



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

NOUVEAU BÉTON POUR INFRASTRUCTURE À EMISSION DE CO₂ RÉDUITE

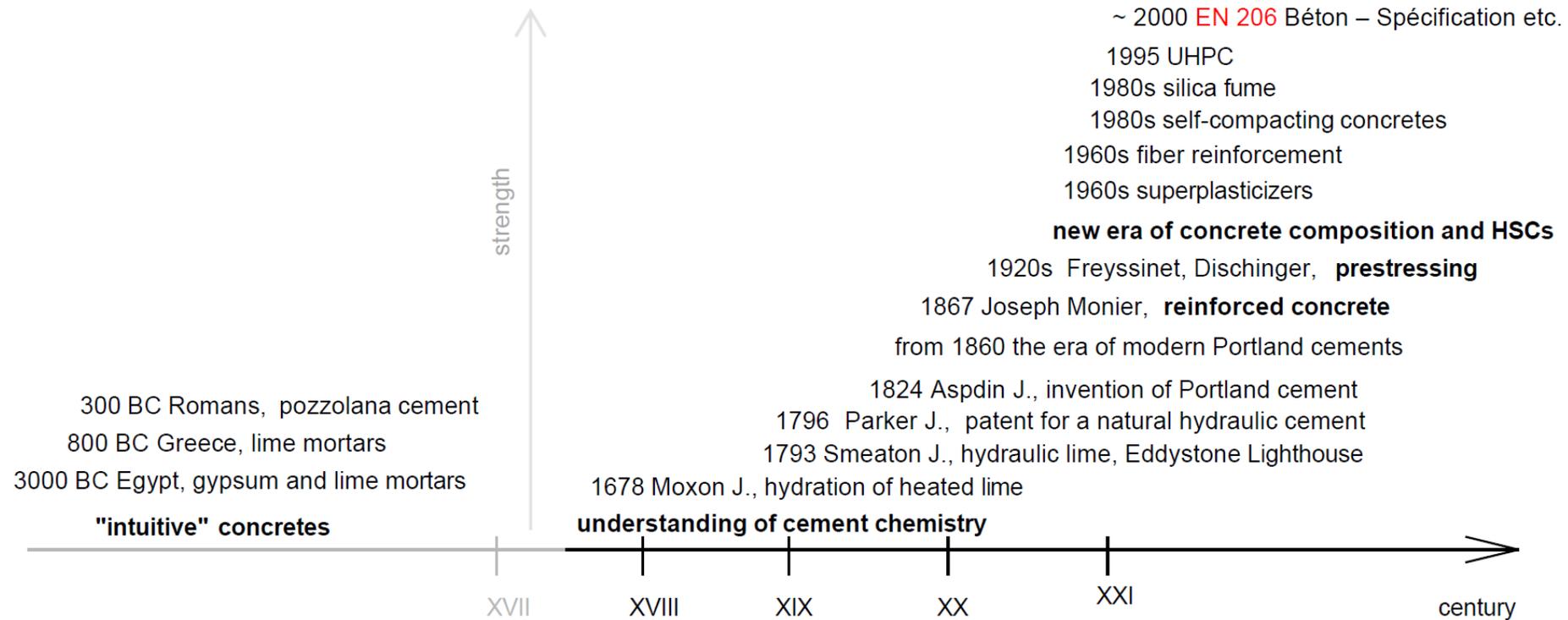
Journée technique OFROU, 22.11.2023

Dr. Ana Spasojevic



Introduction et motivation: contexte

- Un aperçu sur l'évolution du béton et de la demande de construction





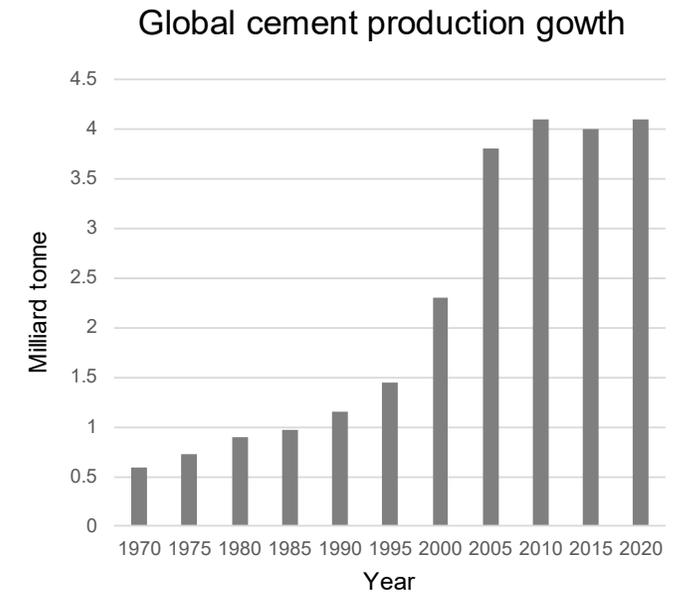
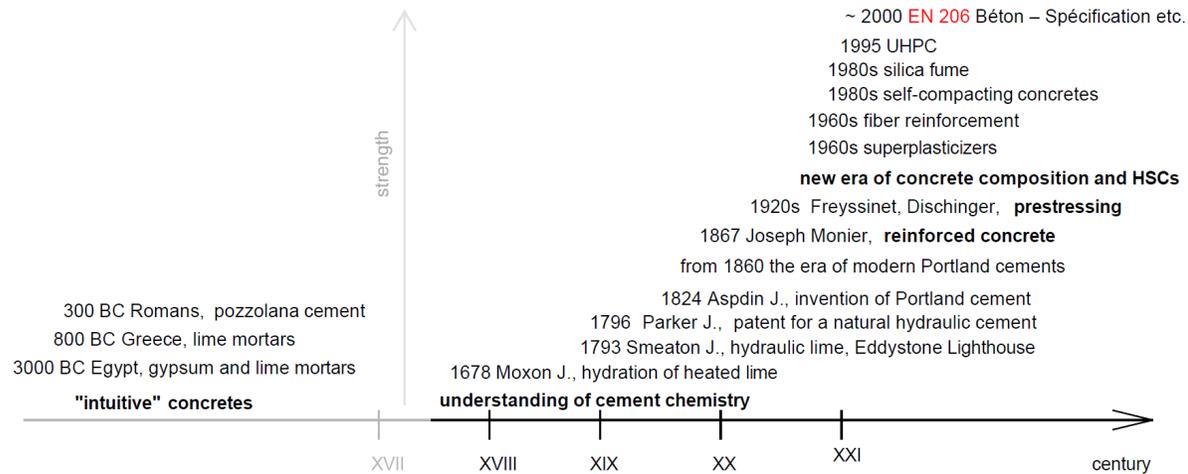
Introduction et motivation: contexte

- Un aperçu sur l'évolution du béton et de la demande de construction

Durabilité: enjeux scientifiques et sociaux



Repenser la composition et l'utilisation du béton

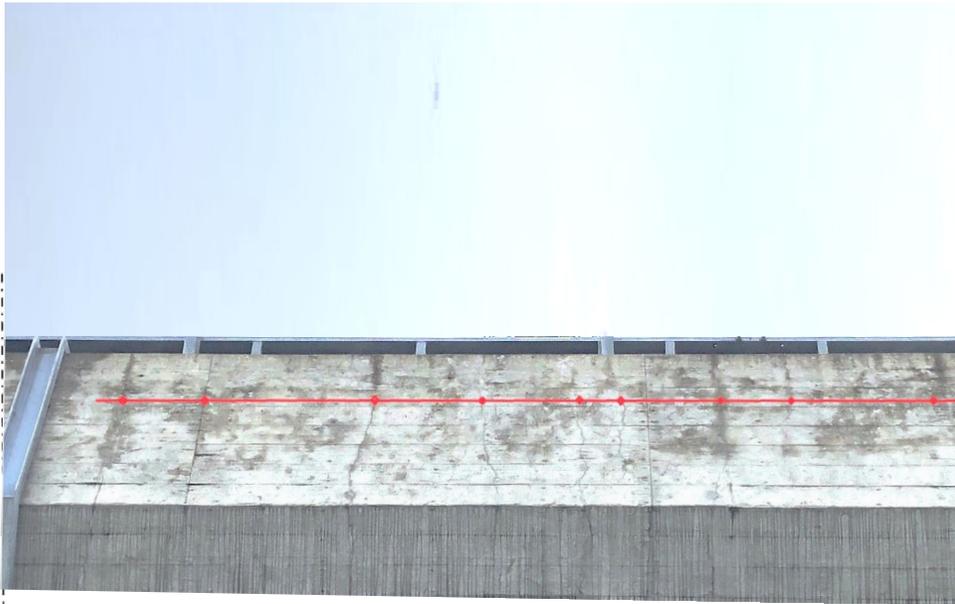


Statistiques de production du ciment selon Cembureau, 1998, et Gerside 2023



Introduction et motivation: problématique relevée

- Fissuration des structures longues monolithiques en béton armé : durabilité à l'échelle de structure?



Parapet du Hardbrücke, Zürich, CH



Mur de soutènement, N05 La Neuveville – Bienne, CH



Caractéristiques des bétons selon la SN EN 206

- Tableau NA.5 Exigences de base aux sortes de béton fréquemment utilisées

Sorte	Sorte 0 (« zéro »)	Sorte A 1)	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1) 2),3)	Sorte E (T2) 3)	Sorte F (T3) 4)	Sorte G (T4) 4)
Exigences de base								
Conformité avec cette norme	Béton selon SN EN 206	Béton selon SN EN 206	Béton selon SN EN 206	Béton selon SN EN 206				
Classe de résistance à la compression	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Classe(s) 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)
Dimension maximale du granulat	D_{max} 32	D_{max} 32	D_{max} 32	D_{max} 32				
Classe de teneur en chlorures 5)	CI 0,10	CI 0,10	CI 0,10	CI 0,10				
Classe de consistance 6)	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3



EN 206:2013+A2:2021



Caractéristiques des bétons selon la SN EN 206: résistances *in situ*

- Distribution de résistances moyennes à la compression (moyennes sur 3 sur cubes, pour environ 10 sites de construction et provenant de 4 centrales de production)

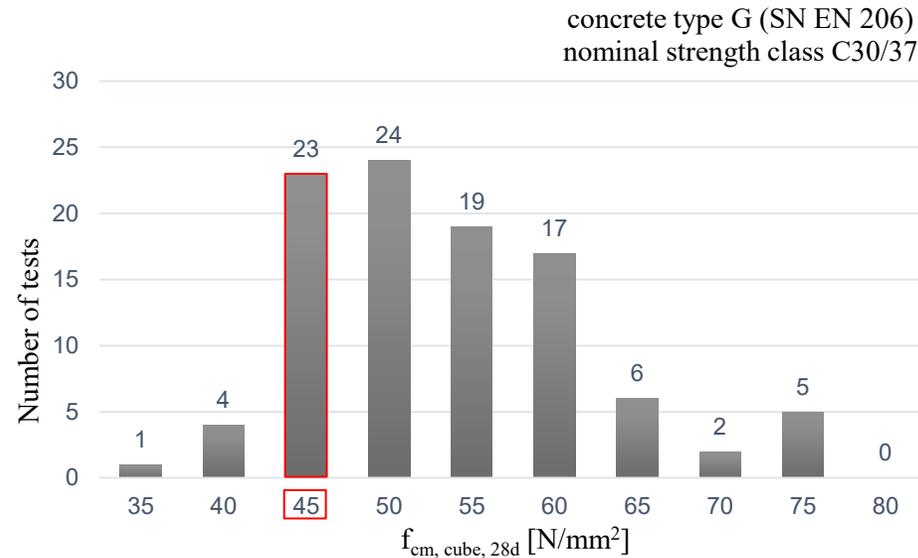


Tableau NA. 6 Exigences à la composition et aux essais des sortes de béton fréquemment utilisées

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							



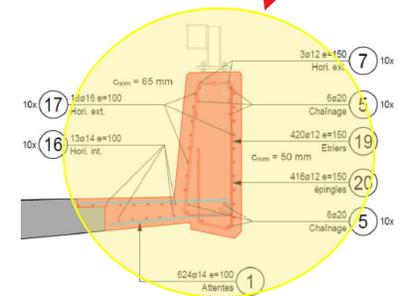
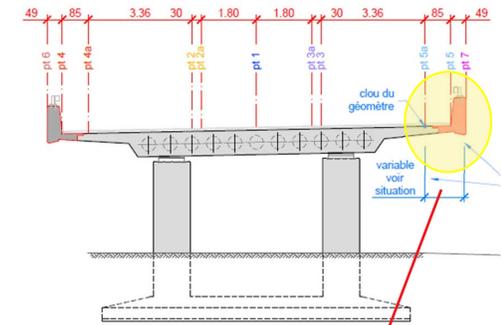
Identification des objectifs globaux et spécifiques

- Expérimenter des méthodes alternatives pour la composition du béton à propriétés spécifiées ; Tester l'applicabilité in situ, à l'échelle de structure réelle.
- Produire et mettre en œuvre un béton de sorte G, avec une limitation de la résistance à la compression, et sans prescription du dosage en ciment min.

Hardened concrete property	Concrete type G	Concrete type G-ND
General	According to SN EN 206 [1]	According to Annex ND [3]
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
Maximum aggregate size	32 mm	32 mm
Chloride content class	0,10	0,10

Selon SN EN 206
§ 5.2.5.3 et § 5.2.5.4

Hardened concrete property	Concrete type G	Concrete type G-ND
Carbonation resistance: SIA 262/1, Annex I [6]	No requirement. No test required	No requirement ¹⁾ . Testing required.
Chloride resistance: SIA 262/1, Annex B [6]	$10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Freeze thaw resistance: SIA 262/1, Annex C [6]	$m \leq 200 \text{ g/m}^2$ or $m \leq 600 \text{ g/m}^2$ and $\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$	$m \leq 200 \text{ g/m}^2$ or $m \leq 600 \text{ g/m}^2$ and $\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$
ASR resistance: MB 2042 [7]	Pass concrete performance test	Pass concrete performance test. This project: no requirement due to the use of CEM III/B

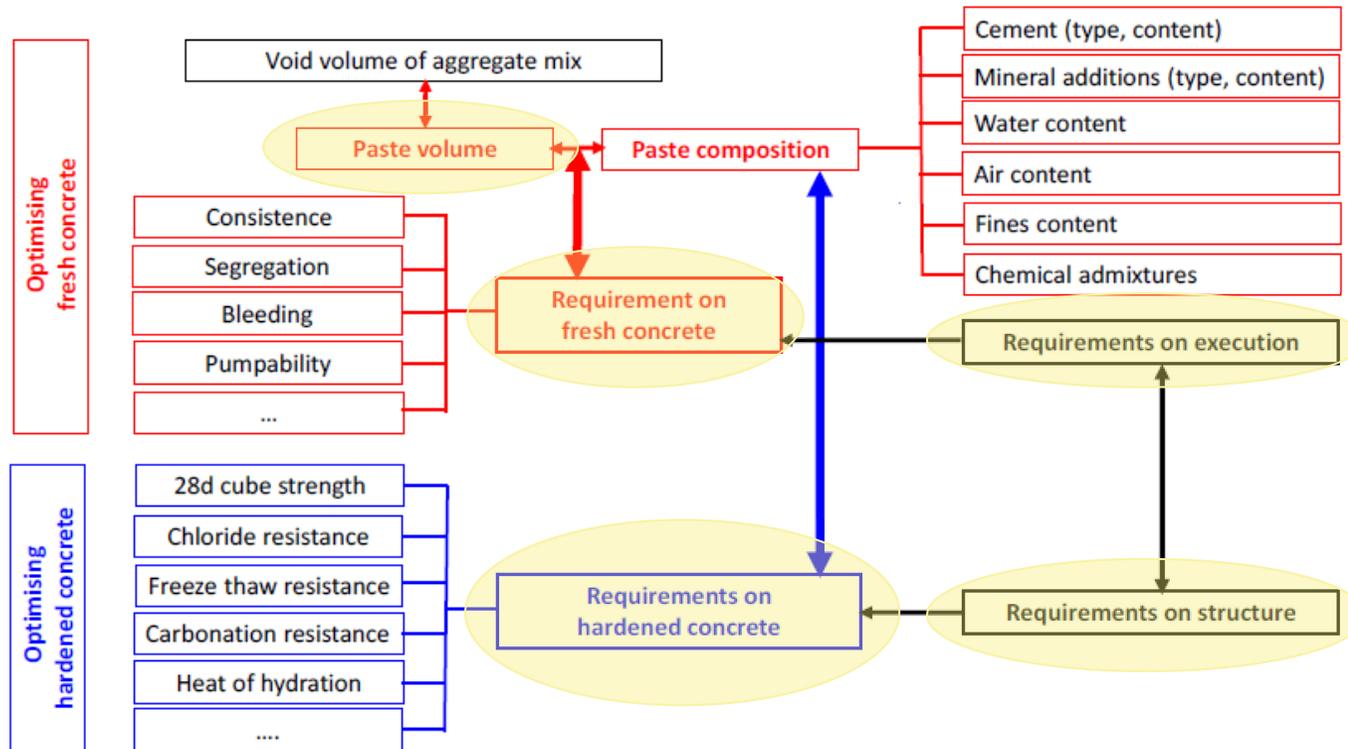


Pont de la gare de Tüscherz:
Coupe du tablier et détail du parapet



Méthodologie

- Schéma de développement d'un nouveau mélange conformément au projet de l'annexe ND de la SN EN 206, 2020



Le volume de pâte (L) est calculé en tenant compte de la densité de ses composants :

$$L = \frac{z}{\rho_z} + \frac{ZS}{\rho_{ZS}} + \frac{F\ddot{U}}{\rho_{F\ddot{U}}} + a \frac{FG}{\rho_{FG}} + \frac{FM}{\rho_{FM}} + \frac{w}{\rho_w} + b \cdot \frac{1000 \cdot LU}{100}; \text{ l/m}^3$$

Un exemple de la nouvelle composition:

Constituent	Content
Cement CEM III/B	250 kg/m ³
Mineral additions Type I (limestone powder, d ₅₀ = 5.5µm)	25 kg/m ³
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%



Résultats

- Résistances du béton durci, ouvrabilité et fissuration du parapet

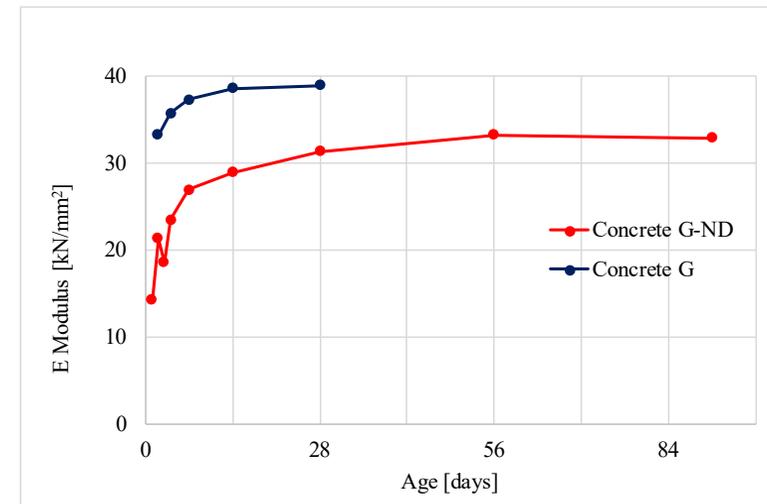
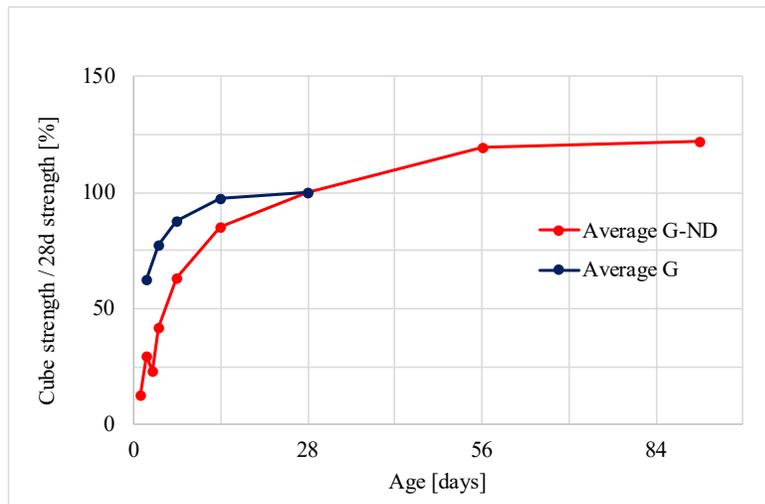
Parameter	Results of concreting		
	30.09.2021, 07:10	30.09.2021, 09:59	15.10.2021, 10:05
28d cube strength, SN EN 12390-3	28.6 N/mm ²	31.5 N/mm ²	34.9 N/mm ²
Carbonation resistance Annex I [6]	9.6 mm/a ^{1/2}	7.8 mm/a ^{1/2}	9.5 mm/a ^{1/2}
Chloride resistance Annex B-[6]	✓ 5.7 · 10 ⁻¹² m ² /s		3.6 · 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 ‰





Résultats

- Evolution de la résistance en compression et du module d'élasticité - comparaison avec le béton standard de sorte G



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

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



Résultats

- Impact CO₂ :
 - Le béton proposé (G-ND) utilise 20 % de ciment en moins que le béton traditionnel de type G : 250 kg/m³ vs 320+ kg/m³.
 - De plus, en appliquant le CEM III/B, qui contient moins de 34% de clinker, la réduction globale de la teneur en clinker par rapport au béton avec le CEM II/A-LL est d'environ 70%.



Conclusion

- La nouvelle conception de mélange a permis de concevoir un béton ayant :
 - bonne ouvrabilité
 - bonne qualité de surface
 - résistance à la compression inférieure à la valeur requise normativement
 - résistance élevée à la pénétration des chlorures et au cycles gel-dégel
 - résistance suffisante à la carbonatation
 - fissuration contrôlée
 - impact écologique nettement inférieur à celui d'un mélange de béton de type G selon la norme en vigueur.



Informations complémentaires : publications

Article:

fib International Congress 2022



A NEW CONCRETE MIX DESIGN –

PILOT APPLICATION FOR A ROAD BRIDGE PARAPET

Dr. Fritz Hunkeler¹⁾, Dr. Ana Spasojevic²⁾ and Dr. Martin Käser²⁾

¹⁾ Hunkeler Ingenieurberatung, Mörigen, Switzerland

²⁾ Specialist in bridge structures, Federal Roads Office (FEDRO), Berne, Switzerland

Documentation ASTRA:

