



Métropole Rouen Normandie



Mars 2021



métropole
rouennORMANDIE

Bilan Carbone

Année de référence 2019

Projet de ligne BHNS T5



MOSAÏQUE
ENVIRONNEMENT
Conseil & Expertise

Auteur Bilan Carbone : Gilles GRANDVAL

Rédaction : Gilles GRANDVAL

Photo de couverture : © Florian Fèvre – Mobilyls - 2014



Agence Mosaïque Environnement

111 rue du 1er Mars 1943 - 69100 Villeurbanne tél. 04.78.03.18.18 - fax 04.78.03.71.51

agence@mosaïque-environnement.com - www.mosaïque-environnement.com

SCOP à capital variable – RCS 418 353 439 LYON



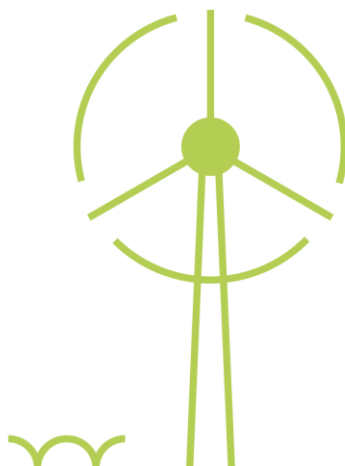
Sommaire

Chapitre I. Présentation générale	3
I.A. L'effet de serre et les gaz responsables	5
I.B. La méthodologie Bilan Carbone	7
I.C. Le périmètre d'analyse	8
Chapitre II. Périmètre opérationnel	9
II.A. Phase construction	11
II.B. Phase exploitation	13
Chapitre III. Les résultats du Bilan Carbone du projet	16
III.A. Résultats globaux d'émission	18
III.B. Emissions de la construction	18
III.C. Emissions de l'exploitation	19
III.D. Emissions évitées grâce au projet	20
III.E. Amortissement des émissions	21
III.F. Quelques éléments de ratio	22



Chapitre I. Présentation générale

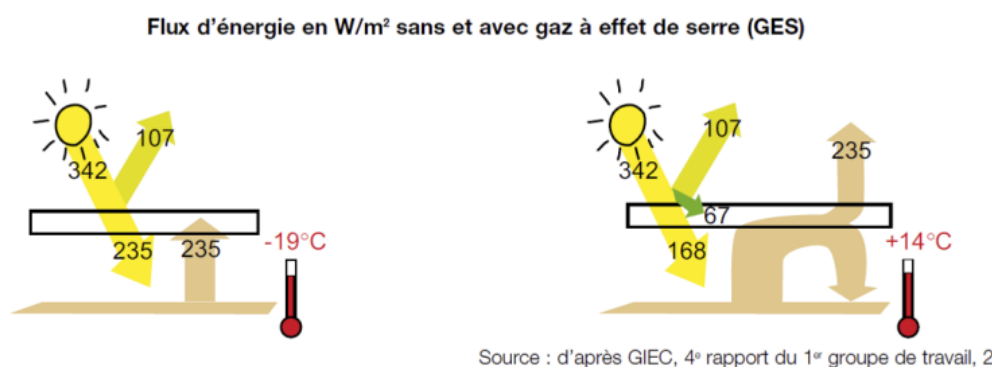
1



I.A. L'EFFET DE SERRE ET LES GAZ RESPONSABLES

Réaliser le Bilan Carbone d'une structure, d'un territoire, d'une activité, ou comme ici d'un projet, nécessite, avant toute chose, de bien comprendre ce qu'est l'effet de serre, quels en sont les mécanismes et quels gaz sont en cause.

L'effet de serre est un mécanisme thermique naturel, indispensable au maintien d'une température permettant la vie sur Terre (température moyenne de 15°C contre -18°C si l'effet de serre n'existait pas). Ce mécanisme fonctionne comme les vitres d'une serre où des gaz présents dans l'atmosphère vont piéger une partie des rayons infrarouges du soleil et la réchauffer.



Les gaz responsables de l'effet de serre sont d'origine naturelle et, depuis la révolution industrielle, d'origine anthropique (libérée par les activités humaines) : la vapeur d'eau, le CO₂, le méthane, le protoxyde d'azote, l'ozone et les gaz fluorés (HFC, PFC, CFC). L'ajout de quantités massives de gaz à effet de serre (GES) par l'homme aux quantités naturellement peu importantes dans l'atmosphère, a fini par entraîner un déséquilibre à l'origine d'une augmentation de l'effet de serre et donc d'un réchauffement artificiel du globe (la concentration de CO₂ a augmenté de 30% depuis une centaine d'années).

Il existe plusieurs gaz à effet de serre et chacun de ces gaz a un effet plus ou moins important sur le réchauffement climatique. Autrement dit, l'effet du relâchement dans l'atmosphère d'un kilo de gaz à effet de serre n'est pas le même selon le gaz. Il convient donc de définir une unité commune permettant de comparer ces gaz entre eux : c'est l'**équivalent CO₂ noté « CO₂e »** calculé à partir du Pouvoir de réchauffement global (PRG) d'un gaz par rapport au CO₂. Par exemple, le méthane a un PRG 23 fois supérieur au CO₂, c'est-à-dire que 1 kg de méthane = 23 kg éq. CO₂ en termes de pouvoir de réchauffement.

I.A.1. Les émissions humaines

L'effet de serre est un phénomène naturel dont les principaux responsables sont la vapeur d'eau et les nuages. Cependant, les gaz à effet de serre émis par les activités humaines viennent perturber le cycle naturel du carbone. Le schéma suivant permet d'illustrer la place des interactions dues à l'homme dans le cycle du carbone.

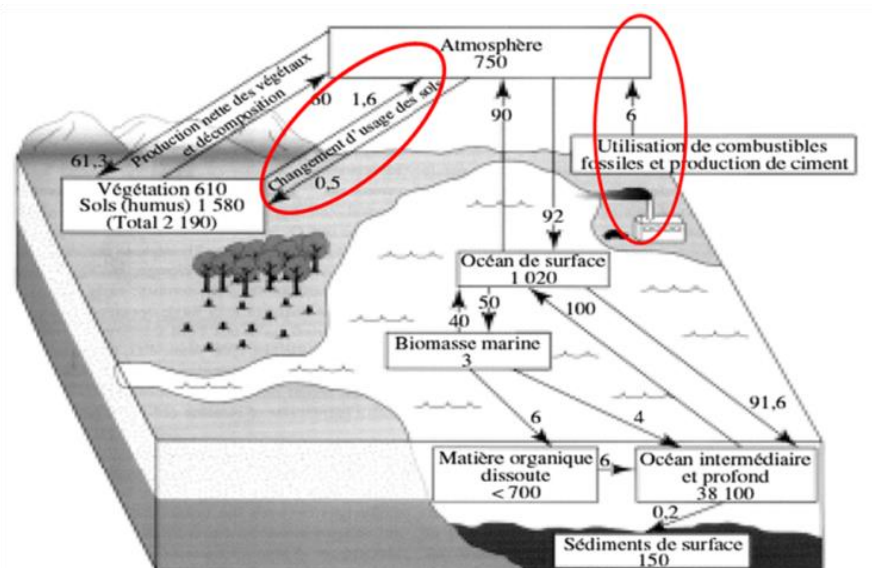


Figure 1 Le cycle du carbone – chiffres en milliards de tonnes de CO₂e par an (GIEC)

Entre le stockage de carbone (par la végétation, l'océan, les sédiments) et le déstockage de carbone (déforestation, évaporation, brûlage, etc.) ce sont 6 à 7 milliards de tonnes de carbone qui sont émis « en plus » par les activités humaines. Ces quantités peuvent paraître peu importantes par rapport aux quantités qui circulent naturellement entre l'atmosphère, l'océan et les sols, mais elles viennent déséquilibrer un mécanisme naturel. Par ailleurs, ce déséquilibre peut rapidement entraîner des phénomènes de cercles vicieux, causant ainsi un emballement du système (le réchauffement climatique augmente la température moyenne des océans => des océans plus chauds stockent moins de CO₂ => plus de CO₂ part dans l'atmosphère => augmentation du réchauffement climatique, etc.)

Les émissions anthropiques, c'est-à-dire liées aux activités humaines sont faibles comparées aux échanges naturels. Toutefois, si on les compare au solde de ces échanges naturels, leur impact est considérable.

I.A.2. L'origine des gaz à effet de serre anthropiques

Au niveau mondial, les émissions de GES d'origine humaine sont principalement liées à l'approvisionnement énergétique : 38% de l'électricité mondiale est produite par des centrales à charbon¹. Viennent ensuite les secteurs industriels et forestiers. La déforestation est à la fois émettrice de GES et contribue également à supprimer les « puits de carbone » que sont les zones forestières fixatrices de CO₂.

Ce constat, valable à l'échelle du globe, est très différent dans notre pays, où l'industrie, le logement, l'agriculture et le transport se partagent 85% des émissions, tandis que l'énergie occupe une place moins importante (11% des émissions)².

¹ International Energy Agency, *Global Energy & CO₂ Status. The latest trends in energy and emissions in 2018*, IEA, 2018.

URL : <https://www.iea.org/geco/data/>

² Ministère de la transition écologique et solidaire, Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement et les transports, *Émissions de GES par secteur*, données 2015.

I.B. LA METHODOLOGIE BILAN CARBONE

La méthodologie Bilan Carbone® élaboré par l'ADEME et développé maintenant par l'ABC (Association Bilan Carbone) permet d'évaluer, en ordre de grandeur, les émissions de gaz à effet de serre engendrées par l'ensemble des processus physiques nécessaires à l'existence d'une activité, d'un projet ou d'une organisation humaine.

L'originalité de la méthode du Bilan Carbone® est de prendre en compte tous les gaz à effet de serre et toutes les sources d'émissions, qu'elles soient directes ou indirectes, temporaires ou permanentes. Dans le cadre du projet de ligne BHNS T5 cette méthodologie a été mise en œuvre pour bénéficier d'une image la plus précise possible des émissions en tenant compte :

- **Des émissions directes** correspondent aux émissions qui prennent directement place au sein de la ligne T5 (qui sont, d'une certaine manière, de sa responsabilité directe). On y trouvera, en particulier, les consommations énergétiques des bus ainsi que des stations, nécessaires au fonctionnement de la ligne.
- **Des émissions indirectes** prennent place à l'extérieur de la ligne, mais sont la contrepartie de processus nécessaires à l'existence de celle-ci. Dans cette catégorie nous trouverons les émissions générées, par exemple, par la fabrication des véhicules, la fabrication des voiries ou pour les étapes amont de la fabrication des mobiliers urbains achetés et utilisés sur la ligne.

Ainsi, par cette méthode, peu importe où les émissions de gaz à effet de serre ont lieu, c'est la question de la responsabilité ou non de la ligne T5 dans ces émissions qui est importante. Ce choix, qui est dicté par l'intérêt d'évaluer globalement les émissions dont dépend une activité, est également cohérent avec des considérations physiques de flux.

Concernant les facteurs d'émissions, ce sont ceux de la Base Carbone qui ont été utilisés pour l'ensemble de l'étude.

I.C. LE PERIMETRE D'ANALYSE

Le périmètre géographique (ou **périmètre organisationnel**) est constitué par le projet de ligne T5. Pour les constructions mutualisées (tels que le P+R) il a été retenu le principe d'une prise en compte des émissions au prorata de l'occupation réelle de la ligne T5 dans l'élément considéré.

Périmètre opérationnel : les postes d'émission. Le bilan Carbone réalisé pour le projet couvre l'ensemble des émissions pour lesquelles des données sources fiables sont accessibles. Il intègre la phase amont (construction) et la phase exploitation, ainsi que les émissions évitées par la réalisation de la ligne T5 :

PHASE CONSTRUCTION



**Chantier :
P+R,**

**bitume,
réseau,**



Transport



Fabrication valideurs, abribus,



Etudes

PHASE EXPLOITATION



**Energie des
stations**



**Consommatio
ns bus**



**Titres
transport de**



Report modal



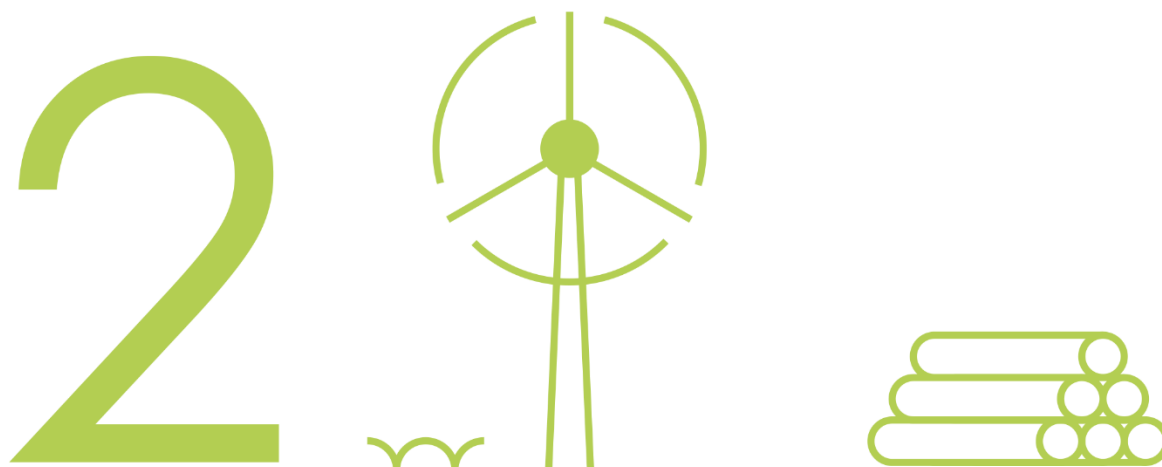
**Maintenance,
entretien**

Postes exclus :

- Énergie du chantier : pas de données disponibles
- Déplacements domicile-travail des ouvriers : pas de données disponibles à ce stade
- Déchets de chantier : pas de données à ce stade et pas de modélisation satisfaisante dans la bibliographie



Chapitre II. **Périmètre opérationnel**



Sont décrits ci-après les postes d'émissions pris en compte dans le bilan carbone du projet. Les principales sources de données de ces postes sont mentionnées ainsi que les hypothèses qui ont été posées pour l'estimation.

II.A. PHASE CONSTRUCTION

II.A.1. Études

Les études nécessaires à la réalisation de la ligne T5 sont estimées en k€ dépensés, sur la base des estimations de la ligne. Sont pris en compte :

Poste de dépense	Dépense subventionnable	Éléments MRN	Estimation en K €/HT
1 Frais de Maîtrise d'Ouvrage	Non	5 ETP pendant 6 ans + frais	2 300
2 Études	Non	Programme/Études environnementales/Communication/Enquête Publique/Géotechnique/SIEM ENS...	2 300
3 Maîtrise d'Œuvre	Non	EDEIS-INGETEC T4 1 400 K€ SCE groupement 2 300 K€	3 700

II.A.2. Travaux comptabilisés en euros

Lorsqu'une approche matériau n'est pas envisageable à ce stade de définition du projet, l'approche monétaire a été faite. Ainsi, elle concerne 3 postes :

- Déviation de réseaux : 5000 k€
- Aménagement stationnement dépôt TEOR : 1500 k€
- Aménagements connexes d'intermodalité : 1500 k€

II.A.3. La réalisation du parking P+R

Base de 300 places sur parking en silo (l'AMO du quartier Flaubert nous a indiqué que le parking devra être en structure « légère » car des réseaux passent sous son lieu d'implantation). Utilisation du facteur d'émission de la construction d'un bâtiment industriel en béton pour un parking en silo de surface. Les valeurs d'impact de la chaussée pour le parking sont négligeables au regard du facteur d'émission de la construction.

Le ratio de surface de parking/nombre de places est celui utilisé dans l'étude Carbone 4 relative au Bilan Carbone du projet d'aéroport de Notre Dame des Landes : 43,125 m² de bâtiment/place de parking projetée, soit pour le P+R Flaubert 12 937,5 m² pour les 300 places projetées.

Le P+R étant mutualisé sur 3 usages (parking pour le T5, bureau et résidentiel), nous ne retiendrons que 33% du poids carbone de sa construction comme affecté au Bilan Carbone de la ligne T5.

II.A.4. Les quais de station TCSP

- Quais de 360 m² estimé en béton avec 20 cm d'épaisseur soit 72 m³ de béton/quai. Masse volumique du béton : 2500 kg/m³

- 14 abribus dont 50% d'abris court (8m) et 50% d'abris longs (12m). Les hypothèses suivantes ont été retenues :
 - o Abribus courts : masse totale unitaire estimée à 1200 kg dont 19,4 m² de verre (20kg/m² en 8mm) soit 388 kg de verre et 812 kg d'acier.
 - o Abribus longs : masse totale unitaire estimée à 1800 kg dont 27,9 m² de verre (20kg/m² en 8mm) soit 558 kg de verre et 1242 kg d'acier.

II.A.5. Voiries

Nous pouvons considérer à ce stade des études que la ligne T5 fera environ 8 km dont, 3,5 km de voies T5 à créer (Cours Clémenceau + bd d'Orléans + quartier Flaubert), 1 km pour le pont Flaubert et ses accès (déjà existant) et 3,5 km de tronç commun avec la plateforme existante T1.

Au vu de l'état des voiries du Cours Clémenceau et du bd d'Orléans celles-ci devront être réaménagées ces prochaines années même si le projet T5 ne se fait pas. D'autre part, les voiries du quartier Flaubert sont rattachées au projet Flaubert et non pas à la ligne T5.

Il convient donc de ne retenir dans le Bilan Carbone de la ligne que les voiries de la plateforme T5 sur 3,5 km. (par 7,50 m de large en type TC 5), soit une surface de 3500 x 7,5 = 26 250 m².

II.A.6. Autres matériaux pour l'aménagement de la ligne

L'aménagement nouveau lié à la ligne T5 se fait sur 2 km, le reste étant soit du tronçon commun T1-T5, soit de l'aménagement public lié au quartier Flaubert.

- Eclairage public : estimation de 1 poteau tous les 50 mètres soit 40 poteaux. Poids unitaire estimé : 50kg d'acier et 500kg de béton pour le socle, auxquels on ajoute 35 kg CO₂e/mat pour la galvanisation et la peinture³ soit 0.7 kg CO₂e/kg ajouté.
- Signalisation verticale : estimation de 40 panneaux sur les 2 km avec un poids unitaire de 2,5kg soit 100 kg d'acier au total.
- Bordures béton : 2 km de chaque côté soit 4 km de bordures neuves. Bordure de type A2 20x15x100 de 68 kg l'une soit pour 4000 bordures 272 000 kg de béton.

II.A.7. Véhicules

Acquisition de 14 bus propres articulés de 18m. Hypothèse de 18 500 kg/unité pour l'amortissement carbone des véhicules soit un poids total de 259 000 kg.

II.A.8. Ouvrages d'art

a Pont N de St Phalle :

Selon l'étude de faisabilité « STRAINS » :

- Solution pont 19 m :
 - o Poids métal : 498.75 Tonnes
 - o 4 piles béton : hypothèse en voile unique soit approximativement $(13 \times 1,5 \times 8) \times 4 = 624$ m³
- Solution pont 13m : par extrapolation de la solution précédente
 - o Poids métal : 341.25 Tonnes
 - o 4 piles béton : hypothèse en voile unique soit approximativement $(13 \times 1,5 \times 8) \times 4 = 624$ m³

³ Source francegalva.fr

- Solution 3 : arc métallique bow-string. Cette solution ne peut être intégrée au Bilan Carbone dans la mesure où elle n'a pas été étudiée suffisamment précisément à l'heure actuelle pour bénéficier de données d'entrées fiables.

Ce pont devra être réalisé pour les accès Flaubert même si la ligne T5 ne se fait pas. Il est donc retenu, dans le cadre du bilan carbone du projet T5, de n'affecter à ce Bilan Carbone que le pourcentage d'utilisation du pont en du poids carbone du pont. La largeur de la plateforme T5 étant de 7,50 m sur cet ouvrage, cela représente 40 % de l'ouvrage s'il fait 19,00m de large et 58 % s'il fait 13 m de large.

b Accès tête nord pont Flaubert : mur de soutènement et voie sur remblai

A partir des éléments de l'étude de giration T5 sur le pont Flaubert, le remblai est estimé à 4,45m de hauteur pour une longueur de 250m et une largeur de 10m, soit un volume de 11 125 m³ pour une masse volumique de 1400 kg/m³. Pour le transport on estimera une distance de moins de 50 km, soit, avec une masse volumique de 1400 kg/m³, 778 750 tonnes.km

Le mur de soutènement n'est pas estimable à cette étape

II.A.9. Valideurs

Identifiés comme achats de machines dans le Bilan Carbone. Poids unitaire supposé : 150 kg avec 7 unités : 1050 kg

II.B. PHASE EXPLOITATION

II.B.1. Consommations énergétiques

a Consommations des stations :

La consommation électrique d'une station T4 mise en service en 2019 est de 10 000 kWh/an soit la moitié de la valeur de celles mises en service en 2000. Nous retiendrons cette valeur pour les 7 stations nouvelles de la ligne T5 soit 70 000 kWh/an.

b Consommation des véhicules :

Les 14 nouveaux bus propres (électrique ou hydrogène) ne seront pas uniquement affectés à la ligne T5. L'acquisition de ces nouveaux bus, dans le cadre de la création de la T5, viendra cependant « verdir » le parc roulant de TEOR. Aussi, nous estimons, à partir de l'ensemble du parc T1-T5 intégrant les 14 nouveaux bus, un facteur d'émission moyen d'un bus pour le réseau. Ce facteur d'émission (FE) moyen est ensuite utilisé pour la ligne T5.

- **Cars GNV** : GNV= 48,2NM³/100km (étude CATP 2016) et 2,34 kgCO₂e/m³ (base carbone).
FE= 2,34x(48,2/100) = **1,128 kg CO₂e/km**
- **Bus électrique** : consommation entre 1,3 et 1,6 kWh/km⁴ soit compte tenu du facteur d'émission du mix électrique français (0,0599 kgCo₂e/kWh) un facteur d'émission utilisation de **0,086855 kgCo₂e/km**
- **Bus hydrogène** : consommation de 10 kg H₂/100 km soit compte tenu du facteur d'émission de production de l'hydrogène station électrolyse France (3,21 kg CO₂e/kg H₂) un facteur d'émission utilisation de **0,321 kg Co₂e/km**

Kilométrages annuels 2019 moyens réalisés sur la base des bus Citelis, Néocrialis et GX 437 (soit un parc de 79 bus) : 44340,78 km/bus en moyenne. Nous retiendrons cette valeur pour les bus propres.

⁴ Référence : panorama et évolution des différentes filières d'autobus urbain – ADEME – Décembre 2018

Parc 2019 :

	Nombre	Consommation 2019 en litre	Carburant	Facteur d'émission kgCO ₂ e/l	Emissions 2019 kg CO ₂ e
Iribus Citelis Diester	26	627988,63	Diester	1,01	634268,5163
Irisbus Néocréal Diester	37	1007322,7	Diester	1,01	1017395,927
Irisbus Néocréal Hybride	1				
Heuliez GX 437 Gazole	15	422631,84	Gazole	3,16	1335516,614

Nouveaux bus :

	Nombre	Km estimé des 14 bus	Carburant	Facteur d'émission kgCO ₂ e/km	Emissions estimée des 14 bus kg CO ₂ e
Nouveaux bus option électrique	14	620770,92	Electricité	0,086855	53917,05826
Nouveau bus option hydrogène	14	620770,92	Hydrogène	0,321	199267,4653
Nouveau bus option GNV	14	620770,92	GNV	1,128	700229,5978

Estimation du facteur d'émission au km parcouru des bus du nouveau parc selon les choix de motorisation des 14 nouveaux bus :

Nouveau parc 93 bus (79+14)	Emissions estimées	Km parc estimé	FE kgCO ₂ e/km du parc
Option nouveaux bus électriques	3 041 098,12	4123692,54	0,74
Option nouveaux bus hydrogène	3 186 448,52	4123692,54	0,77
Option nouveaux bus GNV	3 687 410,66	4123692,54	0,89

Estimation des kilométrages parcourus par les bus de la T5 :

- Longueur de la ligne T5 : 8km
- Estimation des kilométrages de la ligne T5 en exploitation (source Rouen Métropole) : 350 000 km par an.

II.B.2. Report modal lié à l'utilisation de la ligne T5

Fréquentation estimée ligne T5 : 12 197 voyageurs/j soit 4 451 905 voyageurs/an.

Les bus T5 vont parcourir 350 000 km/an soit un poids carbone de :

- $350000 \times 0,74 = 259\,000$ kgCO₂e pour l'option parc complété électrique
- $350000 \times 0,77 = 269\,500$ kgCO₂e pour l'option parc complété hydrogène
- $350000 \times 0,89 = 311\,500$ kgCO₂e pour l'option parc complété GNV

Avec une distance moyenne de déplacement de 5,8 km dans la Métropole pour les déplacements en voiture et 5,7 km pour les déplacements en transports en commun (source EMD 2017), nous retenons 5,7 km/déplacement :

	Poids carbone pour 4451905 voyageurs	Poids carbone pour 1 voyageur	FE par voyageurs.km
Option parc complété électrique	259 000	0,05818	0,0102
Option parc complété hydrogène	269 500	0,06054	0,0106

Option parc complété GNV	311 500	0,06997	0,0123
--------------------------	---------	---------	--------

Pour la réalisation de la ligne T5, un report modal de 30 % sera pris en compte dans les études. On considère donc que 30% des déplacements attribués à la ligne T5 bénéficient d'un report modal de la voiture vers le transport en commun soit 1 335 572 déplacements/an. Avec une distance moyenne retenue de 5,7 km cela représente donc 7 612 760 km par an qui se feront en T5 au lieu d'être réalisés en voiture.

Avec un facteur d'émission moyen pour la voiture (Base Carbone 2018) de 0,193 kg CO₂e/km, le gain carbone par passager est de :

- **-0.1762 kgCO₂e pour l'option parc complété électrique**
- **-0.1755 kgCO₂e pour l'option parc complété hydrogène**
- **-0.1728 kgCO₂e pour l'option parc complété GNV**

II.B.3. Gestion de la ligne :

L'entretien du gros œuvre est assez minime. On retiendra une reprise de l'enrobé tous les 20 ans lorsqu'il n'y a qu'une ligne TEOR soit chaque année 1/20ième des émissions liées à la reprise de l'enrobé. Hypothèse d'un béton bitumeux mince (3cm) sur les 4,5km de ligne propre au T5 (17,5 m de large) soit 2362,5 m³ de béton bitumeux (masse volumique de 2350 kg/m³) = 5 551 875 kg. Pour l'analyse annuelle, nous prendrons 1/20ème de cette valeur.

Pas de maintenance particulière sur le mobilier ou les abris (sauf en cas de casse). L'entretien consiste en un nettoyage régulier des abris et le ramassage des poubelles dont l'approche carbone ne peut pas être modélisée.

II.B.4. Intrants :

Nous considérons ici la fabrication des titres de transports nécessaires à la ligne T5. Selon le rapport d'activité 2019 la répartition d'utilisation des titres sur le réseau est la suivante, pour 57 544 000 de voyages sur le réseau :

Type de titre	Nb 2019	Nb de titres estimés pour T5*
Titre 1 voyage	2432885	188221
Titre 10 voyages	338720	26205
Tarifs réduits	670715	51890
Abonnements 365	62925	4868
Abonnements 31	54846	4243
SMS	786945	60882

*pour 4 451 905 voyages estimés/an

Nous ne considérerons dans le Bilan Carbone que les chiffres correspondants aux titres 1 voyages, tarifs réduits et 10 voyages, les abonnements ne pouvant être spécifiquement attribués à la ligne.

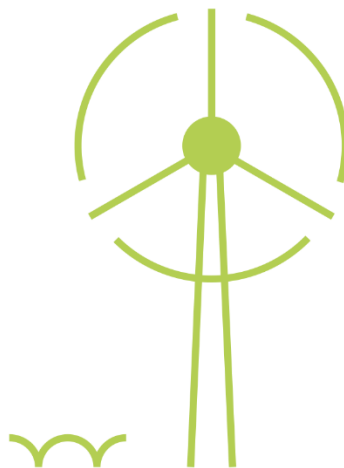
Poids unitaire : 1,15 gramme soit un poids total de 306 kg.



Chapitre III.

Les résultats du Bilan Carbone du projet

3

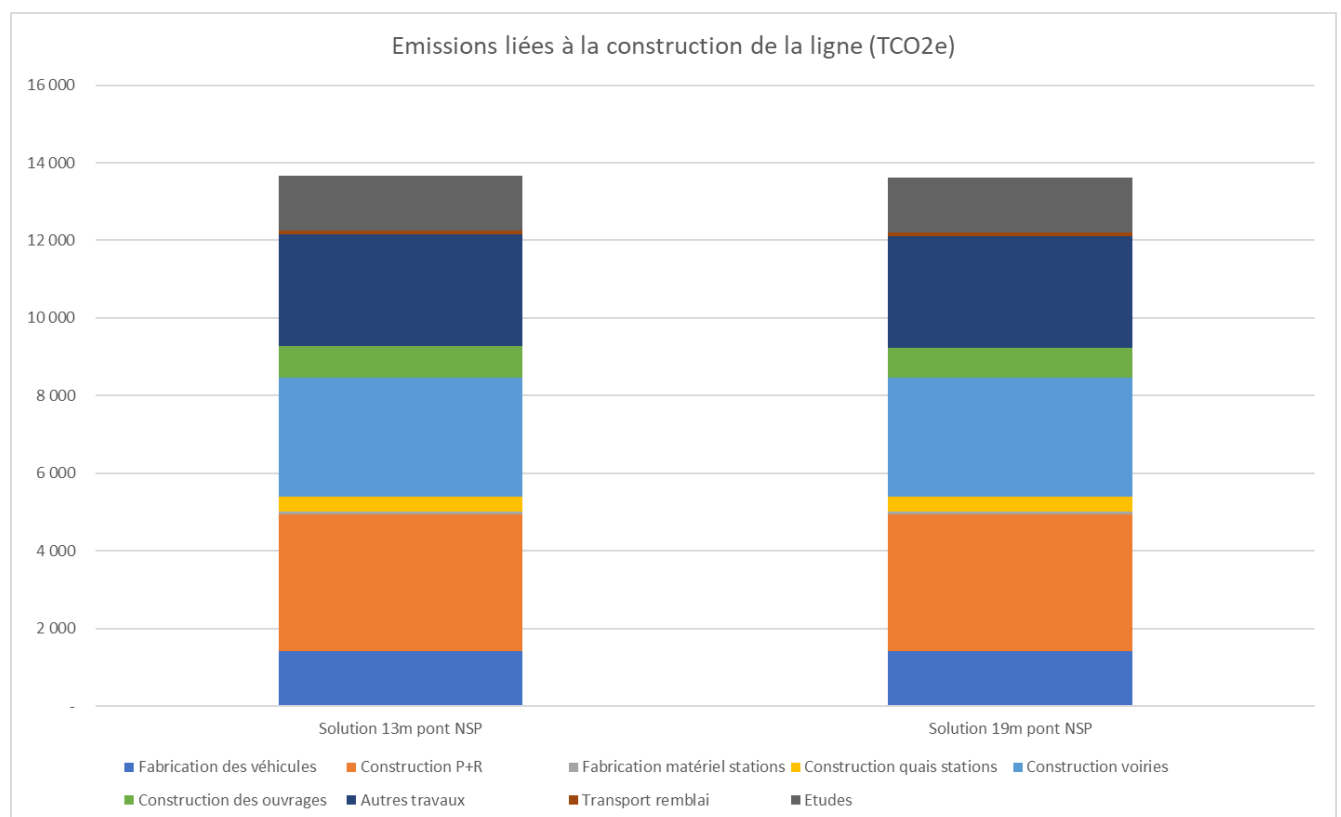


III.A. RESULTATS GLOBAUX D'EMISSION

Selon les options retenues pour l'aménagement du pont N de St Phalle (NSP) et des choix de motorisation des 14 nouveaux bus, les résultats d'émission sont les suivants :

	Option pont NSP 13 m	Option pont NSP 19m	
Construction	13 708,91 TCO2e	13 668,86 TCO2e	
	Solution achat bus électriques	Solution achat bus hydrogène	Solution achat bus GNV
Exploitation	5 559,91 TCO2e	5 769,91 TCO2e	6 609,91 TCO2e

III.B. EMISSIONS DE LA CONSTRUCTION



Les émissions liées à la construction et à l'aménagement de la ligne BHNS sont peu variables selon l'option choisie. Elles se situent autour de 13 700 TCO2e.

Les 3 postes les plus émetteur sont la construction du P+R, de la voirie et des autres aménagements connexes. Ces postes représentent près de 70% des émissions de la construction.

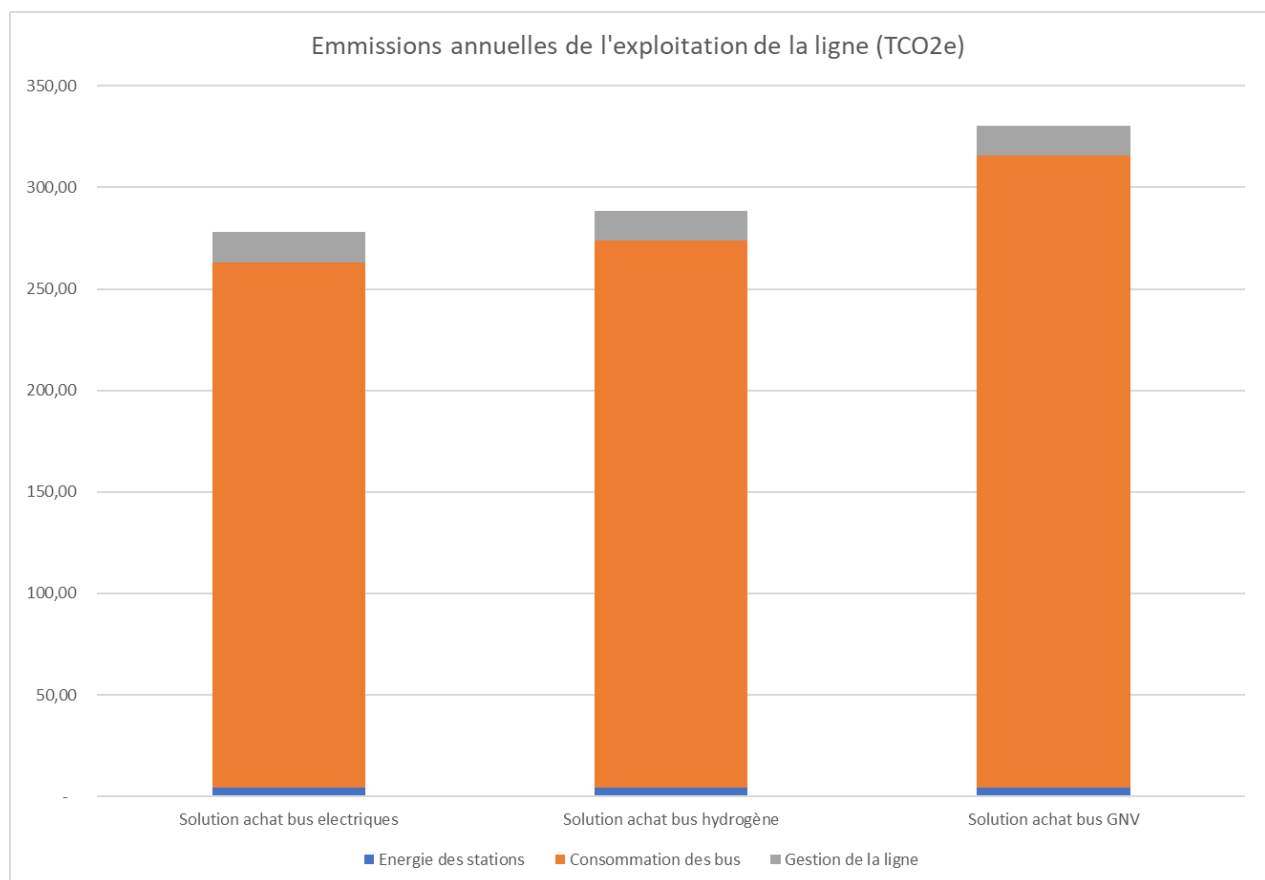
Les autres postes importants liés à la construction concernent les ouvrages d'art et l'achat des véhicules.

Phase construction (émissions à t0 non amorties)				
	<i>Solution 13m pont NSP</i>	<i>Part</i>	<i>Solution 19m pont NSP</i>	<i>Part</i>
Fabrication des véhicules	1 424,50	10%	1 424,50	10%
Construction P+R	3 522,23	26%	3 522,23	26%
Fabrication matériel stations	60,87	0%	60,87	0%
Construction quais stations	390,60	3%	390,60	3%
Construction voiries	3 071,25	22%	3 071,25	22%
Construction des ouvrages	803,69	6%	763,65	6%
Aménagement voirie	51,30	0%	51,30	0%
Autres travaux	2 880,00	21%	2 880,00	21%
Transport remblai	93,45	1%	93,45	1%
Etudes	1 411,00	10%	1 411,00	10%
Total T CO2e	13 708,91		13 668,86	

Notons que les études amont et la fabrication des 14 nouveaux bus génèrent respectivement 10% des émissions de gaz à effet de serre de la phase construction.

III.C. EMISSIONS DE L'EXPLOITATION

Les émissions de GES liées à l'exploitation de la ligne T5 sont estimées entre 5 560 et 6 610 TCO2e selon les options de motorisation choisies pour les nouveaux bus. La consommation des bus est le principal poste d'émissions, ceci explique les variations que génèrent les choix de motorisation.



Il est important de noter que **le choix de motorisations bas carbone pour les 14 nouveaux bus permet une réduction conséquente des émissions de gaz à effet de serre** : de 42 à 95 TCO2e/an évités si on

compare les options « vertes » à des bus Diester et de 795 à 847 TCO2e/an évités si on les compare aux bus diesel classiques.

Phase exploitation (pour un an)			
	<i>Solution achat bus électriques</i>	<i>Solution achat bus hydrogène</i>	<i>Solution achat bus GNV</i>
Energie des stations	4,20	4,20	4,20
Consommation des bus	259,00	269,50	311,50
Gestion de la ligne	14,80	14,80	14,80
Tickets	0,28	0,28	0,28
Total T CO2e	278,00	288,50	330,50
Total TCO2e sur 20 ans	5 559,91	5 769,91	6 609,91

On remarque que les émissions liées à l'exploitation de la ligne sont considérablement inférieures aux émissions de la construction. Les choix constructifs ont donc des impacts carbone nettement plus importants.

Concernant les motorisations, les bus électriques présentent l'impact carbone le plus faible à l'exploitation (attention, la fabrication des bus n'a pu être intégrée dans le Bilan, le poids carbone des batteries peut modifier la hiérarchisation des motorisations en empreinte carbone globale).

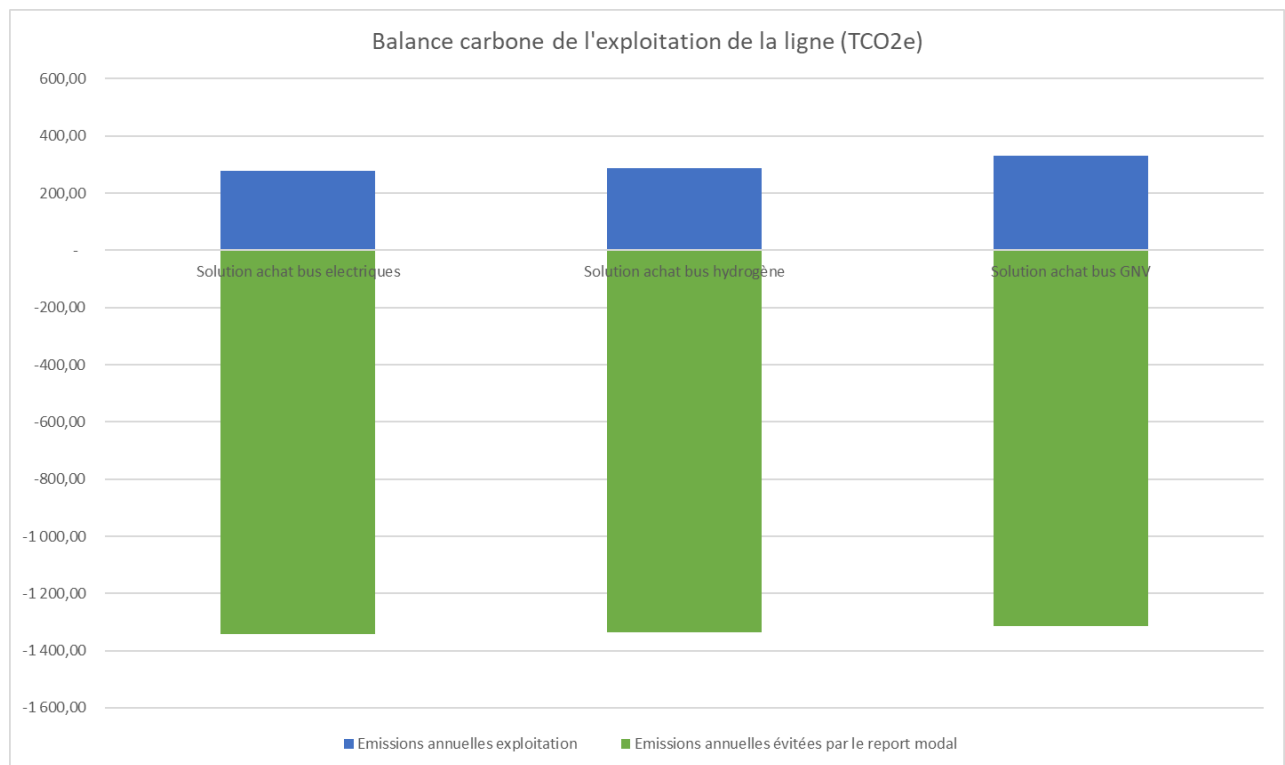
III.D. EMISSIONS EVITEES GRACE AU PROJET

S'agissant d'un projet de transport collectif, il est important d'étudier les émissions évitées par le projet. En effet, il est attendu un report modal de la voiture vers le BHNS grâce au projet. Compte tenu des facteurs d'émissions de la voiture individuelle et du BHNS, très favorables aux transports en commun, l'exploitation de la ligne va permettre d'éviter des émissions en « sortant » de la circulation un certain nombre de véhicules. L'analyse ne tient compte que de l'empreinte carbone mais il convient de rappeler que ce constat est également valable sur les polluants atmosphériques.

Selon que le futur parc de bus sera augmenté de bus électriques, hydrogènes ou GNV, l'impact positif du report modal varie légèrement. Cependant, dans tous les cas on prévoit des émissions évitées de l'ordre de 1 300 TCO2e/an.

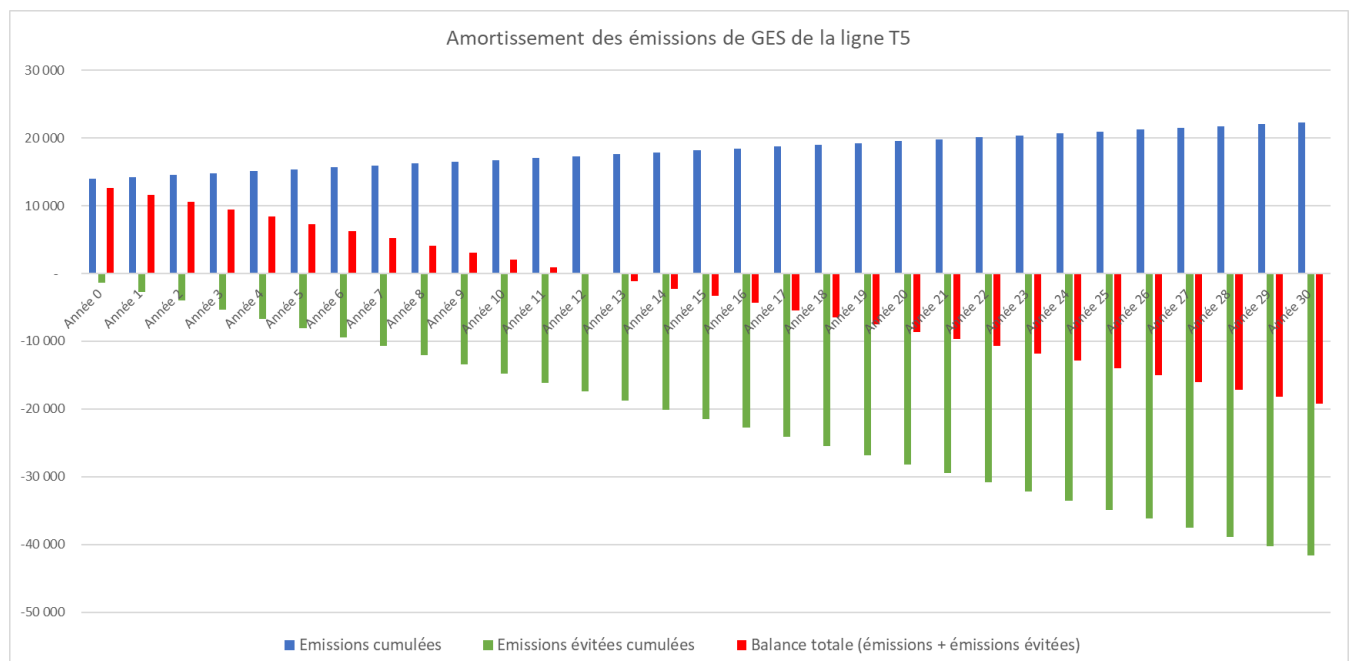
Emissions évitées report modal			
	<i>Solution achat bus électriques</i>	<i>Solution achat bus hydrogène</i>	<i>Solution achat bus GNV</i>
Emissions évitées	-1 341,37	-1 336,04	-1 315,48
Total TCO2e sur 20 ans	-26 827,37	-26 720,79	-26 309,70

Ainsi, la balance carbone annuelle de l'exploitation est largement positive avec des émissions de l'ordre de 300 TCO2e/an et des émissions évitées de l'ordre de 1 300 TCO2e/an.



III.E. AMORTISSEMENT DES EMISSIONS

L'amortissement des émissions carbone est une vision à long terme permettant de rendre compte, sur la durée de vie de la ligne, de l'amortissement des émissions liées à sa construction grâce aux émissions évitées annuellement par la ligne. Elle est l'équivalent d'un ROI (Retour sur Investissement) d'un point de vue carbone.

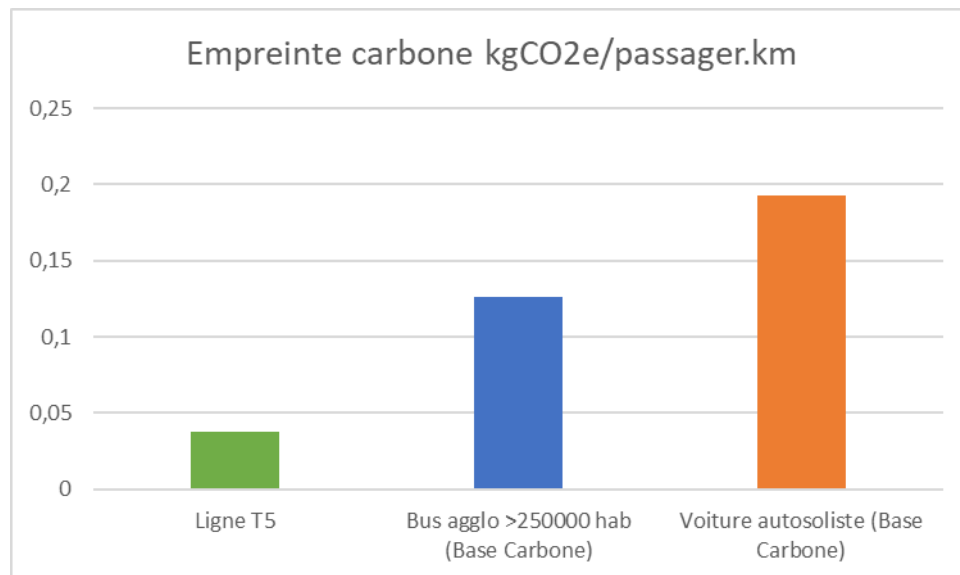


Intégrant le poids carbone de départ de la construction et les émissions annuelles de l'exploitation, les émissions cumulées suivent une croissance modeste. A contrario les émissions évitées cumulées sont plus importantes et il apparaît qu'**au bout de 12 années d'exploitation, la ligne T5 a évité plus d'émissions de GES qu'elle n'en a produite.**

III.F. QUELQUES ELEMENTS DE RATIO

Sur une base de 12 197 voyageurs par jour et 5,7 km/trajet en moyenne le ratio carbone de la ligne T5, hors émissions évitées et lissé sur 20 ans, est de **0,038 kg CO₂e/passager.km**.

Ce ratio est à mettre en regard de celui de l'automobile (**0,193 kg CO₂e/km**) et de celui de l'autobus donné par la base carbone dans une agglomération de même taille : **0,129 kgCO₂e/passager.km**



III.G. BIBLIOGRAPHIE

ADEME – Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbain – 2018

Carbone 4 – Empreinte carbone comparative entre Notre-Dame-des-Landes & Nantes Atlantique aménagé – 2017

Métropole Rouen Normandie - EGIS – INGETEC – Etudes de préfaisabilité des accès en transports collectifs et du réseau viaire – 2018

Métropole Rouen Normandie - INGETEC – Etudes de fonctionnement du T5, section pont Flaubert / pôle d'échanges Mont Riboudet - Notice – 2020

Métropole Rouen Normandie – STRAINS – AMO suivi des ouvrages d'art, pont Niki de St Phalle – OA Orléans, remarques faisabilité – 2021

SOMETRAR – TCAR – TRANSDEV Rouen – Métropole Rouen Normandie – Rapport annuel de délégation – 2019

TEST SA – CEREMA – Enquête ménages déplacements 2016-2017 de l'aire urbaine de Rouen et Communauté d'Agglomération Seine Eure - 2017