

Pour une utilisation plus responsable des matériaux de construction

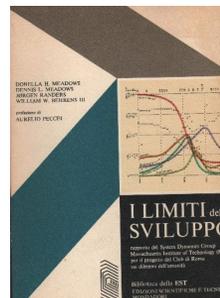
Aurelio Muttoni



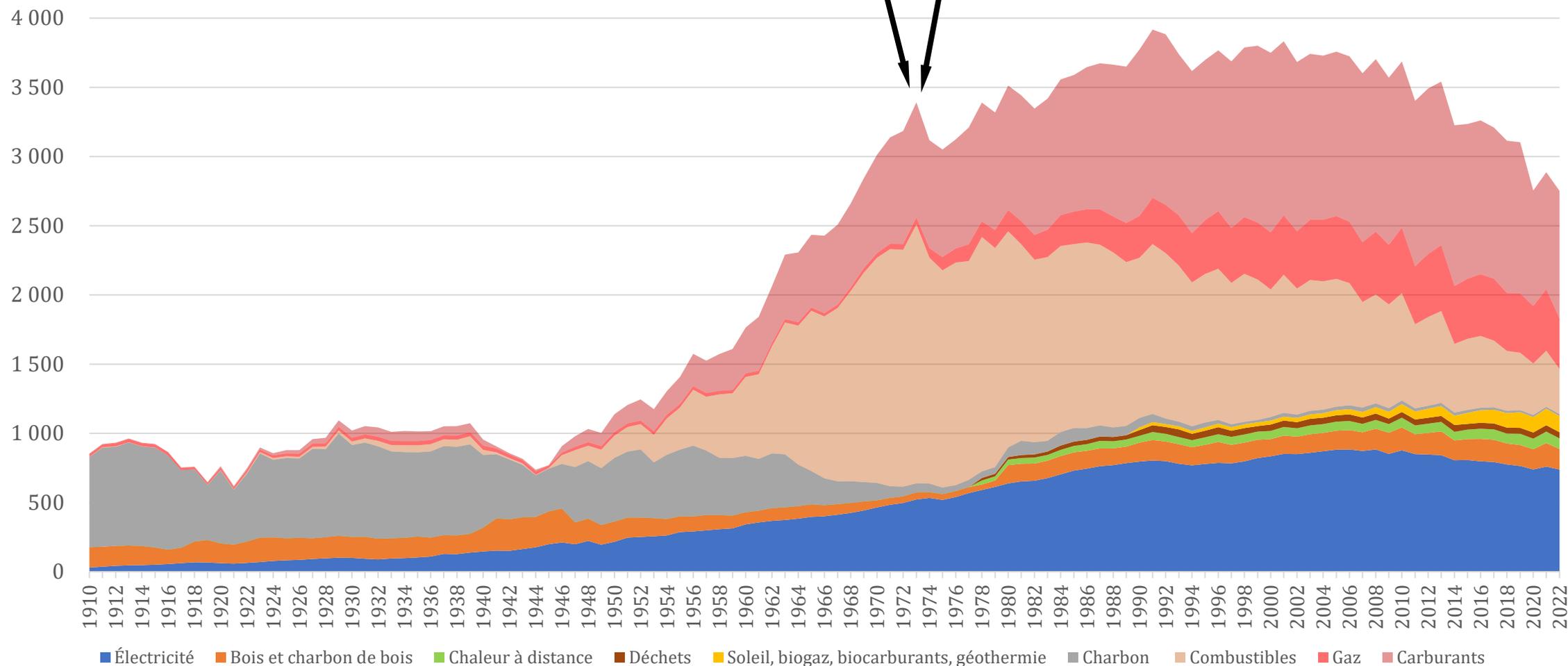
Muttoni Partners Ingénieurs Conseils SA, Ecublens VD

22.02.2024

Gaspillage de l'énergie, même combat!

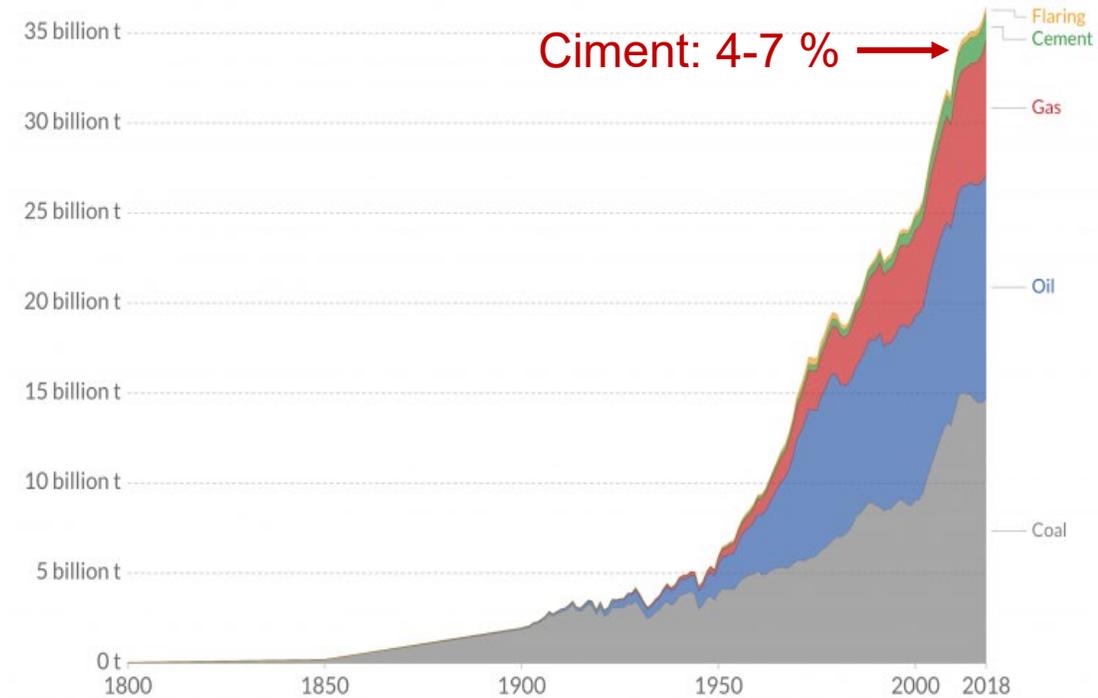
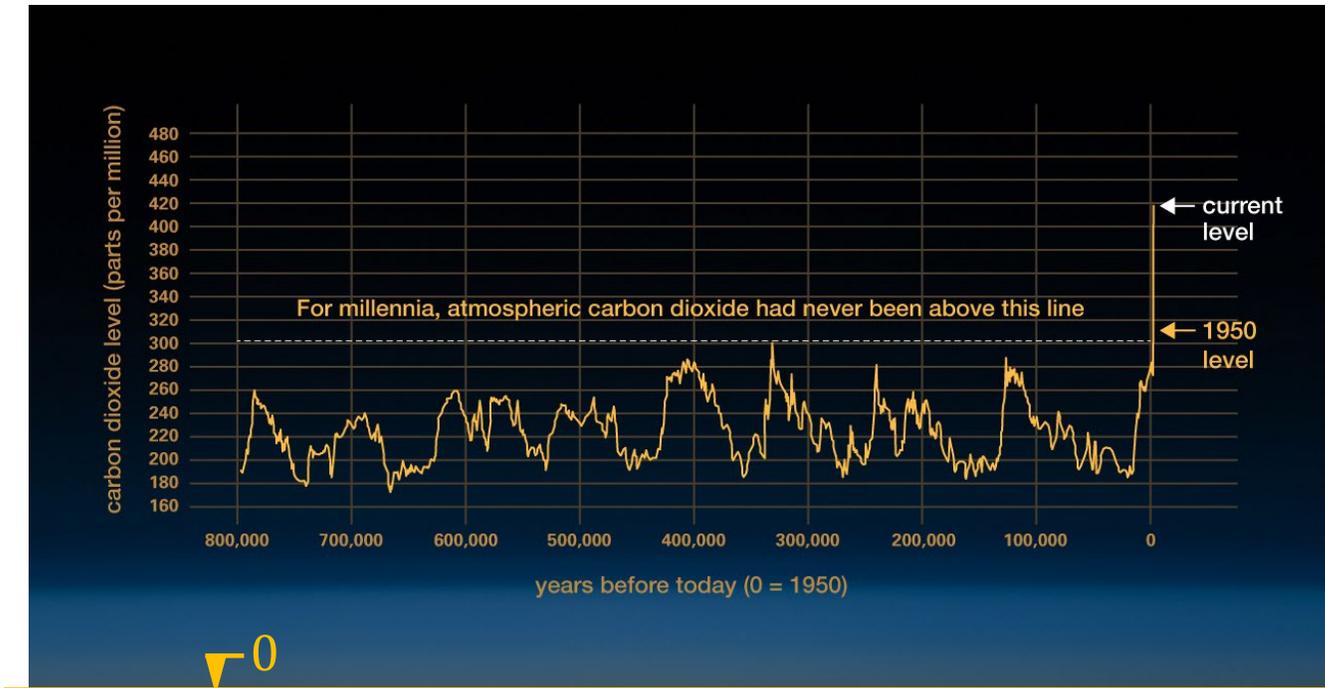


Consommation finale d'énergie en Watt / personne



Évolution du contenu de CO₂ dans l'atmosphère et de la température moyenne sur la surface de la terre

Glaciation de Riss Glaciation de Würm



Évolution du contenu de CO₂ dans l'atmosphère et de la température moyenne sur la surface de la terre

Emissions de CO₂ dans l'atmosphère

À propos du choix des matériaux



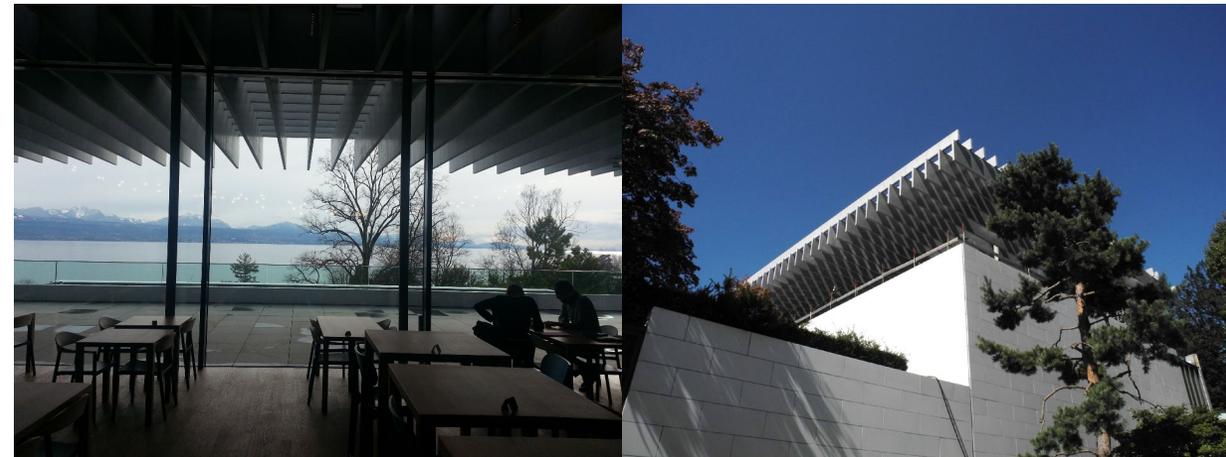
Pont sur l'Aare Arch-Grenchen, Grignoli Muttoni Partner



Cabane d'alpage à Carì d'Int, alpes tessinoises

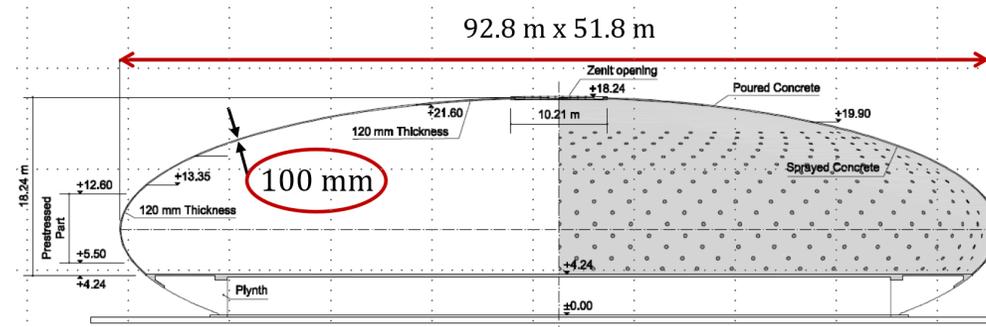


Centre commercial à Chiasso, Lurati Muttoni Partner, avec arch. E. Ostinelli



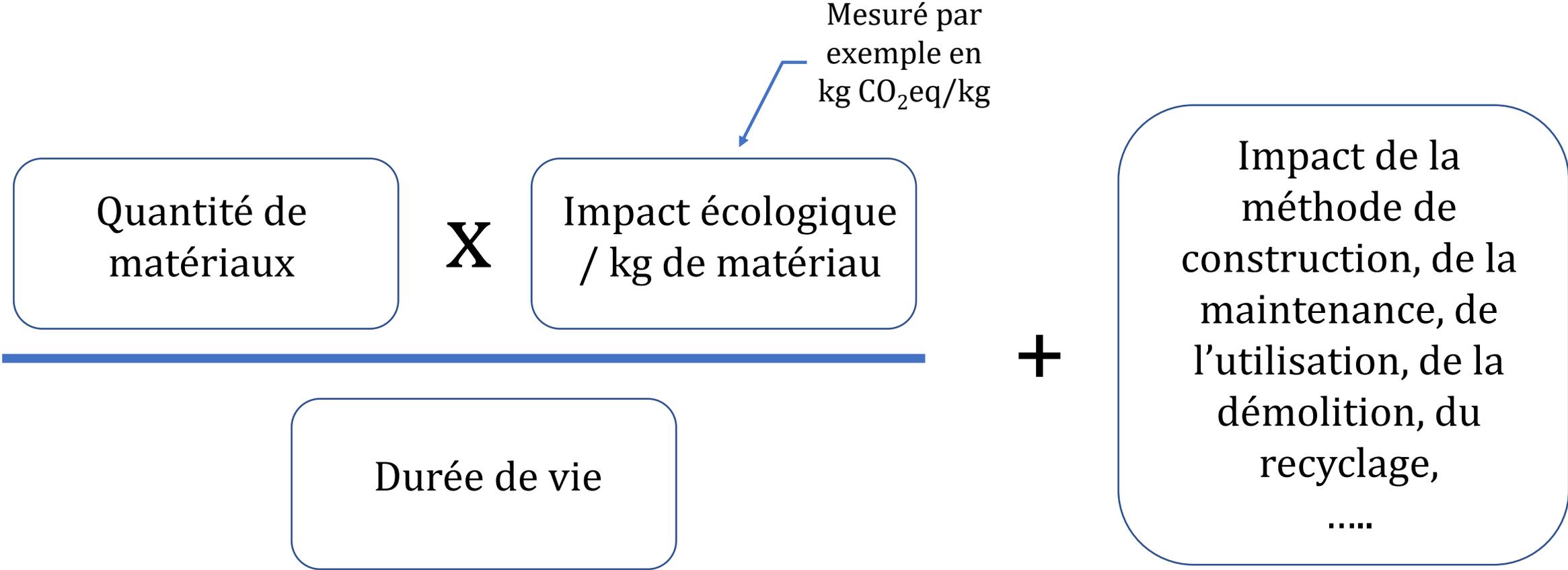
Musée Olympique à Lausanne, avec arch. Brauen+Wälchli

Le béton est-il si mauvais?

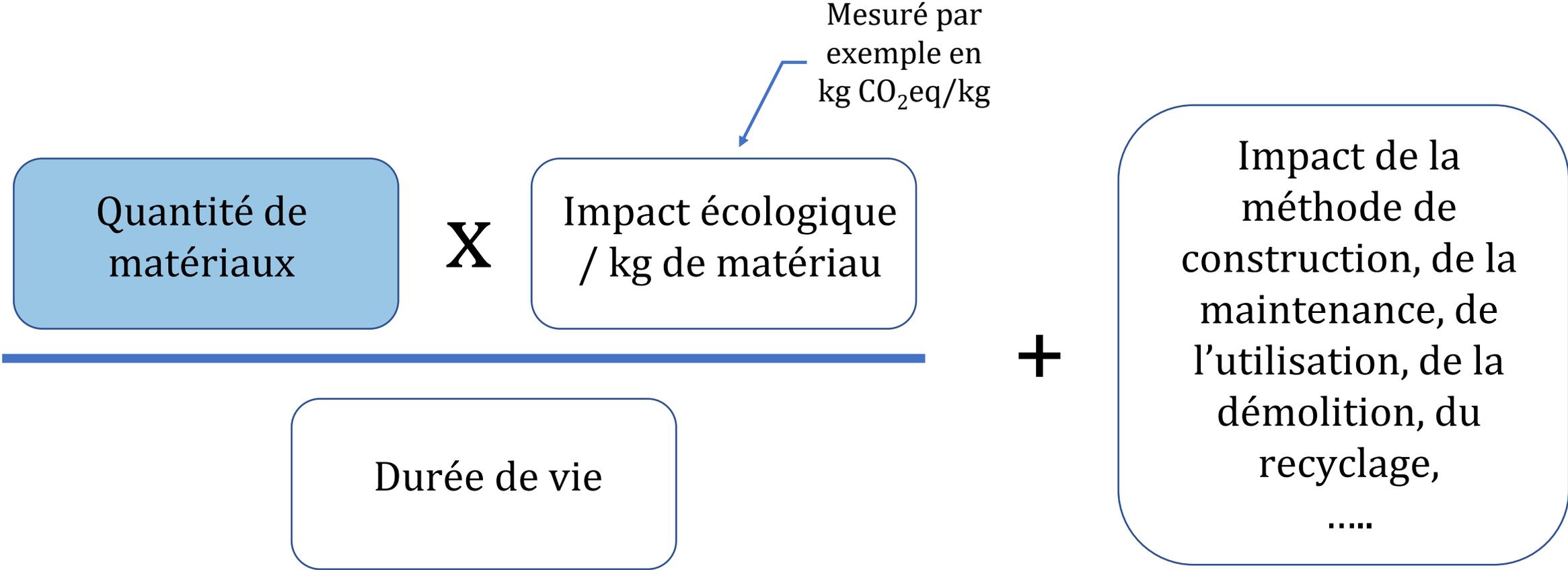


Coque en béton armé pour un centre commercial à Chiasso (TI), 2010-2011

Impact écologique des différentes solutions



Quelles solutions structurales?

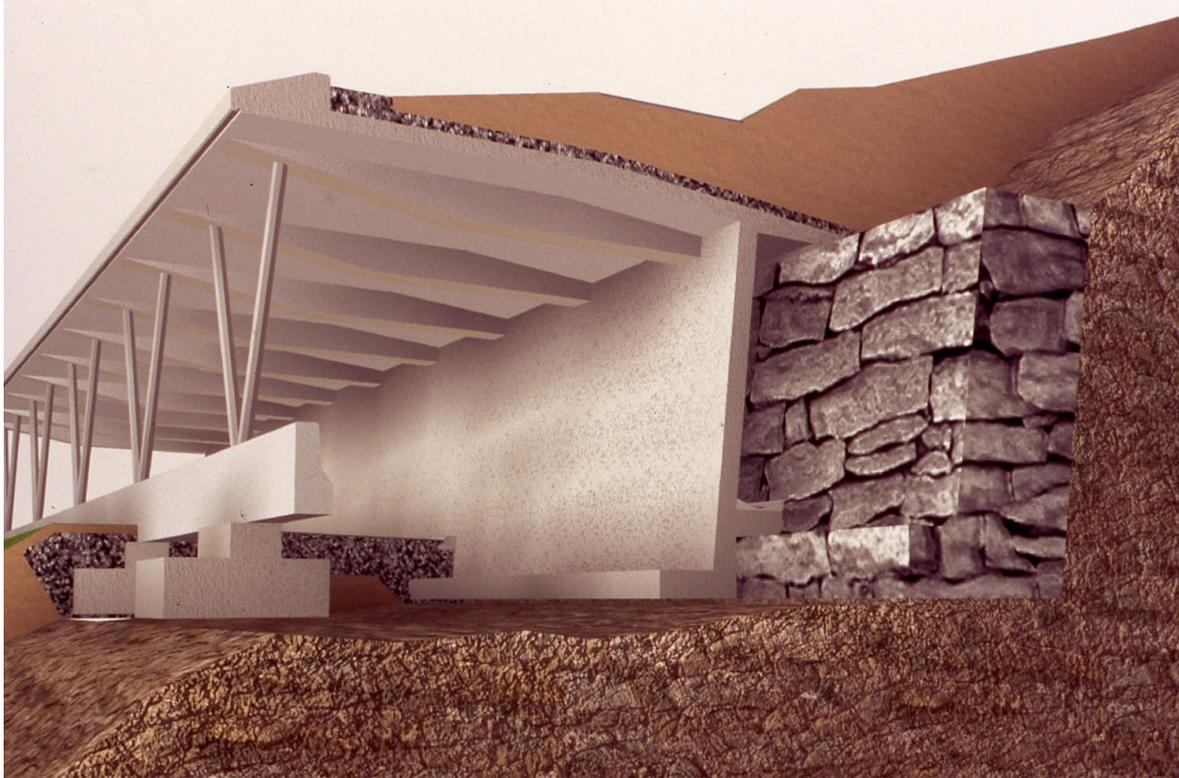


Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Galerie de protection contre les avalanches Ri di Rialp, Route du col du Lukmanier (TI), Concours-soumission, 1999-2001

Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



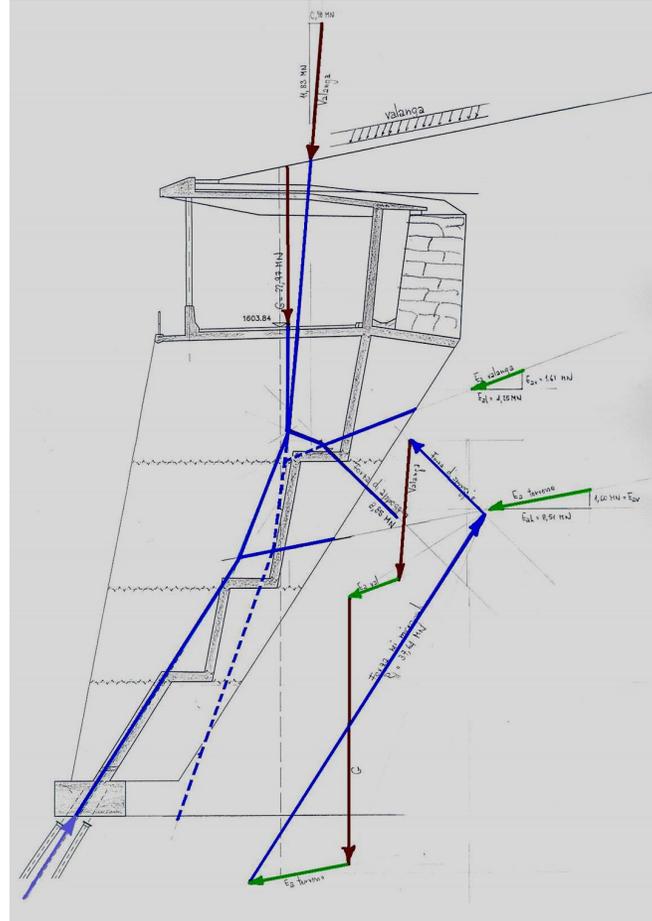
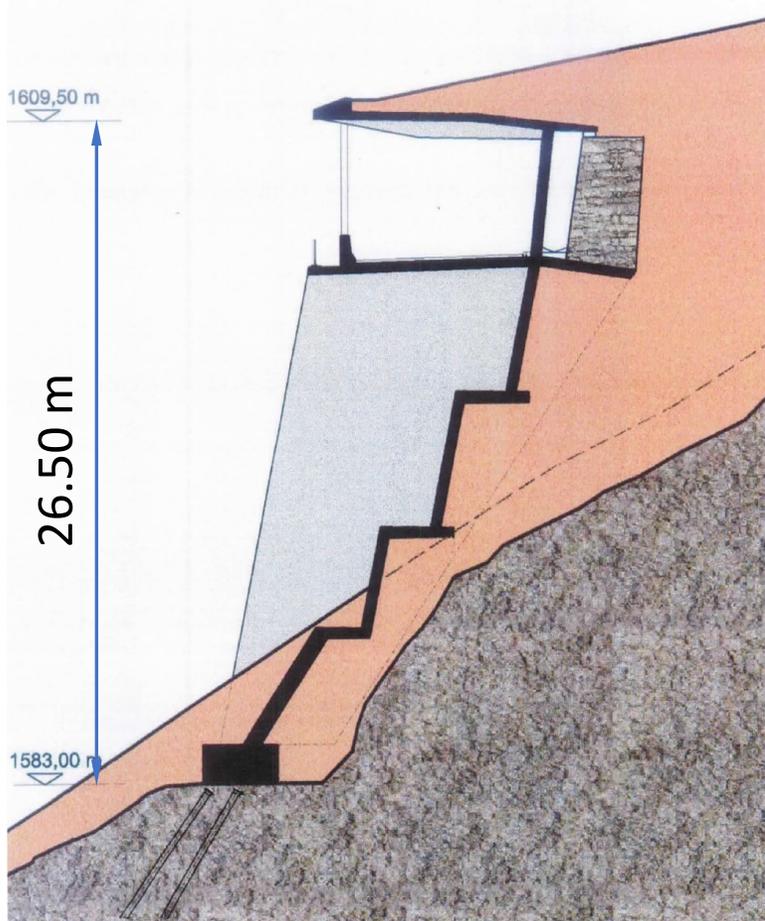
Galerie de protection contre les avalanches Ri di Rialp,

Route du col du Lukmanier (TI),

Concours-soumission,

1999-2001

Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



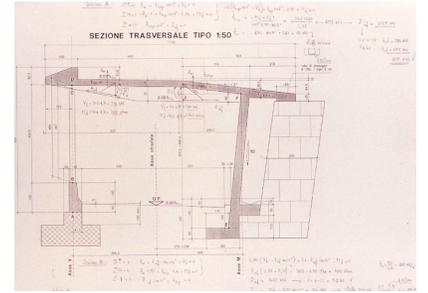
Galerie de protection contre les avalanches Ri di Rialp,

Route du col du Lukmanier (TI),

Concours-soumission,

1999-2001

Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Galerie de protection contre les avalanches Ri di Rialp,

Route du col du Lukmanier (TI),

Concours-soumission,

1999-2001

L'influence du calcul et des normes

Table A.1 (NDP) — Values of adjusted material factors - General

Condition for adjusted material factors	persistent and transient design situations			accidental design situations		
	γ_s	γ_c	γ_v	γ_s	γ_c	γ_v
a) if the execution ensures that geometrical deviations of Tolerance Class 2 according to EN 13670 are fulfilled	1,08	1,48	1,33	0,97	1,15	1,11
b) if the calculation of design resistance is based on the value of the dominant geometrical data measured in the finished structure and the CoV of the measurement is not larger than the values given in (5)	1,04	1,48	1,29	0,95	1,15	1,08
c) if the calculation of design resistance is based on the design value of the effective depth according to (6)	1,03	1,50	1,29	0,94	1,15	1,07
d) if the insitu concrete strength in the finished structure is assessed according to EN 13791:2019, Clause 8	γ_c and γ_v according to (7)					
e) if the yield strength of the reinforcement is assessed from tests on samples taken from the existing structure	γ_s according to (8)					
f) if the verification of the structure or of the member is conducted according to more refined methods ensuring reduced uncertainties of the resistance model.	γ_s and γ_c according to (3) where the statistical values describing the model uncertainties in Table A.3 are replaced by the actual ones					
g) if the verification of the structure or of the member is conducted using non-linear analysis and the model uncertainty is considered separately according to F.4(1).	1,20	1,46	1,31 ^a	1,09	1,16	1,16 ^a
h) if the target value for the reliability index β_{tgt} given in Table A.4 is modified in accordance with the relevant authority	γ_s and γ_c according to (3) with the statistical values in Table A.5					

$$d_d = d_{nom} - \Delta d$$

where

Δd is the deviation value of the effective depth:

$\Delta d = 15 \text{ mm}$ for reinforcing and post-tensioning steel;

$\Delta d = 5 \text{ mm}$ for pre-tensioning steel.

$$\gamma_M = \frac{\exp(\alpha_R \cdot \beta_{tgt} \cdot V_{RM})}{\mu_{RM}}$$

$$V_{RS} = \sqrt{V_{fy}^2 + V_d^2 + V_{\theta s}^2}$$

$$V_{RC} = \sqrt{V_{fc}^2 + V_{\eta is}^2 + V_{Ac}^2 + V_{\theta c}^2}$$

$$V_{RV} = \sqrt{\left(\frac{V_{fc}}{3}\right)^2 + \left(\frac{V_{\eta is}}{3}\right)^2 + V_d^2 + V_{\theta v}^2 + V_{res,v}^2}$$

$$\mu_{RS} = \frac{f_{ym}}{f_{yk}} \mu_d \cdot \mu_{\theta s}$$

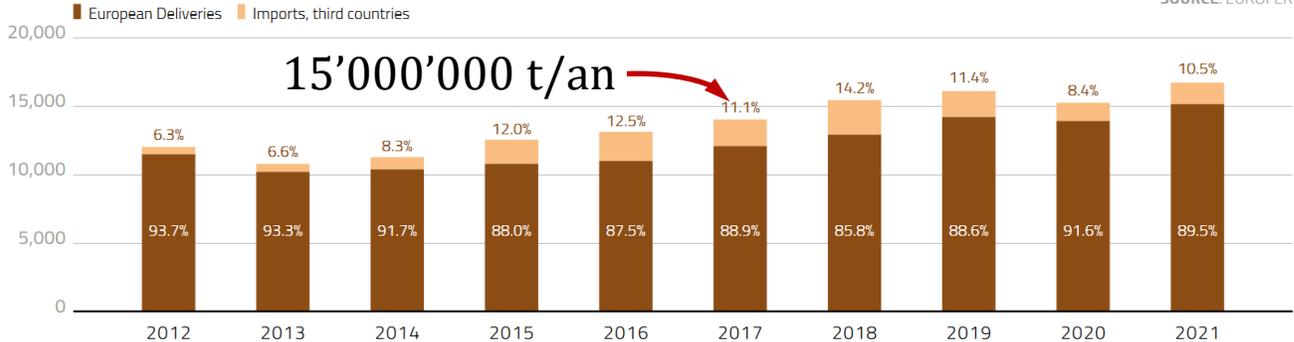
$$\mu_{RC} = \frac{f_{cm}}{f_{ck}} \mu_{\eta is} \cdot \mu_{Ac} \cdot \mu_{\theta c}$$

$$\mu_{RV} = \left(\frac{f_{cm}}{f_{ck}} \cdot \mu_{\eta is}\right)^{1/3} \cdot \mu_d \cdot \mu_{\theta v}$$

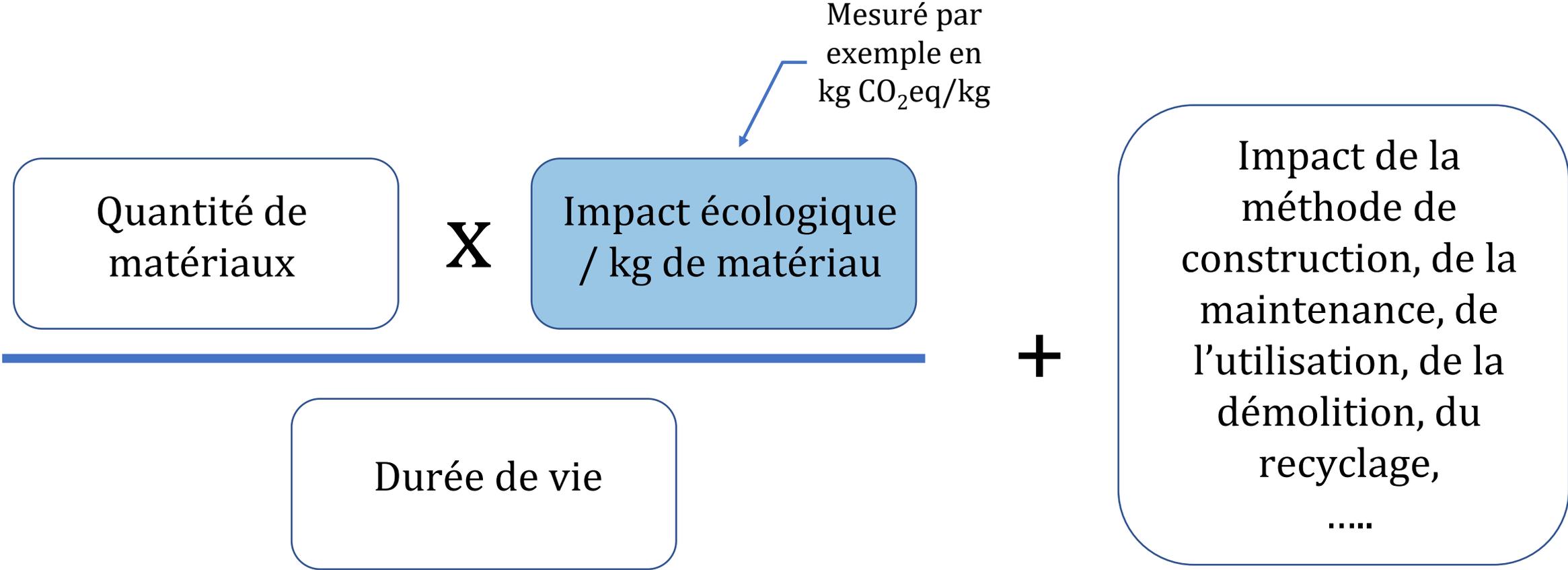
REBAR, INCLUDING DEFORMED RODS

CHART • 2012 – 2021

SOURCE: EUROFER



Quels bétons?



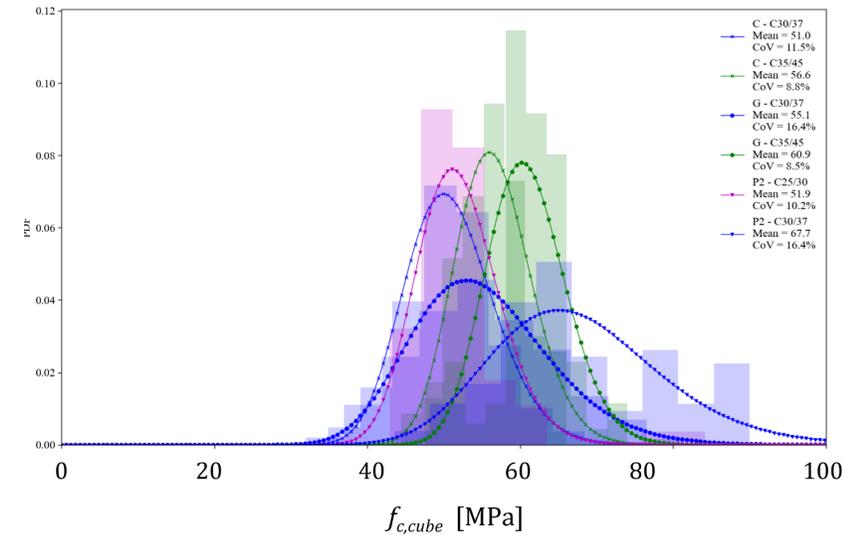
Quels bétons?

Sortes de bétons usuels

	Sorte 0	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)	P1 au sec (NPK H)	P2 sous l'eau (NPK I)	P3 au sec (NPK K)	P4 sous l'eau (NPK L)
	Bâtiment				Génie civil et ouvrages d'art				Pieux forés et parois moulées			
Exigences de base												
Conformité à la norme	Béton selon SN EN 206											
Classe de résistance à la compression ^{a)}	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30	C20/25	C20/25
Classe(s) d'exposition (CH)	X0	XC1, XC2	XC3	XC4, XF1	XC4, XD1, XF2, XF3, XD2a	XC4, XD1, XF4, XD2a	XC4, XD3, XF2, XD2b, XAA	XC4, XD3, XF4, XD2b	- η	- η	- η	- η
Dimension max. nominale du granulat [mm] ^{b)}	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32
Classe de teneur en chlorures ^{c)}	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10
Classe de consistance ^{d)}	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3	F4	F5	F4	F5
Exigences complémentaires (à spécifier selon l'objet)												
Résistance à la RAG	Si nécessaire, à spécifier selon le cahier technique SIA 2042											
Résistance aux sulfates	-	-	-	-	à spécifier si nécessaire				- g)	si nécessaire	-	-
Résistance au gel dégel en présence de sel	-	-	-	-	moyenne ^{h)}	élevée ^{h)}	moyenne ^{h)}	élevée ^{h)}	évent. moyenne	évent. moyenne	-	-
Exigences relatives à la composition												
Rapport E/C max. resp. rapport E/C _{eq} max. [-]	-	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,50	0,50	0,60	0,60
Dosage minimal en ciment ^{e)} [kg/m ³]	-	280	280	300	300	300	320	320	330 ⁱ⁾	380 ⁱ⁾	330 ⁱ⁾	380 ⁱ⁾
Contrôles de la durabilité ^{f)}	-	-	PE, RCa	RCa	RCa, GS	RCa, GS	Rch, GS	Rch, GS	-	-	-	-
Teneur en farines [kg/m ³]	D _{max} > 8 mm								≥ 400			
	D _{max} ≤ 8 mm								≥ 450			

- a) Il est possible de spécifier une classe de résistance à la compression plus élevée.
 b) La dimension maximale nominale du granulat ainsi que la classe de consistance peuvent être modifiées de façon spécifique au projet.
 c) La classe de teneur en chlorures indiquée convient pour le béton armé et le béton précontraint.
 d) La classe de consistance est indiquée à titre informatif. Elle doit être contrôlée par l'utilisateur du béton en fonction des conditions d'application et de ses besoins (p.ex. procédé de mise en œuvre) lors de la phase de l'offre, et adaptée le cas échéant (voir chiffre NA.5.3.4.1). Les éventuelles adaptations doivent être consignées dans l'offre et respectées. Remarque: l'exigence relative à la consistance du béton doit être remplie conformément au chiffre 5.4.1 (5) de EN 206 lors de la livraison du béton du producteur à l'utilisateur.

- e) Dosage minimal en ciment valable pour D_{max} = 32 mm et sans prise en compte des additions. Pour d'autres D_{max}, le dosage minimal en ciment doit être adapté selon le tableau «Dosage minimal en ciment» (page 8).
 f) Afin d'éviter toute confusion, aucune classe d'exposition n'est indiquée.
 g) Comme ce type de pieux est situé au sec, il ne devrait pas être soumis à des attaques sulfates.
 h) Exigence complémentaire non impérative car elle découle directement de la classe XF spécifiée. Des exigences différentes sont à éviter.
 i) Les mêmes teneurs minimales en ciment pour le béton avec D_{max} = 32 mm, s'appliquent aux bétons pour pieux forés et parois moulées avec D_{max} = 16 mm.
 j) Abréviations pour les essais de durabilité:
 PE - Perméabilité à l'eau
 RCa - Résistance à la carbonatation
 GS - Résistance au gel en présence de sels de déverglaçage
 Rch - Résistance aux chlorures



Très grand potentiel de réduction des émissions, dès maintenant !

- En optimisant nos structures et le contenu de ciment / m³ de béton, l'économie peut être considérable:

$$70\% \cdot 70\% \approx 50\%$$

30% de réduction de
béton pour la même
structure

30% de réduction de
contenu de ciment / m³ de
béton

- et si on optimise aussi le type de ciment, il est possible de réduire les émissions de CO₂ de 70-80%.