

# Développement d'un calculateur d'émissions de CO<sub>2</sub> dans un contexte de chantier autoroutier

Gabriel Kathari

Paul Seguin

Y 17 Ecublens

A 18 Lausanne  
– Crissier

A 16 Ecublens

Mai 2020

Responsable EPFL : Prof. Eugen Brühwiller

Responsable Entreprise : Nicolas Fawer

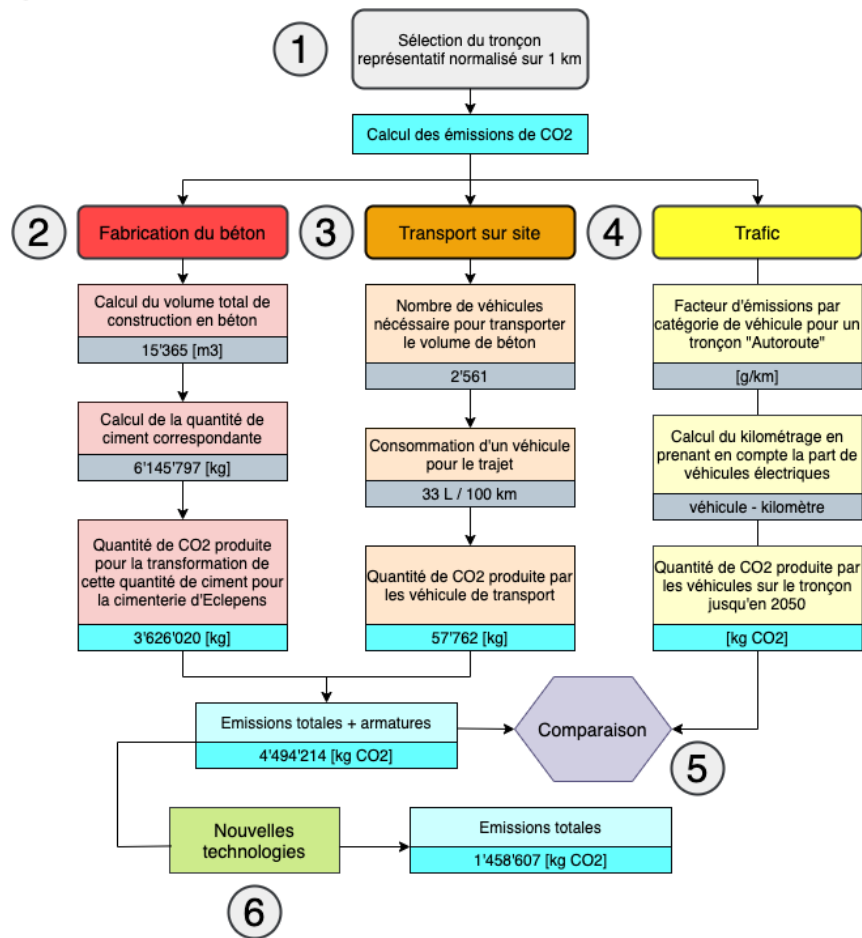


# Plan de la présentation

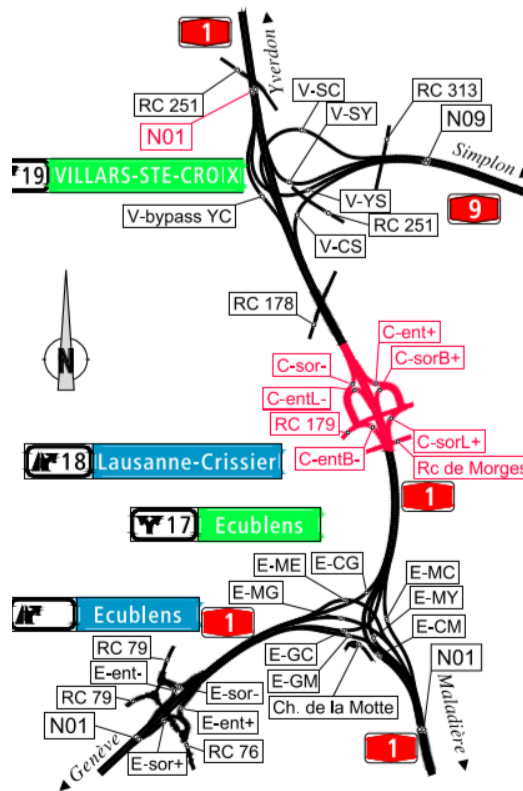
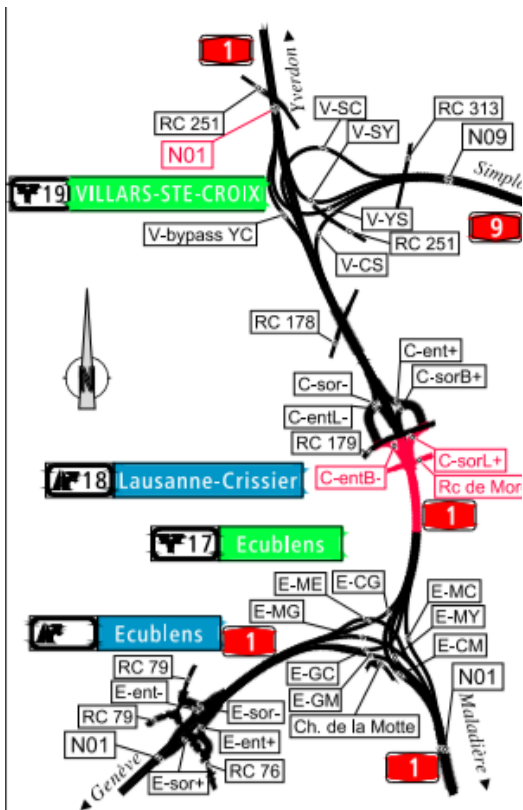
- Émissions liées à la production de béton
- Émissions liées au transport du béton
- Émissions liées à la mise en œuvre
- Émissions liées au trafic
- Résultat final et discussions
- Redevance RPLP pour poids lourds bonus
- Conclusion
- Limites du projet
- Remerciements



# Schéma global des différentes étapes



# Rappel du tronçon représentatif



- Tronçon 07 Maladière Villars-Ste\_Croix
- Section 1 : Km 66.000 à Km 66.600 (portion d'autoroute)
- Section 2 : Km 66.600 à Km 67.000 (jonction d'autoroute)



# Émissions liées à la production de béton

Démarche - section 1

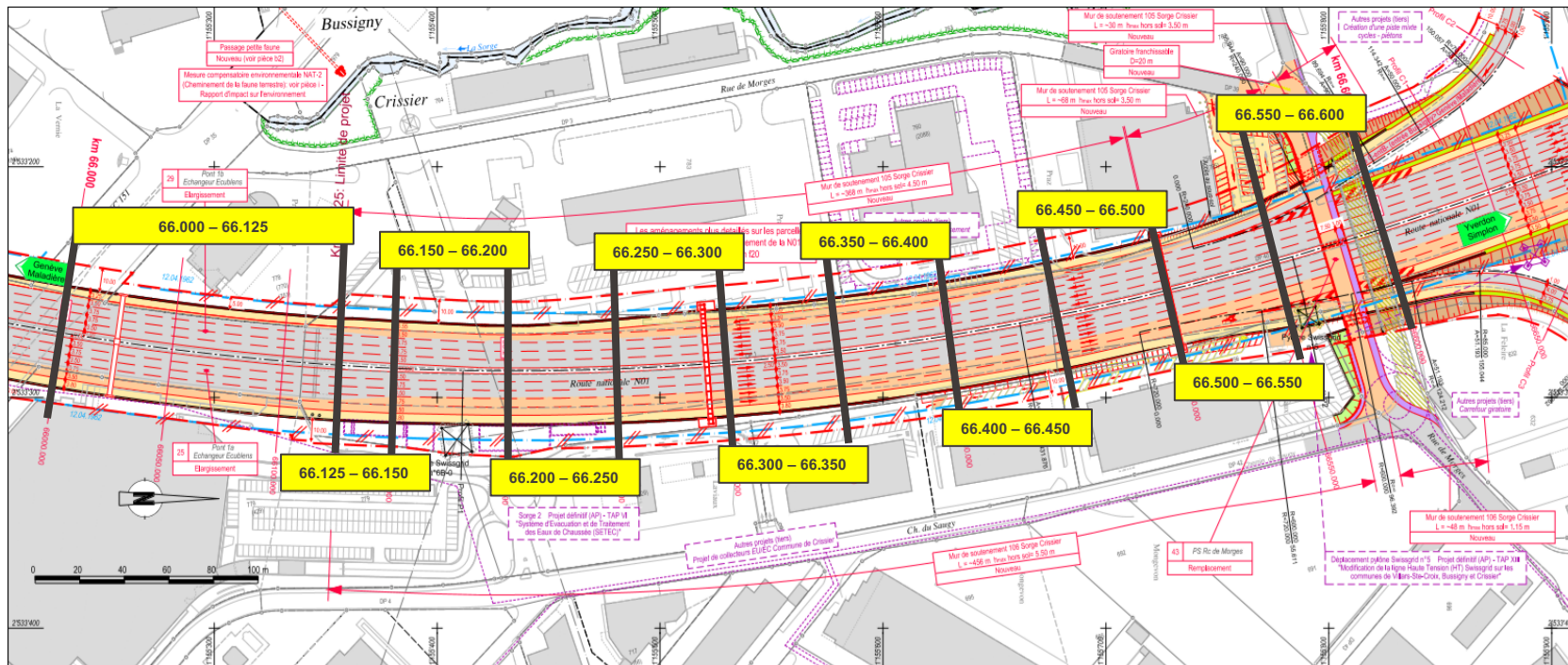
Démarche - section 2

Résultat



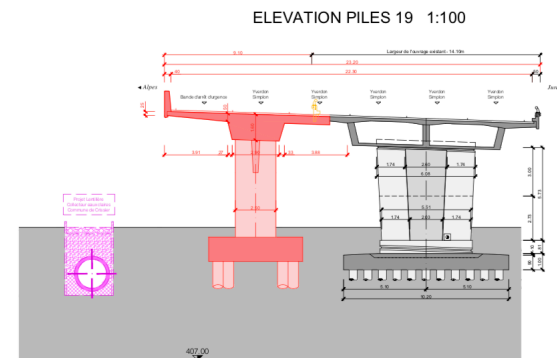
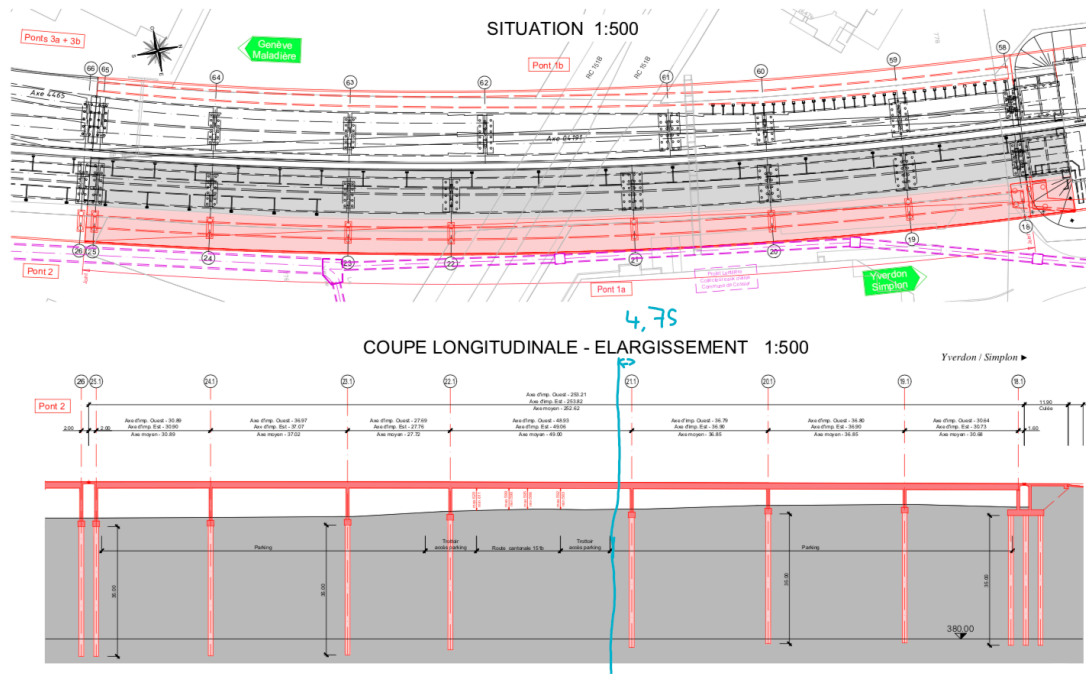
# Démarche - section 1

## Subdivision en 11 secteurs



Km 66.000 à km 66.600

## Design Project 2020 / Présentation Finale



# Démarche - section 1

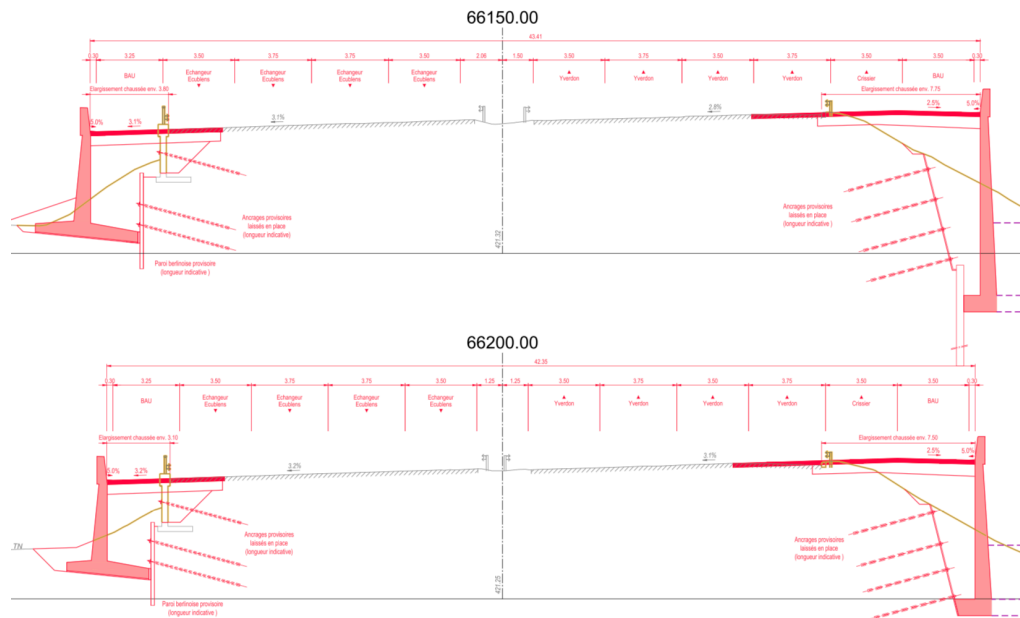
## Secteur 66.000 – 66.125 → Viaduc

Pont 1a: Km 66.000 → Km 66.125	Pile19:	Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 4,92 Volume : 9,84	Chaussée 1 : Largeur : 3,2 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 6,94 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 2,746	Sode : surface : 3,30093 Hauteur : 1,2 Volume : 39,8111	Volume final : 54,653 m3	
	Pile20:	Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 4,92 Volume : 9,84	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 8,54 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 3,416	Sode : surface : 3,30093 Hauteur : 1,2 Volume : 39,8111	Volume final : 55,5951 m3	
	Pile19:	Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 4,92 Volume : 9,84	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 8,63 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 3,452	Sode : surface : 3,30093 Hauteur : 1,2 Volume : 39,8111	Volume final : 55,611 m3	
	Pile18.1:	Poutre: Largeur : 6,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 4,92 Volume : 23,586	Chaussée 1 : Largeur : 5,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 7,3 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 2,92	Sode 1 : surface : 2,2608 Hauteur : 1,2 Volume : 27,1296	Sode 2 : Largeur : 7,3 Epaisseur : 4,4 Hauteur : 1,6 Volume : 31,892	Volume final : 109,754 m3
	Pile18.2:	Poutre: Largeur : 6,5 Epaisseur : 0,7 Hauteur : 4,92 Volume : 23,586	Chaussée 1 : Largeur : 5,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 7,3 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 2,92	Sode 1 : surface : 2,2608 Hauteur : 1,2 Volume : 27,1296	Sode 2 : Largeur : 7,3 Epaisseur : 6,1 Hauteur : 1,6 Volume : 31,248	Volume final : 111,417 m3
	Pile18:	Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 4,92 Volume : 9,84	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 8,63 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 3,452	Sode : surface : 3,30093 Hauteur : 1,2 Volume : 39,8111	Volume final : 55,611 m3	
	Partie:						
	Somme des ponts : 462,991 m3		Chaussée 1 : Largeur moyenne : 7,785 Hauteur : 0,5 Longueur : 121,8 Volume : 474,189	Chaussée 2 : Largeur : 3,1 Hauteur : 1,6 Longueur : 121,8 Volume : 608,428			
	Volume total parties : 1541,28						
	Pont 1a: Km 66.000 → Km 66.125	Pile21:	Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,5 Volume : 11,8	Chaussée 1 : Largeur : 3,2 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,758	Chaussée 2 : Largeur : 10 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4	Sode 1 : surface : 1,32665 Hauteur : 3,5 Volume : 46,4328	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 1,6 Hauteur : 1,5 Volume : 14,4
Pile20:		Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,74 Volume : 11,48	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 10,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4,2	Sode 1 : surface : 1,32665 Hauteur : 3,5 Volume : 46,4328	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 1,6 Hauteur : 1,5 Volume : 14,4	Volume final : 79,24075 m3
Pile19:		Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,73 Volume : 11,48	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 10,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4,2	Sode 1 : surface : 1,32665 Hauteur : 3,5 Volume : 46,4328	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 1,6 Hauteur : 1,5 Volume : 14,4	Volume final : 79,2208 m3
Pile18:		Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,23 Volume : 10,92	Chaussée 1 : Largeur : 3,2 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,758	Chaussée 2 : Largeur : 10,49 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4,198	Sode 1 : surface : 1,32665 Hauteur : 3,5 Volume : 46,4328	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 3,3 Hauteur : 1,5 Volume : 29,2	Volume final : 78,2168 m3
Pile18.1:		Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,1 Volume : 10,2	Chaussée 1 : Largeur : 3,2 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,758	Chaussée 2 : Largeur : 10,3 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4,17	Sode 1 : surface : 1,2717 Hauteur : 3,5 Volume : 44,5095	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 6,5 Hauteur : 1,5 Volume : 38,5	Volume final : 81,2176 m3
Pile18.2:		Poutre: Largeur : 2,5 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 5,1 Volume : 10,2	Chaussée 1 : Largeur : 3,1 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 3,1 Volume : 2,738	Chaussée 2 : Largeur : 10,3 Epaisseur : 0,8 Hauteur : 0,5 Volume : 4,22	Sode 1 : surface : 2,3434 Hauteur : 3,5 Volume : 85,019	Sode 2 : Largeur : 6 Epaisseur : 6,5 Hauteur : 1,5 Volume : 38,5	Volume final : 161,819 m3
Partie:							
Somme des ponts : 548,336 m3		Chaussée 1 : Largeur moyenne : 10,48 Hauteur : 0,5 Longueur : 122,65 Volume : 658,953	Chaussée 2 : Largeur : 3,1 Hauteur : 1,6 Longueur : 122,65 Volume : 618,468				
Volume total parties : 1837,69							
MINI Pont 1a: Volume : 29,728 m3							

Extrait du calculateur de volume excel en annexe dans le rapport



- Utilisation des plans de profil le long des secteurs et calcul des dimensions moyennes des ouvrages entre deux plans de profil pour la longueur de chaque secteur.



# Démarche - section 1

## Autres secteurs

Chaussée Ouest :		chaussée :	Largeur	6,5
			Hauteur	0,3
			Longeur	25
			Volume	48,75
		Structure	Volume	148,4375
Chaussée EST :		Chaussée	Largeur	9,175
			Hauteur	0,3
			Longeur	25
			Volume	68,8125
		Structure	Volume	165,625
VOLUME TOTAL		431,625 m3		

66.125 – 66.150

Chaussée Ouest :		chaussée :	Largeur	5,5
			Hauteur	0,3
			Longeur	50
			Volume	82,5
		Structure	Volume	237,5
Chaussée EST :		Chaussée	Largeur	11,5
			Hauteur	0,3
			Longeur	50
			Volume	172,5
		Structure	Volume	268,75
VOLUME TOTAL		761,25 m3		

66.150 – 66.200

Chaussée Ouest :	chaussée_1	Largeur	7,5	chaussée_2	Largeur	2,5
		Hauteur	0,3		Hauteur	0,3
		Longeur	50		Longeur	50
		Volume	150			
	Structure	Volume	250			
Chaussée EST :	Chaussée	Largeur	11			
		Hauteur	0,3			
		Longeur	50			
		Volume	165			
	Structure	Volume	318,75			
VOLUME TOTAL		883,75	m3			

66.200 – 66.250

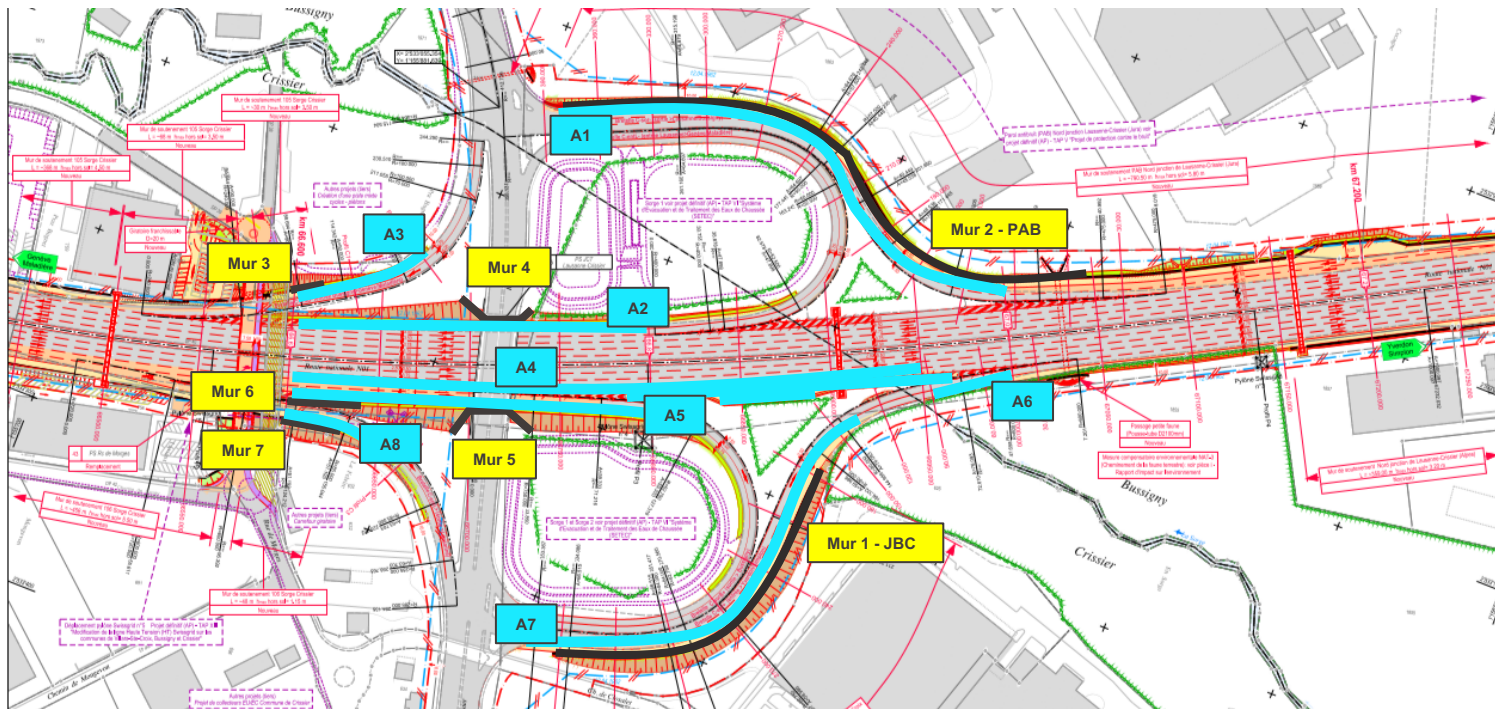
Chaussée Ouest :	chaussée_1	Largeur	5	chaussée_2	Largeur	3,75
		Hauteur	0,3		Hauteur	0,3
		Longeur	50		Longeur	50
		Volume	131,25			
	Structure	Volume	212,5			
Chaussée EST :	Chaussée_1	Largeur	12,25	Chaussée_2	Largeur	5,5
		Hauteur	0,3		Hauteur	0,3
		Longeur	50		Longeur	50
		Volume	266,25			
	Structure	Volume	175			
VOLUME TOTAL		785 m3				

66.450 – 66.500

Extrait du calculateur de volume excel en annexe dans le rapport

# Démarche – section 2

## Subdivision en 8 portions & 7 murs de soutènement



Km 66.700 à km 67.600



# Démarche – section 2

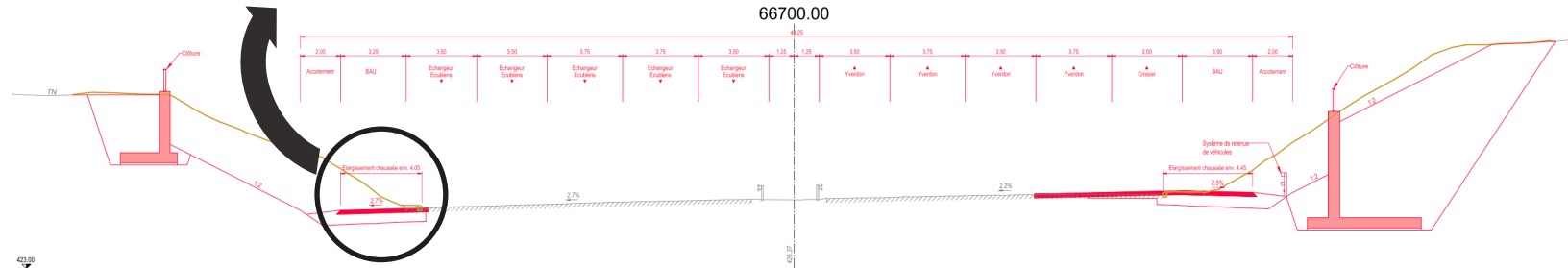
Exemple – Portion A2

- Bande d'arrêt d'urgence
- « Rectangulation » et triangulation

Schéma vue en surface



partie 1 :	Longueur	170,8 m	partie 2 :	Longueur	107,4 m
	Largeur	4 m		Largeur	4 m
	Hauteur	0,3 m		Hauteur	0,3 m
	Volume	204,96 m <sup>3</sup>		Volume	64,44 m <sup>3</sup>

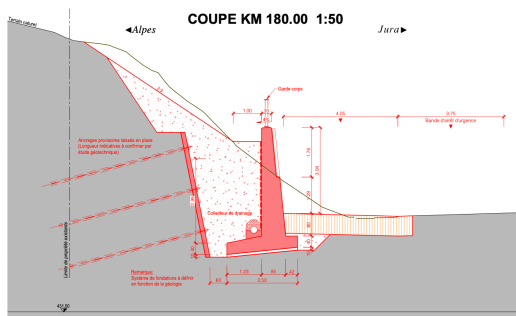


# Démarche – section 2

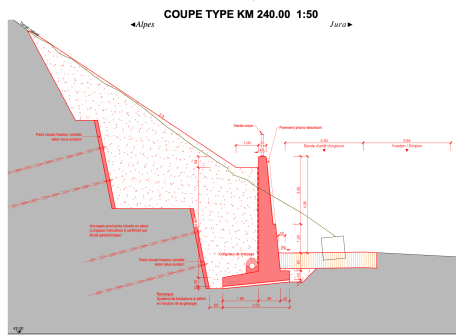
## Exemple – Mur de soutènement JBC

- Double « rectangulation » pour le mur et les parois
- Utilisation des côtes

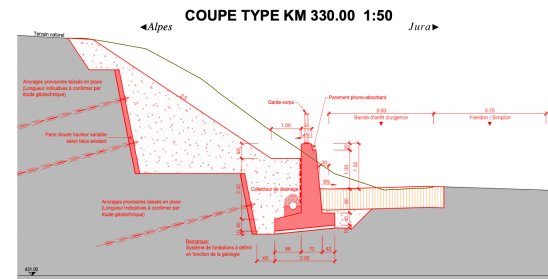
Km 180 à 240	Volume mur [m³]	186,816
	Volume paroi 1 [m³]	51,82



Km 240 à 330	Volume mur [m³]	426,096
	Volume paroi 1 [m³]	90,27
	Volume paroi 2 [m³]	90,27



Km 330 à 360	Volume mur [m³]	74,81
	Volume paroi 1 [m³]	10,608
	Volume paroi 2 [m³]	17,85



# Résultat

**Volume final : 15'365 m<sup>3</sup> de construction**

- 400 kg de ciment par m<sup>3</sup> pour un béton d'ouvrage d'art.
- Donc 6'145'797 kg de ciment.
- Selon Holcim : 590 kg de CO<sub>2</sub> relâché pour 1 tonne de ciment

**Emission totale de la production de béton : 3'626'020 kg CO<sub>2</sub>**







# Émissions liées au transport du ciment

Démarche et résultat

Distance chantier-cimenterie : un paramètre important

# Emissions liées au transport du ciment

Depuis la cimenterie d'Eclepens :

- Camions malaxeurs de 6m<sup>3</sup> - 4 ou 5 essieux.
- 28.60 km aller – retour
- 22,56 kg de CO<sub>2</sub> émis pour un aller-retour
- 2561 aller-retours nécessaires pour transporter tout le volume de ciment



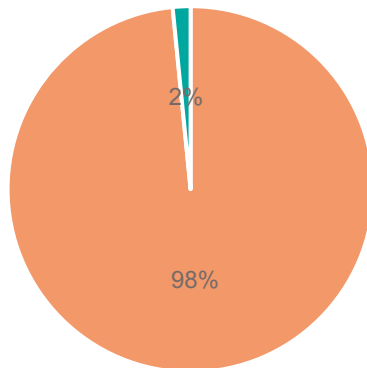
**57'763 kg CO<sub>2</sub> pour le transport depuis Eclepens.**

# Emissions liées au transport du ciment

## Comparaison avec la cimenterie de Intervaz:

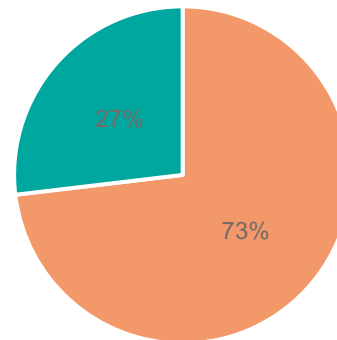
- Eclepens : 26,8 km aller – retour
- Intervaz : 660 km aller - retour

Avec le scénario de la cimenterie d'Eclepens



- Part des émissions induites par la production du béton
- Part des émissions de CO2 induites par le transport du béton sur site

Avec le scénario de la cimenterie de Intervaz

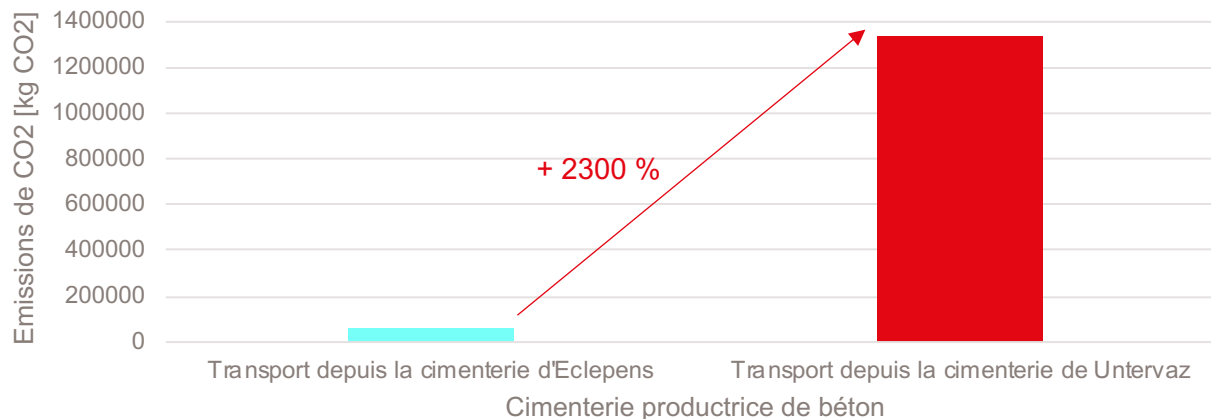


- Part des émissions induites par la production du béton
- Part des émissions de CO2 induites par le transport du béton sur site

# Emissions liées au transport du ciment

**La distance cimenterie – chantier , un facteur décisif pour les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la construction**

Emissions de CO<sub>2</sub> imputées au transport du béton sur site depuis différentes cimenteries.



Relation linéaire → Chaque km de trajet augmente de 0,04 % la part des émissions de CO<sub>2</sub> du transport par rapport à la production du ciment.





# Émissions liées à la mise en œuvre

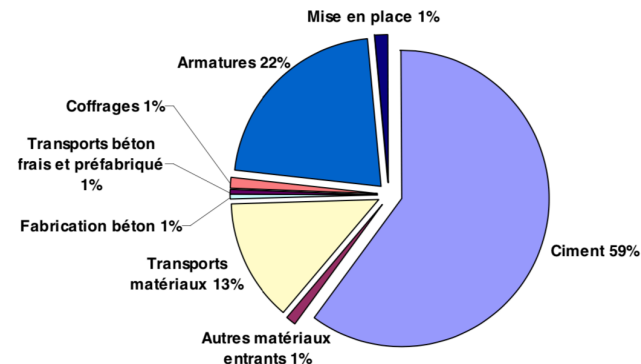
Source :

1. Conference GC'2009 – CO2CRETE Impact  
L'empreinte CO2 du béton – Lionel Linger, Laurent  
Boutillon, Géraldine Thomas – Mars 2009

# Emissions liées à la mise en oeuvre

## Emissions liées à l'armature :

- Moyenne d'environ 20% des émissions globales (production du béton + transport sur site).
- Peut grandement varier en fonction du type d'ouvrage mais représentatif pour notre type d'ouvrage.



Répartition type des part d'émission des différents secteurs de la construction pour la mise en place de l'autoroute A19 en France. Cf : source 1

## Emissions liées à la mise en œuvre:

- Coffrage : environ 1% des émissions globales.
- Mise en place : environ 1%.



# Calcul des émissions liée au trafic

Rappels

Quelles démarche suivre?

Méthode 1

Méthode 2

Comparaison

Source : Rapport Technique Suppression du goulet d'étranglement de Crissier

## 6 catégories de véhicule

voiture particulière (**PW**), véhicules utilitaires légers (**LNF**), véhicules utilitaires lourds (**SNF**), autocars (**RBus**), ~~bus publics (**LBus**)~~, motocyclettes (**MR**)

## Types d'émissions du trafic routier

- Émissions des véhicules dont le moteur est à la température de fonctionnement (g/véhicule km)
- Émissions de démarrage à froid (g/km parcouru)
- Émissions d'évaporation : évaporation due à la « respiration du réservoir » (g/véhicule et jour), évaporation après un arrêt à chaud (g/véhicule et jour), pertes en cours de route (g/véhicule-km)



**Annexes utiles** (Rapport Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs des Schweiz 1990-2050)

- Facteur d'émissions par type d'émissions, **par catégorie de route**, par type de carburant, par concept d'émission, par catégories de véhicules [g-polluant/km]
- Émissions par type d'émission (démarrage, à chaud, à froid)
- **Émissions par catégorie de routes (AB, ao, io)**
- Émissions par type de moteur
- Émissions selon le concept d'émission (EURO)

# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

- 1) Connaître le nombre de g-CO<sub>2</sub> par km pour chaque catégories de véhicules

Catégorie de route sélectionnée : Autoroute

Facteurs d'émissions de CO <sub>2</sub> sur autoroute par type de véhicule [g-CO <sub>2</sub> /km]					
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR
2030	144	189	636	734	119
2035	126	169	598	734	118
2040	109	153	564	733	118
2045	97	141	541	733	118
2050	87	130	523	734	118

# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

## 2) Calculer la proportion de chaque catégories de véhicules

### A2 – Kenngrossen zur Verkehrsentwicklung

Tabelle 11: Fahrleistungen 1990-2050 in Mio. Fzkm/Jahr

Jahr	Personenwagen	Leichte Nutzfahrzeuge	Schwere Nutzfahrzeuge	Reisebusse	Linienbusse	Motorräder
1990	42'649	2'600	1'992	108	174	2'025
1995	41'324	2'746	2'107	110	192	1'563
2000	45'613	2'957	2'273	99	200	1'700
2005	48'040	3'228	2'120	106	229	1'785
2010	50'949	3'502	2'226	118	244	1'852
2015	55'114	4'129	2'235	131	272	2'027
2020	56'618	4'359	2'357	135	305	2'082
2025	58'628	4'652	2'458	139	322	2'156
2030	60'471	4'945	2'559	144	340	2'224
2035	62'032	5'229	2'665	147	354	2'281
2040	62'810	5'514	2'772	149	365	2'310
2045	63'340	5'738	2'856	151	371	2'329
2050	63'724	5'941	2'934	151	376	2'344



Part de chaque type de véhicule (coefficient)					
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR
2030	0,8597	0,0703	0,0364	0,002	0,0316
2035	0,8573	0,0723	0,0368	0,0021	0,0315
2040	0,8539	0,075	0,0377	0,002	0,0314
2045	0,8512	0,0771	0,0384	0,002	0,0313
2050	0,8486	0,0791	0,0391	0,002	0,0312

Zur Definition der Fahrzeugkategorien, siehe Tabelle 2 in Kap. 2.1

Tabelle INFRAS. Quelle: BFS, ARE 2016a, ARE 2016b, eigene Berechnungen

# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

## 3) Retirer la part des véhicules électriques

Part des véhicules électriques pour chaque type de véhicule (coefficient)					
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR
2030	0,09	0,02	0,02	0	0,03
2035	0,16	0,03	0,02	0	0,03
2040	0,24	0,06	0,03	0	0,04
2045	0,33	0,1	0,05	0	0,04
2050	0,41	0,14	0,06	0	0,05



## A3 – Fahrleistungsgewichtete Emissionszusammensetzungen

Tabelle 13: Fahrleistungsgewichtete Verkehrszusammensetzung nach Emissionsstufen

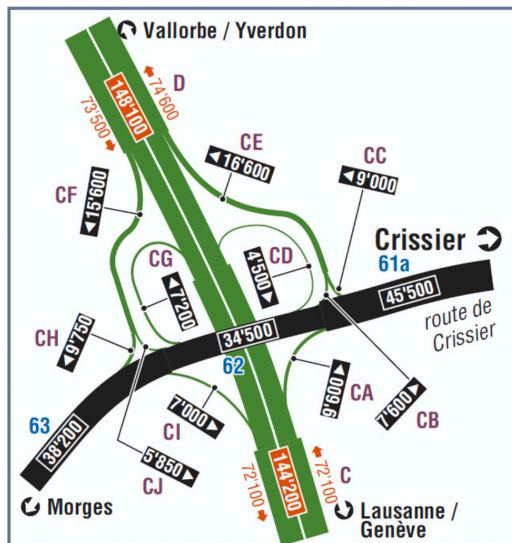
Fz-kat	Technologie/ Emissionsstufe	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	PW B Euro-0	94%	52%	20%	5%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-1		41%	36%	18%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-2			35%	28%	15%	5%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-3			1%	18%	13%	6%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-4				0%	14%	33%	22%	12%	5%	1%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-5					3%	22%	16%	10%	4%	1%	0%	0%	0%
PW	PW B Euro-6						3%	19%	31%	37%	37%	34%	30%	26%
PW	PW D Euro-0	5%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-1	1%	4%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-2		0%	4%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-3			0%	10%	7%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-4				3%	18%	12%	7%	3%	1%	0%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-5					3%	22%	16%	10%	4%	1%	0%	0%	0%
PW	PW D Euro-6						3%	17%	12%	8%	3%	1%	0%	0%
PW	PW D Euro-6d							5%	23%	34%	40%	38%	34%	30%
PW	PW Alternative						0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%
PW	PW elektrisch						0%	1%	4%	9%	16%	24%	33%	41%
LNF	LNF B Euro-0	70%	38%	13%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-1	2%	27%	29%	13%	4%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-2			10%	11%	5%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-3				0%	6%	5%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-4				1%	6%	4%	3%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-5					0%	3%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF B Euro-6						0%	3%	4%	5%	5%	5%	5%	5%
LNF	LNF D Euro-0	28%	30%	14%	5%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF D Euro-1		5%	16%	7%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF D Euro-2			18%	20%	9%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
LNF	LNF D Euro-3				0%	33%	28%	11%	6%	4%	1%	1%	0%	0%
LNF	LNF D Euro-4					35%	30%	18%	10%	6%	2%	1%	0%	0%
LNF	LNF D Euro-5					1%	35%	31%	19%	10%	6%	2%	1%	0%
LNF	LNF D Euro-6						5%	31%	56%	72%	80%	83%	82%	79%
LNF	LNF Alternative						1%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%
LNF	LNF elektrisch						0%	0%	1%	2%	3%	6%	10%	14%



# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

## 4) Le kilométrage

Déterminer le nombre total de véhicule sur notre tronçon à l'année



- Moyenne entre jonction et portion (valeurs journalières)
- Augmentation du trafic +1%/an  $\rightarrow C(t) = C_0 * (1+\%)^t$

Évolution du trafic total entre 2030 et 2050 (+1%/an)					
Année	2030	2035	2040	2045	2050
Nbr véhicule	53381288	56104270	58966151	61974017	65135315

# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

## 4) Le kilométrage

- Calculer la part de chaque catégorie de véhicule
- Retirer la part des véhicules électriques

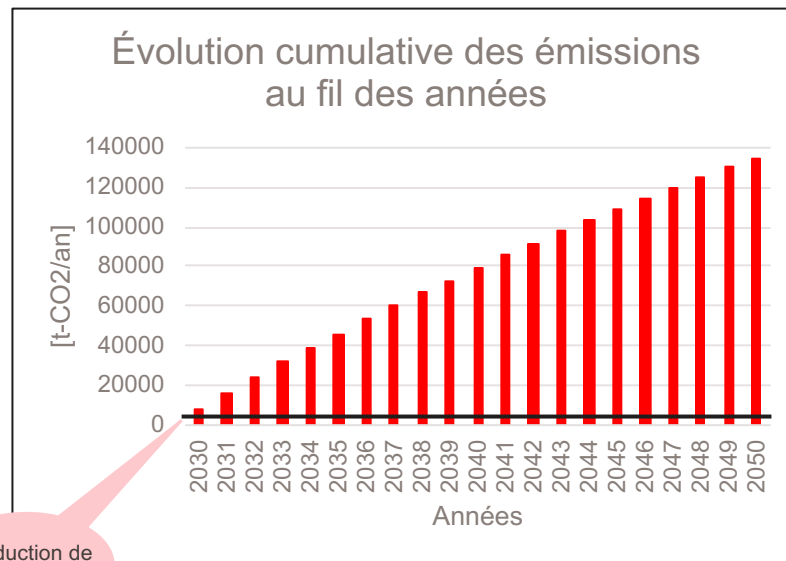
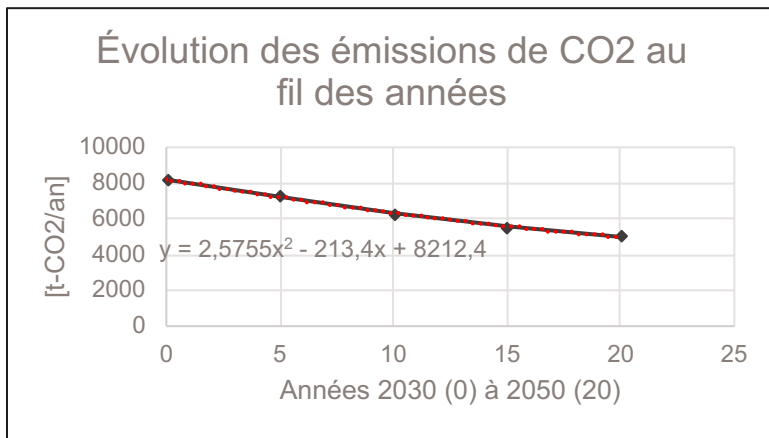
## 5) Résultat final

Émissions par type de véhicule entre 2030 et 2050 sans la part électrique [kg-CO2/année]					
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR
2030	6013673,641	695075,9296	1211082,195	78363,73005	194712,9437
2035	5090712,469	664955,6024	1209959,94	86479,12124	202283,3832
2040	4171093,123	636038,3905	1216171,916	86444,37774	209742,1283
2045	3428370,922	606353,1683	1223099,379	90853,90978	219739,0431
2050	2837205,621	576016,3449	1252053,307	95618,6429	227812,0681

# Méthode 1 – Facteur d'émissions par catégories de route

## 5) Résultat final

Approximation chronologique des émissions du trafic sur notre tronçon



Production de  
béton

# Méthode 2 – Émissions par catégories de route

- Valeur en tonne-CO<sub>2</sub>/an émis par tout le réseau autoroutier Suisse

Émissions en tCO <sub>2</sub> /an pour catégorie Autoroute						
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR	Total
2030	3'455'434	483'913	1'005'801	59'725	78'892	5'083'765
2035	3'065'772	458'805	983'365	61'177	79'953	4'649'073
2040	2'691'333	437'885	964'635	61'775	80'422	4'236'049
2045	2'413'359	419'048	953'205	62'335	81'050	3'928'998
2050	2'182'598	402'188	945'618	62'768	81'670	3'674'842



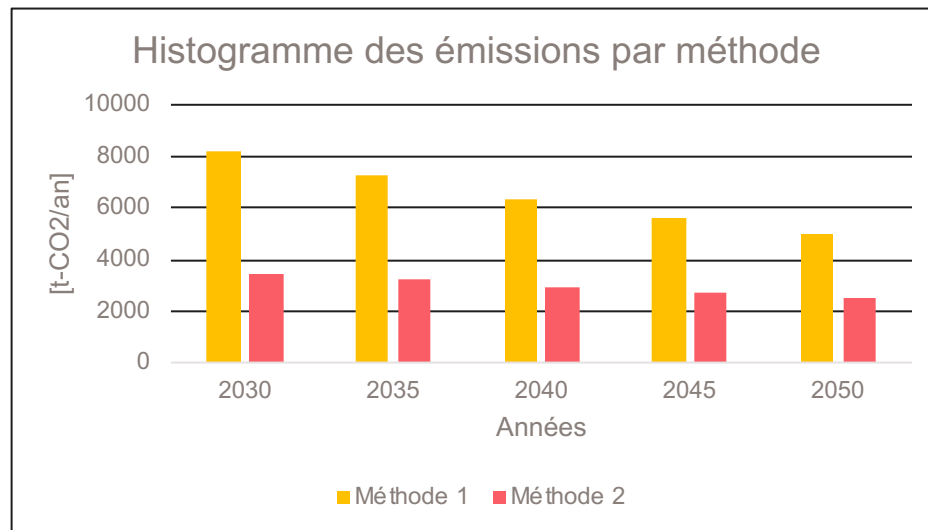
- Connaître le nombre total de km d'autoroute

Route		
Longueur des routes nationales	1 859 km	2018
dont autoroutes	1 462 km	2018
Longueur des routes cantonales	17 816 km	2018
Longueur des routes communales <sup>2</sup>	51 880 km	2018 <sup>2</sup>

Émissions en tCO <sub>2</sub> /km-an pour catégorie Autoroute						
Année	PW	LNF	SNF	RBus	MR	Total
2030	2'364	331	688	41	54	<b>3'477</b>
2035	2'097	314	673	42	55	<b>3'180</b>
2040	1'841	300	660	42	55	<b>2'897</b>
2045	1'651	287	652	43	55	<b>2'687</b>
2050	1'493	275	647	43	56	<b>2'514</b>

# Comparaison des deux méthodes

- Fort trafic au niveau du tronçon par rapport à la moyenne



Méthode 1 - Facteur d'émissions par catégories de route	
Avantages	Inconvénients
Plus précis pour le type de route et la catégorie de véhicule	Contient le démarrage à froid et l'évaporation Type de véhicule pas pris en compte (euro 1,2,3,4,5,6) ni le type de moteur Difficulté à évaluer le kilométrage

Méthode 2 – Émissions totales par catégories de route	
Avantages	Inconvénients
Facilement réalisable	Contient le démarrage à froid et l'évaporation Type de véhicule pas pris en compte (euro 1,2,3,4,5,6) ni le type de moteur Moyenne pour tout le réseau autoroutier → moins précis





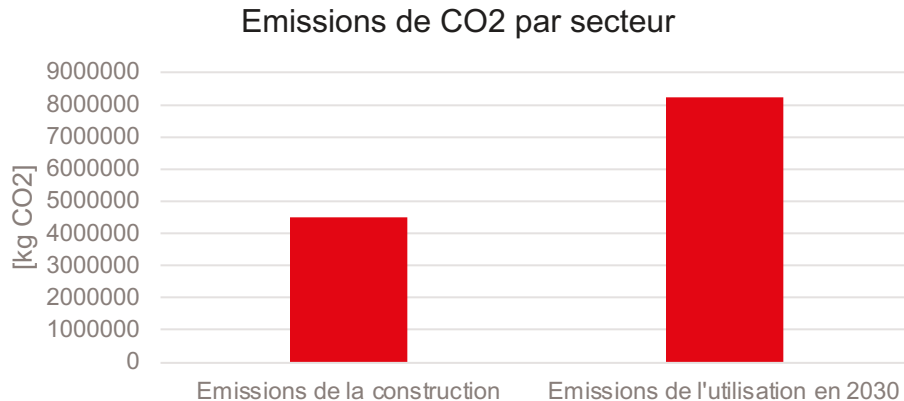
# Résultat final de toutes les émissions

- Emissions liées à la production du béton : 3'626'020 kg CO<sub>2</sub>
- Emissions liées au transport sur site : 57'762 kg CO<sub>2</sub> \*
- Emissions liées à l'armature : 810'432 kg CO<sub>2</sub>

---

Total : 4'494'214 kg CO<sub>2</sub>

- Emissions liées à l'utilisation du segment en 2030 : 8'192'905 kg CO<sub>2</sub>



\* Depuis la cimenterie d'Eclepens



# Implémentation de nouvelles technologies

## Sources :

1. Sustainable Built Environment (SBE) regional conference - ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RADICAL INNOVATION IN CONCRETE STRUCTURES - S.Zingg, G.Habert, P.Lura, A.Hajiesmaeili – June 2016
2. MDPI - Life Cycle Analysis of Strengthening Existing RC Structures with R-PE-UHPFRC – A.Hajiesmaeili, F.Pittau, E.Denarié, G.Habert – November 2019

# Implémentation de nouvelles technologies

Diminution globale des émissions de CO<sub>2</sub> grâce à l'utilisation d'un nouveau type de béton : **R-PE-UHPFRC** \*



- Diminution du volume construit pouvant atteindre un facteur 4.

	Conventional reinforced concrete <sup>a</sup>	HPC-steel <sup>b</sup>	HPC-CFRP <sup>c</sup>
Tensile load, kN	270	270	270
Concrete strength, MPa	30	90	90
Cross-section, cm <sup>2</sup>	900	429 <sup>d</sup>	189
Volume, m <sup>3</sup>	0.09	0.043	0.019

\* ultra-high performance fibre reinforced concrete with polyethylene fibre

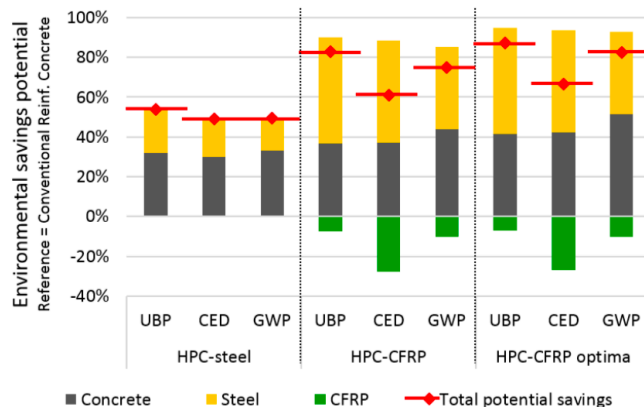
# Implémentation de nouvelles technologies

- Augmentation du taux de ciment par m<sup>3</sup> de béton (400 → 650).

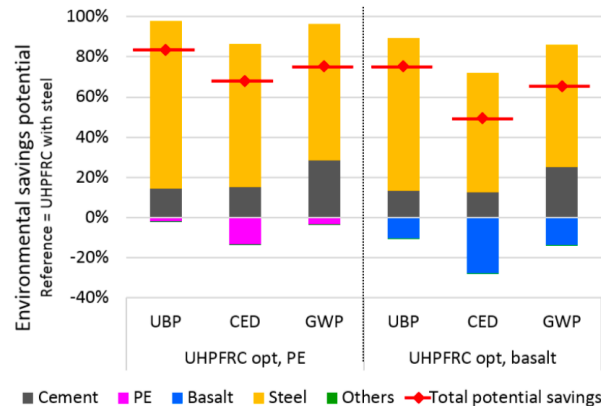
<i>in kg</i>	Conventional UHPFRC	UHPFRC with PE	UHPFRC with basalt
Cement	650	657	657

Quantité de ciment en kg par m3 de béton pour différentes technologies cf: source 1

- Diminution moyenne des émissions imputées par l'armature de 80 %.



Cf : source 1

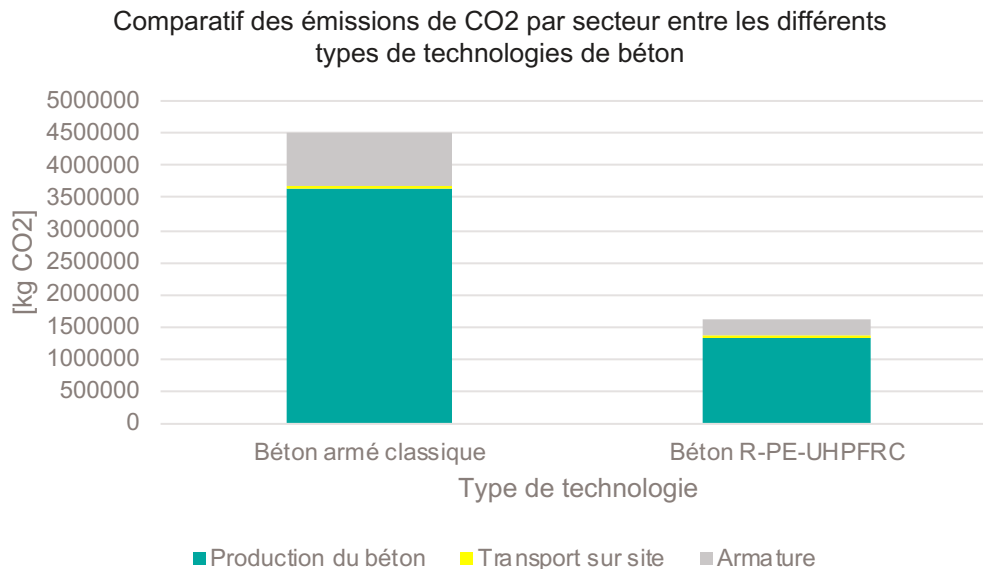


Cf : source 1



# Implémentation de nouvelles technologies

Comparaison avec l'utilisation de béton armé classique sur le tronçon :



# Implémentation de nouvelles technologies

## Autre points forts :

- La durabilité de l'ouvrage sur 100 ans est largement augmentée.

→ baisse de 50 % de la rareté «*scarcity*» écologique basée sur différents éco-facteurs)

→ émissions dues aux maintenances futures fortement diminuées.

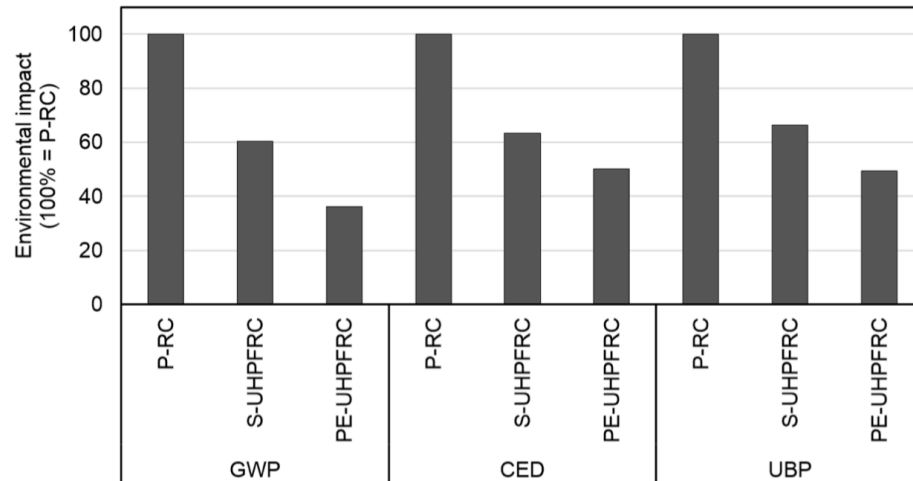


Figure 8. Normalized environmental impact over the life cycle of 100 years.

Résultat global d'une étude de cycle de vie sur 100 ans pour la rénovation du pont de Guillermaux à Payerne en utilisant différentes technologies pour la construction. Cf : source 2



# Redevance RPLP pour poids lourds bonus

Redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP)

## Redevance fédérale

Année 2030

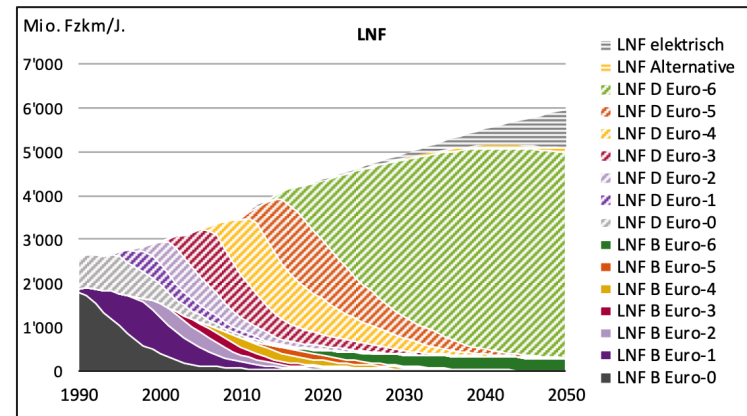
Tronçon de 1km

2 essieux → 18t – part de 33%

3 essieux → 26t – part de 33%

4 essieux → 32t – part de 33%

## Nombre total de poids lourds : 3'677'650



## Total

$$\frac{1}{3} * 3'677'650 * 2.28 * (18 + 26 + 32) = 212'421'064 \text{ ct}$$

→ 2'124'210,64 Mio CHF

Catégories de redevances	Catégories Euro	Tarif
I	Euro 3, 2, 1 et 0	3.10 ct./tkm
II	Euro 4 et 5 (EEV)	2.69 ct./tkm
III	Euro 6	2.28 ct./tkm

- Valeur d'émissions finale du tronçon : 12'687'119 kg CO2 émis
- Le trafic représente 1,8x plus d'émissions que la construction la première année
- Projet du goulet d'étranglement justifié
- La part des véhicules électriques est primordiale
- Le transport du béton a une part très variable
- 2% des émissions globales de la construction pour la mise en œuvre (coffrage, mis en place)
- Les nouvelles technologies utilise 2,7x moins de béton
- Les nouvelles technologies diminuent de 80% l'impact de l'armature

# Limites du projet

- Beaucoup d'approximations pour les quantités de béton et le kilométrage (seulement les plans de mise à l'enquête publique)
- Démarrages à froid et à chaud dans les facteurs d'émissions [g/km]
- Manque de données pour l'armature en CO<sub>2</sub>-équivalent
- Manque de données pour la mise en œuvre
- Coronavirus → visite de la cimenterie à Eclepens impossible, internet comme seule source de documentation
- Étude d'impact environnemental pour la suite du projet





- À la section pour l'organisation du Design Project
- À M. Brühwiler et à M. Fawer pour toutes leurs connaissances, données fournies, aides précieuses ainsi que pour leurs disponibilités malgré les circonstances
- Alliance entre génie civile et science de l'environnement très enrichissante

Des questions ?

**Remerciements**