

Le béton, ses qualités et les gaspillages

Aurelio Muttoni

Muttoni et Fernández Ingénieurs Conseils,
Route du Bois 17, 1024 Ecublens VD



Le béton et ses qualités



Coque en béton armé
pour un centre
commercial à Chiasso

2010-2011



Le béton et ses qualités

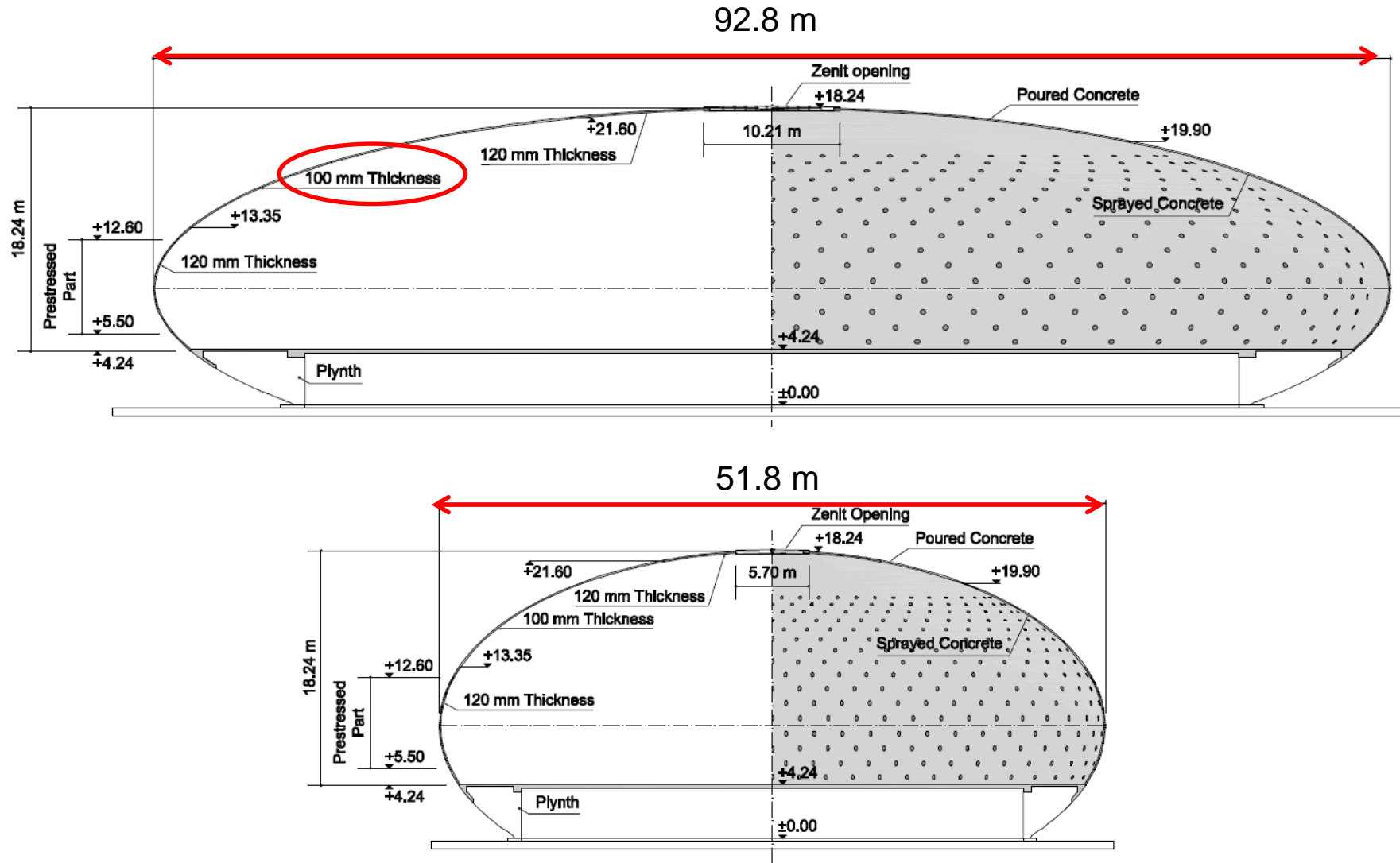


Coque en béton armé
pour un centre
commercial à Chiasso

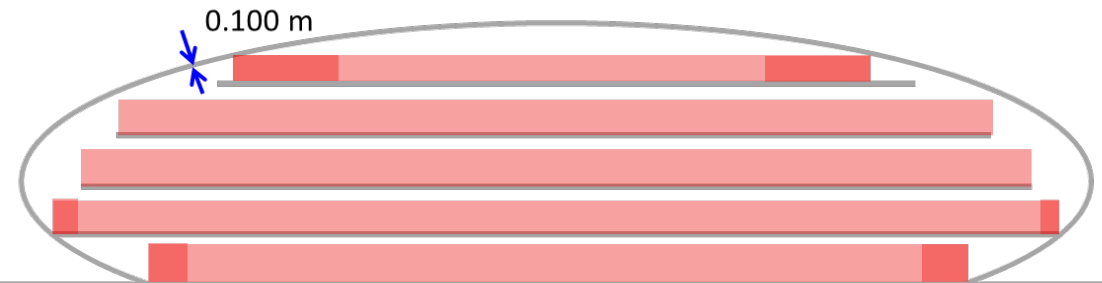
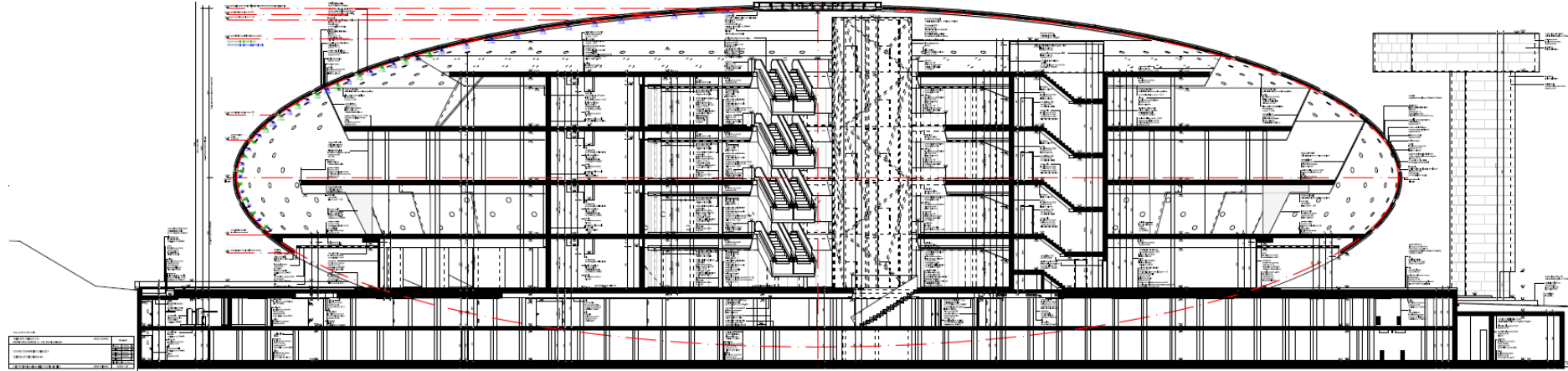
2010-2011



Le béton et ses qualités



Le béton et ses qualités



L'acier et ses qualités



Aarebrücke Arch -
Grenchen

1995-1997



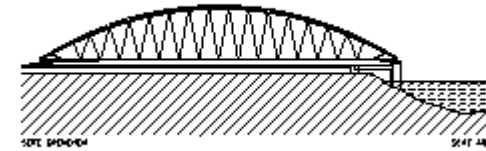
L'acier et ses qualités



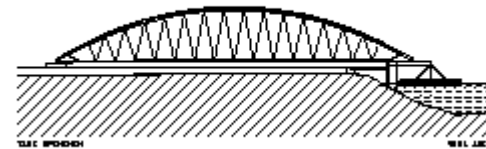
Aarebrücke Arch -
Grenchen

1995-1997

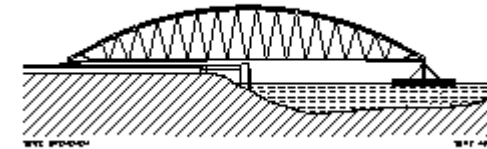
MONTAGEZUSTAND



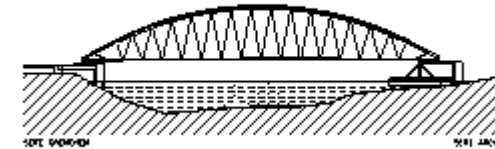
PHASE I



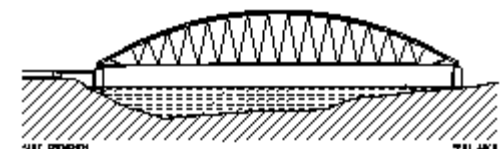
PHASE 2



PHASE 3



DEFINITIVE LAQE



La combinaison du béton et de l'acier et ses qualités



Pont sur le Tessin à
Villa Bedretto

1996



La combinaison du béton et de l'acier et ses qualités



Pont sur le Tessin à
Villa Bedretto



Le bois et ses qualités

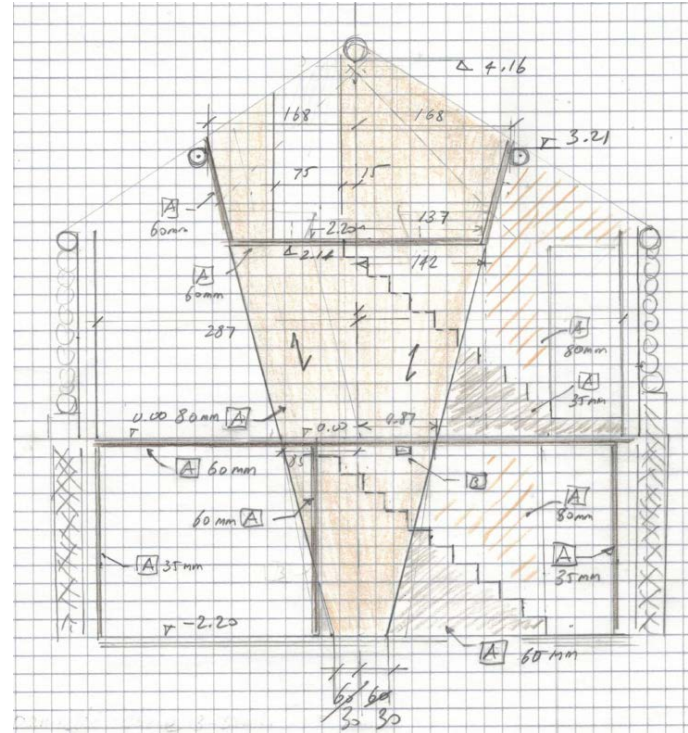


Cabane d'alpage à
Carì d'Int

2021-2022



Le bois et ses qualités

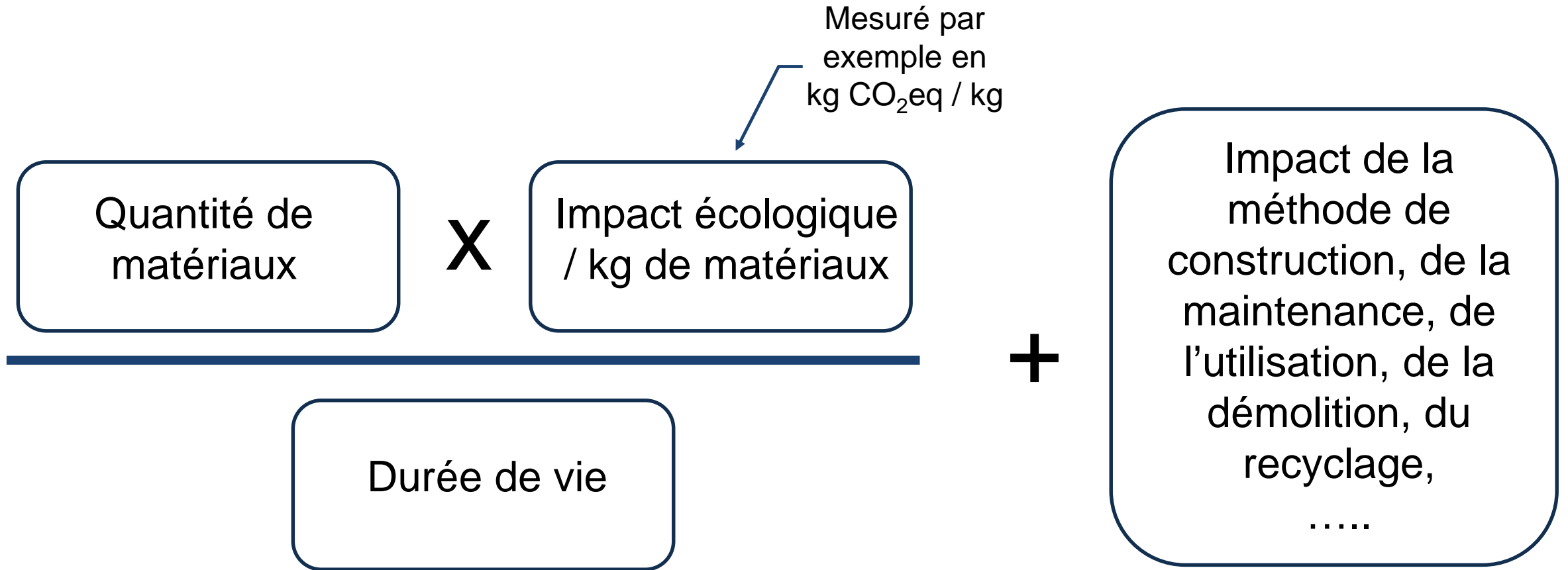


Cabane d'alpage à
Carì d'Int

2021-2022



Impact écologique des différentes solutions



Impact écologique des différents matériaux

Material	Description	kg CO ₂ eq/kg	Source
Concrete C25/30	Portland cement (CEM I). Assumes 305 kg cement/m ³ concrete	0.11 - 0.13	(31,46)
	70% of cement substituted by slag (CEM III)	0.06 - 0.08	(31,46)
Concrete C30/37	Portland cement (CEM I). Assumes 342 kg cement/m ³ concrete	0.12 - 0.14	(31,46)
	70% of cement substituted by slag (CEM III)	0.06 - 0.08	(31,46)
Concrete C40/50	Portland cement (CEM I). Assumes 420 kg cement/m ³ concrete	0.15 - 0.17	(31,46)
	70% of cement substituted by slag (CEM III)	0.07 - 0.09	(31,46)
Reinforcement	0% recycled content	2.50 - 2.70	(31)
	Recycled reinforcing steel produced from scrap (>85%)	0.30 - 0.55	(42,48)
Prestressing steel	0% recycled content. Assume same as rebar	2.50 - 2.70	(31)
	Recycled prestressing steel produced from scrap (>85%)	1.00 - 1.20	(47)
Structural steel (surface coating excluded)	0% recycled content	2.60 - 3.00	(31)
	Recycled structural steel produced from scrap (>85%)	0.33 - 0.60	(41,43)
Timber	Glued Laminated Timber	0.34 - 0.95	(46)

Regulez et al., 2022



Impact écologique des différentes solutions



Exemple,
Salle de sport sur le site
d'enseignement de
Marcelin à Morges

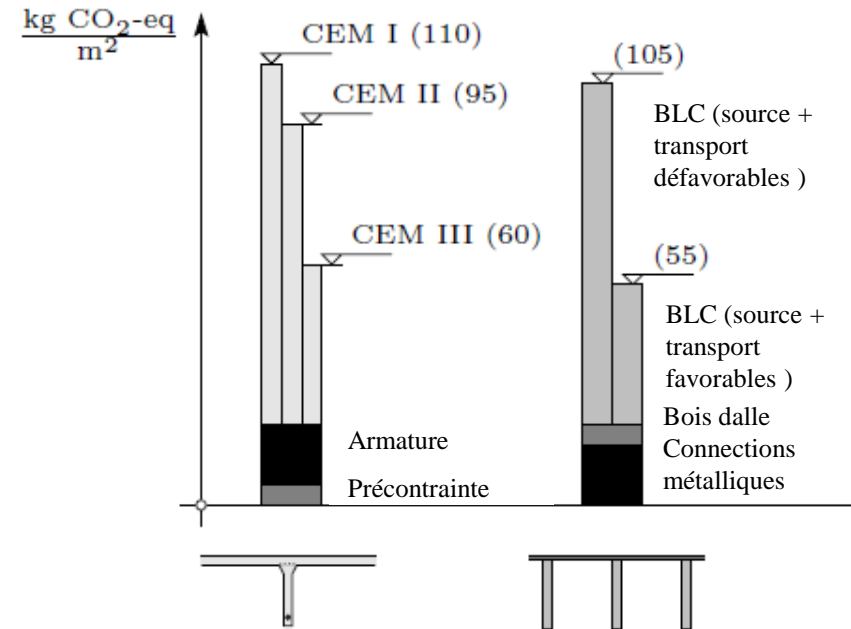
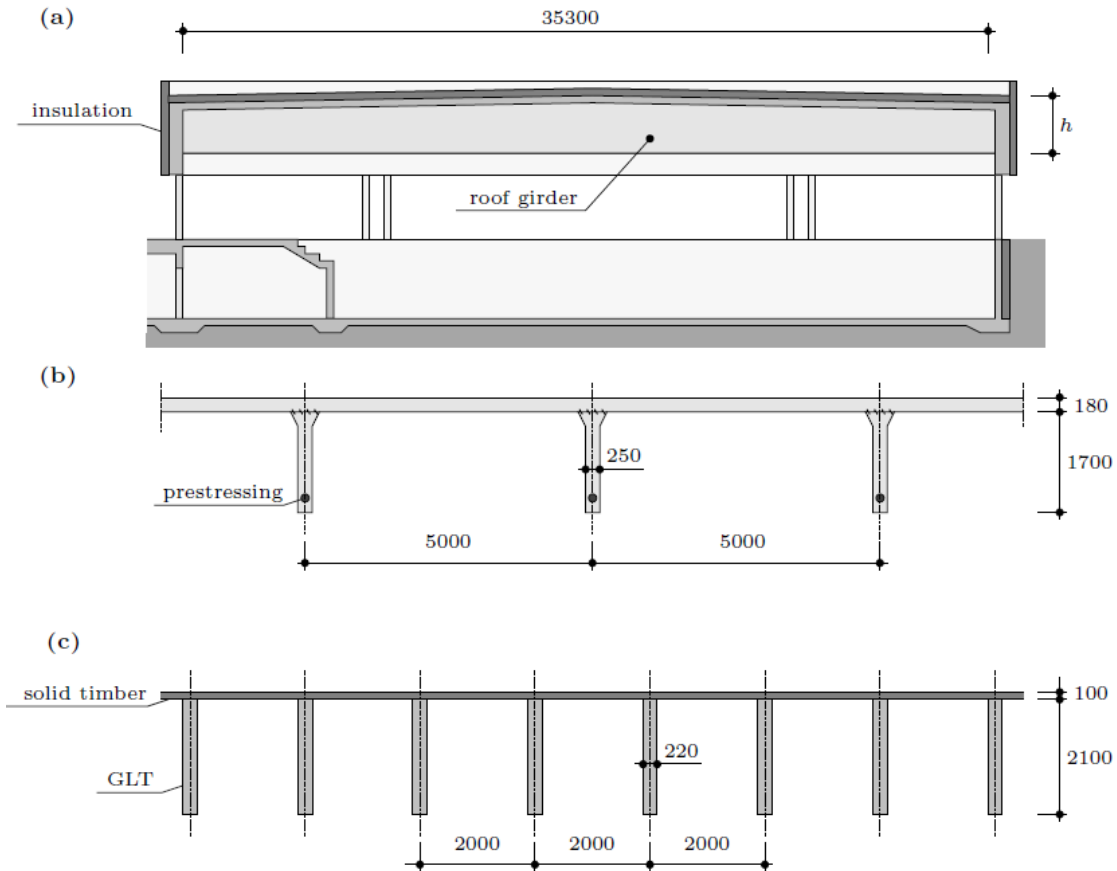
1^{er} lauréat du concours,
2021, avec Comamala
Ismail Architectes



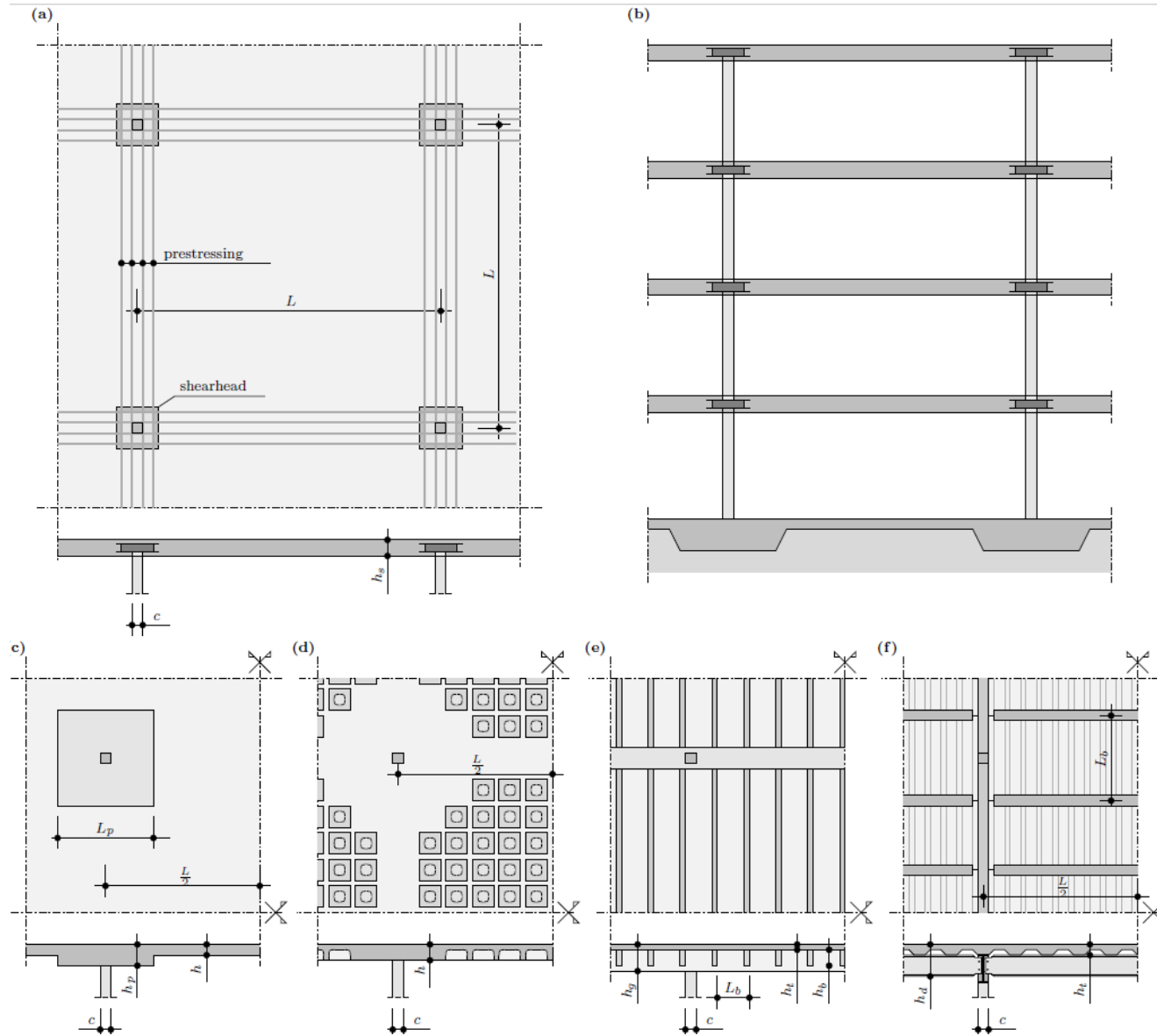
Impact écologique des différentes solutions

Exemple,

Salle de sport sur le site d'enseignement de Marcelin à Morges



Impact écologique des différentes solutions

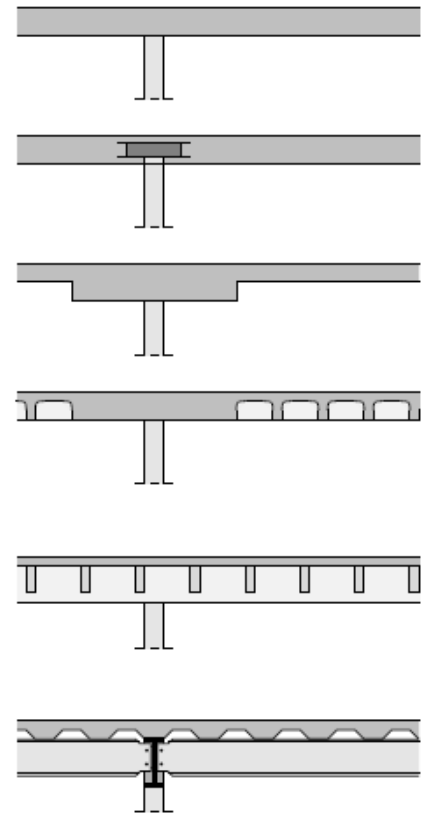
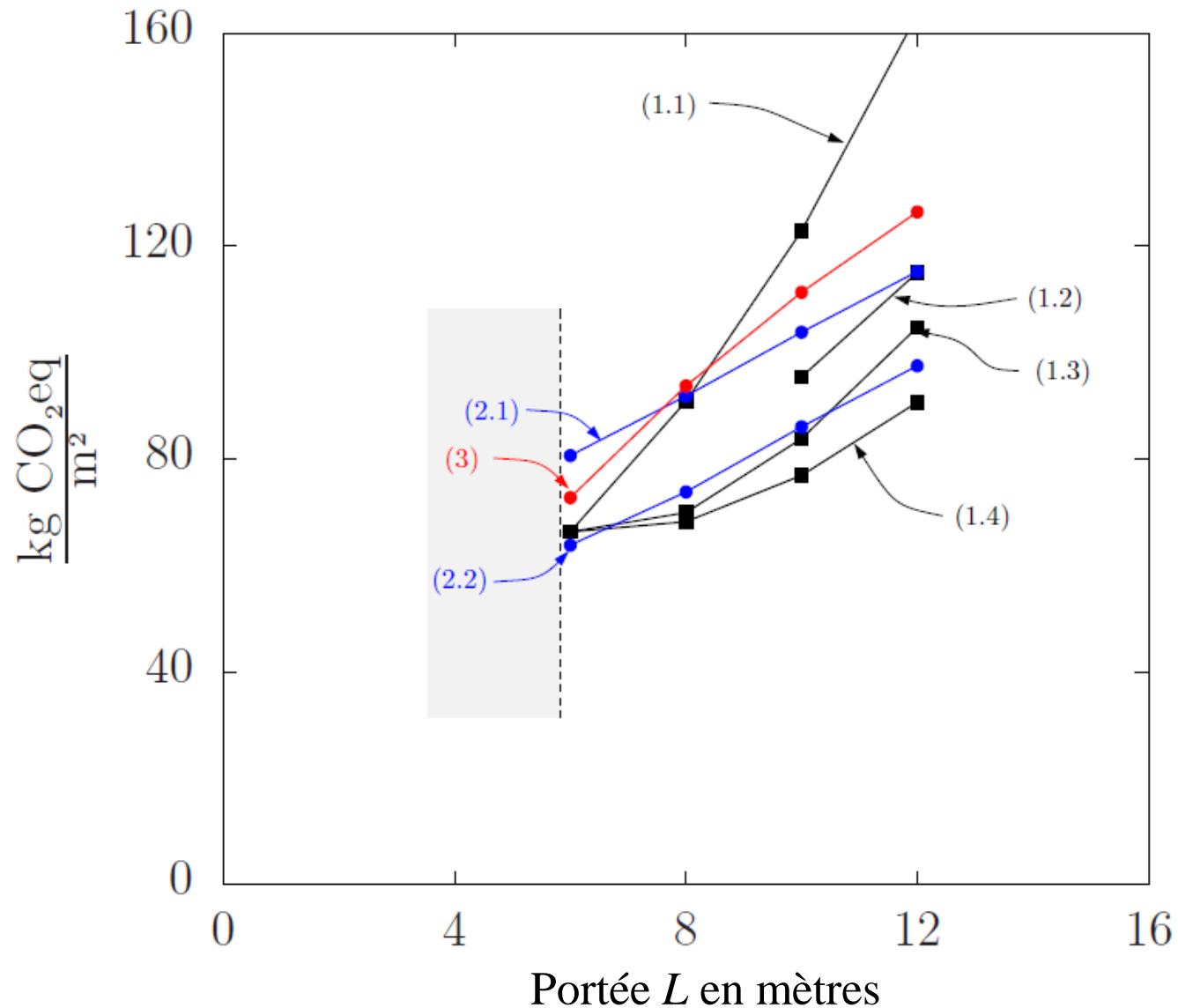


Exemple,

Plancher-dalle (4 étages)
avec colonnes et radier de
fondation



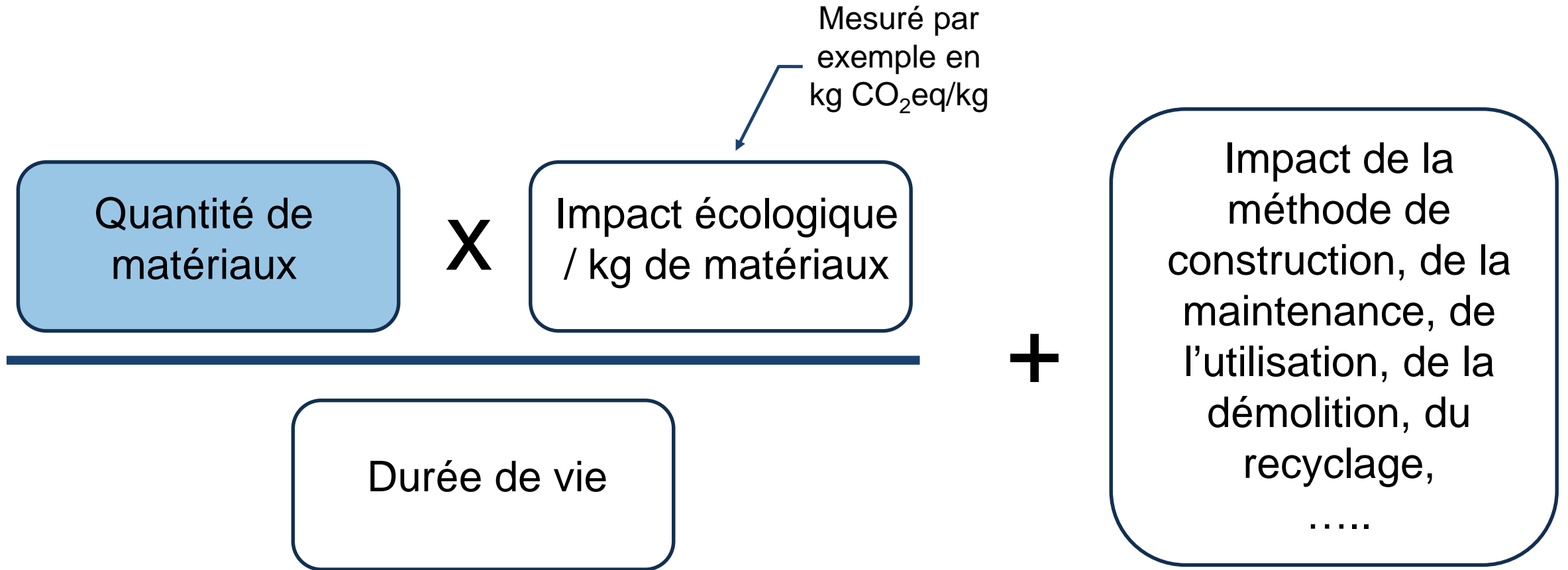
Impact écologique des différentes solutions



- (1.1) plancher-dalle en béton armé
- (1.2) plancher-dalle en béton armé précontraint
- (1.3) plancher-dalle avec épaisseur variable
- (1.4) dalle nervurée
- (2.1) plancher mixte bois-béton
- (2.2) plancher en bois
- (3) Plancher mixte acier-béton



Quelles solutions structurales?



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

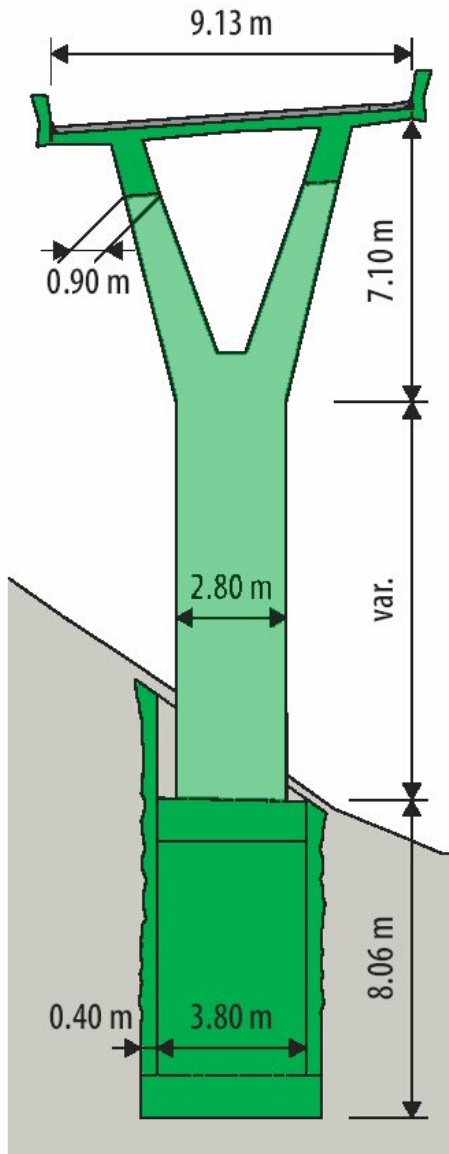


Hexentobelbrücke et
Marchtobelbrücke

Concours-soumission
en deux phases,
2004-08



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Hexentobelbrücke et
Marchtobelbrücke

Concours-soumission
en deux phases,
2004-08



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Hexentobelbrücke et
Marchtobelbrücke

Concours-soumission
en deux phases,
2004-08



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

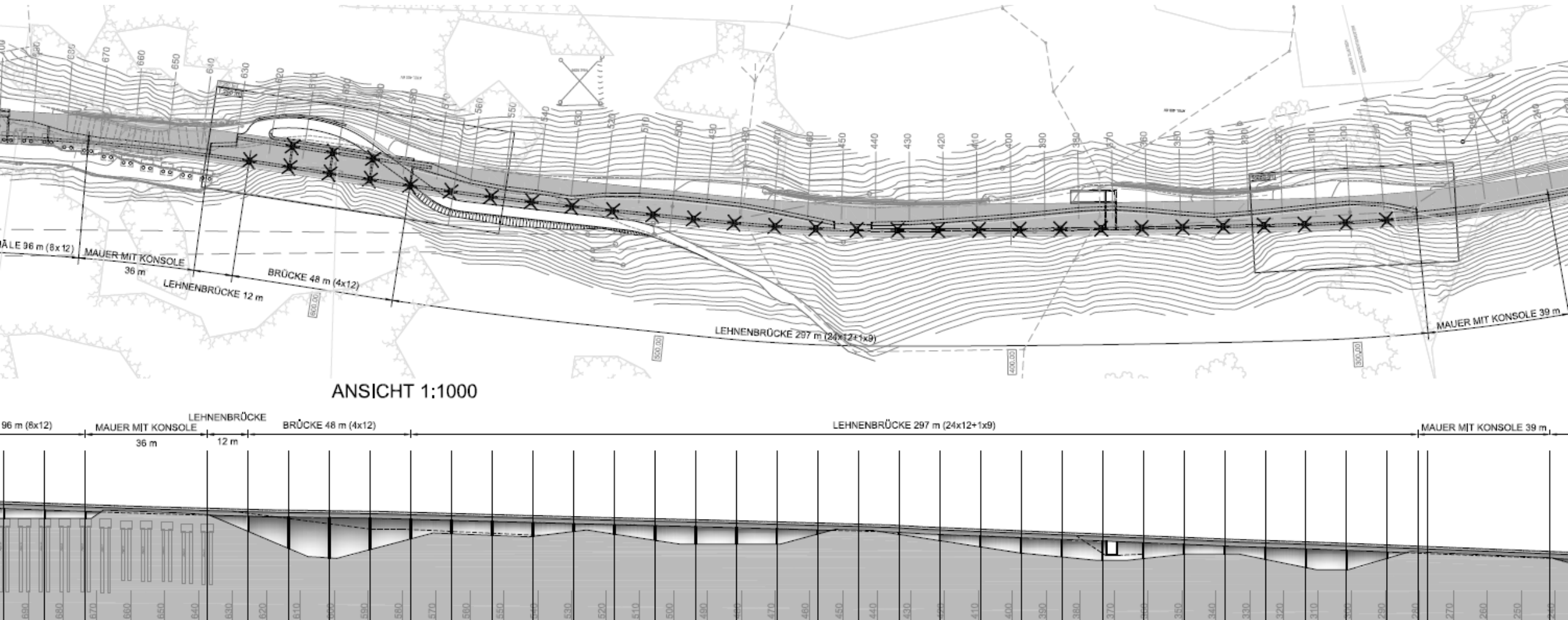


Pont en estacade H19
(route de l'Oberalp)

Concours-soumission
en deux phases,
2009-2010



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

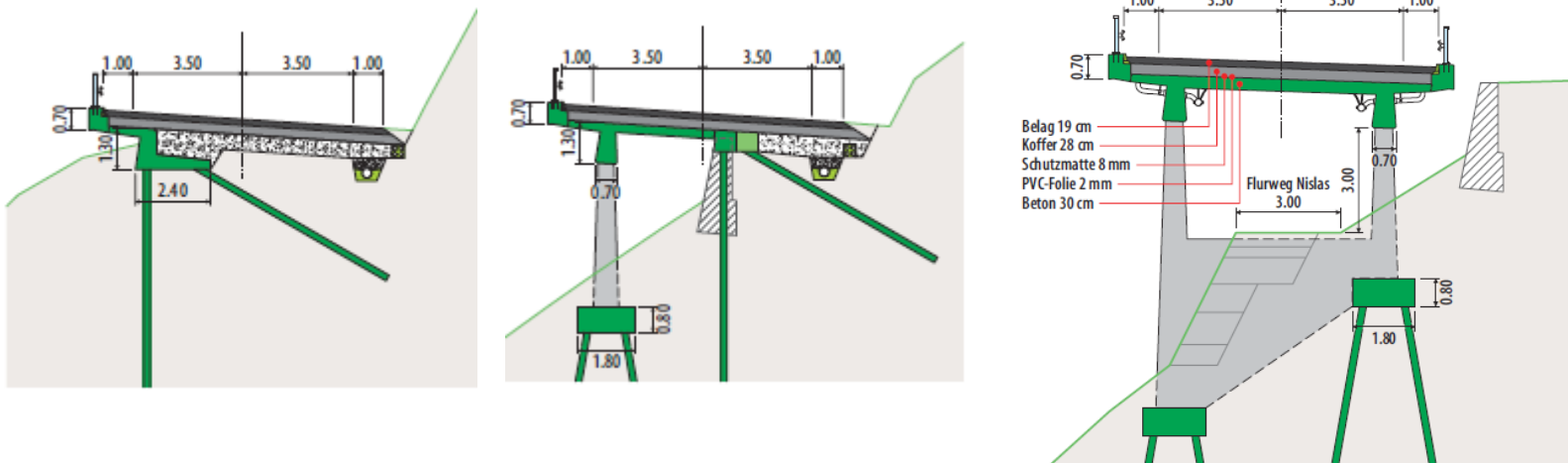


Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Pont en estacade H19
(route de l'Oberalp)

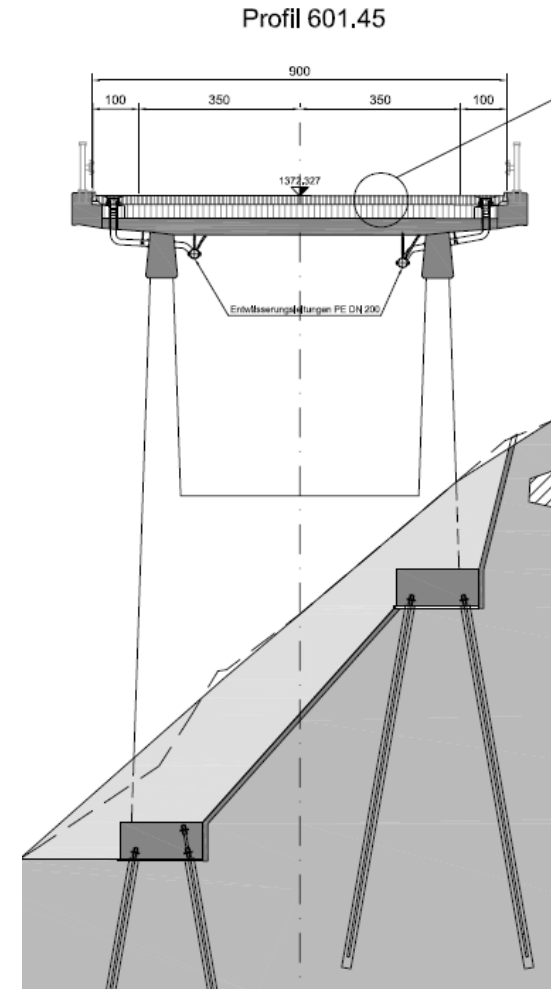
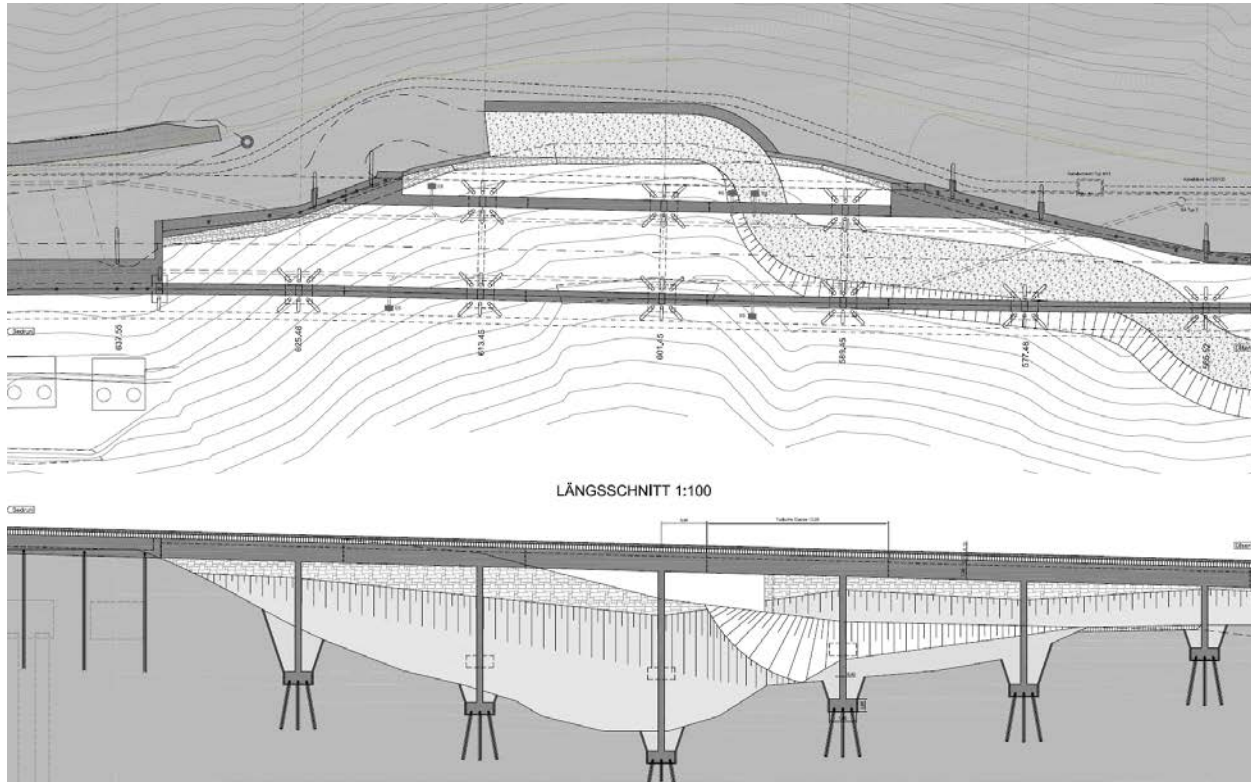
Concours-soumission
en deux phases,
2009-2010



$L \approx 400 \text{ m}$

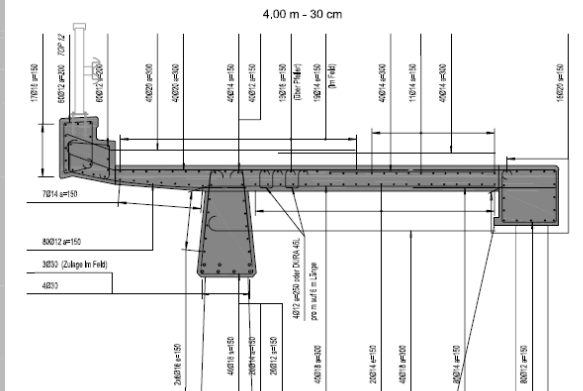


Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Pont en estacade H19
(route de l'Oberalp)

Concours-soumission
en deux phases,
2009-2010

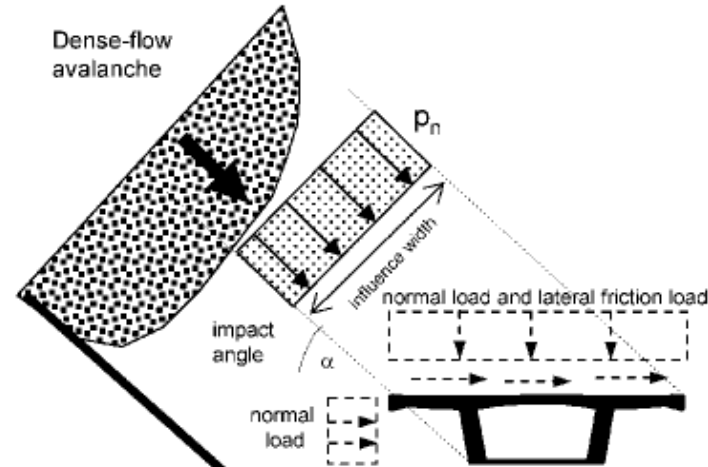


Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



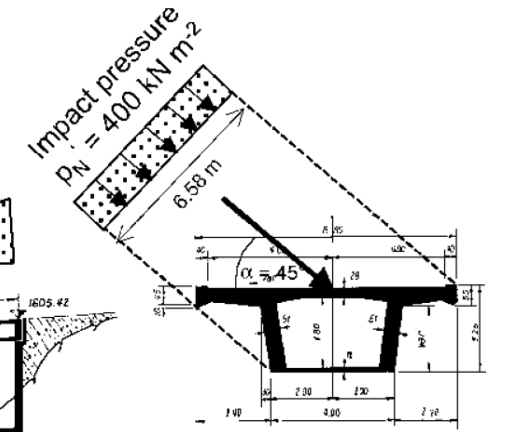
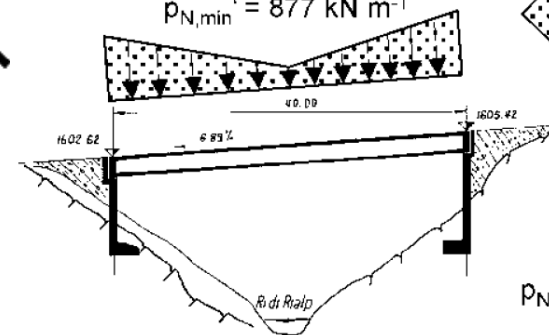
Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001



$$p_{N,max}' = 2630 \text{ kN m}^{-1}$$

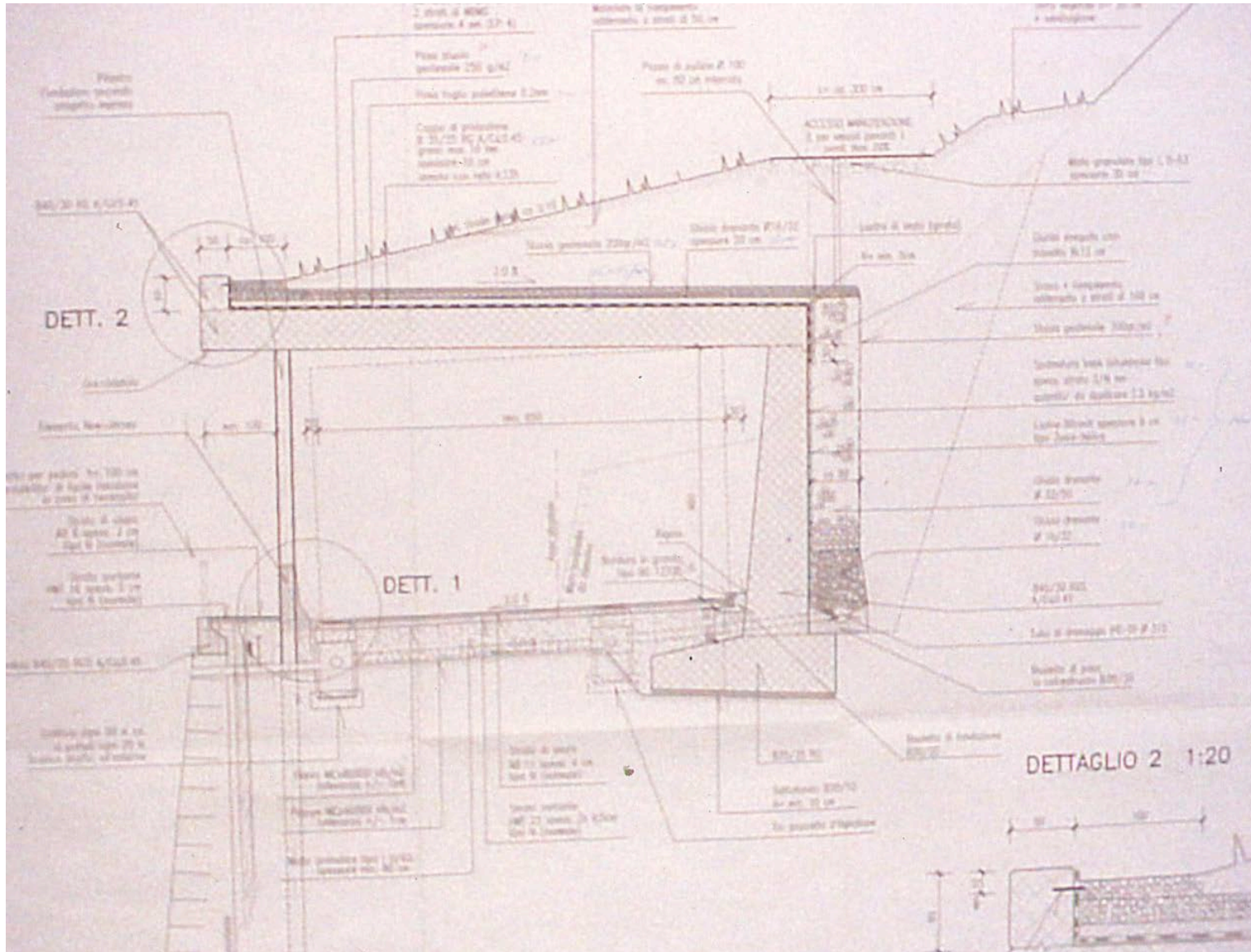
$$p_{N,min}' = 877 \text{ kN m}^{-1}$$



$$p_{N,max}' = 400 \cdot 6.58 = 2630 \text{ kN m}^{-1}$$



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

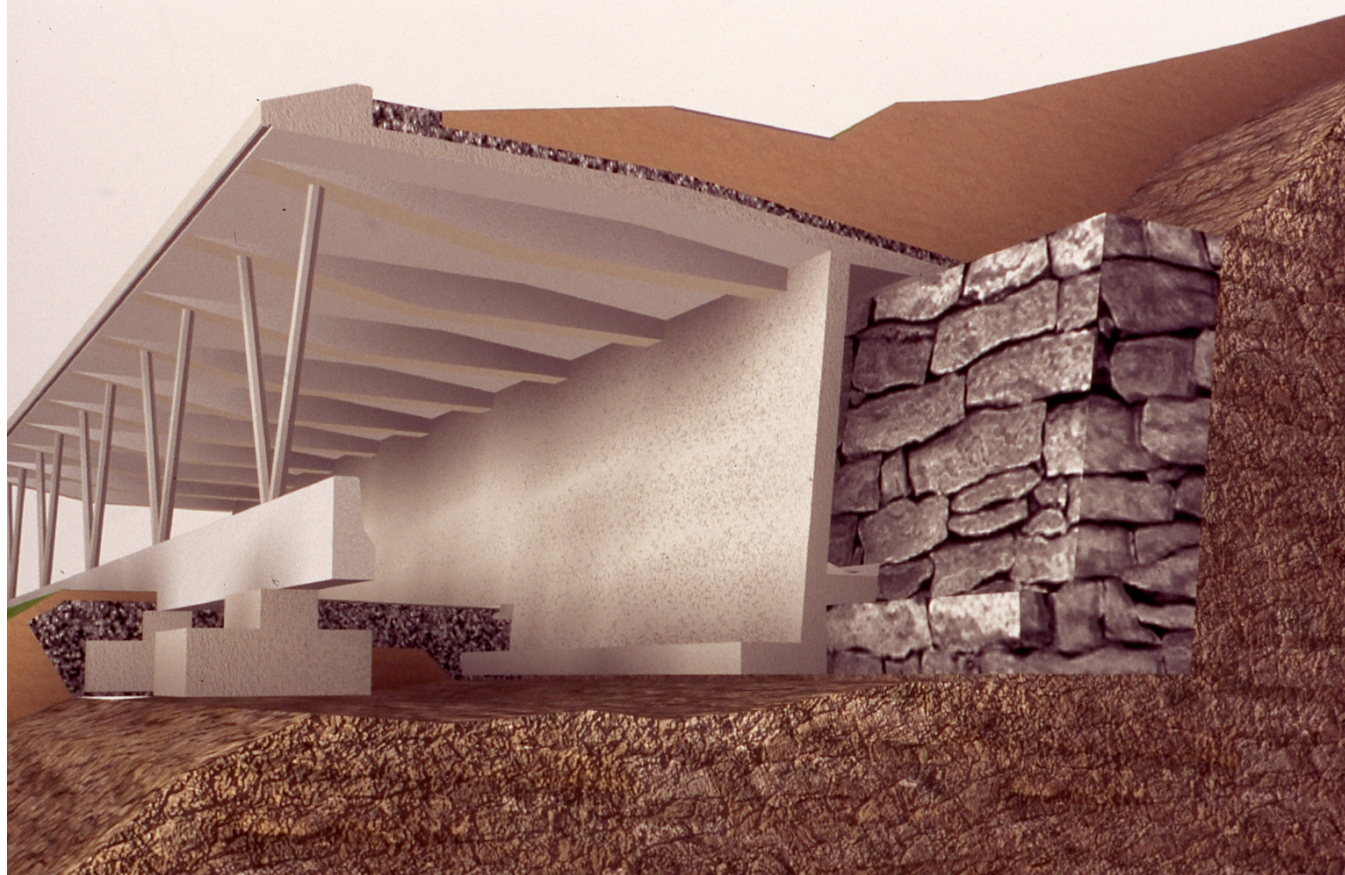


Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001

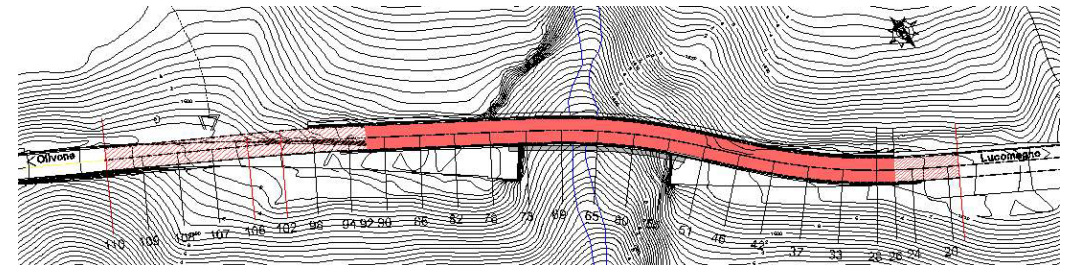


Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

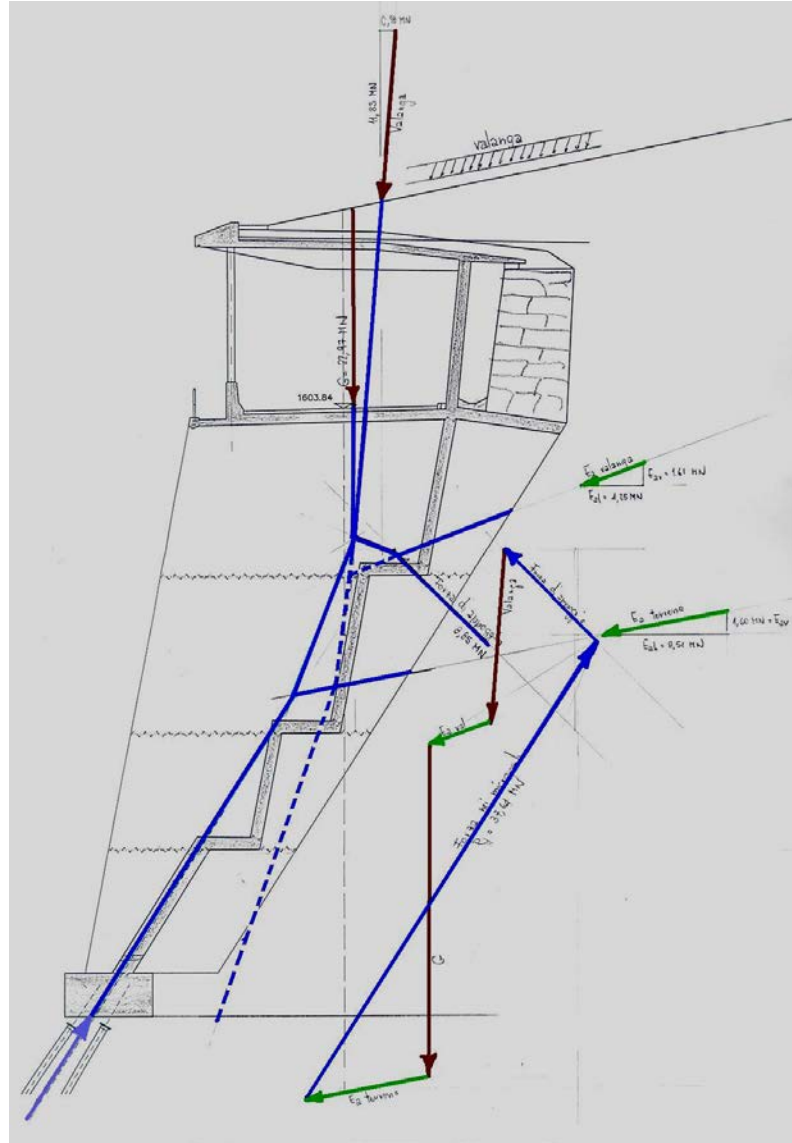
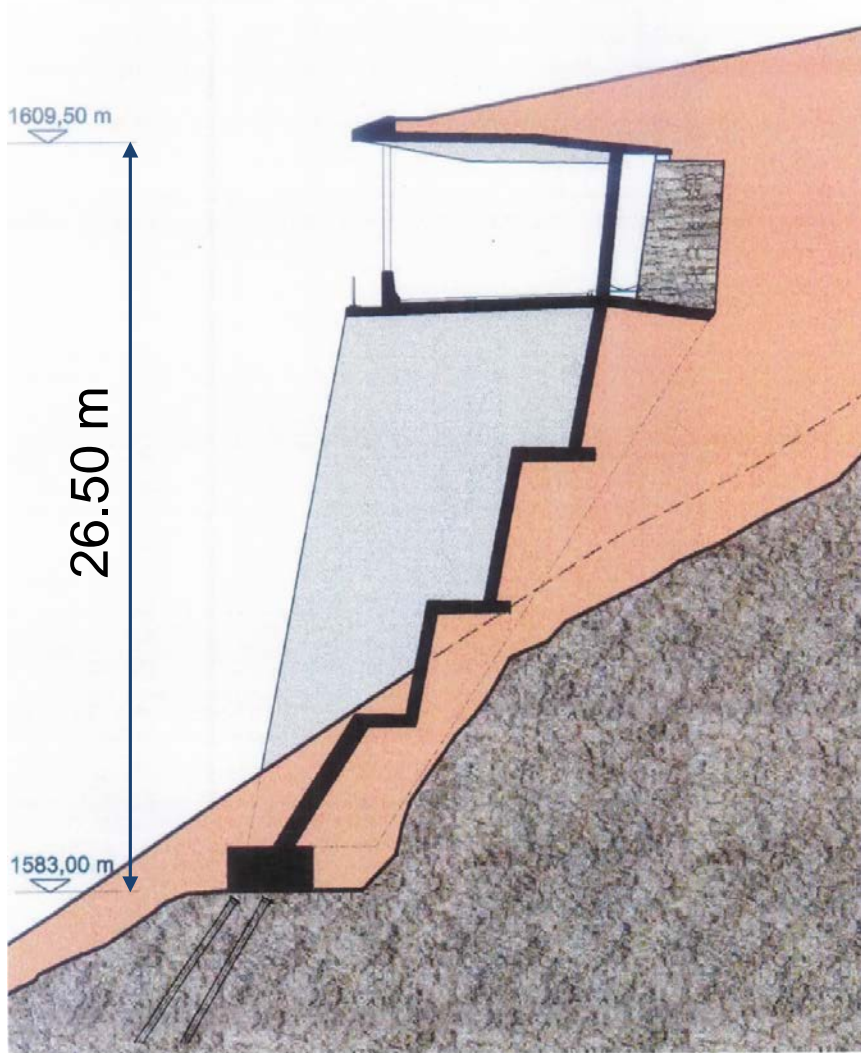


Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction



Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001



Comment optimiser les structures et les méthodes de construction

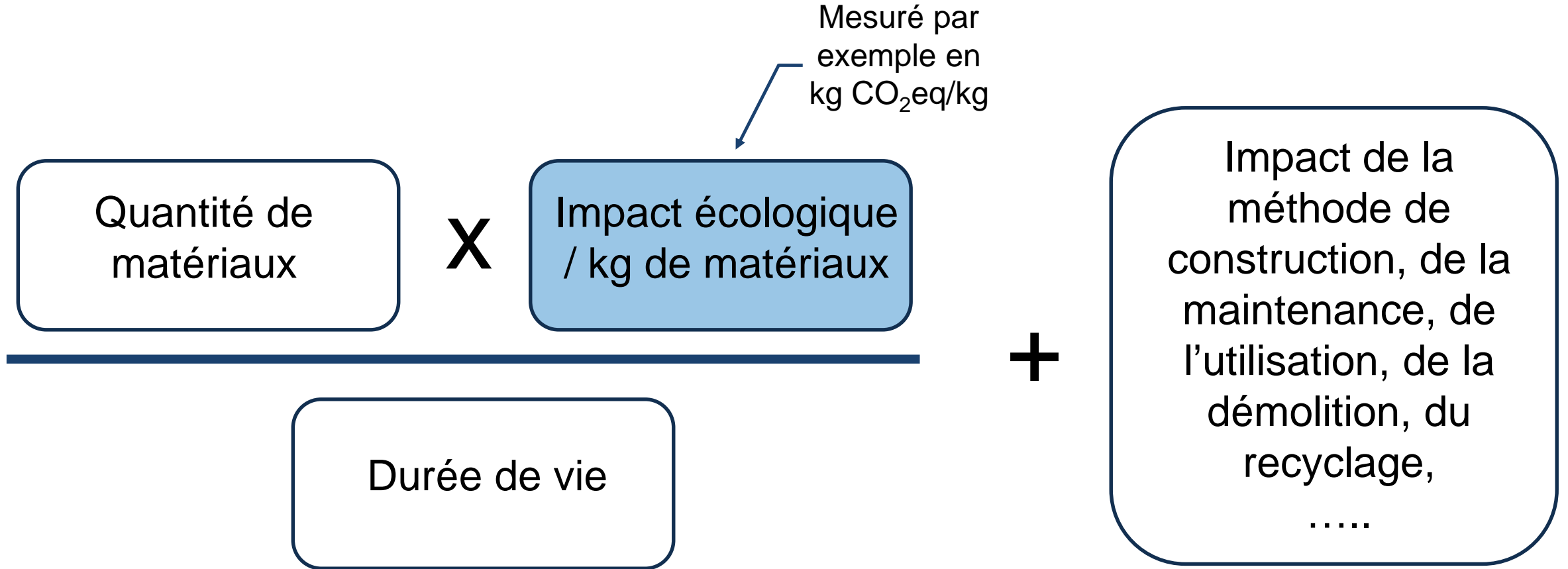


Galerie de protection
contre les avalanches
Ri di , Route du col du
Lukmanier

Concours-soumission
en une phase,
1999-2001



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	- f)	- f)	- f)	- f)
Dimension max. nominale du granulats [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 ^{j)}	-	-	PE, RCa	RCa	RCa, GS	RCa, GS	Rch, GS	Rch, GS	-	-	-	-
Teneur en farines [kg/m ³]	D _{max} > 8 mm	-										
	D _{max} ≤ 8 mm	-										

a) Il est possible de spécifier une classe de résistance à la compression plus élevée.

b) La dimension maximale nominale du granulats 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.

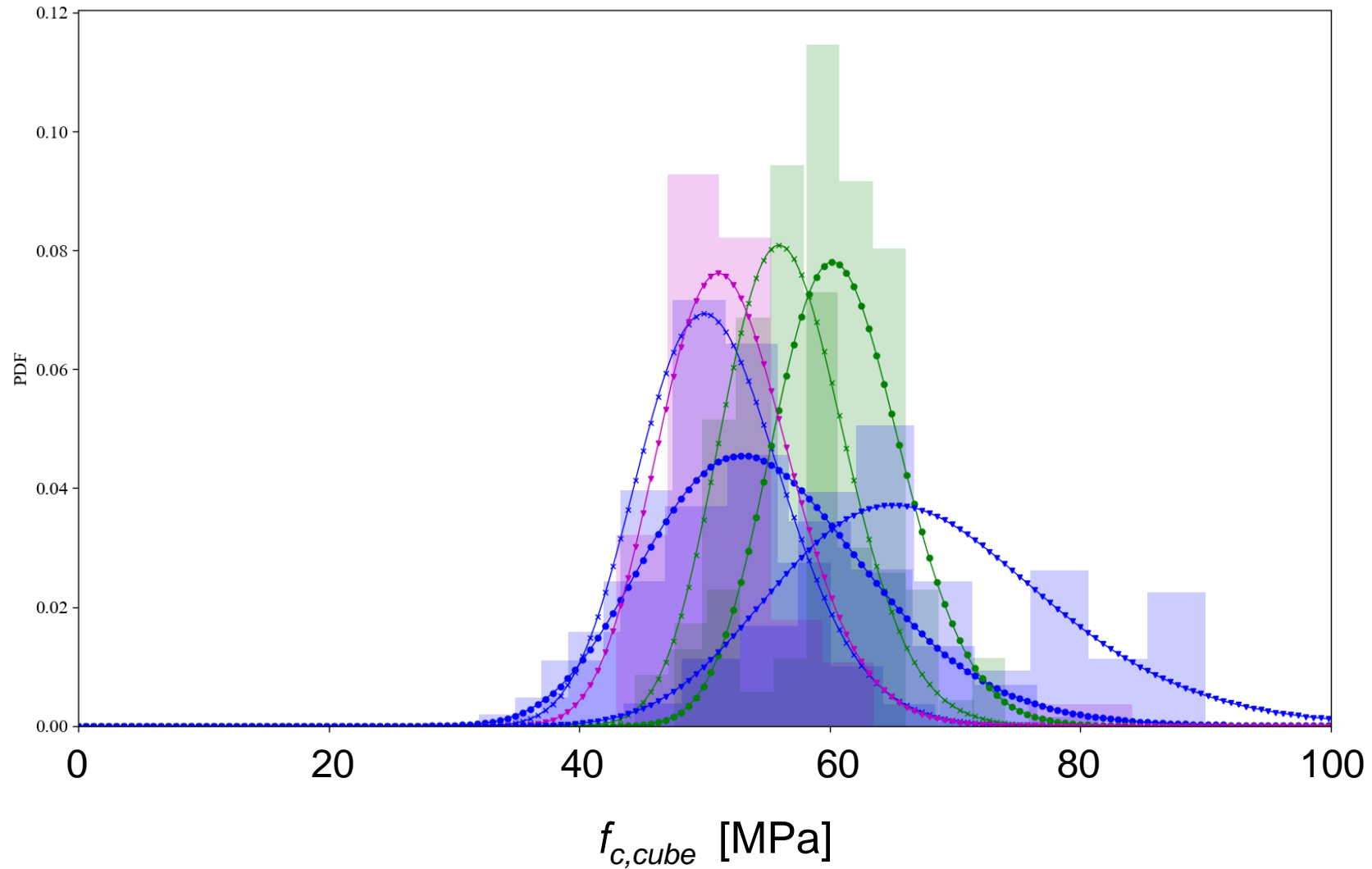
i) Les mêmes teneurs minimales en ciment pour le béton avec D_{max} = 32 mm, s'appliquent aux bétons pour pieux forés et parois moulées avec D_{max} = 16 mm.

j) Abréviations pour les essais de durabilité:

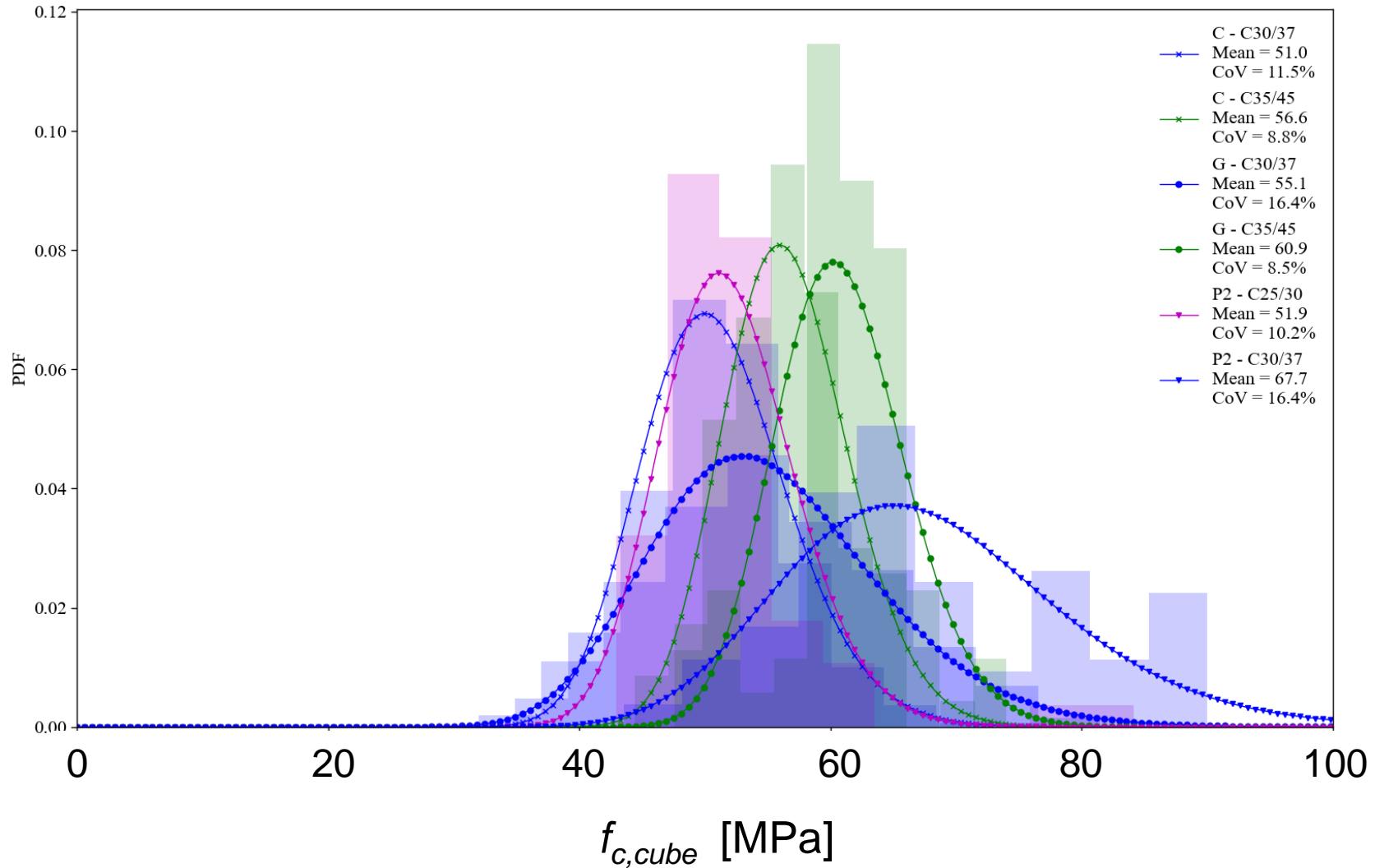
PE - Perméabilité à l'eau
 RCa - Résistance à la carbonatation
 GS - Résistance au gel en présence de sels de déverglaçage
 Rch - Résistance aux chlorures



Quels bétons?



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	- f)	- f)	- f)	- f)				
Dimension max. nominale du granulats [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 _{sp} 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 ^{f)}	380 ^{f)}	330 ^{f)}	380 ^{f)}				
Contrôles de la durabilité^{g)}																
Teneur en farines [kg/m ³]	-				PE, RCa				RCa, GS				-			
	-				RCa				RCa, GS				-			
									-				≥ 400			
									-				≥ 450			

- a) Il est possible de spécifier une classe de résistance à la compression plus élevée.
 b) La dimension maximale nominale du granulats 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



Conclusion

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

