



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral des routes OFROU
Division Infrastructure routière Ouest

Ouvrages d'art et décarbonation enjeux et possibilités d'action

Journée technique OFROU 2025

Dr Ana Spasojevic, FU I Ouest



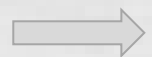
Ouvrages d'art et décarbonation enjeux et possibilités d'action

1. Contexte et définitions
2. Construire un ouvrage : qu'est-ce que cela signifie ?
3. Possibilités d'action
4. Possibilités d'action : études de cas
5. Conclusions et perspectives

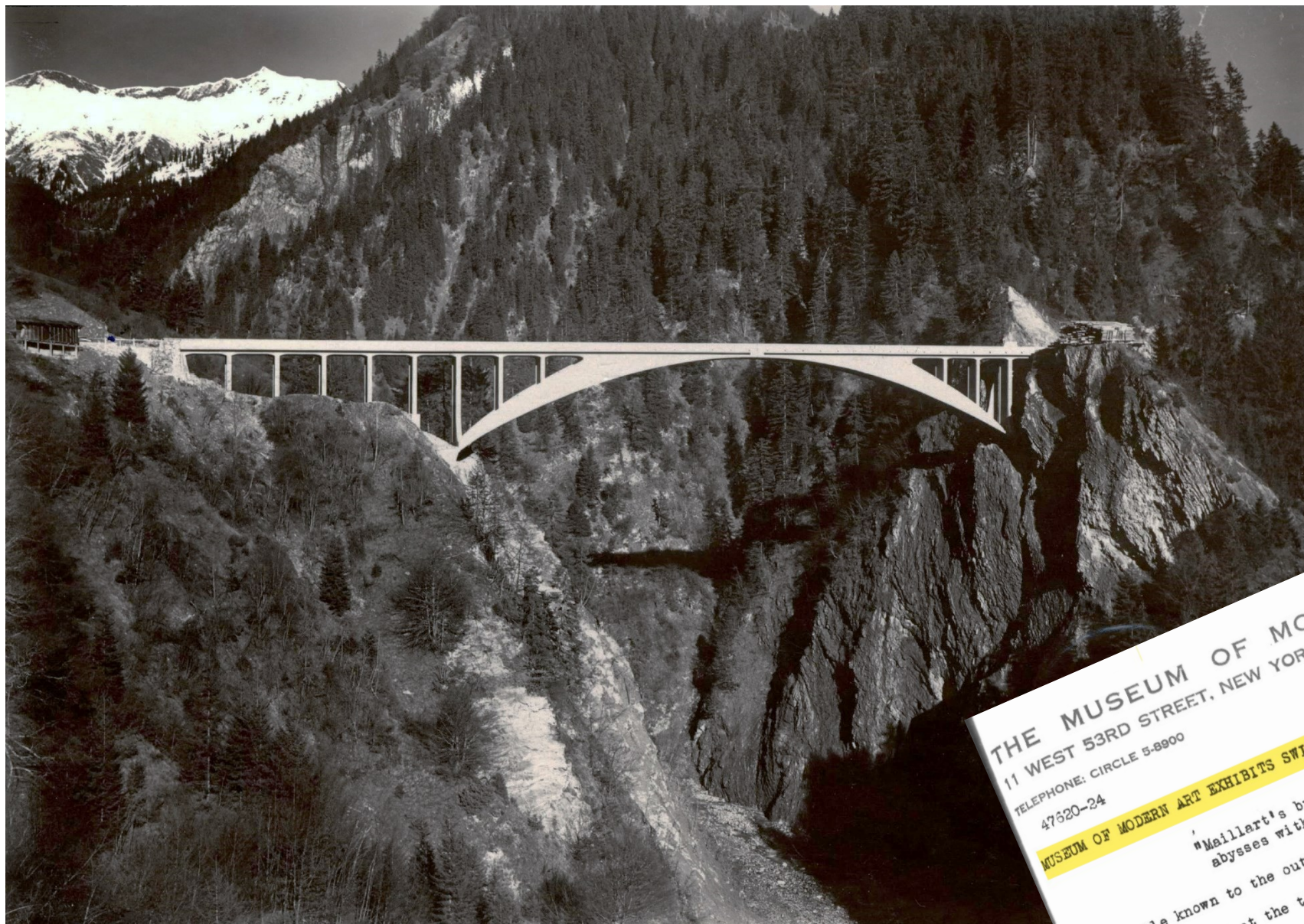


1. Contexte et définitions

- Ouvrages d'art / Kunstbauten / Manuffati
lat. ars, artis : savoir faire
- Décarbonation : Réduction des émissions de gaz à effet de serre (principalement CO₂) sur l'ensemble du cycle de vie des ouvrages (ref. Loi sur le climat et l'innovation, Pacte vert pour l'Europe,...)



Décarbonation : un nouveau critère de bonne conception d'ouvrages ?



En 1947, le Museum of Modern Art de New York consacre une rétrospective à l'ing. Robert Maillart

«Swiss Bridges Remarkable For Beauty and Engineering»

49

THE MUSEUM OF MODERN ART
11 WEST 53RD STREET, NEW YORK 19, N.Y.
TELEPHONE: CIRCLE 5-8900
47520-24

FOR IMMEDIATE RELEASE

MUSEUM OF MODERN ART EXHIBITS SWISS BRIDGES REMARKABLE FOR BEAUTY AND ENGINEERING

"Maillart's bridges seem to jump over rivers and abysses with the elegance and swiftness of greyhounds."

Little known to the outside world and only beginning to be appreciated by his fellow countrymen at the time of his death in 1940, Robert Maillart, Swiss engineer, will be honored at the Museum of Modern Art by the first exhibition of his work to be held. Opening June 25 this presentation--through enlarged photographs



2. Construire un ouvrage: qu'est-ce que cela signifie ?

Extraction

Production
matériaux

Construction
ouvrage

Utilisation

Déconstruction
ou démolition

Décharge

Besoin d'utilisation

Elaboration de projet:
conception, analyse, dimensionnement

Exécution

Utilisation

Maintenance

Déconstruction / démolition

Sia
SIA 260:2013 Bâtiment, génie civil

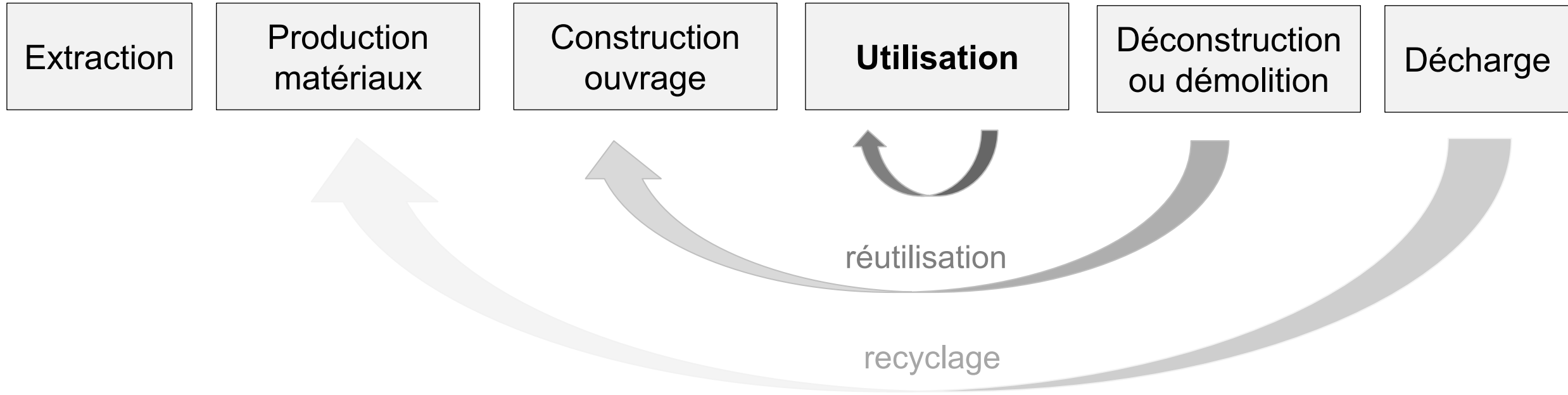


2. Construire un ouvrage: qu'est-ce que cela signifie ?





3. Construire un ouvrage: possibilités d'action?



Utilisation de 30% de granulats recyclés réduirai d'environ 2 à 8 kg CO₂ /m³, donc 1 à 3 % sur A1-A3, 0.5 à 1% sur l'ensemble



3. Construire un ouvrage: possibilités d'action?

Extraction

Production
matériaux

Construction
ouvrage

Utilisation

Déconstruction
ou démolition

Décharge

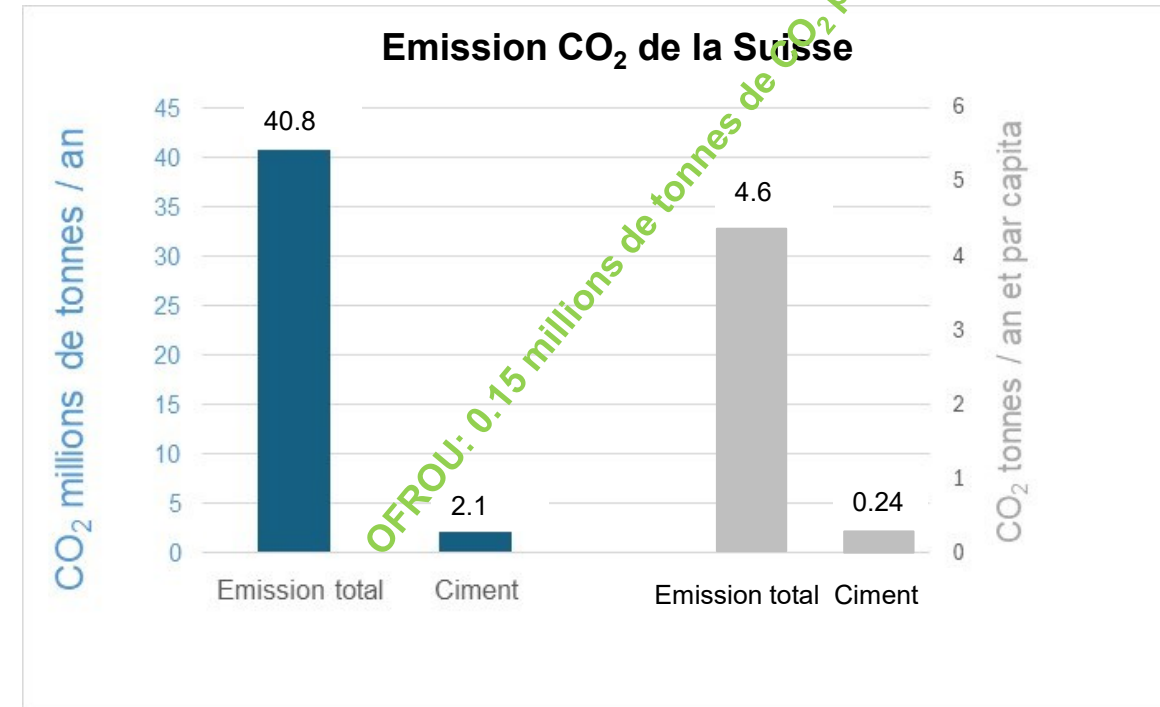
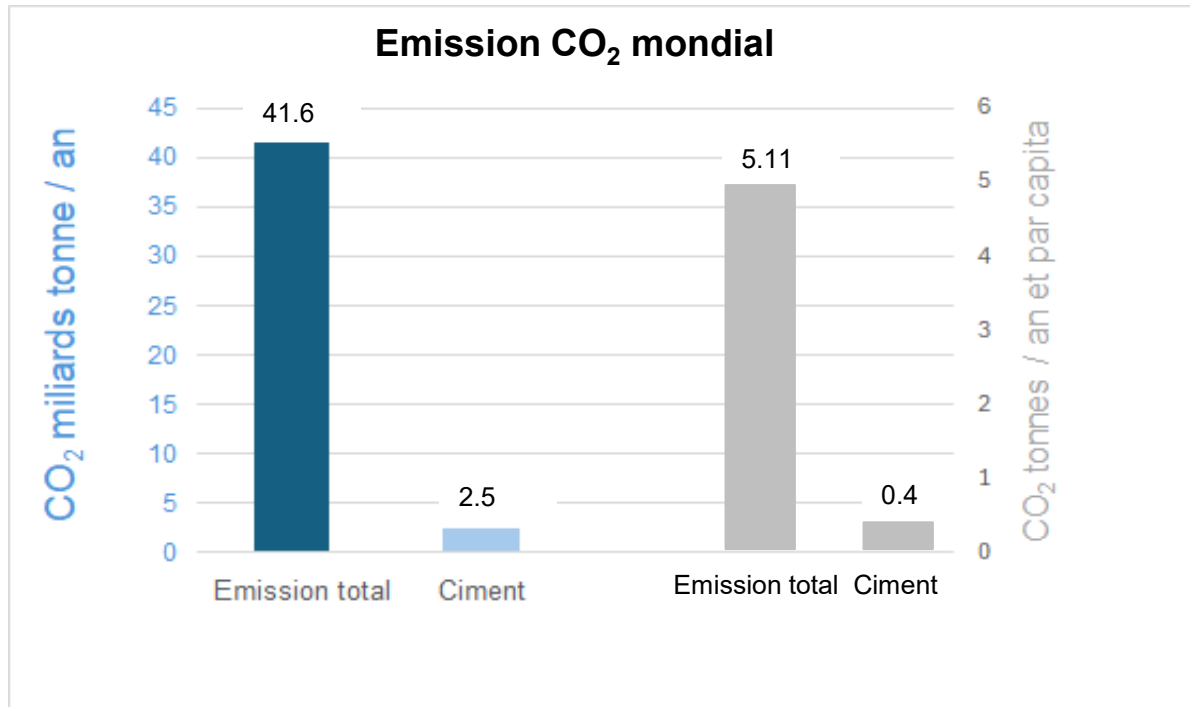
La phase A1 représente env. 65% d'impact total. Une réduction de 20 % de la quantité de matière première utilisée dans une construction entraîne donc une diminution d'environ 12 % de l'impact global.

Si l'impact lié à la production de la matière première du béton (A1) est réduit de 40 %, on obtient alors une réduction de plus de 25 % de l'impact global, tout en conservant le même volume de matériau.



3. Construire - contribution au bilan CO₂

- Statistiques



Sources: Rapport Global Carbon Project 2024 et de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), OFEV, Rapport Cemsuisse 2025, Rapport Routes nationales et environnement, 2023



3. Possibilités d'action

- Construire et entretenir durablement; éviter la surconsommation des ressources à forte empreinte carbone
- Les exigences de sécurité, de robustesse, mais aussi, paradoxalement, la recherche d'une construction « économique », ont-elles conduit à développer des concepts trop consommateurs de matériaux à base de ciment et d'acier?



Grand pont suspendu de Fribourg, 1834 par Joseph Chaley



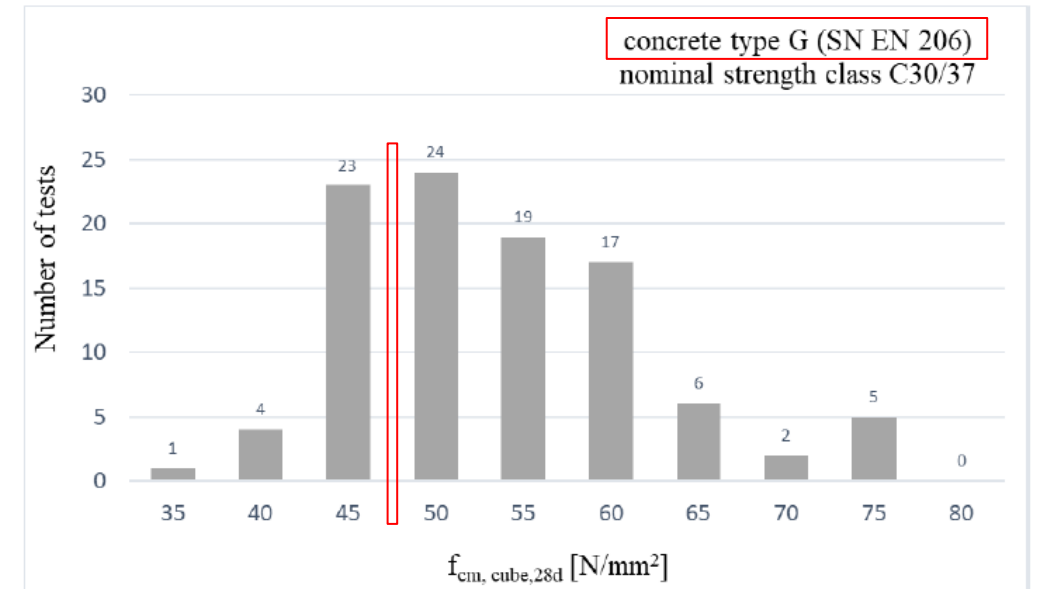
Pont de Zähringen, 1924 par Jules Jäger

CONCEPTION
hypotheses sur les actions
choix de matériaux...



4. Possibilités d'action: études de cas

Hypothèse de départ: repenser l'utilisation et la composition des bétons



Répartition des valeurs de résistance à la compression à 28 jours pour les bétons de type G (moyenne de 3 cubes par lot) provenant de quatre grands producteurs de Suisse romande



4. Possibilités d'action: études de cas

- Une formulation de béton selon les performances, mais sans contraintes concernant la composition?

Tableau NA. 6 Exigences à la composition et aux essais des sortes de béton fréquemment utilisées

Sorte Exigences	Sorte 0 (« zéro »)	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Classe d'exposition (combinaison des classes indiquées)	X0(CH)	XC2(CH)	XC3(CH)	XC4(CH), XF1(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF4(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH)
Rapport e/c resp. rapport e/c_{eq} maximal	–	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
Dosage min. en ciment c_{min} , en kg/m^3 ^{1),2)}	–	280	280	300	300	300	320	320
Essais de durabilité ³⁾	néant	néant	PE ⁴⁾ , RCarb	RCarb	RCarb, GDS	RCarb, GDS	RCI, GDS	RCI, GDS
Autres exigences	SN EN 12620+A1:2008 contient les exigences relatives aux granulats							
Ciments admis (tableau NA.1)	En cas de combinaison des classes d'exposition, le choix du ciment se fait en fonction de l'exigence la plus sévère							

 Schweizer Norm
Norme Suisse
Norma Svizzera
EN 206:2013+A2:2021



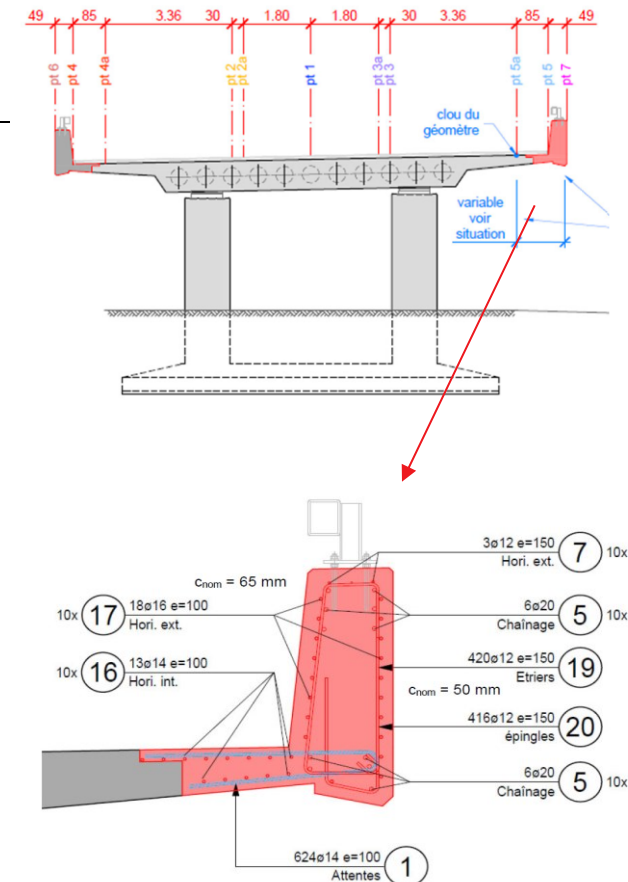
4. Possibilités d'action: études de cas

- Première application pilote des nouvelles formulations du béton :
Pont de la gare de Tüscherz

Hardened concrete property	Concrete type G	Concrete type G-ND
General	According to SN EN 206 [3]	According to draft Annex ND
Strength class	C30/37	C20/25
Maximum 28d cube strength	No requirement	$\leq 38 \text{ N/mm}^2$
Exposure classes (CH)	XC4, XD3, XF4	XC4, XD3, XF4

- Mélange retenu:

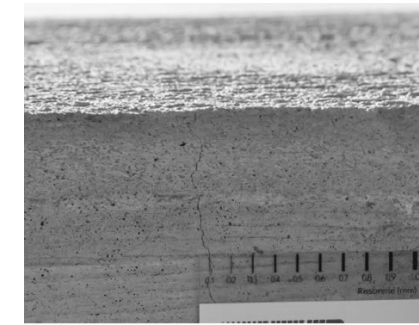
Constituent	Content
Cement CEM III/B	250 kg/m³
Mineral additions Type I (limestone powder, $d_{50} = 5.5\mu\text{m}$)	25 kg/m³
w/B ratio (water/binder-ratio)	0.60
Paste volume	300 l/m ³
Superplasticiser	0.20% (not fixed)
Air entraining agent	0.40%
Retarder (only for one out of three concreting days)	0.30%



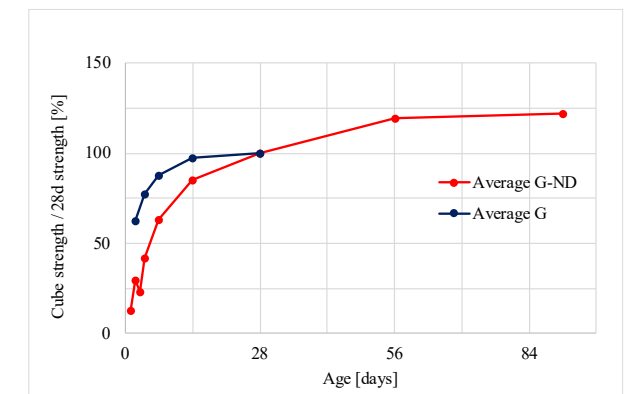


4. Possibilités d'action: études de cas

- Première application pilote des nouvelles formulations du béton :
Pont de la gare de Tüscherz



Parameter	Results of concreting		
	30.09.2021, 07:10	30.09.2021, 09:59	15.10.2021, 10:05
28d cube strength, SN EN 12390-3	28.6 N/mm ²	31.5 N/mm ²	34.9 N/mm ²
Carbonation resistance Annex I [6]	✓ 9.6 mm/a ^{1/2}	7.8 mm/a ^{1/2}	9.5 mm/a ^{1/2}
Chloride resistance Annex B-[6]	✓ 5.7 · 10 ⁻¹² m ² /s		3.6 · 10 ⁻¹² m ² /s
Freeze thaw resistance (mass loss) Annex C [6]	high (290 g/m ²)		high (180 g/m ²)
Shrinkage, SN EN 12390-16	-0.370 ‰		-0.311 ‰



Béton G-ND: $f_{cm,cube\ 28d} = 30.8\ \text{N/mm}^2$

Béton sorte G: $f_{cm,cube\ 28d} = 58.9\ \text{N/mm}^2$



4. Possibilités d'action: études de cas

- Publication de l'annexe ND à la SN EN 206 en 2025

Annexe nationale ND (normative)

Réglementation relative à l'application du concept de performance équivalente

ND.1 But

ND.1.1 Le but de la présente annexe nationale ND traitant les **méthodes performancielle**s pour le béton est d'autoriser davantage d'innovation en matière de durabilité et de performance du béton.

Par exemple, il est possible d'utiliser des matériaux issus de l'économie circulaire et des composants à émissions CO₂ optimisées.

...

ND.1.5 Un béton fabriqué conformément à l'annexe nationale ND est un béton à propriétés spécifiées.



4. Possibilités d'action: études de cas

- Murs de soutènement à San Bernardino, N13
- 160 m long, env. 7 m haut, 1584 m³ de béton coulés en 53 étapes

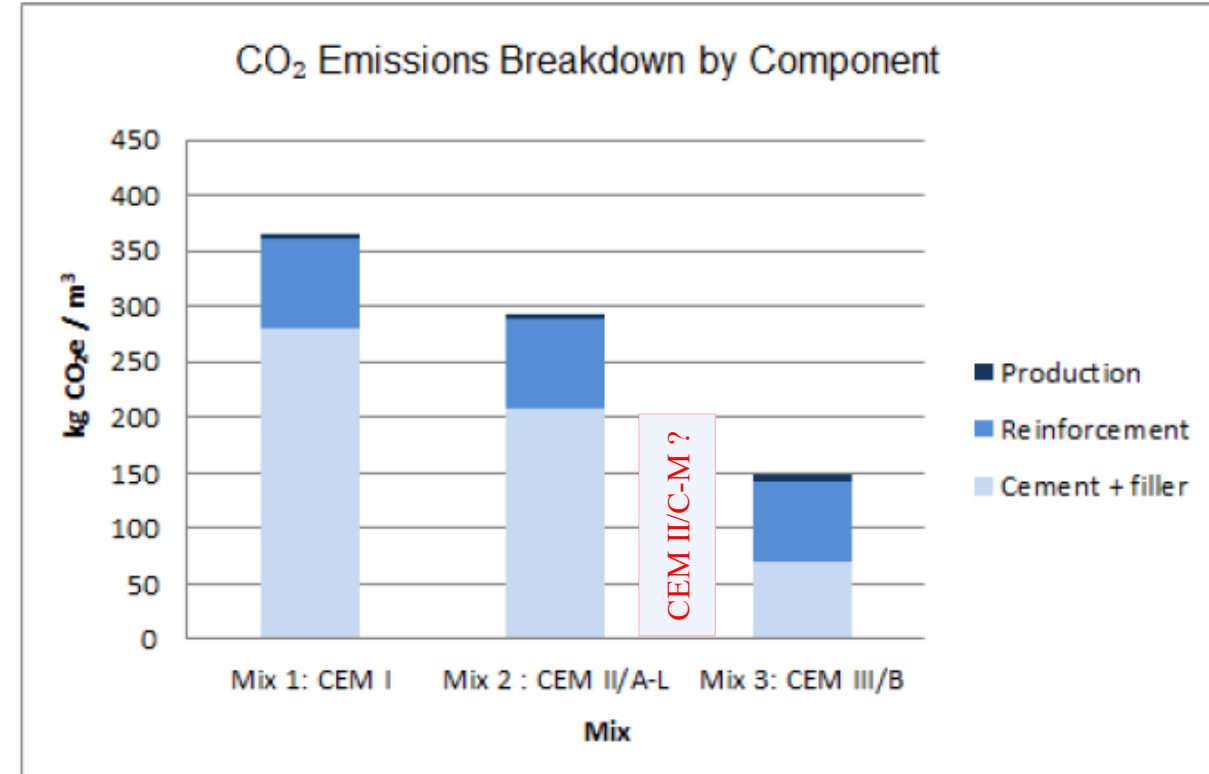
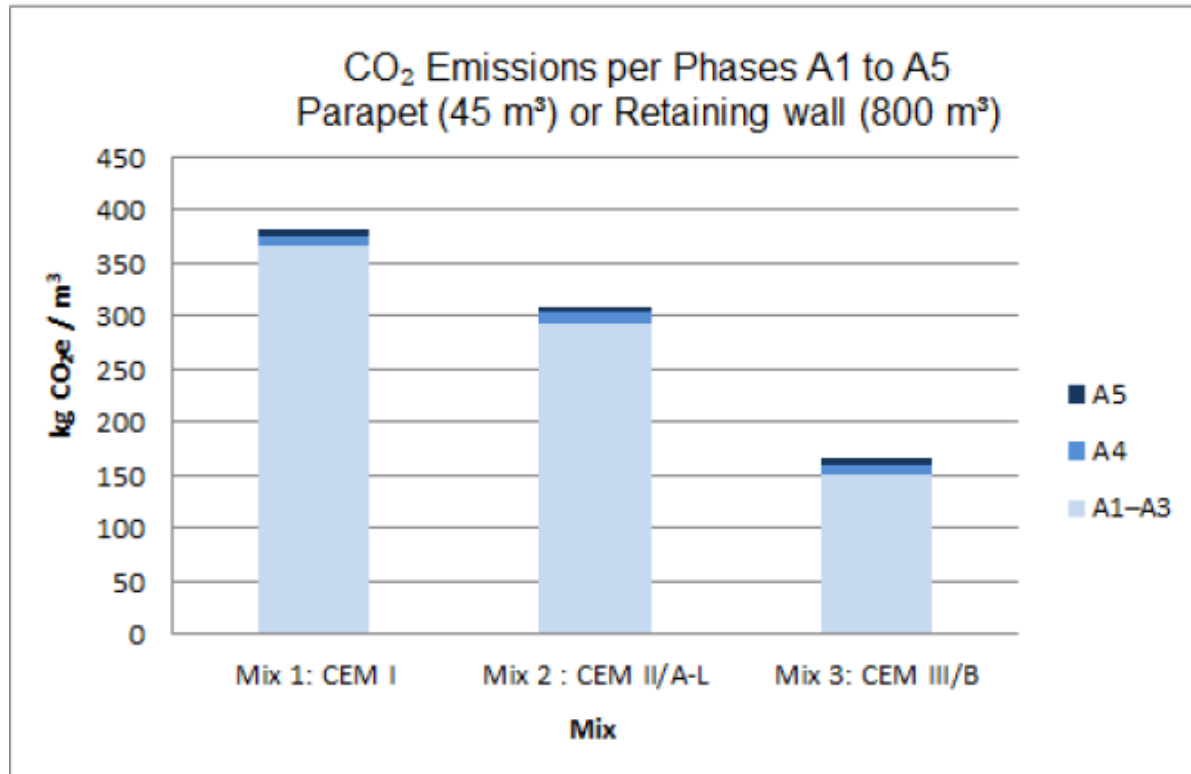
- Mélange retenu:

Constituent	Content
Aggregates	1775 kg/ m ³
Cement CEM III/B	250 kg/m ³
Mineral additions (limestone powder)	100 kg/m ³
w/B ratio (water/binder-ratio)	0.55
Superplasticiser	0.80%
Air entraining agent	0.60%



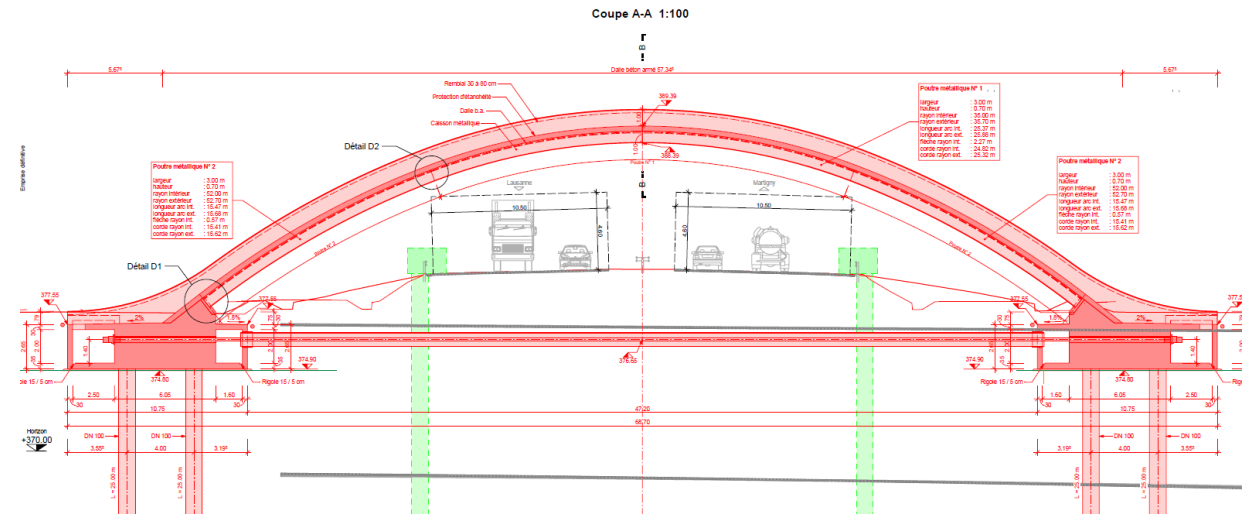


4. Possibilités d'action: études de cas





1500 m3 de béton pour les culés – blocs d'ancrage



Coupe de la structure



5. Conclusion et perspectives

- La décarbonation des infrastructures, et ainsi des ouvrages d'art, doit être perçue comme une opportunité de repenser nos modes de construire et d'entretenir.
- Les analyses montrent que la phase de production des matériaux, en particulier du béton armé, concentre la majorité des émissions de gaz à effet de serre, identifiant ainsi les principaux leviers d'action.
- Les applications pilotes démontrent que le développement de formulations de béton basées sur les performances présente un fort potentiel pour une construction plus durable.
- L'introduction de l'annexe ND à la norme SN EN 206 en 2025 favorisera l'innovation et la durabilité dans la production de béton; D'autres évolutions des normes restent toutefois nécessaire.