

Analyse d'impact climatique

Liaison routière Marly-Matran



Climate
services

25. MARS 2025

Climate Services SA

Écrit par : Daniel Schulz et Werner Halter



Analyse d'impact climatique de la liaison routière Marly-Matran

Tables des matières

1. Objectifs de l'étude.....	3
2. Test préliminaire sur le climat.....	4
3. Méthodologie	5
4. Quantification des émissions.....	5
5. Résultats.....	6
5.1. Fournitures.....	6
5.2. Activités de chantier	7
5.3. Logistique et transport.....	7
5.4. Végétation.....	8
5.5. Exploitation.....	9
5.6. Ouvrages.....	9
5.7. Matières premières et matériaux préfabriqués	10
6. Recommandation et mise en place de scénarios	10
7. Analyse des résultats des scénarios	11
8. Comparatif entre Prez-vers-Noréaz et Marly-Matran.....	13
9. Conclusions et prochaines étapes.....	15
10. Annexes	16
10.1. Test préliminaire sur le climat.....	16
10.2. Méthodologie.....	18
10.2.1. Source des données.....	18
10.2.2. Facteurs d'émissions	18
10.3. Hypothèses.....	20
10.3.1. Matières premières	20
10.3.2. Matières préfabriquées.....	20
10.3.3. Activités de chantier	20
10.3.4. Logistique	20
10.3.5. Végétation.....	21
10.3.6. Analyses diverses.....	21
10.4. Descriptif de l'outil Excel	22

10.5. Résultats détaillés.....	24
10.6. Screenshot des outils.....	25
10.7. Sources de Facteurs d'émissions.....	27
10.8. Sources autres.....	27

1. Objectifs de l'étude

La loi sur le climat (LClim) du canton de Fribourg prévoit que les projets soumis au Conseil d'Etat et qui sont définis dans la réglementation d'exécution font l'objet d'un test évaluant leur compatibilité avec les enjeux climatiques. Dans ce contexte, et en vue d'une mise à l'enquête complémentaire du projet, la Direction du développement territorial, des infrastructures, de la mobilité et de l'environnement (DIME) a mandaté la présente étude pour le projet de la nouvelle liaison routière Marly-Matran (Axe 1250, PCAM 10712).

Ainsi, la législation fribourgeoise prévoit qu'un test climat soit réalisé. Ce dernier se compose d'un test préliminaire, lequel est analysé par le Services de l'Environnement (SEn). La DIME se détermine ensuite sur la nécessité d'un test approfondi, objet du présent rapport.

Le projet étudié prévoit la construction d'une nouvelle route sur une longueur de 3 km et comprend différents ouvrages complexes, dont 8 ouvrages d'art. La route a pour but de délester le trafic de transit à l'ouest de l'agglomération fribourgeoise.

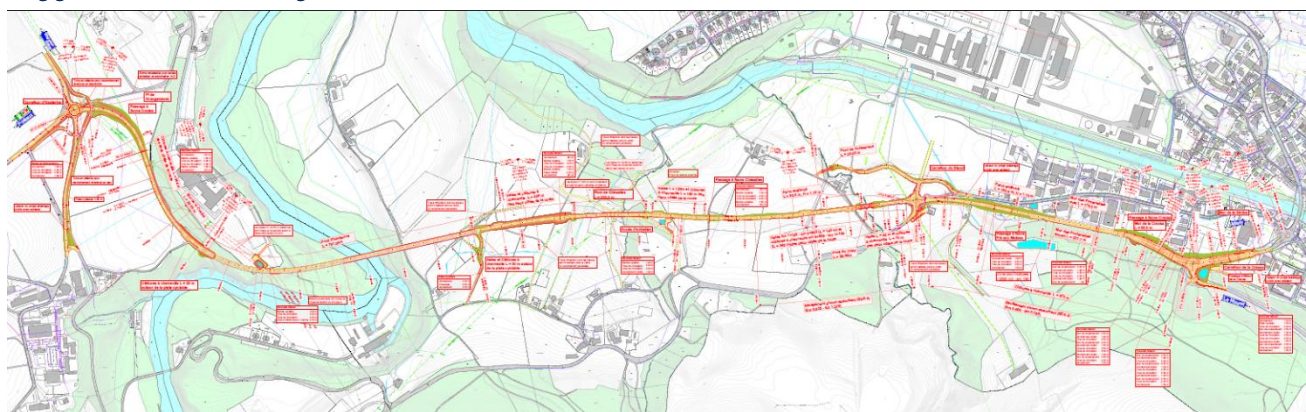


Figure 1 ; Tracé de la route de Marly-Matran

L'étude CO₂ approfondie présentée dans ce rapport concerne les points suivants :

1. Méthodologie et chiffrage CO₂ du projet de construction
2. Un outil Excel d'analyse et d'aide à la décision portant sur l'impact CO₂ d'éléments clés.
3. L'effet CO₂ des leviers à disposition pour décarboner la construction.

La partie principale de ce rapport présente le cadre de l'étude ainsi que les résultats obtenus. Les éléments détaillés relatifs à la méthodologie, à l'outil de calcul et aux résultats complets figurent en annexes.

Sur la base de l'analyse quantitative des émissions de gaz à effet de serre, une série de recommandations visant à limiter l'impact climatique a été intégrée dans des scénarios possibles d'optimisation. Ces mesures s'appuient notamment sur celles identifiées dans le cadre de l'analyse d'impact climatique de la route de contournement de Prez-vers-Noréaz, les enjeux et leviers d'action étant de nature comparable.

2. Test préliminaire sur le climat

Lors de la phase 33 du projet de la nouvelle liaison routière de Marly-Matran, le règlement de la loi sur le climat était encore en cours d'élaboration. Partant, par souci de cohérence et de coordination, le SPC a consulté le SEn pour déterminer les éléments spécifiques et nécessaires à développer dans l'étude préliminaire.

Sur requête du SEn, l'étude préliminaire identifie et qualifie les principaux impacts du projet en tenant compte des enjeux climatiques cantonaux. Afin d'avoir une méthodologie correspondant aux attentes du SEn, ce dernier a transmis un formulaire (voir annexe 10.1). Les thèmes suivants y sont traités :

- Le projet impacte la capacité d'adaptation du territoire aux changements climatiques avec estimation des impacts positifs et négatifs.
- Les effets du changement climatique impactent le projet dans sa durée de vie avec estimation des impacts positifs et négatifs.
- Le projet induit des émissions en GES (gaz à effet de serre) pendant la phase de mise en place.
- Le projet induit des émissions en GES pendant toute sa durée de vie.
- Le projet impacte la capacité de séquestration du carbone du canton avec estimations des effets positifs et négatifs.

Sur la base de ce document, la Direction du développement territorial, des infrastructures, de la Mobilité et de l'environnement (DIME) a conclu qu'une étude approfondie était nécessaire pour ce projet.

3. Méthodologie

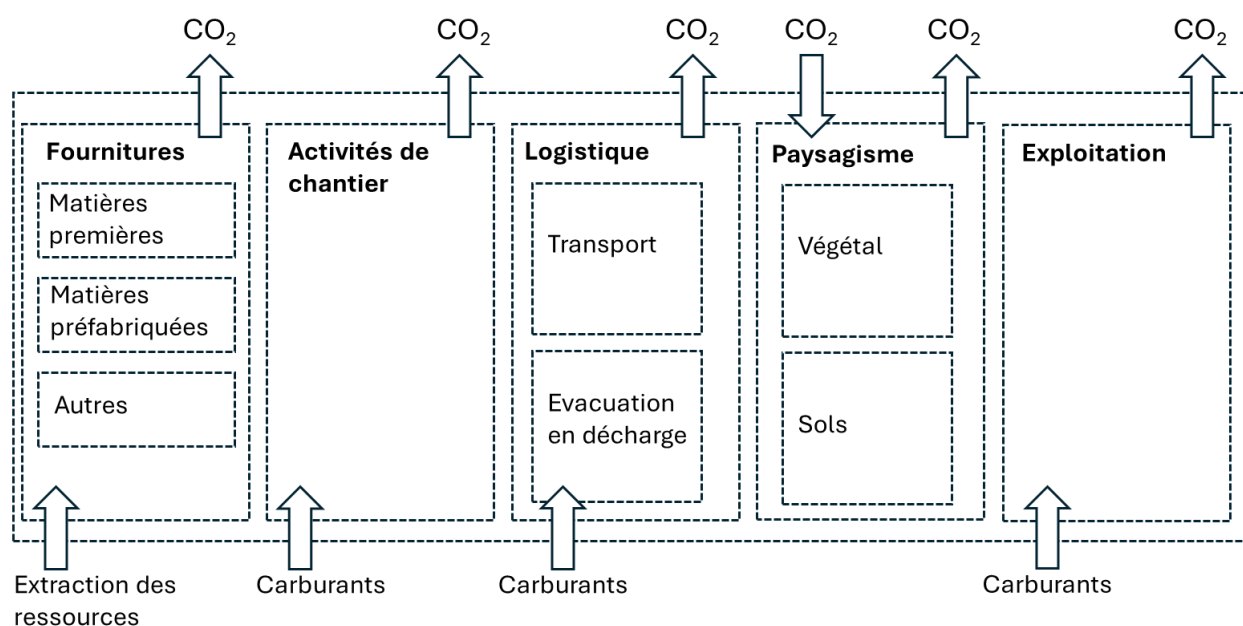


Figure 2 : Représentation schématique du périmètre de l'étude

Le schéma de la Figure 2 représente le périmètre défini pour la quantification des émissions CO₂ dans la présente étude. Il permet d'établir un cadre d'analyse CO₂ et de définir les sources et les puits d'émissions de gaz à effet de serre. Il est à noter que l'étude porte sur tous les gaz à effet de serre (GES) et que le terme « CO₂ » est une simplification « CO₂-eq » et désigne l'ensemble des émissions de GES en équivalent CO₂.

Sur la base de cette méthodologie, la quantification des émissions se fait en chiffrant les flux de matières entrant ou sortant de ce périmètre et en appliquant à chaque valeur quantitative physique un facteur de conversion, appelé « facteur d'émission », qui permet de convertir les flux en équivalent CO₂. La manière de quantifier les flux, les sources des facteurs d'émission ainsi que les hypothèses nécessaires à la quantification sont décrites dans les annexes.

4. Quantification des émissions

La quantification de l'ensemble des émissions de CO₂, a été réalisée en utilisant un outil de calcul développé dans le cadre de l'analyse de Prez-vers-Noréaz. La méthodologie est essentiellement la même, identifiant les positions d'émissions à partir du devis. Les détails de l'outil sont présentés dans l'annexe. En résumé, il comporte les éléments suivants :

- Les catégories utilisées pour regrouper les sources d'émissions ;
- Une analyse des descriptifs de travaux et des données brutes utilisées dans l'étude ;
- Des outils de quantification pour l'impact climatique du béton, activité de chantier et transports de matériaux ;
- Des outils pour des analyses diverses à impact temporel ;
- Des outils pour la quantification de l'impact de la végétation et des sols
- L'impact de l'exploitation de la liaison Marly-Matran
- Les résultats ponctuel et temporel de la quantification ;

- Une analyse de quatre scénarios différents ;
- Les éléments exclus de cette étude.

Le tableau de calcul fait partie intégrante du résultat de cette étude. Il montre les résultats basés sur les hypothèses et les informations actuelles. Il est probable que certaines données sur les facteurs d'émission, comme la consommation moyenne des camions ou l'impact de la production des matières premières évoluent jusqu'à la réalisation du projet. En principe, les facteurs d'émission de l'outil devraient être adaptés au cours du temps.

L'outil de calcul sert également à l'évaluation de l'impact de certaines propositions de réduction des émissions formulée ci-dessous. La composition des matériaux complexes, tels que les enrobés bitumineux ou les bétons peuvent être modifiée dans l'outil pour tester des variantes et leur impact sur les émissions globales du chantier.

5. Résultats

Le Tableau 1 présente les résultats de la quantification des émissions CO₂ pour les catégories d'émission ayant un impact ponctuel dans le temps. Les catégories paysagisme et exploitation ont un d'impact cumulatif dans le temps, et sont présentées dans les chapitres 4.4. et 4.5.

Tableau 1 : Résultats de la quantification des émissions de CO₂ pour les catégories avec un impact ponctuel

Résultats Compacts		
Catégorie	tCO ₂	C %
C1 - Fournitures	12746	81%
C2 - Activité de chantier	897	6%
C3 - Logistique	2092	13%
Total	15735	

Ces résultats montrent que sur un total de 15'735 tCO₂, les fournitures représentent environ 81% des émissions de la catégorie, suivies par les activités de chantier 6% et la logistique 13%.

Les résultats indiquent que les émissions les plus élevées proviennent des matières premières suggérant que les stratégies de réduction devraient se concentrer principalement sur les fournitures. Les optimisations possibles seront discutées de manière plus approfondie dans le chapitre 6.

Le détail de l'impact de chaque catégorie est présenté ci-dessous :

5.1. Fournitures

Tableau 2 : Résumé de l'impact carbone de la production des fournitures

Catégorie	Sous-catégorie	Total tCO ₂	Total tCO ₂	Cat. %	Sous-cat. %
C1 - Fournitures	Matières premières	8015	12746	81%	51%
	Matériaux préfabriqués	4717			30%
	Fournitures Divers	14			0%

Cette catégorie est la plus émettrice de CO₂, totalisant 12'746 tCO₂, principalement dues aux matières premières (8'015 tCO₂), soit 51% du bilan total, et aux matériaux préfabriqués (4'717 tCO₂). La sous-catégorie

« Fournitures Divers » contribue faiblement (14 tCO₂). L'envergure de l'impact des matières premières est principalement due à l'usage de béton coulé pour les ouvrages d'art.

5.2. Activités de chantier

Tableau 3 : Impact carbone des activités de chantier

Catégorie	Sous-catégorie	Total tCO2	Total tCO2	Cat. %	Sous-cat. %
C2 - Activités chantier	Machine de surface(m2)	25	897	6%	0%
	Machine de volume(m3)	872			6%
	Machine de distance (m)	0			0%

Avec un total de 897 tCO₂, cette catégorie englobe les émissions des machines de chantier lors de leur usage, essentiellement par la combustion de carburant. Cette catégorie représente une faible partie du bilan en partie car le descriptif des travaux utilisé pour le chiffrage ne détaillait pas toutes les activités de chantier. Les « Machines de volume » (872 tCO₂) sont les principales sources d'émission de cette catégorie.

5.3. Logistique et transport

Tableau 4 : Impact carbone de la logistique

Catégorie	Sous-catégorie	Total tCO2	Total tCO2	Cat. %	Sous-cat. %
C3 - Logistique	Évacuation décharge	199	2092	13%	1%
	Transport Intermédiaire	17			0%
	Transport Matériaux	977			6%
	Transport Fournitures	899			6%

La logistique représente une contribution significative avec 2092 tCO₂, constituée principalement par les transports de matériaux terreux et granuleux, mais aussi toutes les fournitures nécessaires au chantier.

5.4. Végétation

Tableau 5 Impact carbone des végétaux

Bilan des arbres plantés / abattus			
variable de densité (plants / m2) =	0.34		
arbres prévus =	5229		
arbre en plus =			

Arbres	pc	ha
Abbatage	-5040	-1.4824
Plantation	5229	1.5379

Résultats Paysagisme de Végétaux			
Année	Potentiel d'absorption tCO ₂ perdu cumulé (émissions CO ₂)	Potentiel d'absorption tCO ₂ gagné cumulé (stockage CO ₂)	Delta d'absorption tCO ₂ perdu ou gagné cumulé
3	360	-23	336
20	2397	-1087	1646
40	4794	-3591	2849

Le Tableau 5 présente l'évolution du potentiel d'absorption de CO₂ sur 3, 20 et 40 ans. Le potentiel d'absorption CO₂ perdu cumulé reflète la perte due à l'abattage des arbres et surfaces végétales, qui ne capturent plus de CO₂ dès l'abattage des arbres. Cette diminution d'absorption CO₂ s'élève à 4794 tCO₂ après 40 ans. Cela est dû principalement à l'abattage de 5040 arbres âgés.

En parallèle, le potentiel d'absorption CO₂ perdu ou gagné cumulé, représente la capacité d'absorption des nouveaux arbres et végétaux plantés, atteignant 2849 tCO₂ après 40 ans. C'est-à-dire que les 5229 jeunes plants n'auront pas absorbé autant de CO₂ que les arbres matures après 40 ans. Il faudrait planter plus d'arbres pour atteindre un delta d'absorption négatif. Les jeunes arbres ayant une capacité de captation moindre, il faudra du temps pour que leur impact compense les pertes.

Par exemple, il faudrait planter 4000 arbres de plus pour arriver à un delta négatif après 40 ans de -154 tCO₂. Soit planter une surface d'environ 2.7 hectares.

Les chiffres présentés dans cette analyse sont hypothétiques dans l'optique de donner une grandeur d'idée et d'aide à la décision. Il n'existe aujourd'hui pas de méthodologie concrète et précise pour évaluer exactement la captation CO₂ à grande échelle.

5.5. Exploitation

Tableau 6 : Etude d'impact de l'évolution du trafic et les hypothèses de fluidification

	Sans MM	avec MM 2027	avec MM 2030	avec MM 2040	unit
Facteur d'émissions véhicule moyen	177	177	171	127	gCO ₂ /km
km parcourus par tous les véhicules par jour	639,943	657,021	671,187	677,783	km
Emissions de tous les véhicules par jour	113	116	115	86	tCO ₂ /j
Emissions de tous les véhicules par année	41264	42366	41904	31406	tCO ₂ /a
Reduction de 10% d'émissions dû a la fluidification		-4237	-4190	-3141	tCO ₂ /a
Emissions avec MM		38,129	37,714	38,124	tCO ₂ /a
Delta des émissions +/- grâce a la route		-3135	-3551	-3141	tCO ₂ /a

Le tableau compare un scénario sans la jonction Marly-Matran (MM) à des scénarios avec MM (2027/2030/2040). On voit d'abord que la mise en service de la route augmente légèrement les kilomètres parcourus par jour (p. ex. 640'000 km/j sans MM contre 657'000 à 678'000 km/j avec MM), ce qui tend à hausser les émissions "brutes" (41'264 tCO₂/an sans MM vs 41'904 à 42'366 tCO₂/an en 2027 - 2030).

En revanche, en appliquant une hypothèse de fluidification (réduction de 10% des émissions sur l'ensemble des tronçons), le tableau affiche des émissions évitées de l'ordre de 3'100 à 3'550 tCO₂/an (delta négatif). Malgré davantage de km parcourus, l'amélioration supposée de la circulation permet un bilan net favorable. Cela dit, la réduction de 10% est purement hypothétique : un projet routier est très complexe (comportements de conduite, reports d'itinéraires, conditions de trafic, composition du parc, effets d'induction, etc.), et le gain réel en fluidité du trafic n'est pas connu.

5.6. Ouvrages

Tableau 7 : Répartition des émissions de CO₂ liées aux ouvrages d'art du projet

Chiffrage ouvrages d'art		
Matière primaire	tCO ₂	% du bilan total
Pont du Copy 27m	222	1%
PI Grangeneuve	219	1%
Fontanettes aval	718	5%
Fontanettes amont	566	4%
PI Crausa	2891	18%
Mur Biolley	19	0%
Pont d'Hauterive	4934	31%
Pont de Chésalles	1242	8%
Total	10811	tCO ₂
Proportion	69%	

Nous pouvons observer que les ouvrages d'art les plus importants dans le bilan sont le pont d'Hauterive, le Passage Inférieur Crausa ainsi que le pont de Chésalles. À eux trois, ils génèrent une part majeure des émissions liées aux ouvrages d'art.

Ensemble, les huit ouvrages d'art représentent près de 70 % des émissions du bilan total. Cette forte contribution s'explique principalement par les volumes importants de béton et d'acier nécessaires à leur construction. Cela montre que les optimisations ciblant la conception structurelle, le choix des matériaux ou

les quantités mises en œuvre peuvent avoir un effet significatif sur la réduction globale des émissions du projet.

5.7. Matières premières et matériaux préfabriqués

Tableau 8 : Répartition des émissions de CO₂ par type de matériaux

Matières premières prépondérante		
Matière primaire	tCO ₂	% du bilan total
Béton Coulé	8015	51%
Enrobés	1258	8%
Grave recyclée	302	2%
Total	9575	61%

Matériaux préfabriqués prépondérant		
Matériaux préfabriqués	tCO ₂	% du bilan total
Acier d'armature	2994	19%
Paroi berlinoise	391	2%
Palpanche	464	3%
Total	3848	24%

Le béton coulé apparaît comme la matière première la plus prépondérante, représentant à lui seul plus de 50 % du bilan total. Les enrobés et la grave recyclée contribuent dans une moindre mesure, mais l'ensemble des matières premières atteint 61 % des émissions totales, ce qui souligne le poids déterminant des volumes mis en œuvre.

Du côté des matériaux préfabriqués, l'acier d'armature constitue la principale source d'émissions, avec près de 20 % du bilan total. Les parois berlinoises et les palplanches ont un impact plus limité. Ces résultats montrent que les leviers de réduction se situent prioritairement dans l'optimisation du béton et de l'acier, tant en quantité qu'en choix de solutions constructives.

6. Recommandation et mise en place de scénarios

Tableau 9 Tableau des mesures à prendre selon les scénarios

Scénarios d'implémentation de mesures				
Mesures	(0) Aucune	(1) Prévue	(2) Possibles	(3) Maximales
Béton coulé	x	Pieux	Semelles, pieux et bordures béton bas-carbone	Tous les bétons coulé sont bas-carbone
Enrobés	x	ACB = 20% RC, ACF = 60% RC, ACT = 50% RC, Autres = 0%	ACB = 20% RC, ACF = 60% RC, ACT = 50% RC, Autres = 30%	Tous à RC 80%
Acier	x	x	Acier recyclé à issu de production suisse, produit 100% hydraulique	Acier recyclé à issu de production suisse, produit 100% hydraulique
Activités de Chantier	x	x	-20% consommation carburant flotte optimisée	Flotte électrique
Logistique	x	x	-20% consommation carburant flotte optimisée	Flotte électrique

Pour évaluer le potentiel de réduction des émissions CO₂, plusieurs scénarios ont été considéré (voir Tableau 9). Le scénario (1) montre les mesures déjà prévues, le scénario (2) celles possibles avec les contraintes actuelles et le scénario (3) les réductions maximales qui pour certaines ne sont pas encore applicables. Les détails ci-dessous donne une explication des mesures considérées.

Béton coulé

Le béton coulé constitue le poste le plus prépondérant du bilan. Actuellement, seuls les pieux sont prévus en béton bas carbone, conformément aux prescriptions et pratiques admises.

Une optimisation pourrait consister à élargir, lorsque les normes le permettent, l'usage de bétons à plus faible impact carbone, au-delà des seuls pieux. Dans les mesures possibles, nous avons intégrés les semelles et bordures béton en plus pour augmenter le volume de béton coulé avec un impact réduit. Dans les mesures maximales, nous avons considéré que tous les bétons utilisés dans le projet sont bas-carbone, afin d'illustrer la réduction maximale possible, même si elle reste hypothétique.

Enrobés

Les enrobés ont été calculés sur la base des normes actuellement en vigueur. Les hypothèses retenues correspondent aux formulations standards prévues dans le cadre du projet pour les mesures envisagées.

Une piste d'amélioration dans les mesures possibles consiste à augmenter la proportion d'agréats recyclés dans les couches bitumineuses. Pour les mesures possibles, en plus des béton ACB, ACF et ACT, nous avons augmenté par 30% la teneur en agrégats recyclés.

Acier d'armature

L'acier d'armature constitue le principal poste parmi les matériaux préfabriqués. Aucune mention du type d'acier a été faite dans la description du projet. Il est cependant possible de s'approvisionner en acier d'armature fait avec le mix énergétique suisse réduisant l'empreinte de celui-ci.

Activités de chantier et logistique

Pour les activités de chantier et logistique, nous avons estimé une optimisation des carburants de 20% dans les mesures possibles. Il s'agit d'une réduction hypothétique mais atteignable au travers de l'utilisation de carburants alternatifs ainsi qu'une optimisation de la flotte et des trajets. Les mesures maximales de basent sur l'hypothèse d'une flotte entièrement électrifiée.

7. Analyse des résultats des scénarios

Tableau 10 : Résultats en tCO₂ des différents scénarios

Résultats des Scénarios Ponctuels				
Catégorie	tCO ₂ (0) Projet sans mesures	tCO ₂ (1) Mesures prévues	tCO ₂ (2) Mesures envisageables	tCO ₂ (3) Mesures maximales
Fournitures	13384	12746	11349	10620
Activité de Chantier	897	897	770	261
Logistique	2092	2092	1674	1007
Total	16374	15735	13793	11889
Réduction	-	-4%	-16%	-27%

Les mesures de réduction proposées ont été converties en émission CO₂, permettant une quantification de l'impact carbone de chacun des scénarios.

Dans le scénario (1) « Mesures prévues », le total des émissions passe de 16'374 tCO₂ à 15'735 tCO₂, soit une réduction de 4 % par rapport au projet sans mesures. Cette diminution provient principalement des adaptations liées aux fournitures, qui passent de 13'384 tCO₂ à 12'746 tCO₂. Les postes « Activité de chantier » et « Logistique » restent quant à eux inchangés à ce stade.

Dans le scénario (2) « Mesures envisageables », l'optimisation des fournitures (enrobés, acier et béton coulé) permet de réduire ce poste à 11'349 tCO₂. Des diminutions apparaissent également pour l'activité de chantier (770 tCO₂) et la logistique (1'674 tCO₂). Le total atteint alors 13'793 tCO₂, ce qui correspond à une réduction globale de 16 % par rapport au scénario de référence.

Enfin, dans le scénario (3) « Mesures maximales », l'ensemble des postes est optimisé de manière plus ambitieuse : les fournitures descendent à 10'620 tCO₂, l'activité de chantier à 261 tCO₂ et la logistique à 1'007 tCO₂. Le total s'établit à 11'889 tCO₂, soit une réduction de 27 % par rapport au projet initial.

Ces résultats démontrent que le principal levier de réduction réside dans l'optimisation des fournitures, tout en soulignant que des mesures complémentaires sur le chantier et la logistique permettent d'atteindre des réductions significatives supplémentaires. Ces résultats sont aussi illustrés dans la Figure 3.

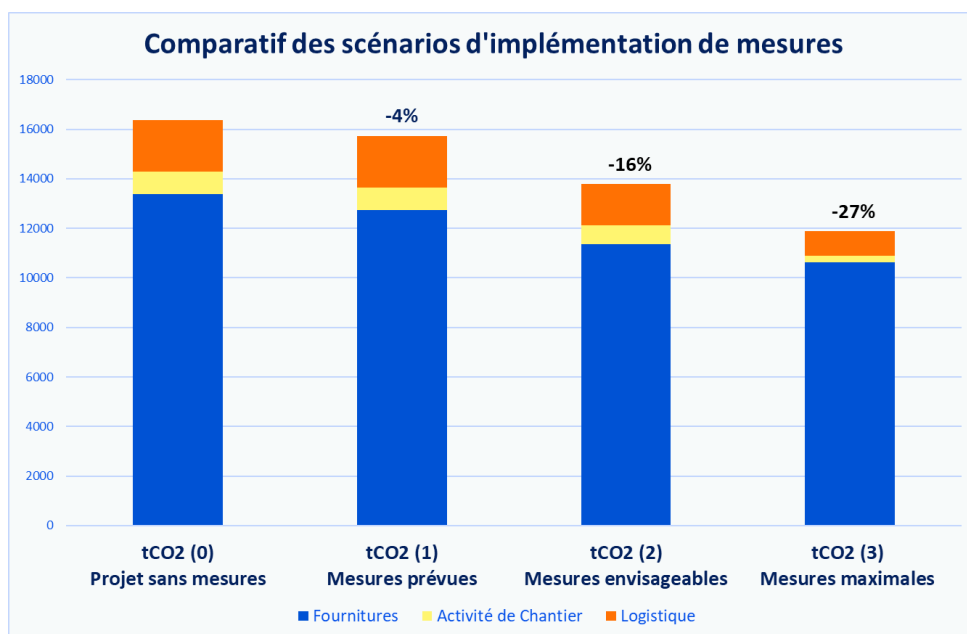


Figure 3 Comparatif des scénarios d'implémentation de mesures

8. Comparatif entre Prez-vers-Noréaz et Marly-Matran

Tableau 11 Comparaison des projets avec mesures sur les matériaux clés

Projet	Scénario	Béton			Enrobés			Acier			Matériaux clé tCO2e	Fournitures tCO2e	% Fournitures	Gain vs S0 tCO2e	Gain vs S0 %
		FE	tCO2e	%	FE	tCO2e	%	FE	tCO2e	%					
Préz-vers-Noréaz	S0 – aucune mesure	0.221	993	39%	0.044	1147	45%	0.773	411	16%	2551	4203	61%	0	
	S2 – possible	0.195	875	42%	0.037	955	46%	0.4492	239	12%	2069	3767	55%	482	-19%
Marly Matran	S0 – aucune mesure	0.221	5928	57%	0.068	1533	15%	0.773	2994	28%	10455	16374	64%	0	
	S2 – possible	0.194	5545	66%	0.052	1098	13%	0.470	1820	21%	8464	13793	61%	1991	-19%

Nous avons compilé dans le Tableau 11 les deux projets d'infrastructure, de la route de contournement Prez-vers-Noréaz et de la liaison Marly-Matran, en sélectionnant le scénario S0 « aucune mesure » et le scénario S2 « mesures envisageables ». L'analyse se concentre volontairement sur les matériaux constituant les principaux leviers d'action, à savoir le béton, les enrobés et l'acier.

La colonne des facteurs d'émission (FE) indique le facteur moyen utilisé dans l'analyse. Il s'agit d'une valeur moyenne, plusieurs types de béton et d'enrobés ayant été considérés. Cette information permet de vérifier la cohérence méthodologique entre les deux projets. On constate que les facteurs sont très proches ; les variations observées restent non significatives et n'influencent pas l'interprétation comparative.

Dans les deux projets, le béton, les enrobés et l'acier représentent entre 60 et 70 % de la catégorie « fournitures », avec une part plus élevée pour Marly-Matran. Ces matériaux constituent donc les principaux postes d'optimisation.

Dans les deux cas, le scénario S2 repose sur des hypothèses similaires : utilisation de bétons à plus faible impact lorsque cela est techniquement et normativement possible, incorporation d'agréats recyclés dans les enrobés conformément aux normes en vigueur, et approvisionnement en acier auprès d'un producteur tel que Stahl Gerlafingen, permettant un facteur d'émission plus favorable.

En résumé, comme illustré dans la Figure 4 les deux projets présentent un potentiel de réduction d'environ 19% du bilan carbone en appliquant des mesures aujourd'hui envisageables et conformes aux normes en

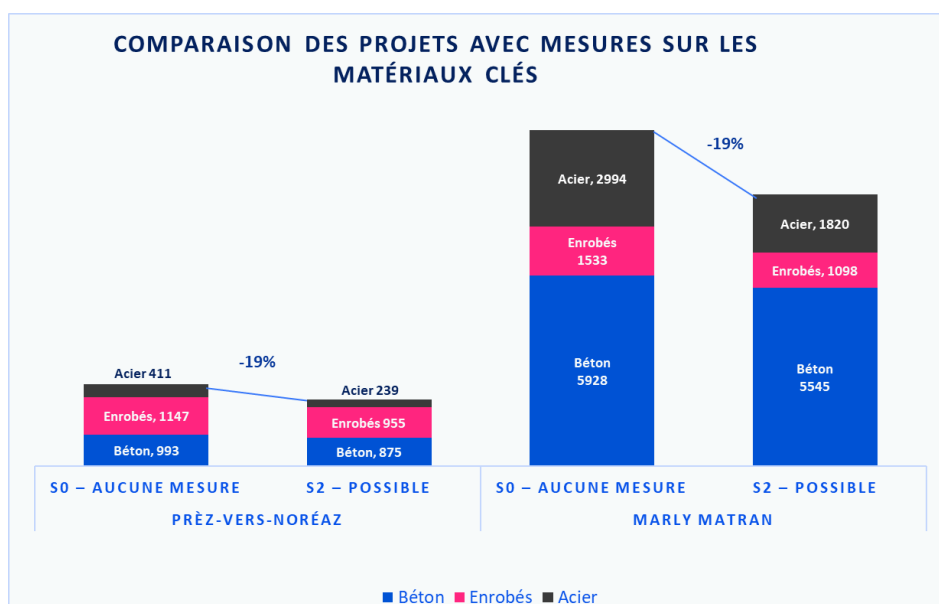


Figure 4 Comparaison des projets avec mesures sur les matériaux clés

vigueur. Cela met en évidence que des leviers d'action significatifs existent déjà dans le cadre réglementaire actuel du canton de Fribourg.

La Figure 5 montre les deux projets en valeurs absolue par tCO₂ ainsi que l'effet entier de l'ensemble des mesures envisageable.

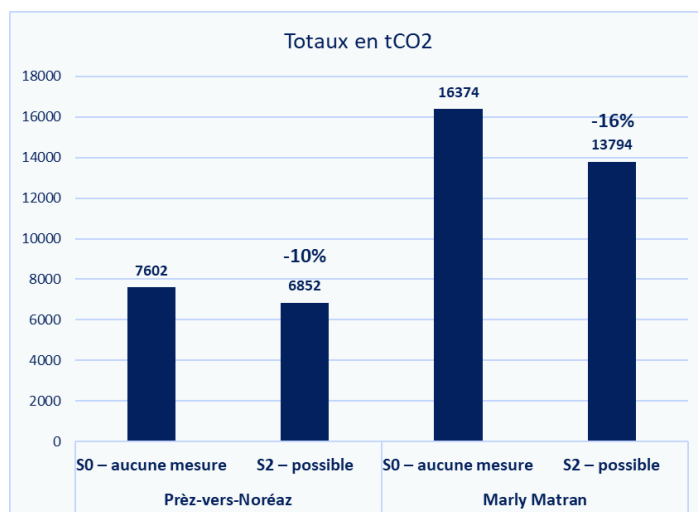


Figure 5 Comparaison entre les projets en valeur absolu

9. Conclusions et prochaines étapes

Le présent rapport présente l'évaluation de l'empreinte carbone liée à la construction de la route de liaison Marly-Matran, en s'appuyant sur les enseignements et l'outil développés dans le cadre de l'analyse de la route de contournement de Prez-vers-Noréaz. La méthode de quantification a évolué et gagné en précision, mais le message principal demeure cohérent : des marges de réduction significatives existent, en particulier sur les matériaux clés.

Sur un total de 15'735 tCO₂ pour le scénario avec mesures prévues, une réduction supplémentaire d'au moins 15 % reste techniquement envisageable. La réalisation de cette réduction nécessite la mise en œuvre de directives permettant d'orienter les appels d'offres. Les leviers identifiés concernent principalement le béton coulé, les enrobés et l'acier, qui constituent la source la plus importante d'émissions dans le projet.

Les résultats présentés doivent être considérés comme un outil d'aide à la décision. Ils fournissent une base structurée et objectivée pour orienter les discussions avec les parties prenantes, structurer les appels d'offres et intégrer progressivement des critères climatiques dans les décisions d'investissement. L'intégration des recommandations relatives aux matériaux clés implique la mobilisation de différents acteurs, ingénieurs, acheteurs, juristes et responsables de projets, afin d'assurer leur traduction concrète dans les cahiers des charges et les procédures d'adjudication.

Le canton de Fribourg est actuellement le seul canton à exiger une analyse CO₂ pour les grands projets d'infrastructure. Au-delà du respect de cette exigence légale, il existe une opportunité stratégique d'utiliser ces analyses comme levier d'amélioration continue et de positionner le canton comme référence nationale en matière de gestion carbone des infrastructures publiques.

Comme de nombreuses options sont encore à valider, il est recommandé que, lors de la mise en œuvre du projet, le maître d'ouvrage assure les compétences nécessaires à l'intégration des quantifications carbone dans l'élaboration d'une feuille de route opérationnelle et l'animation d'ateliers de formation et de sensibilisation. L'objectif est de passer d'une logique de quantification à une logique d'intégration systématique des leviers identifiés, de manière structurée, mesurable et alignée avec les cadres normatifs en vigueur.

Fribourg, Février 2026

Rédaction :

Climate Services SA

Passage du Cardinal 11

1700 Fribourg

10. Annexes

10.1. Test préliminaire sur le climat

Information	Description
Date	L'examen préliminaire a eu lieu en septembre 2019 (route) et en mai 2020 (ponts) La mise à l'enquête a eu lieu en décembre 2020
Nom du projet	Nouvelle liaison routière Marly-Matran
Responsable du projet	Mary-Florence Javet (SPC)
Entité responsable (section, service)	DIME (direction du développement territorial, des infrastructures, de la mobilité et de l'environnement) SPC (Service des ponts et chaussées) PRo (projets routiers cantonaux)
Partenaires impliqués	Emma+ (Emch+Berger SA, Mauler SA) - génie-civil GMO (GVH SA, Masotti&Associati SA, Orsi e Associati) - Pont d'Hauterive TEAM CONSTANCE (DSP Ingenieure+Planer AG, Ingegneri SPP SA) - Pont de Chésalles RGR - trafic WSP - éclairage / pollution lumineuse Geotest - géologue/géotechnicien Triform et Prona - environnement Baraki - architecte urbaniste/paysagiste Géomètre Pascal Bongard SA - remaniement parcellaire SPC - SNBS L
Description du projet	Nouvelle liaison routière Marly-Matran Le présent projet consiste à créer une nouvelle route d'une longueur de 3.5 km qui relie la route cantonale prioritaire Axe 1200 (Fribourg – Broc) à la route cantonale secondaire Axe 1300 (Fribourg – Bulle). La route traverse principalement des terrains agricoles et franchit plusieurs cours d'eau : > Le ruisseau du Copy est enjambé par un ouvrage de 29.00 m de mètre de long ; > Le ruisseau de Chésalles est franchi par un pont du même nom dont la longueur est de 203 m ; > La Sarine est franchie par le pont d'Hauterive sur une longueur de 797 m.
Etat d'avancement du projet	Préparation de la mise à l'enquête complémentaire fin 2025 - début 2026
Cadre temporel	Traitement des oppositions 2026-2027 Appel d'offre entreprise 2028 Décision Grand Conseil, respectivement du peuple 2029 Travaux 2030-2034
Scénario de référence retenu	L'état de référence est l'état actuel (sans projet) comparé à l'état futur avec le projet et les mesures environnementales intégrées au projet.

Adaptation et capacité de séquestration		Estimation des impacts	Description des impacts, justification de la note
		Voir le guide Marche à suivre	
Impact du projet sur la capacité d'adaptation et de séquestration du territoire aux changements climatiques	Estimation des impacts négatifs	<i>Nature et paysage, impact moyen</i> <i>Forêts, impact fort</i> <i>Eaux, impact faible</i> <i>OPAM, impact faible</i> <i>Sites pollués, impact moyen</i> <i>Sol et SDA, impact moyen</i>	Sur la base du rapport d'impact environnemental: Nature et paysage; impact moyen sur les BHF et les haies, sur les habitats, sur les couloirs de vol et de déplacement, sur la mortalité Forêt; impact fort dû aux défrichements Eaux et OPAM; impact faible Sites pollués; impact moyen avec piles de pont dans le site de la Pila Sols; impact moyen consommation de SDA et pertes de sols cultivables
	Estimations des impacts positifs	<i>Nature et paysage</i> <i>Forêt</i> <i>Bruit</i> <i>Air</i> <i>Eaux</i> <i>Sols</i>	Nature et paysage; plantation de haies et de BHF (environ 4x plus), mise en place de clôtures et calström pour éviter la mortalité, création de nouveaux couloirs, passages à faune ajoutés (3pc), création de nouveaux habitats Forêt; reboisement surface équivalente dans le secteur du projet Bruit et Air; diminution du bruit de la pollution dans les zones habitées dans la partie Ouest de la route de Chésalles (deux tiers de trafic en moins), la traversée de Marly et le boulevard de Pérolles (zone densément peuplée) Eaux; infiltration des eaux à travers le terrain ou via des bassins d'infiltration ou via un SETEC Sols; revitalisation de deux parcelles agricoles
Impact des effets du changement climatique sur le projet dans sa durée de vie	Estimation des risques pour le projet	<i>Nature et paysage</i> <i>Forêt</i> <i>Eaux</i> <i>Sites pollués</i> <i>Dangers naturels</i>	Nature et paysage; impact moyen sur les BHF et les haies, sur les habitats, sur les couloirs de vol et de déplacement, sur la mortalité Forêt; impact fort dû aux défrichements Eaux et OPAM; impact faible Sites pollués; impact faible avec piles de pont dans le site de la Pila Dangers naturels: suppression du bassin de la Crausa
	Estimation des opportunités pour le projet	<i>Nature et paysage</i> <i>Forêt</i> <i>Air</i> <i>Bruit</i> <i>Eaux</i> <i>Dangers naturels</i>	Nature et paysage; plantation de haies et de BHF (environ 4x plus), création de nouveaux habitats Forêt; reboisement surface équivalente dans le secteur du projet Bruit et Air; diminution du bruit de la pollution dans les zones habitées dans la partie Ouest de la route de Chésalles (deux tiers de trafic en moins), la traversée de Marly et le boulevard de Pérolles (zone densément peuplée) Eaux; infiltration des eaux à travers le terrain ou via des bassins d'infiltration ou via un SETEC Dangers naturels: ouvrages d'art dimensionnés pour respecter l'ERE, remise à ciel ouvert de 2 tronçons de ruisseau

Emissions en GES		Estimation des émissions	Description des émissions, justification de la note
		Voir le guide Marche à suivre	
Pendant la phase de sa mise en place		Travaux de réalisation, impact important	Trafic de chantier, matériaux de construction, chauffage
Annuelles sur la durée de vie		<i>Mobilité douce</i> <i>Trafic</i> <i>Surface d'assolement</i>	La mobilité douce subit une amélioration, des bandes cyclables sont prévues entre les giratoires du Stand et celui de Grangeneuve. Des cheminements MD sont prévus pour ces deux giratoires. Une piste mixte est prévue sur le pont d'Hauterive. Es cyclistes de loisirs peuvent continuer d'employer la route de Chésalles avec plus de sécurité due à la diminution du trafic Trafic: la liaison n'existant pas actuellement, on amène du trafic dans une zone principalement agricole. Par contre on constate une diminution de trafic dans les zones habitées dans la partie Ouest de la route de Chésalles (deux tiers de trafic en moins), la traversée de Marly et le boulevard de Pérolles (zone densément peuplée) Surfaces d'assolement: perte de 2.6ha de SDA prise sur le quota cantonale
Le projet réduit les émissions par rapport à la situation actuelle		Oui / Non	On constate une diminution de trafic dans les zones habitées dans la partie Ouest de la route de Chésalles (deux tiers de trafic en moins), la traversée de Marly et le boulevard de Pérolles (zone densément peuplée). Par contre on augmente la pollution dans les zones agricoles actuellement pas touchées

Information	Description
Recommandation	Un examen climatique approfondi est-il recommandé ? Oui / Non
Justification	Malgré les nombreuses mesures environnementales prises pour diminuer les impacts du projet, nous constatons que les impacts ne sont pas négligeables. Nous préconisons donc un examen approfondi surtout pour les phases réalisation et exploitation.

10.2. Méthodologie

Le périmètre est divisé en 5 catégories et des sous-catégories respectives :

- **Fournitures** : considère toutes les fournitures nécessaires pour la réalisation du chantier. Cette catégorie est séparée entre les matières premières et les matières préfabriquées. Les fournitures considérées comme « Autres » représentent principalement des produits faits à base de produits chimiques. Les déchets générés par l'emballage des matériaux préfabriqués ne sont pas comptabilisés dans cette catégorie.
- **Activité de chantier** : considère les machines de chantiers et leur utilisation de carburant.
- **Logistique** : considère les transports de différentes distances, autant de l'extérieur que vers le chantier, les transports au sein du chantier et aussi ceux de l'évacuation de fournitures en décharge.
- **Paysagisme** : est séparé entre le paysagisme végétal et le sol. Le paysagisme végétal comprend tous les arbustes, arbres et herbacées abattus ou plantés dans la cadre du projet et la captation CO₂ de ceux-ci.
- **Analyses Diverses** : considère l'analyse de l'exploitation de la route au niveau de l'analyse de trafic avec le nouveau tronçon.

Chaque catégorie d'émission a été quantifiée de manière individuelle avec des méthodes spécifiques. Une explication plus détaillée est fournie dans les chapitres suivants. Expliquant plus en détail les méthodes employées pour le chiffrage CO₂ des 5 catégories.

10.2.1. Source des données

Les données nécessaires à la quantification de cette étude ont été fournies par le Service des Ponts et Chaussées (SPC) au début du projet. Il s'agit principalement du dossier de génie civil établi pour la construction de la route. Après une analyse de la documentation, Climate Services SA et le SPC ont convenu d'utiliser comme source primaire pour le chiffrage des émissions CO₂ les descriptifs de travaux quantifiés, élaborés par les ingénieurs, contenant le détail de chaque partie de la route. Pour exploiter ces données, les descriptifs de travaux, ainsi que toutes les informations qu'ils contiennent, ont été rassemblés dans un tableau intermédiaire, regroupant l'ensemble des données dans un nombre limité de catégories. Le résultat est dans la fiche 2_Analyse du fichier Excel.

Des informations complémentaires ont été fournies au fur et mesures par le SPC en fonction des questions soulevées par Climate Services SA. Le but étant d'assurer une bonne interprétation des données fournies.

Ce processus d'échanges sous format de questions-réponses s'est réalisé par mail et lors des réunions bimensuelles effectuées entre Climate Services SA et le SPC.

De plus, différentes sources ont été employées, issues de recherches afin de formuler les hypothèses mentionnées.

10.2.2. Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont utilisés afin de convertir des valeurs en unité de mesure en quantité de CO₂ équivalent émise. Les facteurs d'émissions sont généralement le résultat d'une analyse de cycle de vie (ACV) faite par des spécialistes et compilés dans diverses bases de données. En revanche, il est possible qu'un

facteur d'émission pour un matériel diffère d'une base de données à l'autre en fonction du périmètre et de la méthodologie choisis pour l'ACV.

Notre méthodologie de choix de facteur d'émissions suit le principe suivant :

Premièrement, les facteurs d'émissions sont recherchés sur la base de données de la Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB). Cette base de données, créée par des services publics, sert de référence à tout le domaine de la construction en Suisse.

Deuxièmement, si le facteur d'émission n'est pas trouvé dans la base de données de la KBOB, une recherche dans la base de données Ecoinvent est effectuée. Cette base de données, développée en Suisse, représente l'une des plus grandes ressources de facteurs d'émissions actuellement disponible.

Finalement, si aucune des deux options ci-dessus n'offre des facteurs d'émissions convenables, une recherche académique est effectuée sur d'autres bases de données publiques, dans l'optique de choisir un facteur d'émissions représentatif.

De plus, il est parfois difficile de trouver un facteur d'émission correspondant exactement au matériel analysé, par manque de disponibilité dans une certaine base de données. Dans ce cas, le facteur d'émission d'un matériau présentant les caractéristiques les plus proches du matériel utilisé est choisi.

Pour les matériaux complexes et variables, tel que le béton, des outils de calculs spécifiques ont été développés dans le cadre de la présente étude. Ces outils permettent de créer des facteurs d'émission des matériaux sur la base des éléments constitutifs, avec des proportions variables. Pour les enrobés, l'outil Asphalt Rechner a été utilisé.

10.3.Hypothèses

Différentes hypothèses ont été formulées pour les différentes catégories du périmètre dans le but de chiffrer de manière précise la quantification CO₂. Les hypothèses ont été ensuite validées avec le SPC au fur et à mesure du chiffrage CO₂.

10.3.1. Matières premières

Afin de convertir des unités de m³ en kg, nous avons formulé des hypothèses sur la densité moyenne des différents matériaux analysés dans le descriptif de travaux. Ces hypothèses peuvent être consultées dans l'outil Excel.

10.3.2. Matières préfabriquées

Souvent, des matériaux préfabriqués étaient quantifiés en mètre, en mètre carré ou par pièces, ne permettant pas une conversion immédiate par un le facteur d'émission. Afin de convertir ces valeurs en unité de masse (kg ou tonne), plusieurs hypothèses sur des valeurs moyennes ont dû être effectuées. Par exemple, sur des épaisseurs ou sur le poids moyen par pièce.

De plus, pour des matériaux préfabriqués ou les matériaux composés d'une multitude de composantes, des hypothèses sur la composition et les composantes prédominantes des matériaux ont été faites. Ces hypothèses peuvent être consultées dans la fiche 2_Analyse de l'Excel.

10.3.3. Activités de chantier

Pour les activités de chantier, une recherche a été effectuée par Climate Services SA pour allouer une machine de chantier par activité de chantier identifié dans les descriptifs de travaux.

Ensuite, pour les machines de chantier identifiées, une consommation en litres par heure ainsi qu'une productivité en m²/h ont été formulées afin de calculer une consommation totale de carburant. Ces hypothèses peuvent être consultées et adaptées dans la fiche 3_Outil de l'Excel. L'analyse suppose que le carburant utilisé par toutes les machines est du diesel.

10.3.4. Logistique

La logistique est séparée en 4 catégories et une distance estimée en km a été sélectionnée afin de calculer l'usage de carburant et ensuite l'impact CO₂ de la logistique :

- **Évacuation en décharge** : concerne toute évacuation, estimée avec une distance moyenne de 35 km.
- **Transport Intermédiaire** : concerne les mouvements de matériaux au sein du site de construction, une distance moyenne de 2km est estimée
- **Transport Matériaux** : concerne les matériaux clés qui sont amenés sur le site tels que les remblais, granulat et le béton, une distance moyenne de 30 km est prise.
- **Transport Fournitures** : concerne toutes les fournitures de la catégorie 1 (matières premières, matériaux préfabriqués, fournitures divers), une distance moyenne de 30 km est utilisée.

Ces hypothèses peuvent être consultées et modifiées dans la fiche « 3_Outil » de l'Excel.

10.3.5. Végétation

Les **végétaux** représentent tous les abattages, plantations et défrichement d'arbres, d'arbustes et d'herbacées. Pour chaque type de végétal, nous calculons des émissions/séquestration carbone en tCO₂ / an en fonction de l'âge des plantes, de leur capacité de stockage et du milieu.

10.3.6. Analyses diverses

La quantification de l'impact dû à la fluidification et à l'électrification du trafic repose sur une combinaison d'hypothèses : l'analyse de l'évolution du trafic fournie par le SPC, une hypothèse de 10 % de fluidification du trafic grâce au tronçon, ainsi qu'une électrification progressive du parc de véhicules à l'horizon 2050.

10.4.Descriptif de l'outil Excel

Dans ce chapitre nous passons en revue les différentes fiches de l'Excel.

Fiche 1_Méthodologie

Cette fiche sert de fiche informative pour présenter les catégories analysées dans le cadre du périmètre.

Fiche 2_Analyse

Contient toutes les données analysées dans la quantification, issues de la collection de descriptifs de travaux.

- **Colonnes A à H** — sont des informations tirées des descriptifs de travaux, tous compilés sur cette fiche.
- **Colonnes I à L** — correspondent à l'allocation effectuée par Climate Services par rapport au périmètre décrit.
- **Colonnes M et N** — sont des colonnes de travail permettant d'ajouter des commentaires ou de préciser des informations.
- **Colonnes O et P** — contiennent les informations avec les valeurs retrouvées dans les descriptifs de travaux.
- **Colonnes Q à Z** — correspondent aux conversions nécessaires pour obtenir les unités souhaitées pour les facteurs d'émission.
- **Colonnes AB à AU** — correspondent aux différentes sélections de facteurs d'émission pour les différents scénarios.
- **Colonnes AV à AX** — présentent la différence en % entre les différents scénarios.

Fiche 3_Outils

La fiche 3_Outil contient les outils développés afin de comparer des scénarios avec ou sans pratiques durables et de modifier des hypothèses impactant différentes variables.

- **Outil 2 — Béton**
L'outil béton permet au client de sélectionner un béton normal et/ou un béton durable pour chaque partie du projet qui utilise du béton. Les bétons sont choisis en fonction du client et du génie civil. L'outil calcule ensuite la quantité finale en tCO₂ pour la sélection spécifique du client. Une image avec les bétons utilisés pour chaque partie de l'ouvrage est incluse dans l'outil comme référence et source des bétons utilisés. Une autre image présente les applications possibles du béton à impact réduit afin de guider et informer le client dans sa décision.
- **Outil 3 — Activité de Chantier**
L'outil pour les activités de chantier fait la somme de toutes les activités de chantiers et machines allouées par activité de chantier selon la nature de la machine : machine de surface, machine de volume et machine de distance. Cet outil permet à l'utilisateur de modifier les litres par heure et l'efficacité moyenne de la machine en question. Ces chiffres peuvent en effet varier selon la taille de la machine et l'ancienneté de la machine. Comme mentionné précédemment, il est supposé que les machines utilisent du diesel comme carburant.

- Outil 4 — Transports

L'outil transport permet à l'utilisateur de comparer deux scénarios selon un type de flotte utilisant un certain carburant et une taille de véhicule moyen. L'utilisateur peut aussi modifier les hypothèses sur les distances moyennes.

Fiche 4_Résultats Ponctuels

Cette fiche présente trois tableaux résumant les résultats de l'analyse des fiches précédentes.

- **Tableau 1 - Résultats** est une synthèse du tableau détaillé montrant le total CO₂ par catégories et par sous-catégories.
- **Tableau 2 — Résultats montre le détail en tCO₂ par catégorie et sous-catégorie**
- **Tableau 3 - Résultats Détaillés** présente les résultats en tCO₂ par indicateurs. La colonne C % représente la proportion de chaque indicateur pour toutes les catégories confondues. La colonne S-C % représente la proportion de chaque indicateur pour chaque sous-catégorie.
- **Tableau 4 —** Détaille les résultats tCO₂ par ouvrages d'art
- **Tableau 5 - Analyse Matières Premières** présente une analyse détaillée des fournitures de matières premières utilisées, considérant les matières premières ainsi que les matières premières des matériaux préfabriqués.
- **Tableau 6 — Analyse des matériaux préfabriqués prépondérants, montrant quels matériaux préfabriqués représentent la plus grande part des émissions.**

Fiche 5_Paysagisme

Cette fiche présente deux tableaux regroupant toutes les activités de paysagisme identifiées dans le projet. Pour chaque activité de paysagisme, l'activité est allouée dans un des deux tableaux.

- **Tableau 1 — Paysagisme lié aux végétaux**
Concerne surtout les types arbres, arbustes et herbacées. Pour chaque type de végétal, nous précisons le milieu, l'âge et le type de feuillage pour y associer une valeur de tCO₂/an ou tCO₂/m².

Fiche 6_Exploitation

Une estimation du trafic journalier est faite avec une estimation de la réduction de l'impact carbone grâce à une conduite plus fluide.

Fiche 7_Résultats Temporel

Cette fiche regroupe les analyses diverses pour le paysagisme et les analyses diverses. Elle permet notamment d'observer l'impact de la plantation de différentes quantités d'arbres.

Fiche 8_Analyses Scénarios

Cette fiche présente l'analyse des 4 scénarios différents en fonction du degré d'implémentation des mesures identifiées.

Fiche_9 Comparaison

Cette fiche compare le présent projet avec l'analyse de Prez-vers-Noréaz sur trois matériaux clés.

Fiche 9_Omis

Cette fiche représente tous les libellés non comptabilisés dans le bilan CO2.

10.5.Résultats détaillés

Tableau 2 - Résultats Détaillés					
Catégorie (C)	Sous-catégorie (S-C)	Indicateurs	tCO2	Indicateurs %	Proportion %
Fournitures	Matières premières	Béton	678	4%	8%
		Béton coulé	5746	37%	72%
		Câbles acier	5	0%	0%
		Enrobés	1258	8%	16%
		Grave recyclée	302	2%	4%
		Sable	26	0%	0%
	Matériaux préfabriqués	Acier	539	3%	11%
		Acier d'armature	2994	19%	63%
		Bande Combiflex	1	0%	0%
		Barrières de sécurité route	88	1%	
		Chambres Canalisation	16	0%	0%
		Clôtures / Grilles	40	0%	1%
		Géotextile	4	0%	0%
		Grilles d'égouts	0.00	0%	0%
		Lés d'étanchéité bitumineux	98	1%	2%
		Natte drainante	10	0%	0%
		Panneaux de circulation	2	0%	0%
		Paroi berlinoise	391	2%	8%
		Précontrainte	70	0%	1%
		Tuyau PELD (polyéthylène basse densité)	0.28	0%	0%
		Tuyaux PE	0.08	0%	0%
		Palanche	464	3%	10%
	Fournitures divers	Emulsion de Bitume liants	13	0%	87%
		Bande TOK	1	0%	4%
		Imprégnation hydrophobe et anti-graffiti	1	0%	7%
		Résine Epoxy	0.3	0%	2%
Activité chantier	Machine de surface (m2)	Compacteuse	25	0%	99%
		Balayeuse de voirie	0.1	0%	0%
		Hydrosemeuse	0.1	0%	0%
	Machine de volume (m3)	Pelleteuse hydraulique	872	6%	100%
	Machine de distance (m)	Finisseurs de routes	0.24	0%	86%
		Machine de marquage routier	0.04	0%	14%
Logistique	Évacuation décharge	Béton armé	198	1%	100%
		Végétaux	0.47	0%	0%
		Terre	0.34	0%	0%
	Transport Intermédiaire	Remblai intermédiaire	17	0%	2%
	Transport Matériaux	Remblai	679	4%	70%
		Divers	24.99	0%	3%
		Granulats	273	2%	28%
		Béton	0.01	0%	0%
	Transport Fournitures	Fournitures	898.80	6%	100%

10.6. Screenshot des outils

Outil pour le Béton

[illegible]

Outil 3 - Activité de Chantier

Type de machine	Allocated Machine	Litres par heures	Efficacité	Unit	Efficience	Unit	Somme	unit	Heures	Consommation litres	Consommation kWh	Total Echapp. tCO2	Total Echapp. + Non-Echapp. tCO2
Machines de Surface (m2)	Compacteuse	8	48.36	m2/h	0.0207	h/m²	38043	m2	786.7	6293.3	65898.4	17	25
	Balayeuse de voirie	7	35000	m2/h	0.0000	h/m²	87800	m2	2.5	17.6	183.9	0.05	0.07
	Hydrosemeuse	10	10000	m2/h	0.0001	h/m²	25900	m2	2.6	25.9	271.2	0.07	0.10
					#DIV/0!	h/m²	0	m2	-	-	-		
					#DIV/0!	h/m²	0	m2	-	-	-		
					#DIV/0!	h/m²	0	m2	-	-	-		
					#DIV/0!	h/m²	0	m2	-	-	-		
Machines de Volume (m3)	Pelleteuse hydraulique	17	35	m3/h	0.0286	h/m³	460537	m3	13158.2	223689.5	2342298.6	618	872
					#DIV/0!	h/m³	0	m3	-	-	-		
					#DIV/0!	h/m³	0	m3	-	-	-		
Machines de distance (m)	Finisseurs de routes	25	300	m/h	0.0033	h/m	750	m	2.5	62.5	654.5	0.17	0.24
	Machine de marquage routier	4	7000	m/h	0.0001	h/m	17167	m	2.5	9.8	102.7	0.03	0.04
					#DIV/0!	h/m	0	m	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
												Totaux tCO2	non échapp
												636	897

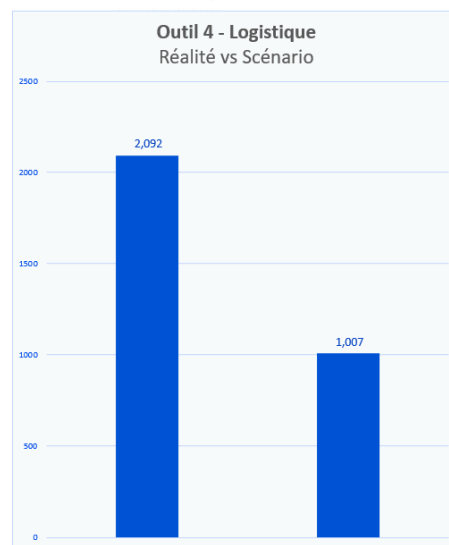
Outil 4 - Transports

Réalité	Configuration Actuel					
	Type de flotte	Diesel				
	Taille véhicule	32t				
	Catégorie	Matériel	Poids (to)	Distance Moyenne (km)	Tonnes Kilomètres (t.km)	tCO2
	Évacuation décharge	Béton armé	39,814.56	30	1,194,437	198
		Végétaux	95.00	30	2,850	0
		Terre	67.50	30	2,025	0
	Transport Intermédiaire	Remblai intermédiaire	51,150.00	2	102,300	17
			-	2	-	-
	Transport Matériaux	Remblai	136,519.75	30	4,095,592	679
		Divers	5,021.17	30	150,635	25
		Granulats	54,816.11	30	1,644,483	273
		Béton	1.14	30	34	0
	Transport Fournitures	Fournitures	209,633.77	30	6,289,013	899
						2,092

Moyennes par défaut	
Évacuation décharge	30
Transport Matériaux	30
Transport Intermédiaire	2
Transport Fournitures	30

Évacuation décharge
198 tCO2 (20,000 kg CO2/m³)

Scénario	Configuration Scénario					
	Type de flotte	Batterie électrique				
	Taille véhicule	32t				
	Catégorie	Matériel	Poids (to)	Distance Moyenne (km)	Tonnes Kilomètres (t.km)	tCO2
	Évacuation décharge	Béton armé	39,814.56	30	1,194,437	93
		Végétaux	95.00	30	2,850	0
		Terre	67.50	30	2,025	0
	Transport Intermédiaire	Remblai intermédiaire	51,150.00	2	102,300	8
			-	2	-	-
	Transport Matériaux	Remblai	136,519.75	30	4,095,592	318
		Divers	5,021.17	30	150,635	12
		Granulats	54,816.11	30	1,644,483	128
		Béton	1.14	30	34	0
	Transport Fournitures	Fournitures	209,633.77	30	6,289,013	449
						1,007



10.7. Sources de Facteurs d'émissions

KBOB. (2024, September 16). Données écobilans dans la construction. <https://www.kbob.admin.ch/fr/donnees-ecobilans-dans-la-construction>

ecoinvent. (n.d.). ecoinvent - Data with purpose. <https://ecoinvent.org/>

10.8. Sources autres

Kies für Generationen. (2021, April 29). Recyclage des agrégats d'enrobés et recours aux enrobés tièdes : Guide des bonnes pratiques. https://www.kiesfuergenerationen.ch/resources/20210429-Best-Practice-Guideline_f_def.pdf

Holcim Suisse. (2023, August). Documents techniques béton et granulats. <https://www.holcim.ch/sites/switzerland/files/2023-08/document-technique-beton-granulats.pdf>

