DA71

Projet de construction d'un tramway à Québec

6211-14-012



Principaux constats

- **Le bilan GES du projet de tramway devient positif en 2033**
- **En 2041, l'émission de 118 kilotonnes (KT) de CO₂ aura été évitée grâce au tramway (gain cumulé)**
- **La conversion des automobilistes vers le transport en commun compense en grande partie les émissions de GES liées à la phase construction**
- **La phase construction du tramway génère l'émission de 154 KT de CO₂**
- **Le béton et l'acier sont les deux postes d'émission de GES les plus importants en phase construction (70 %)**

Méthodologie

Les calculs d'émission de CO₂ (directives du MELCC) portent sur les impacts en phase construction et en phase exploitation.

Annexe GES comportant deux sections suivantes a été utilisé pour mesurer les impacts sur les émissions de GES :

- La méthodologie générale pour la quantification des émissions de GES (section A)
- Les formules de calcul des émissions de GES (section B)

Les émissions liées à la production des matériaux de construction ont été rattachées à un poste (MATCO) non décrit dans les annexes GES de la directive du MELCC

Synthèse des postes d'émissions pris en compte

Les différents postes abordés pour le calcul des émissions de GES à ce stade sont :

- En phase construction :
 - l'excavation (tunnels, stations, opérations, ouvrages)
 - l'évacuation des déblais
 - la production des matériaux
 - l'approvisionnement en matériaux
 - la mise en œuvre des matériaux
 - Le déboisement (mise en œuvre + changement affectation)
- En phase exploitation :
 - Gains d'émissions liés au report modal du mode automobile vers le mode transport en commun

N° Annexe MELCC / identifiant poste	Postes	Prise en compte
MATCO	Emissions de GES attribuables à la production des matériaux de construction	Oui
	Béton, Granite, Graves, Enrobés, Acier, Cuivre	
B-1	Emissions de GES attribuables aux systèmes de combustion fixes	Non
	Non pris en compte en raison de l'absence de données d'entrée	
B-2	Emissions de GES attribuables aux systèmes de combustion mobile	Oui
	Opérations d'excavation (pelleteuse, pelleteuse-chargeuse)	
	Opérations de terrassement (pelleteuse, compacteur, rouleau vibrant, niveleuse) et de pavage (finisseur)	
	Opérations de fondation (pompe à béton) Opérations de déboisement (abatteuse, ébrancheuse, débardeur, porteur)	
B-3	Emissions de GES attribuables à l'utilisation d'énergie électrique	Non
	Non pris en compte en raison de l'absence de données d'entrée	
B-4	Emissions de GES attribuables au transport des matériaux de construction, d'excavation et de	Oui
	Béton, granite, graves, enrobé, acier, cuivre, explosifs, déblais inertes, déblais pollués, remblais	
B-5	Emissions de GES attribuables aux activités de déboisement	Oui
	Changement d'affectation des terres valorisant la suppression de puits de carbone	
B-6	Emissions de GES liées à l'utilisation d'explosifs	Oui
	émissions de GES découlant principalement de la détonation et liée à la masse de combustible fossile et à son contenu en carbone	
B-7	Emissions indirectes évitées attribuables au transfert modal	Oui
	Gains d'émissions liés au report des usagers du mode VP vers le mode TC	
B-8	Emissions liées aux impact des projets routiers sur le flux de déplacement entre zones d'origine et zones de destination ainsi que sur la congestion routière	Non
	Intégration de l'effet de la densification urbaine / évitement de l'étalement urbain à partir de la méthode définie par le TCRP. Non pris en compte	

Synthèse des postes d'émissions pris en compte

Les différents postes abordés pour le calcul des émissions de GES à ce stade sont :

- En phase construction :
 - l'excavation (tunnels, stations, opérations, ouvrages)
 - l'évacuation des déblais
 - la production des matériaux
 - l'approvisionnement en matériaux
 - la mise en œuvre des matériaux
 - Le déboisement (mise en œuvre + changement affectation)
- En phase exploitation :
 - Gains d'émissions liés au report modal du mode automobile vers le mode transport en commun

N° Annexe MELCC / identifiant poste	Postes	Prise en compte
MATCO	Emissions de GES attribuables à la production des matériaux de construction	Oui
	Béton, Granite, Graves, Enrobés, Acier, Cuivre	
B-1	Emissions de GES attribuables aux systèmes de combustion fixes	Non
	Non pris en compte en raison de l'absence de données d'entrée	
B-2	Emissions de GES attribuables aux systèmes de combustion mobile	Oui
	Opérations d'excavation (pelleteuse, pelleteuse-chargeuse)	
	Opérations de terrassement (pelleteuse, compacteur, rouleau vibrant, niveleuse) et de pavage (finisseur)	
	Opérations de fondation (pompe à béton) Opérations de déboisement (abatteuse, ébrancheuse, débardeur, porteur)	
B-3	Emissions de GES attribuables à l'utilisation d'énergie électrique	Non
	Non pris en compte en raison de l'absence de données d'entrée	
B-4	Emissions de GES attribuables au transport des matériaux de construction, d'excavation et de	Oui
	Béton, granite, graves, enrobé, acier, cuivre, explosifs, déblais inertes, déblais pollués, remblais	
B-5	Emissions de GES attribuables aux activités de déboisement	Oui
	Changement d'affectation des terres valorisant la suppression de puits de carbone	
B-6	Emissions de GES liées à l'utilisation d'explosifs	Oui
	émissions de GES découlant principalement de la détonation et liée à la masse de combustible fossile et à son contenu en carbone	
B-7	Emissions indirectes évitées attribuables au transfert modal	Oui
	Gains d'émissions liés au report des usagers du mode VP vers le mode TC	
B-8	Emissions liées aux impact des projets routiers sur le flux de déplacement entre zones d'origine et zones de destination ainsi que sur la congestion routière	Non
	Intégration de l'effet de la densification urbaine / évitement de l'étalement urbain à partir de la méthode définie par le TCRP. Non pris en compte	

Résultats en phase travaux

Tonnes de CO₂ calculées générés : **154 KT**

- Production matériaux : 124 KT de CO₂
- Acheminement matériaux : 4,8 KT de CO₂
- Systèmes de combustion mobiles (engins de chantier) : 1,8 KT
- Évacuation déblais et transport remblais : 11 KT CO₂
- Déboisement : 12,6 KT de CO₂
- Explosifs : 53 T de CO₂

La phase travaux du projet génère au total une dépense de l'ordre 154 KT de CO_{2eq}

- Le poste matériaux de construction représente le premier poste avec 80 % des émissions de GES en phase travaux : l'optimisation de la composition des matériaux représente une piste d'optimisation (ciments à basse empreinte carbone)
- Les activités de transport des matériaux de construction, d'excavation totalisent près de 11 % des émissions de la phase travaux;
- Le déboisement représente à ce stade le troisième poste d'émission de CO₂ avec 8 % des émissions de la phase travaux

Résultats en phase exploitation

Tonnes de CO₂ calculées :

- En 2026 gain de 23 KT de CO₂
- En 2041 gain cumulé de 272 KT de CO₂

La phase exploitation génère à horizon 2041 un gain de l'ordre de 272 KT de CO₂ :

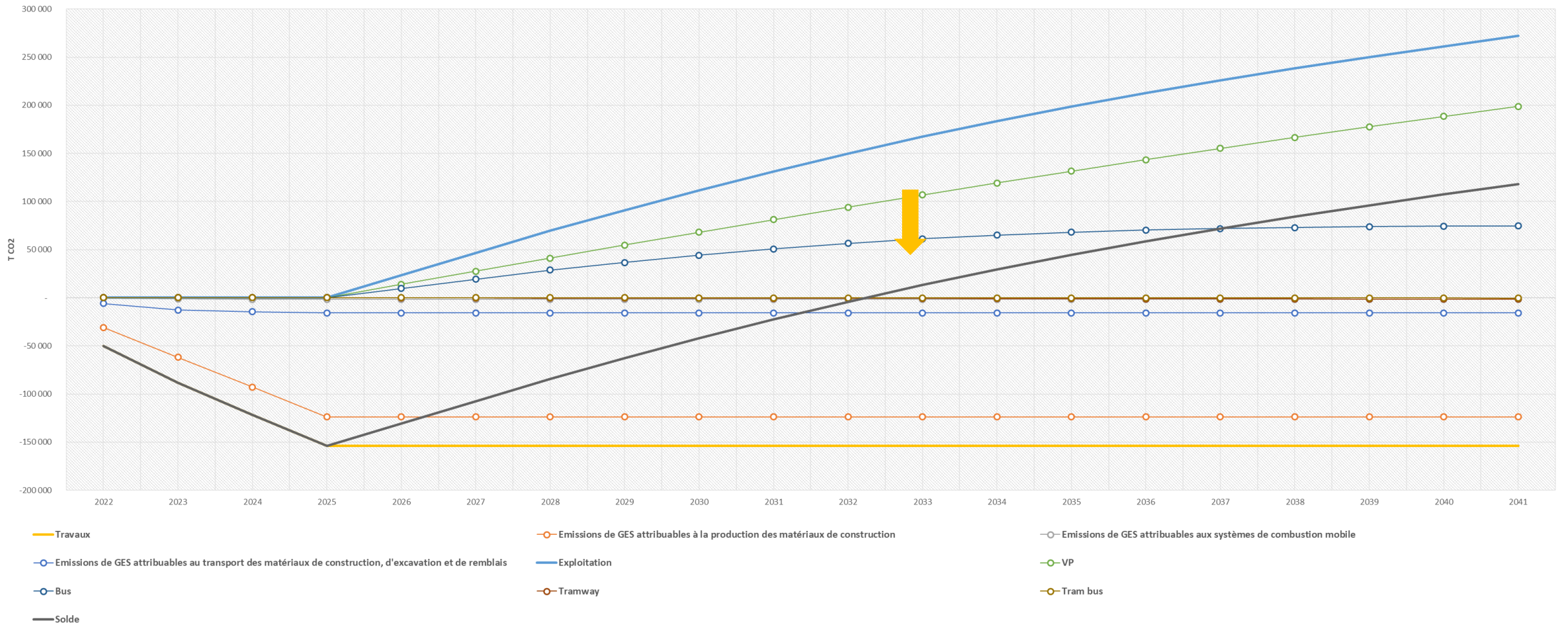
- Un gain grâce au report modal VP vers les modes durables et grâce à la croissance de la part des véhicules électriques.
- Un gain grâce à l'électrification du parc autobus.

Exploitation	(2026)	(2041)
VP (gains cumulés)	13,8 KT de CO ₂	199 KT de CO ₂
Bus (gains cumulés)	9,5 KT de CO ₂	74 KT de CO ₂
Tramway (pertes cumulées)	0,095 KT de CO ₂	1,5 KT de CO ₂
Trambus (pertes cumulées)	0,003 KT de CO ₂	0,045 KT de CO ₂

Conclusion

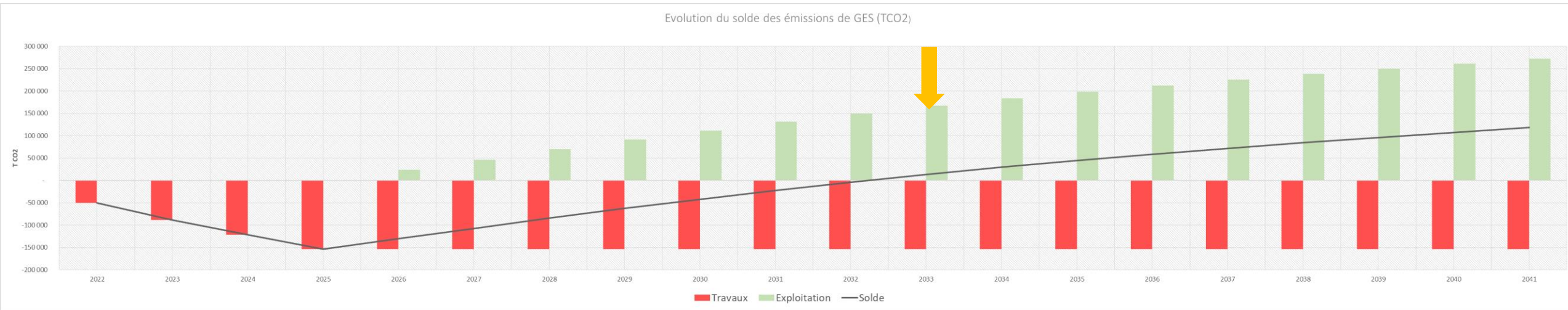
- Bilan positif à partir de 2033
- Un gain cumulé de 118 KT de CO₂ en 2041

Chronique des émissions de GES (TCo₂) par macroposte en phases travaux (2022-2025) / exploitation (2026-2041)



Conclusion

- Bilan positif à partir de 2033
- Un gain cumulé de 118 KT de CO₂ en 2041





LA CONFIANCE TRANSPORTE LE MONDE

Les facteurs d'émissions utilisés

	Facteur d'émission	Unité	Source
Carburant diesel : camions, autobus, engins de déboisement	2 729	gCO ₂ eq/litre	Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A6-12 – Emission Factors for Energy Mobile Combustion Sources.
Carburant essence : VP	2 317	gCO ₂ eq/litre	Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A6-12 – Emission Factors for Energy Mobile Combustion Sources.
Consommation électrique : Tramway, bus électrique	1,7	gCO ₂ eq/KWh	Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A13-6 s.
Déboisement : suppression puit de carbone	1 365	tCO ₂ eq/ha	http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf .
Excavation à l'explosif	0,17	tCO ₂ eq/t explosif	https://www.dynonobel.com/apac/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Technical%20Information/Asia%20Pacific/BulkExplosives/TITAN%205000%20Matrix.pdf
Béton	320	kgCO ₂ eq/m ³	Béton prêt à l'emploi 30 MPA, Donnée extraite de la base de données ecoinvent v3.1, créée par le CIRAIG (BD-ICV Québec) à partir de données de l'ABQ. source : https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Protocole-ISO.pdf , Annexe 4, p33
Granite	0,01	kgCO ₂ eq/kg	Ademe base carbone 2014
Graves	0,01	kgCO ₂ eq/kg	Ademe base carbone 2014
Enrobés	0,05	kgCO ₂ eq/kg	Ademe base carbone 2014
Acier	1 268	kgCO ₂ eq/t	Acier pour treillis et armature : https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Protocole-ISO.pdf , Annexe 4, p33
Cuivre	1 445	kgCO ₂ eq/t	https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?autres_metaux.htm

Les hypothèses de consommation et de productivité pour les sources mobiles

- Le calcul des émissions des postes B-2, B-7 et B-4 nécessitent d'estimer des consommations par unité d'œuvre :
 - Approvisionnement et évacuation matériaux : porteur, tracteur + semi
 - Excavation : pelleteuse, pelleteuse-chargeuse
 - Terrassement : compacteuse, rouleau vibrant, niveleuse
 - Pavage : finisseur
 - Fondation : toupie, pompe à béton
 - Déboisement : abatteuse, ébrancheuse, débardeur, porteur
 - Exploitation TC : bus, bus hybride, bus électrique
 - Déplacements VP : VP essence, VP électrique
- Des hypothèses d'évolution de la structure de parc TC et VP:
 - 2026 : 77% bus diesel/hybrides / 33% bus électriques ; 9% de VP électriques/91% VP essence
 - 2041 : 99% bus électriques, 57% VP électriques

Véhicule / engin	Consommation	Unité	Productivité	Unité
Porteur 4 essieux	30,8	l/100 km	20,4	t
tracteur 3 essieux + semi-remorque 3 essieux	30,8	l/100 km	31,7	t
VP	9,0	l/100 km		
VP électrique	0,17	kWh/km		
Bus	65	l/100 km		
Bus hybride	56	l/100 km		
Bus électrique	1,8	kWh/km		
Tramway	19,2	kWh/km		
Pelleteuse	13	l/h	75	m3/h
Pelleteuse-chargeuse	8	l/h	75	m3/h
Niveleuse	20	l/h	1 250	m2/h
Compacteur	12,6	l/h	5 325	m2/h
Rouleau vibrant	3,3	l/h	20 900	m2/h
Finisseur	9,6	l/h	2 295	m2/h
Abatteuse	237,7	l/ha		
Ébrancheuse	255,9	l/ha		
Débardeur	292,5	l/ha		
Porteur	383,9	l/ha		
Toupie	94	l/100 km	18	t
Pompe à béton	33,4	l/h	140	m3/h

Les hypothèses de calcul pour l'excavation des tunnels et des stations

	Tunnel	Unité	Source
Localisation	Colline parlementaire		
Diamètre du front de taille	10,5	m	Source : hypothèse SYSTRA pour un tunnel métro voie double monotube avec deux passages cheminement piétons, diamètre extérieur
Surface du front de taille	86,6	m ²	
Longueur du tunnel	2 700	m	Source : Ville de Québec (mars 2019) - Réseau structurant de transport en commun de Québec, Dossier d'affaires, version 6, p.48
Volume excavé (en place)	233 793	m ³	
Coefficient de foisonnement	1,6		Source : hypothèse SYSTRA sur base Ligne Rouge, Lot 2 (2014)
Volume à évacuer (foisonné)	369 394	m ³	
Masse volumique dynamitée	1,7	t/m ³	Source : hypothèse SYSTRA
Tonnage à évacuer	627 969	t	

Stations	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Localisation	Avenue Cartier	Grand-Théâtre	Centre des congrès	Place d'Youville
Profondeur (m)	15	20	25	30
Surface du puits de station (m²)	275	275	275	275
Volume excavé (en place) (m³)	4 725	5 500	6 875	8 250
Volume station (en place) (m³)	600	600	600	600
Coefficient de foisonnement	1,6	1,6	1,6	1,6
Volume à évacuer (foisonné) (m³)	7 650	8 800	11 000	13 200
Masse volumique dynamitée	1.7	1.7	1.7	1.7
Tonnage à évacuer	12 852	14 960	18 700	22 440

Les hypothèses de volumes excavés et d'apports matériaux

Excavations	Localisation	Volume à excaver en place (m3)	Volume à évacuer foisonné (m3)	Tonnage à évacuer (t)
Tunnel	Colline parlementaire	233 793	369 394	627 969
Station	Avenue Cartier	4 725	7 560	12 852
Station	Grand-Théâtre	5 500	8 800	14 960
Station	Centre des congrès	6 875	11 000	18 700
Station	Place d'Youville	8 250	13 200	22 440
Plate-forme	Ensemble du tracé	470 925	612 203	857 084
Chaussée	Ensemble du tracé	593 805	771 947	1 080 725
Trottoir	Ensemble du tracé	114 321	148 617	208 064
Lieu cyclable hors rue	Ensemble du tracé	23 564	30 633	42 886
Approche perpendiculaire	Ensemble du tracé	143 100	186 030	260 442

Remblais	Quantité à acheminer (t)	Volume à acheminer (m3)
Plate-forme	671 382	479 559
Chaussée	1 080 725	771 947
Trottoir	208 064	148 617
Lieu cyclable hors rue	42 886	42 886
Approche perpendiculaire	260 442	186 030
Pont Mendel	210 000	150 000

Matériaux de construction	Quantité	Unité
Béton	495 000	t
Granite	14 000	t
Graves	552 500	t
Enrobés	175 000	t
Acier	32 081	t
Cuivre	68	t
Explosif	311	t

Les hypothèses en phase exploitation

Modes de transport pris en compte dans le calcul des GES en phase exploitation :

- Véhicules de promenades
- Autobus
- Tramway
- Trambus

La motorisation des tramways est 100 % électrique. Le parc autobus évolue entre 2026 et 2041 de la manière suivante :

- En 2026, les bus diesel/hybrides représentent 77 % du parc et les autobus électriques 33 % (5)
- En 2041, les bus électriques représentent 99 % du parc (6)

L'apport des VP électriques est également évolutif :

- En 2026, les véhicules électriques représentent près de 9 % du parc (7)
- En 2041, cette part est portée 43% du parc (8)

Émissions de GES (KTCO₂ cumulées) regroupées par postes aux horizons d'évaluation 2026 et 2041

Postes	KT CO ₂ cumulée			
Travaux	-	154	-	154
Emissions de GES attribuables à la production des matériaux de construction	-	124	-	124
Emissions de GES attribuables aux systèmes de combustion mobile	-	2	-	2
Emissions de GES attribuables au transport des matériaux de construction, d'excavation et de remblais	-	16	-	16
Emissions de GES attribuables aux activités de déboisement	-	13	-	13
Emissions de GES liées à l'utilisation d'explosifs	-	0,05	-	0,05
Exploitation		23		272
VP		14		199
Bus		10		75
Tramway	-	0,095	-	1,5
Tram bus	-	0,003	-	0,05
Solde hors incertitude	-	131		118
Fourchette basse travaux (-30 %)	-	84		164
Fourchette haute travaux (+30 %)	-	177		72

Sources

1. *Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A6-12 – Emission Factors for Energy Mobile Combustion Sources*
2. *Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A6-12 – Emission Factors for Energy Mobile Combustion Sources*
3. *Rapport d'inventaire national (RIN) 1990-2016. Partie II. Tableau A13-6 s*
4. [Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Chapitre 4 : Terres forestrières](#)
5. Données RTC
6. Données RTC
7. Données RTC
8. Données RTC

