



**Valorisation des Laitiers et des Cendres en  
ciment dans le contexte de l'Approche  
Performantielle : Avantages & Précautions**

*Journée technique AFOCO, Marseille, 17 juin 2015*

*Claire CAPRA, Ciments Lafarge, invitée SPI*

*Bernard GERMANEAU, Ciments Calcia, invité SRT*

# Sommaire

---

## Partie 1

Des enjeux de société pour le parc d'ouvrages de demain : développement durable et coût

## Partie 2

La durabilité du béton conditionnée par...

## Partie 3

Les avantages et précautions liés à la valorisation des laitiers et des cendres : bâtiments courants et ouvrages d'art



Marseille (13), France : l'innovation architecturale du MuCEM, musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée, rendue possible grâce la haute résistance et l'ultra performance du BFUHP Ductal®.

# Intro: Béton, Développement durable et coût

*Des enjeux de société pour le parc d'ouvrages de demain*

La durabilité des bétons et des structures prend une place croissante dans la conception des ouvrages. Deux raisons principales à cela :

► **la nécessité de participer au développement durable pour**

- **Limiter les émissions de CO<sub>2</sub> et préserver les ressources naturelles**
  - ↪ utilisation croissante de ciments composés et d'additions minérales dans les bétons
- **Augmenter la durée de vie des ouvrages**
  - ↪ limitation des coûts de construction et de déconstruction



« L'industrie cimentière [...] s'est engagée aux cotés de plusieurs partenaires pour développer des filières de valorisation de déchets et contribuer ainsi à toute la chaîne de l'économie circulaire. »

Anne BERNARD-GELY – SFIC membre fondateur

# Intro: Béton, Développement durable et coût

*Des enjeux de société pour le parc d'ouvrages de demain*

La durabilité des bétons et des structures prend une place croissante dans la conception des ouvrages. Deux raisons principales à cela :

## ► le besoin de réduire les dégradations pour

- **Réduire les coûts d'entretien**

↳ en France, 30% des dépenses annuelles d'entretien des ouvrages d'art en bétons armés sont liées à des problèmes de durabilité

- **Diminuer la gêne aux usagers**

- **Réduire les pertes d'exploitation pour les gestionnaires**

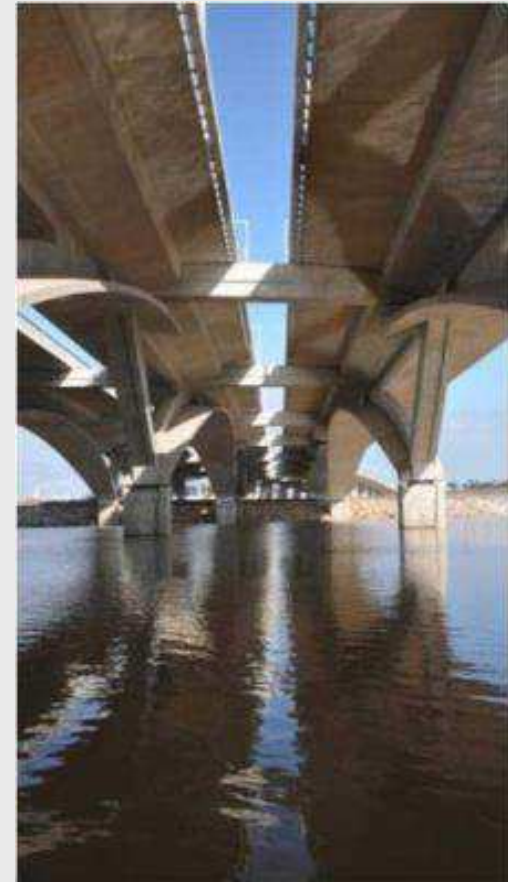


# Partie 1

---

## Des enjeux de société pour le parc d'ouvrages de demain : développement durable et coût

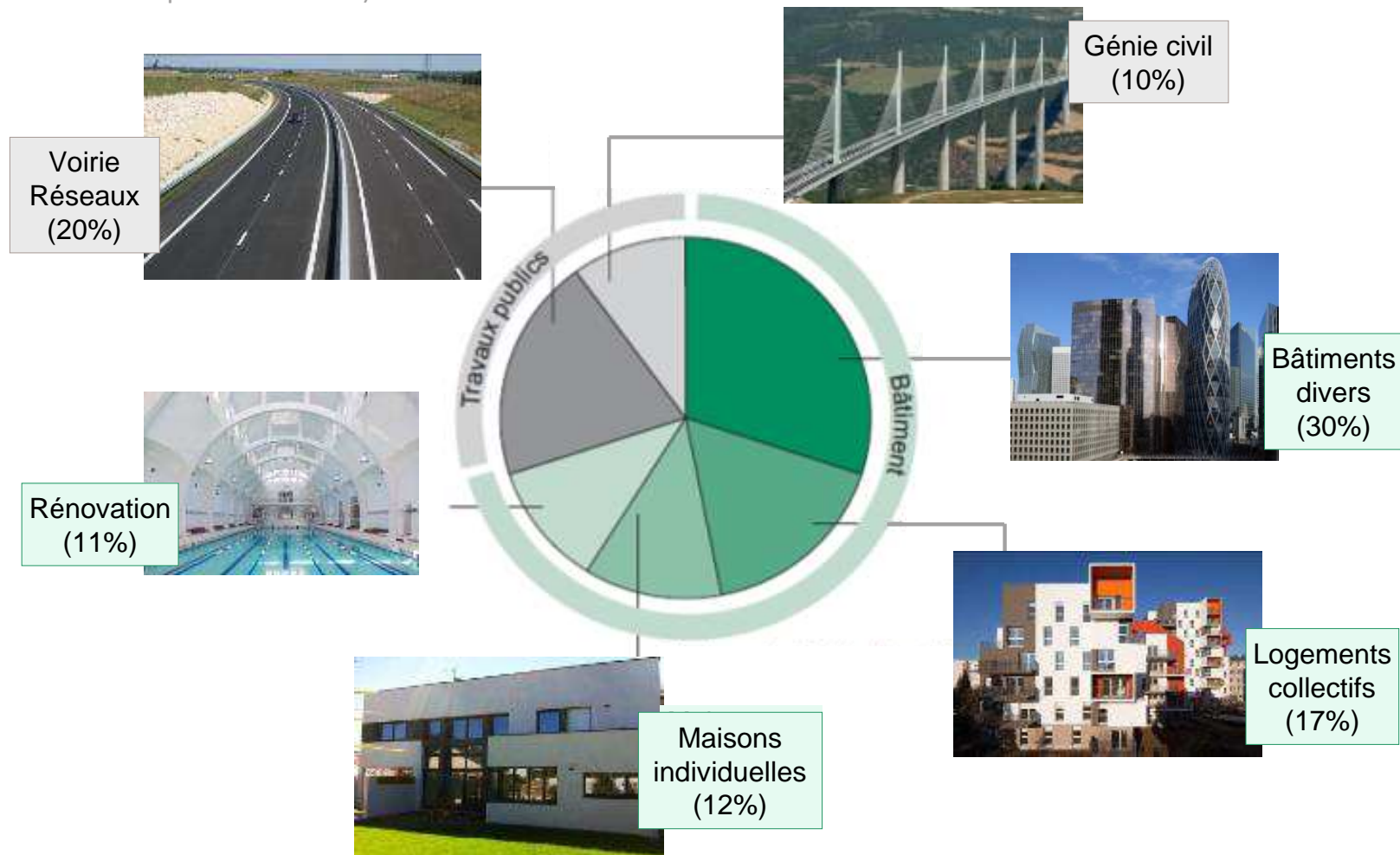
- 1.1. Les types d'usages du béton et marchés
- 1.2. Le béton vs coût global d'un projet de construction
- 1.3. La durée de vie des ouvrages
- 1.4. L'évolution de la réglementation et des normes



# Le parc d'ouvrage en France

## Le type d'usage du béton – marchés principaux

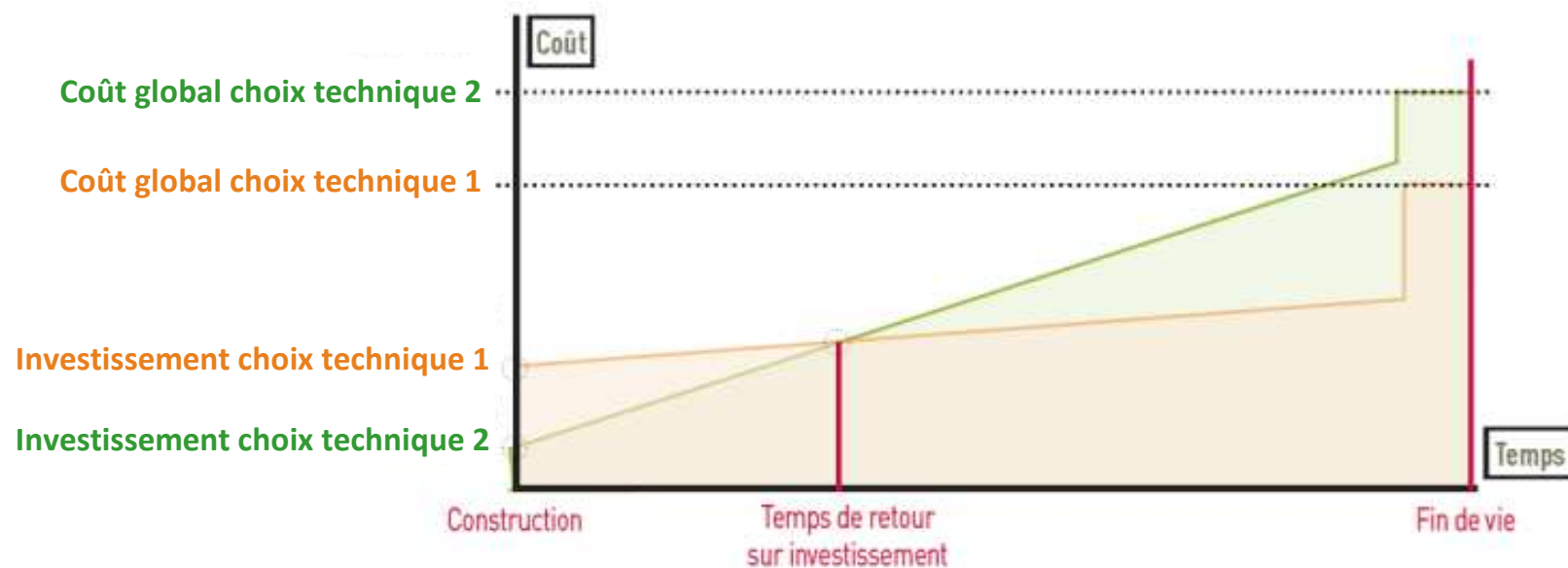
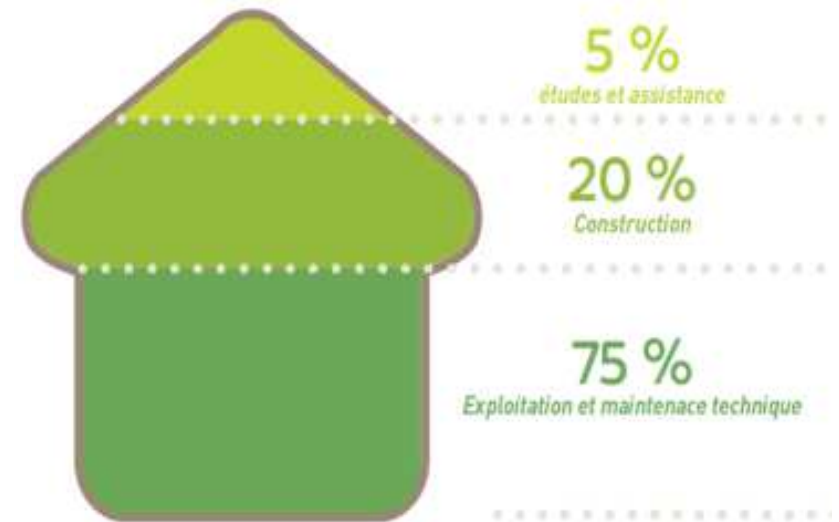
- **Usages du béton prêt à l'emploi  $\approx$  80% de bâtiments courants et 20% d'ouvrages d'art**  
(source : statistique SNBPE 2004)



# Le parc d'ouvrage en France

*Le béton dans le coût global d'un projet de construction*

- **« En anticipant, dès sa conception, tous les coûts liés à l'utilisation d'un ouvrage, il est possible d'en diminuer significativement l'impact total qu'il soit financier ou environnemental »** (extrait du Rapport QUALITEL 2013 – Le coût global dans la construction)



# Le parc d'ouvrage en France

## *La durée de vie des ouvrages*

- **Les ouvrages sont construits pour une durée de vie minimale définie, avec la volonté de :**
  - Garantir la sûreté des ouvrages
  - Assurer des coûts de maintenance / exploitation les plus faibles possibles.

<b>Catégorie de durée d'utilisation de projet</b>	<b>Durée indicative d'utilisation de projet (en années)</b>	<b>Exemples</b>
1	10	Structures provisoires
2	25	Éléments structuraux remplaçables
3	25	Structures agricoles et similaires
4	50	Bâtiments et autres structures courantes
5	100	Bâtiments monumentaux Ponts et autres ouvrages de génie civil

EUROCODE : Norme NF EN 1990-AN. Application de l'annexe A1



# Evolution des normes/règlements

---

*Prise en compte des enjeux de société dans les textes réglementaires*

## **De nombreuses révisions des documents techniques béton ces dernières années :**

- Norme béton : NF EN 206/CN : 2012
- Marchés publics - Fascicule 65
- SNCF - IN0034 (livret 2.21)
- Des fascicules de promotion de l'approche performantielle

## **De nouveaux groupes de travail ou projet nationaux**

- AFNOR P18B – Groupe de travail Retours d'expériences
- AFGC – Retours d'expériences et bétons atypiques
- PerfDub et **durabilité des ouvrages**

## **Toujours encadré par des normes/réglementations, on observe aujourd'hui une tendance à :**

- la recherche d'économies sur les ouvrages : financières (coût/maintenance) et environnementales (CO<sub>2</sub> et ressources)  
*et en parallèle,*
- l'utilisation des additions dans les formules béton, qui soulèvent des questions sur la durabilité, notamment en matière de maintien des performances bétons

# Partie 2

## La durabilité du béton conditionnée par...

- 2.1. La qualité et la régularité des constituants
- 2.2. La sélection et le respect des classes d'expositions
- 2.3. La formulation de bétons conformes à la norme
- 2.4. La mise en œuvre soignée



# La qualité et la régularité des constituants

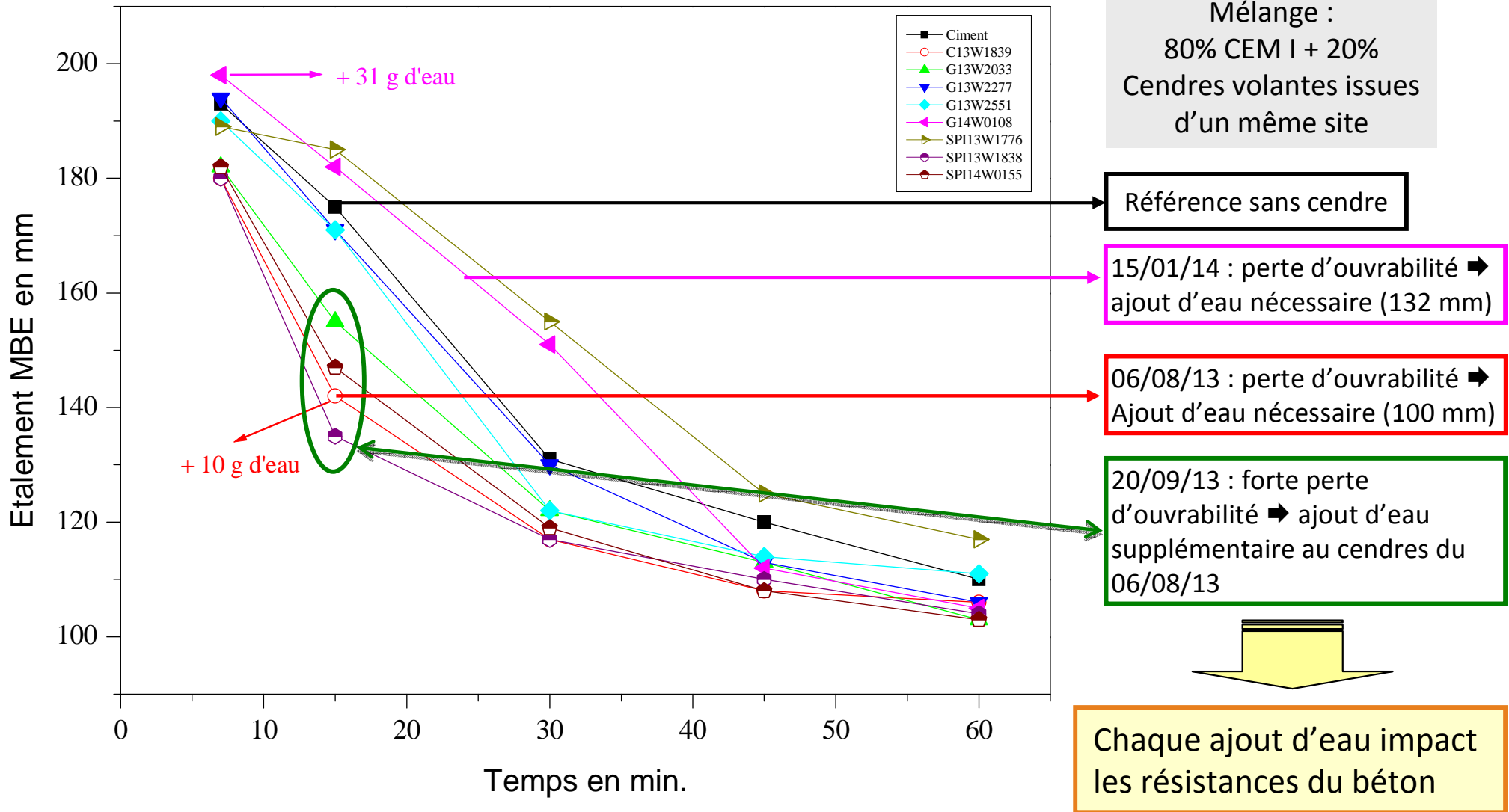
Variabilité des résistances mortier en fonction de la qualité des cendres

MORTIER EN Rc 28j (MPa)	100% CEM I	80% CEM I + 20% CENDRES A (cendres EN 450-1 ; k=0,6)		80% CEM I + 20% CENDRES B (cendres EN 450-1 ; k=0,4)	
		Échantillon 2013 « qualité : moyenne »	Echantillon 2014 « qualité : bonne »	Échantillon 2013 « qualité : moyenne »	Echantillon 2014 « qualité : bonne »
Ciment 1	56,8	51,1	55,2	50,5	49,5
Ciment 2	53,8	45,0	51,8	45,8	47,0
Différence	3,0	6,1	3,4	4,7	2,5

- **Cendres de bonne qualité** : la différence de résistance mesurée sur le liant équivalent (3,4 et 2,5) est identique à celle obtenue avec le ciment (3,0)
- **Cendres de qualité moyenne** (problèmes de résistance): la différence de résistance mesurée sur le liant équivalent (6,1 et 4,7) est multipliée par 2 comparée à celle du ciment (3,0).
  - Cette différence est légèrement plus marquée pour les cendres k=0,6 de qui on attend plus de performance à 28 jours.
  - Lorsque la résistance du ciment diminue, l'impact d'une cendre de qualité moyenne amplifie la perte de résistance.

# La qualité et la régularité des constituants

Variabilité de l'ouvrabilité en fonction de la qualité des cendres



# La qualité et la régularité des constituants

Comparaison de 3 échantillons de laitier issus du même site sidérurgique

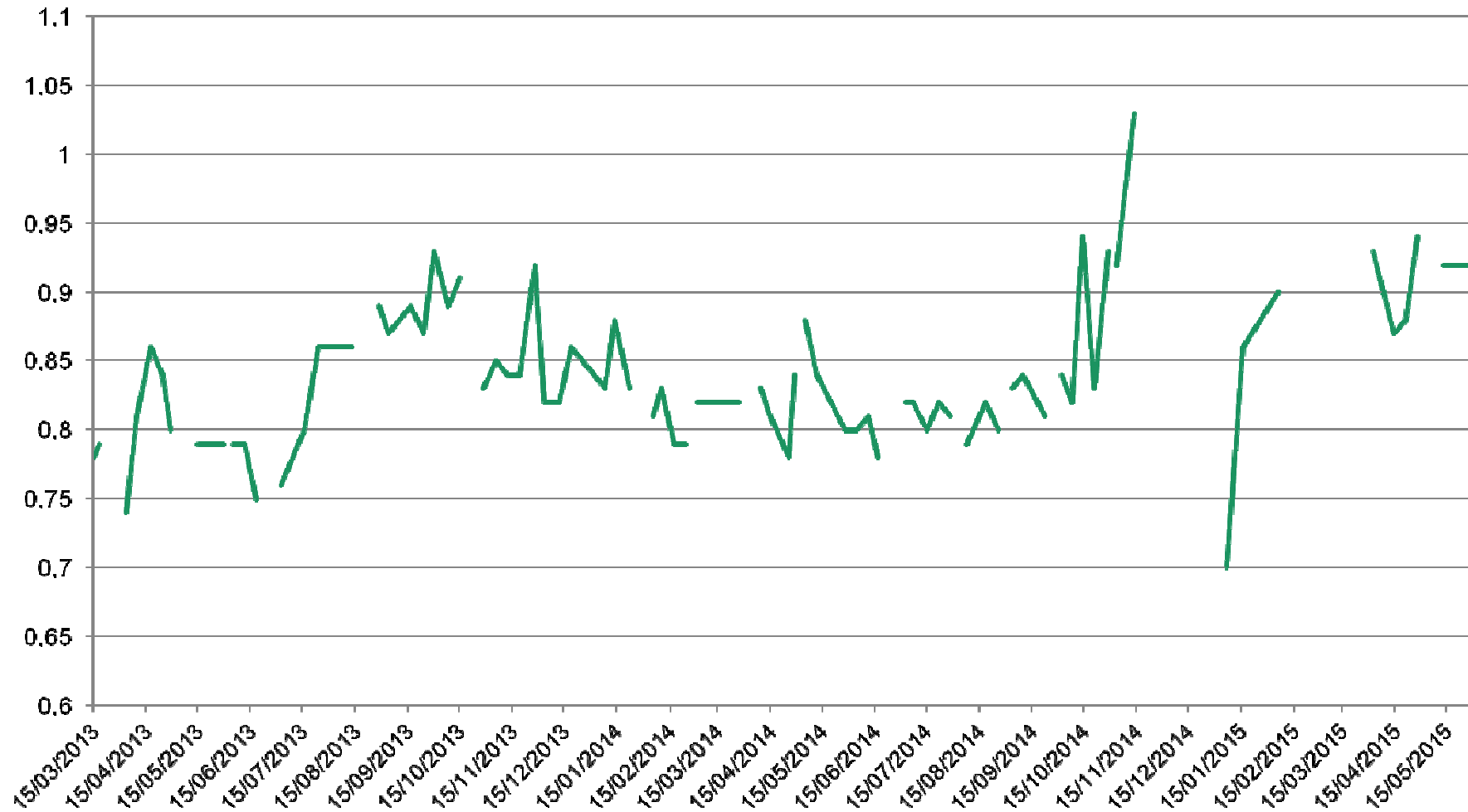
Source de laitier identique	MODULES CHIMIQUES				CHIMIE		DRX	TEST A LA SOUDE	
	C+S+M/Mt > 66,67	(C+M) / S > 1,0	Indice d'hydraulicité IH	Module chimique NF 18-506	SO <sub>3</sub> %	S <sup>-</sup> %	Phase vitreuse > 66,6%	Rc 2j MPa	Rc 7j MPa
Laitier M1	82,9	1,53	1,83	395 (I <sub>1</sub> )	0,01	1,32	83	9,0	14,4
Laitier M2	76,8	1,44	1,71	352 (I <sub>1</sub> )	1,15	0,68	62	1,8	3,1
Laitier M3	76,4	1,48	1,76	359 (I <sub>1</sub> )	1,21	1,06	75	2,0	3,0

**Non Conforme / NF EN 197-1**

# La qualité et la régularité des constituants

Evolution de la teneur en titane des laitiers (France)

### % TiO<sub>2</sub> Laitier



# La qualité et la régularité des constituants

## Variabilité des réceptions laitier - Usine Lafarge

- Les contrôles réception des lots de laitier en cimenterie : chimie, PaF, Rc 28j... ne sont pas en vigueur sur une centrale à béton.
- Retour d'expérience : CEM III/A 52,5 N S43 ⇔ CEM I 52,5 N + 40% laitier moulu
  - Écart type Rc 28j du CEM III/A (même dosage laitier) : 2.8
  - Ecart type Rc 28j du mélange mortier CEM I + laitier : 4.3 (soit 54 % plus élevé que celui du CEM III)
- Retour d'expérience : CEM III/B 42,5 N S71 ⇔ CEM I 52,5 R + 70% laitier moulu
  - Ecart type Rc 28j du CEM III/B (même dosage laitier) : 1.8
  - Ecart type Rc 28j du mélange mortier CEM I + laitier : 5,0 (soit 180% plus élevé que celui du CEM III)

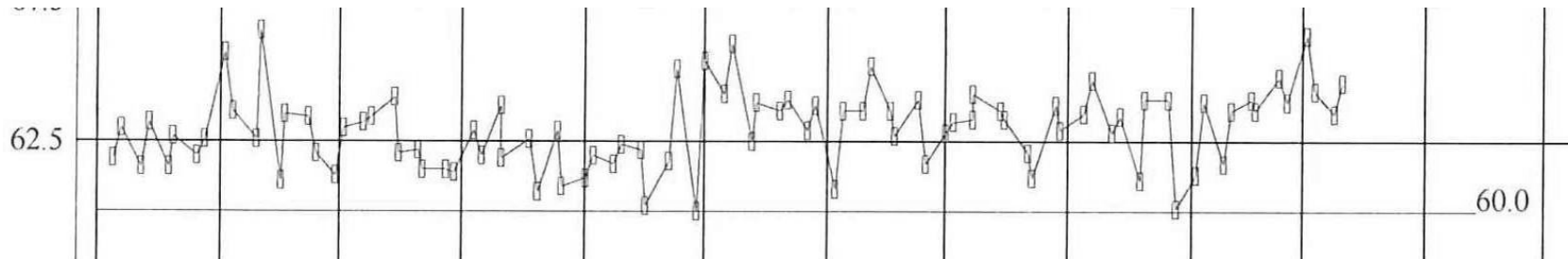
Rc 28j sur mortier EN 01.2012 - 12.2012	CIMENT PUR	CIMENT COMPOSE	LIANT RECOMPOSE
	CEM I 52,5 N	CEM III/A 52,5 N (S43)	60% CEM I + 40% Laitier moulu (Fr)
Moyenne (MPa)	65,8	66,4	61,6
Ecart type (MPa)	2,4	2,8	4,3

Rc 28j sur mortier EN 08.2012 - 07.2013	CIMENT COMPOSE	LIANT RECOMPOSE
	CEM III/B 42,5 N (S71)	30% CEM I + 70% Laitier moulu (Fr)
Moyenne (MPa)	58,3	47,9
Ecart type (MPa)	1,8	5,0

# La qualité et la régularité des constituants

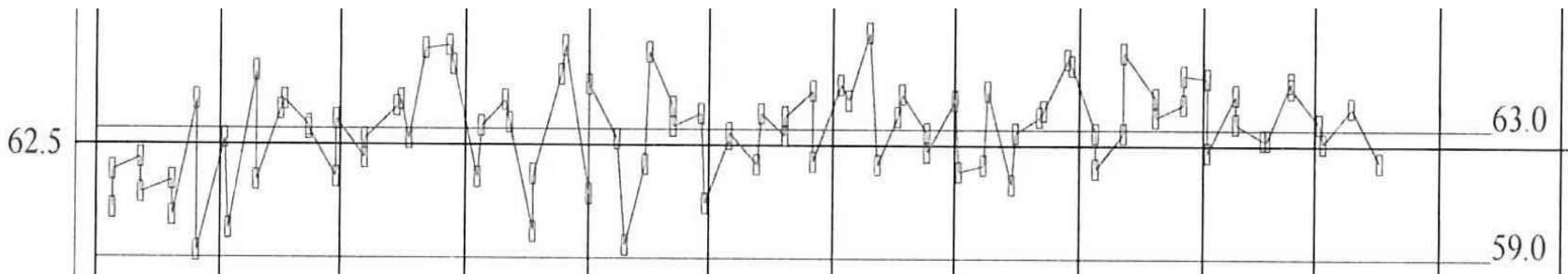
Comparaison de la variabilité des ciments – Usine Calcia

*CEM III/A 52,5 L (même période) :*



R28  
Nb=90  
m=63.0  
s=1.4

*CEM I 52,5 N (même période) :*

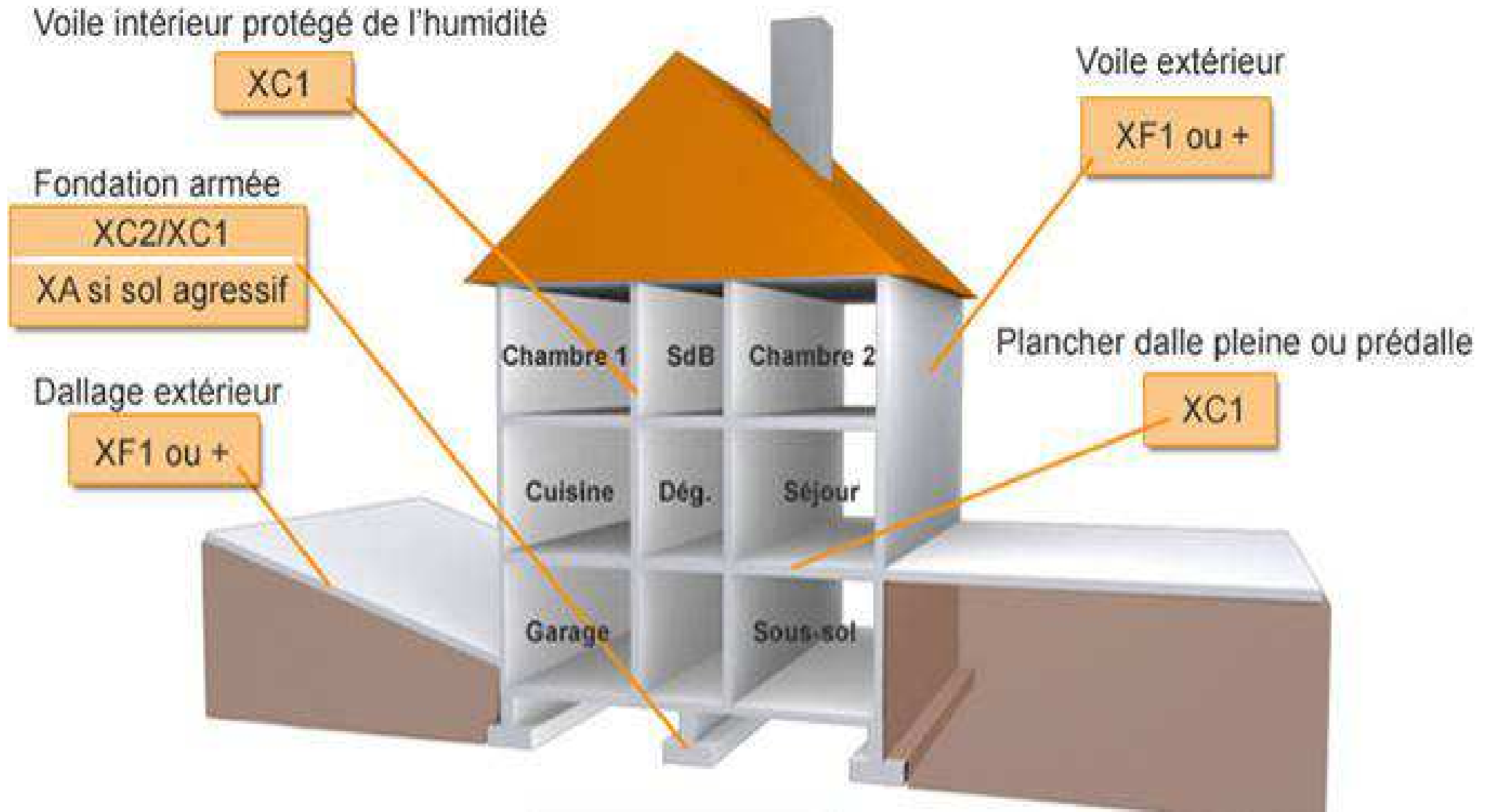


R28  
Nb=90  
m=63.0  
s=1.5

La régularité et la qualité des constituants  
maîtrisée en cimenterie dans les ciments  
composés : 1<sup>er</sup> socle de la performance et de la  
durabilité du béton



# La sélection et le respect des classes d'expositions



# La sélection et le respect des classes d'expositions



Optimisation de l'utilisation des additions en fonction de l'attente technique : **Un béton pour un environnement**

La sélection et le respect des classes d'expositions définies par le **maître d'œuvre** : **2<sup>ème</sup> socle** de la performance et de la durabilité du béton



# La mise en œuvre soignée... dont LA CURE

- La mise en œuvre, et **plus particulièrement le soin de la cure** (protection d'un béton pendant la phase de prise et de durcissement), **est conditionnée par les conditions climatiques et les performances du béton.**
- Norme de cure : NF EN 13670 pour les éléments coulés en place et de la norme NF EN 13369 pour les éléments préfabriqués.

Classe de cure	1	2	3	4
Période (en heures)	12 <sup>(a)</sup>	NA	NA	NA
Pourcentage de la valeur spécifiée pour la résistance à la compression caractéristique à 28 jours	NA	35 %	50 %	70 %

	Température de la surface du béton (t) en °C	Durée minimale de cure (en jours) <sup>(a)</sup>		
		Évolution de la résistance du béton <sup>(c,d)</sup> r = f <sub>cm 2</sub> / f <sub>cm 28</sub>		
		Rapide r ≤ 0,50	Moyenne 0,30 ≤ r < 0,50	Lente 0,15 ≤ r < 0,30
CLASSE DE CURE 2	t ≥ 25	1,0	1,5	2,5
	15 ≤ t < 25	1,0	2,5	5
	10 ≤ t < 15	1,5	4	8
	5 ≤ t ≤ 10 <sup>(b)</sup>	2,0	5	11
CLASSE DE CURE 3	t ≥ 25	1,5	2,5	3,5
	15 ≤ t < 25	2,0	4	7
	10 ≤ t < 15	2,5	7	12
	5 ≤ t ≤ 10 <sup>(b)</sup>	3,5	9	18
CLASSE DE CURE 4	t ≥ 25	3	5	6
	15 ≤ t < 25	5	9	12
	10 ≤ t < 15	7	13	21
	5 ≤ t ≤ 10 <sup>(b)</sup>	9	18	30

L'attention portée à la mise en œuvre du béton par l'entreprise : **4<sup>ème</sup> socle** de la performance et de la durabilité du béton

Un béton durable = une chaîne de responsabilités

Ciments manufacturés réguliers - producteurs  
matériaux/déchets - concepteurs -  
formulation béton - plans de bétonnage -  
ferrailage - structures

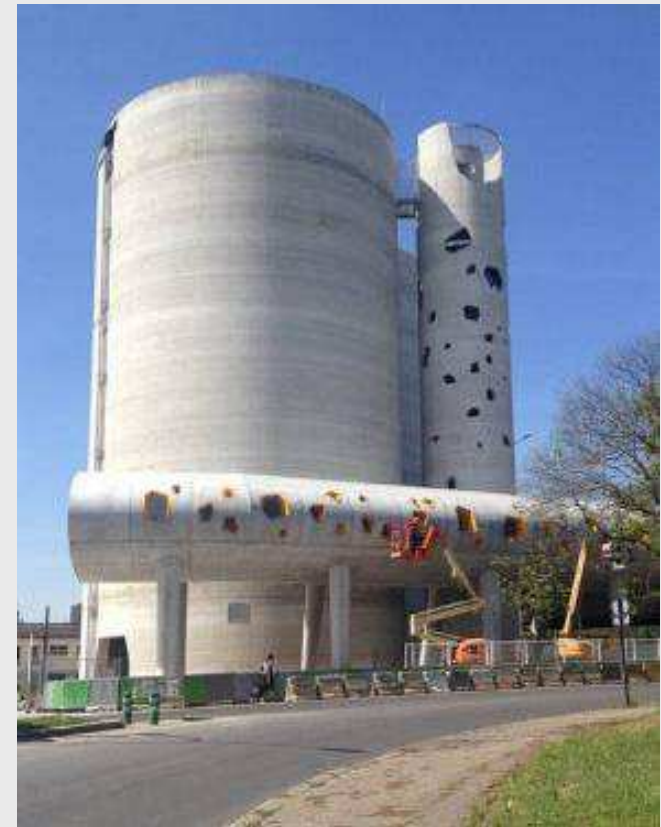
# Partie 3

## Les avantages et précautions liés à la valorisation des laitiers et des cendres : bâtiments courants et ouvrages d'art

3.1. Les pathologies courantes du béton

3.2. Les bâtiments courants

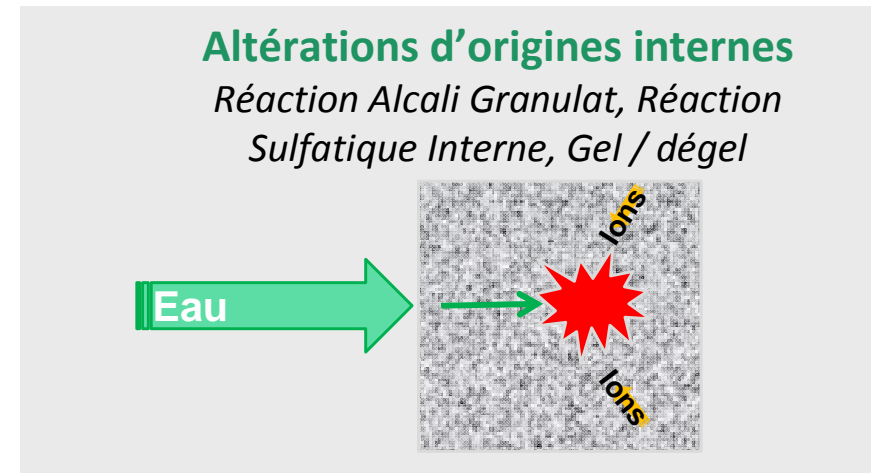
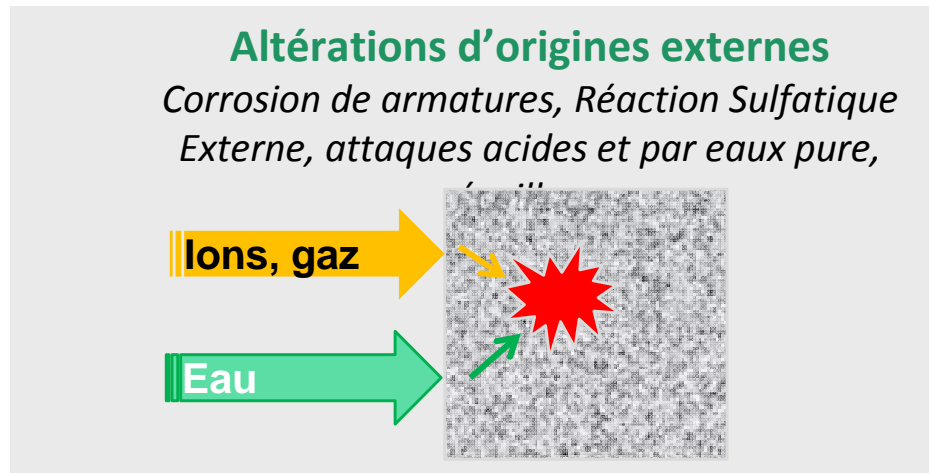
3.3. Les ouvrages d'art



*Centre de Distribution Ciments Calcia de Paris-Bruneseau - Prouesse architecturale et performance (vitesse de réalisation et performance)*

# Les pathologies courantes du béton

2 grands types d'altération : Origines internes / Origines externes au béton



- La **pénétration** puis la **migration** d'eau, de vapeur d'eau (humidité ambiante et saturation en eau du béton), des gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), et des ions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ...) (concentrations ou fréquence) dans le béton est **indispensable pour que l'altération progresse**  $\Leftrightarrow$  Porosité du béton / Perméabilité aux gaz
- Il se produit une réaction avec un des constituants du béton (aluminates, armatures du béton...)  $\rightarrow$  disparition d'hydrates ou formation de phases expansives (ettringite, rouille...).
- **Il y a plusieurs manières d'empêcher ou de ralentir la dégradation :**
  - limiter la quantité de phase réactive ou soluble (aluminates, portlandite)  $\rightarrow$  **le choix du ciment est déterminant**
  - limiter la porosité du béton et sa connectivité
  - limiter la diffusivité des gaz ou des ions.

**INDICATEURS DE DURABILITE**

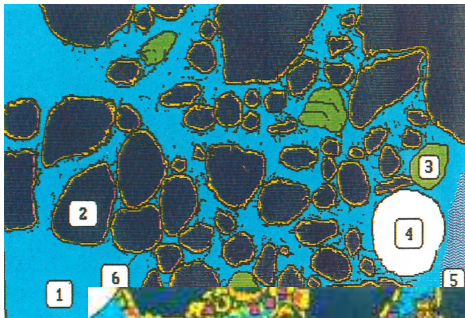
# Avantages et précautions : les bâtiments courants

Environnements courants



# Avantages et précautions : les bâtiments courants

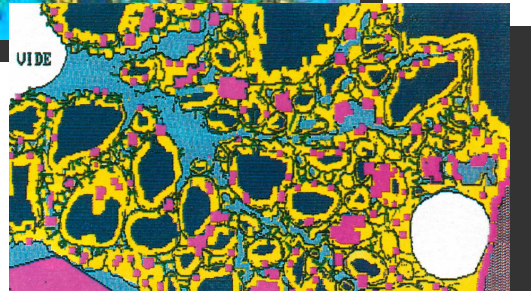
## Corrosion des armatures - **précaution**



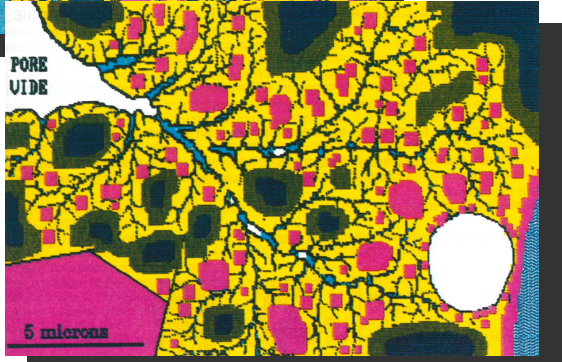
Après le gâchage ➔ porosité du béton très élevée suite à la **formation d'hydrates qui réduisent et ferment** progressivement la **porosité capillaire**.



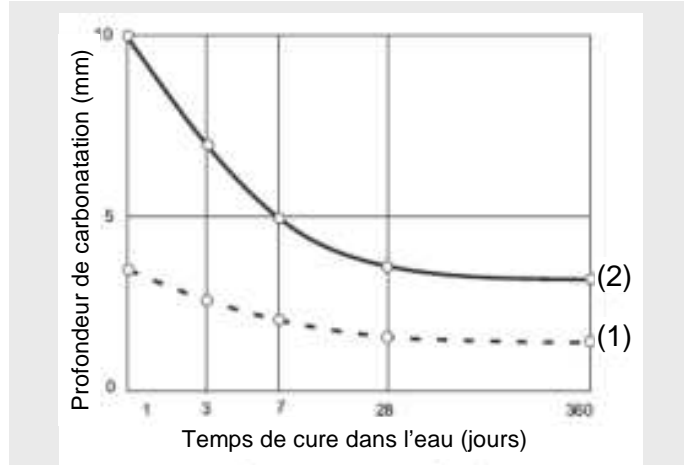
Un **ciment composé** contient moins de phase active « rapide ». **La porosité se ferme plus lentement**.



Le réservoir de Portlandite assurant un  $\text{pH} > 12$  est plus faible (phase de clinker hydraté).



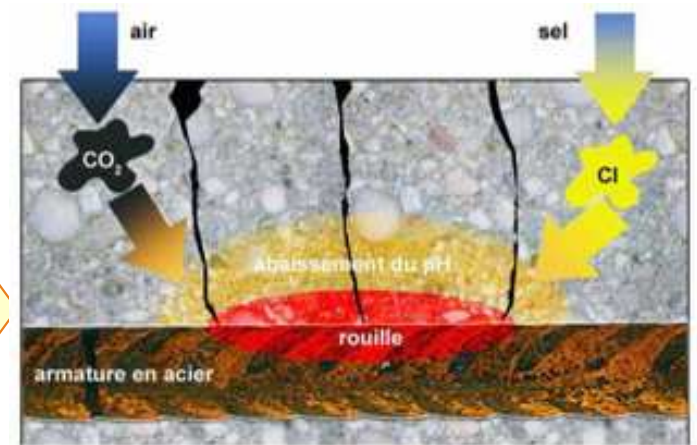
Les armatures sont plus exposées au risque de corrosion. **La formulation béton (% ciment et E/C) et le soin de la cure sont des éléments cruciaux.**



**Influence de la cure sur la profondeur carbonatée, d'après [MEY 68]**

Eprouvettes de béton confectionnées avec un ciment Portland renfermant 12% de  $\text{C}_3\text{A}$  (courbe 1) et un ciment contenant 70% de laitier (courbe 2), conservées après une cure dans l'eau, pendant un an à l'air, à l'abri de la pluie. Une cure humide prolongée limite la profondeur de carbonatation. L'effet est particulièrement sensible pour les premiers jours de conservations.

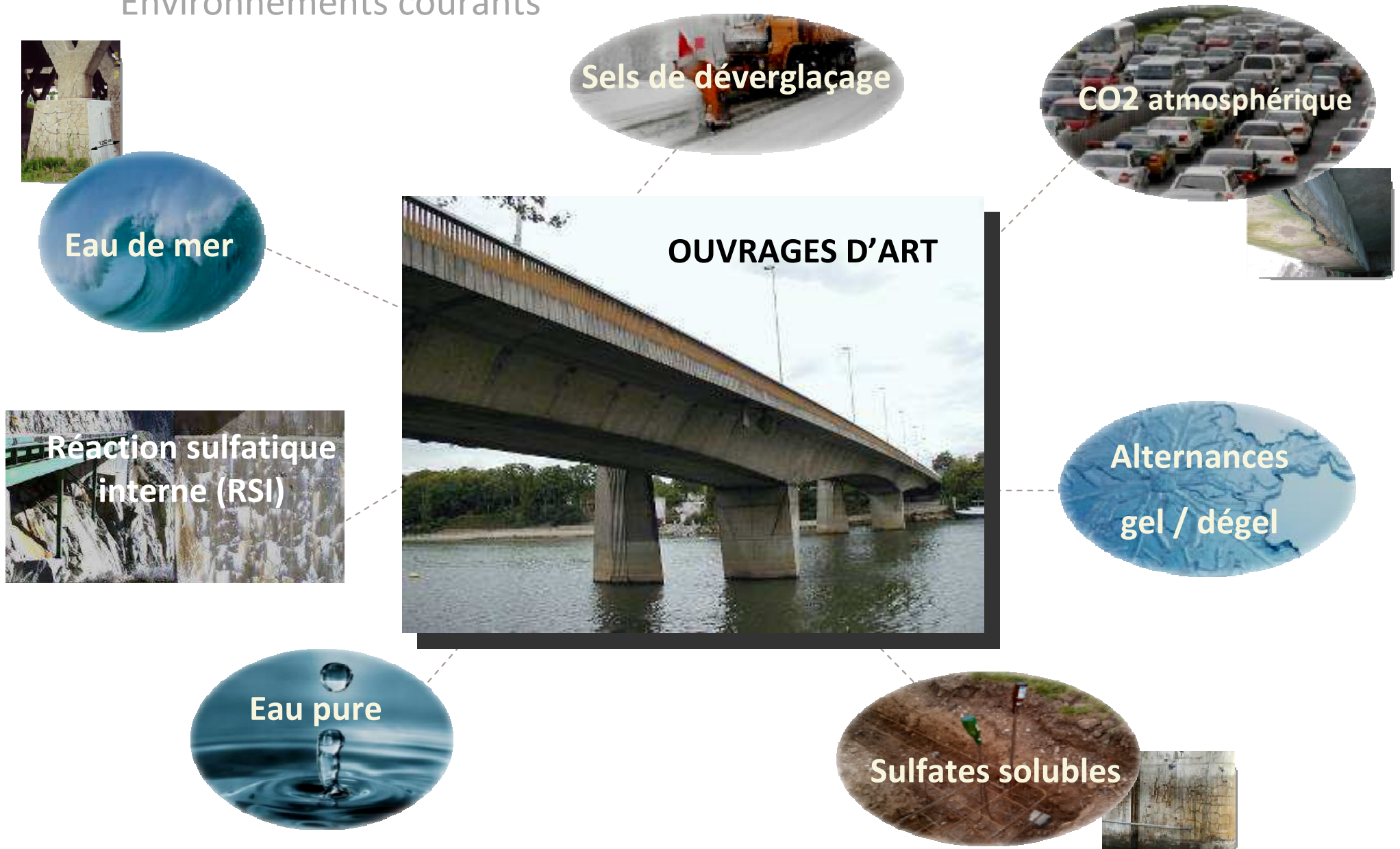
Hydratation croissante





# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

Environnements courants



# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

## Impact économique des différents types de pathologies

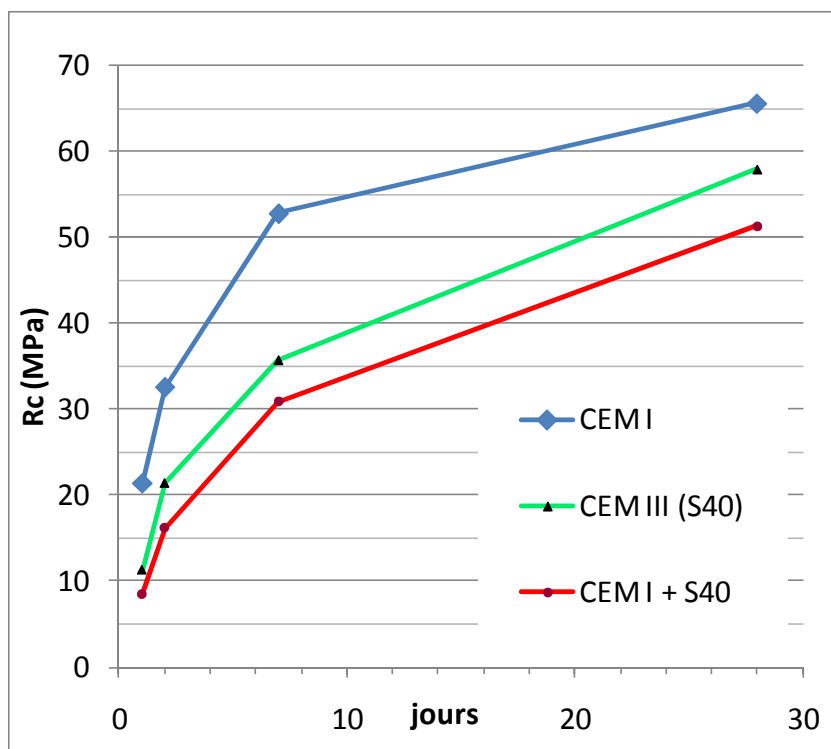
- |   |               |
|---|---------------|
| ▪ Corrosion des armatures liée à la carbonatation                   | <b>faible</b> |
| ▪ Ecaillage en présence de sels de déverglaçage                     | <b>moyen</b>  |
| ▪ Corrosion des armatures liée au chlorures                         | <b>moyen</b>  |
| ▪ Dégradations chimiques type eaux pures                            | <b>moyen</b>  |
| ▪ Réaction sulfatique externe (RSE)                                 | <b>fort</b>   |
| ▪ Réaction alcali-granulats (RAG)                                   | <b>fort</b>   |
| ▪ Réaction sulfatique interne (RSI/DEF) (essentiellement en France) | <b>fort</b>   |

**L'impact de ces différentes pathologies peut conduire de la simple opération de maintenance à la destruction du bâtiment**

# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

## La cinétique d'acquisition des performances - **précaution**

- Utilisation des additions dans le béton
  - ↳ Réduction de la part active « rapide », le clinker
  - ↳ Diminution des performances à jeunes âges
    - ➔ **Risque accru de fissuration du béton par tassement**
- Les **précautions à prendre sur la cure** sont d'autant plus importantes que la **performance à court terme diminue**



<u>Ciment composé en cimenterie :</u>			
CEM III/A 52,5 L (S40)	SSB CEM III	3665	cm <sup>2</sup> /g
	SSB Clinker	3400	cm <sup>2</sup> /g
<u>Liant équivalent en centrale à béton :</u>			
60% CEM I 52,5 N	SSB CEM I	3445	cm <sup>2</sup> /g
40% Laitier 1	SSB laitier	3850	cm <sup>2</sup> /g

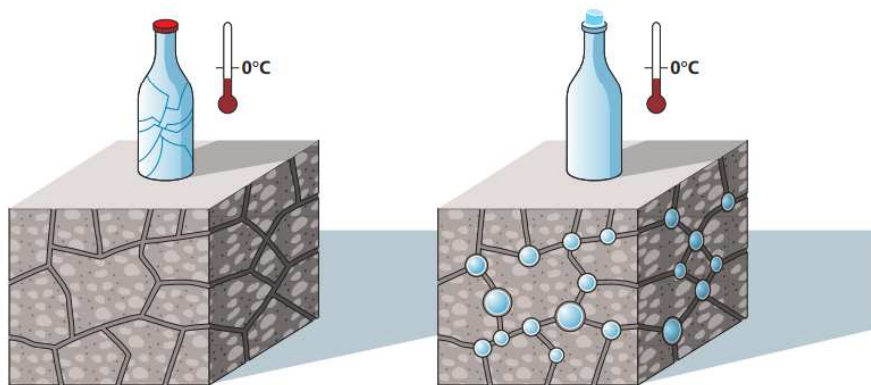
# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

## La tenue au gel - **précaution**

Utilisation restreinte des additions dans le béton. Le guide LCPC précise les dosages maximaux autorisés (plus restrictifs que les normes) :

- **Les cendres volantes sont interdites** compte tenu de leur imbrulés (impact entraineur d'air)
- Les fumées de silices, **laitier moulu** et fillers calcaires sont **autorisés de façon limitée**.  
 ➔ **Avantage des CEM I et CEM II/A ou B (sans cendres)**

**Guide recommandation LCPC décembre 2003**



**Fig.1 : La création d'un réseau bien réparti de micro-bulles d'air, accroît la résistance au gel de certains types de bétons en diminuant les tensions internes dans les capillaires.**

Caractéristiques	Spécifications	
	Béton G	Béton G + S
Type et classe	CEM I ou CEM II/A et B sauf cendres volantes 42,5 N - 42,5 R** 52,5 N - 52,5 R**	CEM I PM ou ES* ou CEM II/A (S, D) PM ou ES* 42,5 N - 42,5 R** 52,5 N - 52,5 R**
Dosage minimal*** pour un béton armé ou précontraint 0/20 avec D <sub>max</sub> = 20 mm	385 kg/m <sup>3</sup> ***	385 kg/m <sup>3</sup>

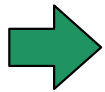
	XF1 a)	XF2 a)	XF3 a) b)	XF4 a) b)
Rapport Eeff/liant éq maximal c)	0,60	0,55	0,55	0,45
Classe de résistance minimale	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Teneur mini en liant éq (kg/m <sup>3</sup> ) c) d)	280	300	315	340
Teneur minimale en air (%)	-	4 e) k)	4 e)	4 e)
Essai(s) de performances m)	-	NF P 18-425 et XP P 18-420	NF P 18-425 (ou NF P 18-424)	NF P 18-425 (ou NF P 18-424) et XP P 18-420

Combinaison CEM I + additions	Rapport maximal A/(A+C) I)	Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,15 f)
		Fumées de silice	0,10	0,10	0,10	0,10
Métakaolin type A	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
Laitier moulu	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	
Addition calcaire catégorie A	0,30	0,25	0,25	0,25	0,05	
Addition calcaire catégorie B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,05	
Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,25	0,20	0,20	0,20	0,05	
Combinaison CEM II/A + addition	Rapport maximal A/(A+C) I)	Cendres volantes	0,20	0,20	0,20	0,00
		Fumées de silice 9)	0,10	0,10	0,10	0,10
		Métakaolin type A 9)	0,10	0,10	0,10	0,10
		Laitier moulu	0,20	0,20	0,20	0,00
		Addition calcaire catégorie A	0,10	0,00	0,00	0,00
		Addition siliceuse de minéralogie QZ	0,00	0,00	0,00	0,00

# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

## La Réaction Alkali-Granulats : RAG - avantage

- **Utilisation de granulats réactifs** (nature des phases minéralogiques type silice amorphe)
  - ↳ formation de gel expansif en présence d'alcalins
    - ➔ **Risque accru d'expansion / fissuration du béton**
- **Teneurs en alcalins élevées** des composants du béton et migration vers les sites réactifs
  - ➔ **Avantage des ciments composés qui diminuent ces teneurs : CEM V, CEM III, CEM II/B-V**



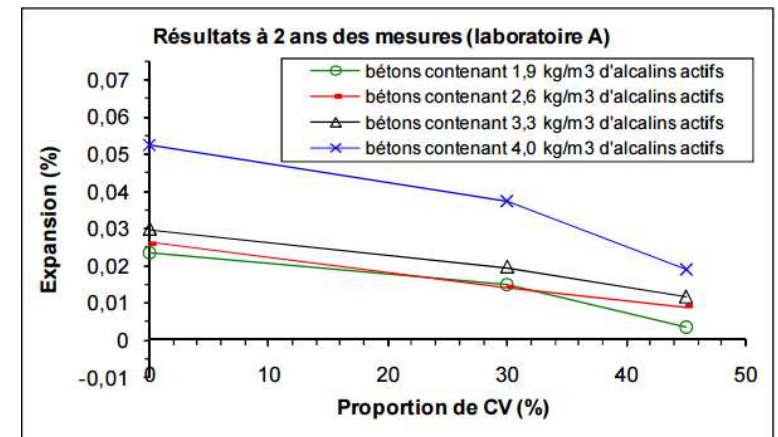
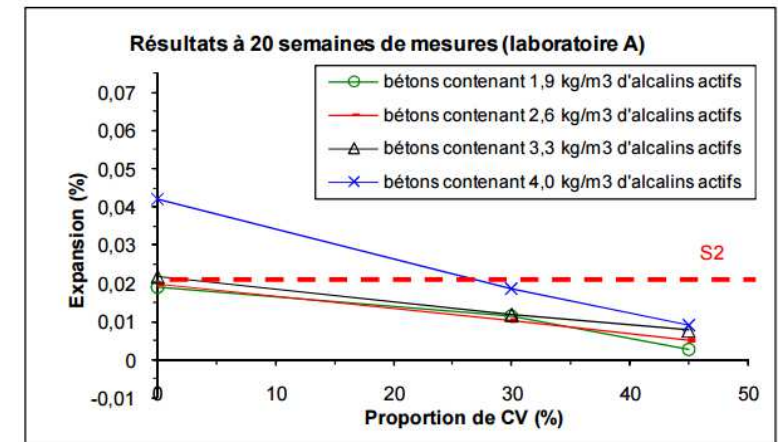
**Guide recommandation LCPC août 2007**

Le guide présente 3 niveaux de prévention A, B, C.

Exemple niveau B :

Il est impératif de pouvoir répondre positivement au moins à l'UNE des six questions suivantes :

- l'étude du dossier granulats montre-t-elle que les granulats sont non-réactifs?
- La formulation satisfait-elle à un critère analytique (bilan alcalins)?
- La formulation satisfait-elle à un critère de performance?
- La formulation présente-elle des références d'emplois suffisamment convaincantes?
- Le béton contient-il des additions minérales inhibitrices en proportions suffisantes?
- Les conditions particulières aux granulats PRP sont-elle satisfaites?



Expansions des bétons en fonction de la qualité des cendres volantes utilisées (Source : Article ATILH/EDF)

# Avantages et précautions : les ouvrages d'art

## La Réaction Sulfatique Interne (RSI) sans sulfates extérieurs - avantage

- **Élévation de température interne du béton ( $> 65^{\circ}\text{C}$ )** pendant la prise et le durcissement ➔ instabilité des cristaux d'ettringite
- **Refroidissement du béton** ➔ cristallisation d'ettringite différée qui vient remplir les espaces libres ➔ **Risque de gonflement**
- Teneur en sulfates, aluminates et alcalins du béton  
➔ **Avantage des ciments composés : effet dilution + faible chaleur d'hydratation**

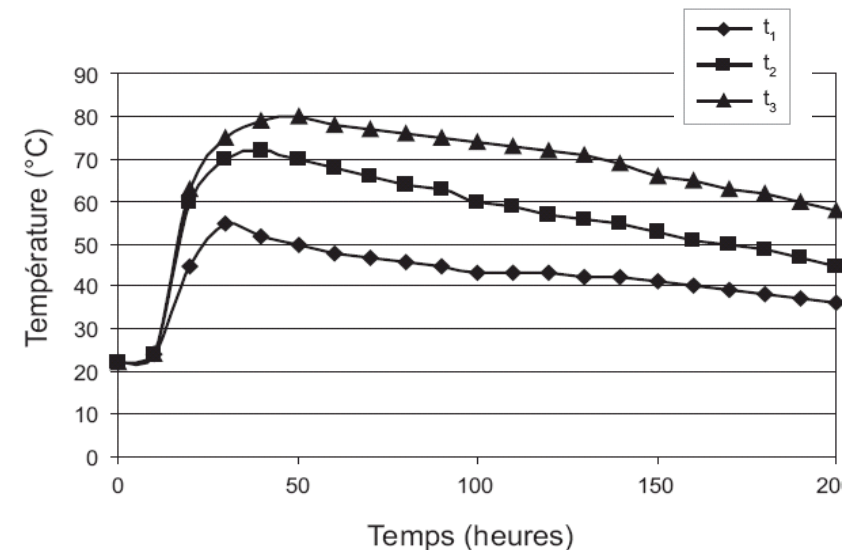


**Guide recommandation LCPC août 2007**

Le guide présente 4 niveaux de prévention As, Bs, Cs, Ds par type d'ouvrage et classe d'exposition.

Exemple niveau Bs :

- Température maximale ( $T_{\max}$ ) dans le béton  $< 75^{\circ}\text{C}$
- Si  $75^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 85^{\circ}\text{C}$ , respect d'au moins une des six conditions suivantes :
  - Traitement thermique maîtrisé\*, durée de maintien à  $T > 75^{\circ}\text{C}$  inférieure à 4h, alcalins équivalents actifs du béton  $< 3 \text{ kg/m}^3$
  - Utilisation d'un ciment conforme à NF P15-319 (ES) avec dans le cas des CEM I et CEM II/A, alcalins équivalents actifs du bétons  $< 3 \text{ kg/m}^3$
  - Utilisation de ciments de type CEM II/B-S, CEM II/B-Q, CEM II/B-M (S-V), CEM III/A ou CEM V avec teneur en  $\text{SO}_3 \leq 3\%$  et  $\text{C}_3\text{A}$  du clinker  $\leq 8\%$
  - Utilisation de CEM I ( $\text{SO}_3 \leq 3\%$  et  $\text{C}_3\text{A} \leq 8\%$ ) + addition de cendres volantes, laitier de haut-fourneau ou pouzzolanes naturelles calcinées en proportion supérieure à 20% et en respectant les exigences de la normes NF EN 206-1
  - Critères de l'essai de performance satisfaits



Echauffement d'une pièce massive de béton calculé en différents points

# Conclusion

## L'Approche Performantielle de la durabilité

Actuellement en France, il existe 2 Approches Performantielle de la durabilité présentée dans deux guides :



### Guide IFSTTAR

#### ➔ Méthode de conception performantielle dite méthode absolue

- Basée sur la mesure d'indicateurs de durabilité généraux et le respect de seuils.
- Complète les prescriptions de l'EN 206
- Guide complet qui décrit bien toutes les étapes



### Guide FNTF

#### ➔ Concept de performance équivalente dite méthode relative

- Basé sur des essais de performance et des indicateurs de durabilité (en attendant que les essais soient élaborés et la comparaison avec des bétons de référence).
- Ce guide propose des dérogations sur les prescriptions de l'EN 206
- Guide incomplet



Le projet national Perf Dub a pour objectif de définir une approche nationale de référence commune.

# Conclusion

---

1. Des enjeux de société croissants pour le parc d'ouvrage de demain :
  - ▶ Nécessité de rendre la construction plus durable
  - ▶ Besoin de réduire les dégradations et coûts de maintenance des bâtiments
    - ➔ Une prise en compte globale et reprise par les réglementations et les normes
2. **Les conditions pour répondre à ces enjeux et proposer des bétons durables**
  - ▶ **Socle 1 : Qualité et régularité des constituants**  
*Les ciments composés offrent la meilleure garantie par un process maîtrisé et des leviers permettant de compenser la variabilité des ajouts*
  - ▶ **Socle 2 : Sélection et respect des classes d'expositions**  
*Les différentes classes d'expositions permettent de fournir des solutions pour des bétons durables et adapter aux environnements (même agressifs) : un béton pour un usage*
  - ▶ **Socle 3 : Formulation de bétons conformes à la norme**  
*Les normes permettent de garantir des formulations durables avec des % d'additions adaptées aux environnements*
  - ▶ **Socle 4 : Mise en œuvre soignée**  
*Les précautions prises lors de la mise en œuvre du béton, notamment la cure, permettent de garantir sa durabilité en adaptant les soins en fonction des formules*
    - ➔ Un béton durable = Une chaîne de responsabilité des acteurs
3. Le laitier et les cendres présentent des avantages face à des pathologies spécifiques mais restent des ajouts. **La hiérarchie du recyclage fait des ciments composés leur meilleure voie de valorisation en :**
  - ▶ optimisant au maximum leur utilisation en fonction de leur potentiel,
  - ▶ compensant leur variabilité,
  - ▶ garantissant des bétons durables.



# Contacts

---



**Claire CAPRA** (*Intervenante*)

*Directrice Technique et Assistance Produits*

06 74 29 71 42 - [claire.capra@lafarge.com](mailto:claire.capra@lafarge.com)



**Christophe BOUF**

06 73 18 40 65 - [christophe.bouf@lafarge.com](mailto:christophe.bouf@lafarge.com)



**Bernard GERMANEAU** (*Intervenant*)

*Directeur Technico - Commercial*

06 70 13 36 21 - [bgermaneau@ciments-calcia.fr](mailto:bgermaneau@ciments-calcia.fr)



**William SONGEUR**

06 22 70 69 66 - [wsongeur@ciments-calcia.fr](mailto:wsongeur@ciments-calcia.fr)