

Journées Techniques Ouvrages d'Art 2016



Evaluation de
la réactivité de
plusieurs formules
de béton
vis-à-vis de la RSI

S. Lavaud, L. Divet, L. Linger,
F. Cussigh, F. Barberon, P. Gotteland

Contexte

- La réaction sulfatique interne (RSI): à l'origine de désordres conséquents sur les ouvrages en béton
- Nouveaux cas répertoriés au cours de la dernière décennie → précautions supplémentaires à prendre
- Additions minérales: contribuent à réduire le risque de développement de la RSI
- Actualisation récente de la norme NF EN 206/CN (utilisation plus large des CEMII/A-L et CEMII/A-LL dans la formulation des bétons)

Programme FNTP/IFSTTAR: évaluation de l'efficacité des différentes additions minérales vis-à-vis de la RSI (20 formulations):

- Avec CEMI ou CEMII/A-LL
- Cycles thermiques rencontrés par les éléments massifs coulés en place
- Méthodes d'essais des LPC n°66 – essai de performance

👉 Mise à jour des recommandations pour la prévention des désordres dus à la RSI

Programme expérimental

3 parties:

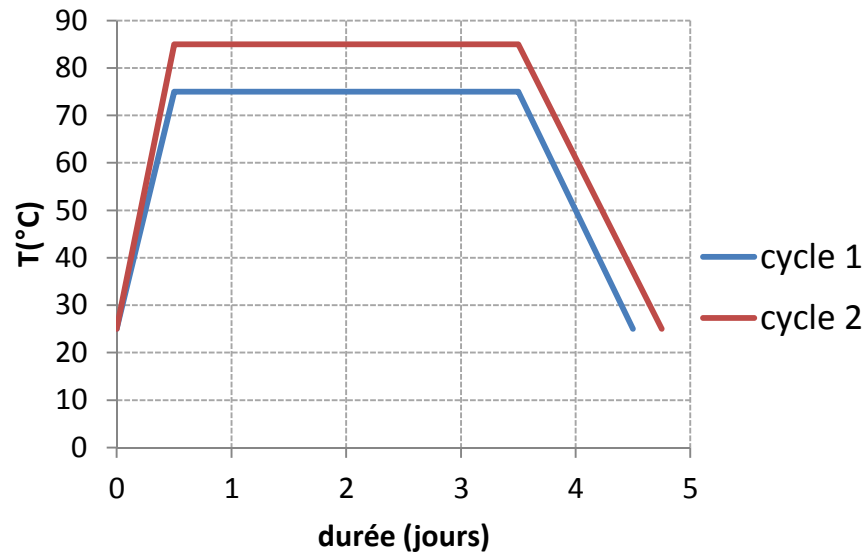
- Partie 1: influence des additions minérales sur la RSI en présence de CEMII/A-LL
- Partie 2: influence des additions minérales sur la RSI (niveau Ds)
- Partie 3: influence d'un liant ternaire sur la RSI

Critères communs aux 3 parties:

- Teneur en liant (ciment + additions): 400 kg/m³
- E/L = 0,45
- Affaissement visé: S = 180±30 mm

Granulats Palvadeau (kg/m ³)						Ciments et additions	
Sable 0/0,315	Sable 0,315/1	Sable 1/4	Gravillon 4/8	Gravillon 8/12	Gravillon 12,5/20	Nature	Caractéristiques
130	130	450	210	570	310	CEM I 52,5 N CE CP2 NF	C ₃ A: 9,9% - SO ₃ : 3,48%
						CEM II/A-LL 42,5 R CE NF	C ₃ A: 9,2% - SO ₃ : 3,35%
						Filler calcaire	Surface spécifique Blaine: 4620 cm ² /g d50: 6,5 μm
						Filler calcaire grossier	d50: 300 μm
						Laitier de haut fourneau	Surface spécifique Blaine: 4400 cm ² /g
						Fumées de silice	Surface spécifique BET: 22±2 m ² /g
						Métakaolin	Surface spécifique BET: 16 m ² /g
						Cendres volantes	/
						Superplastifiant	/

2 cycles thermiques:

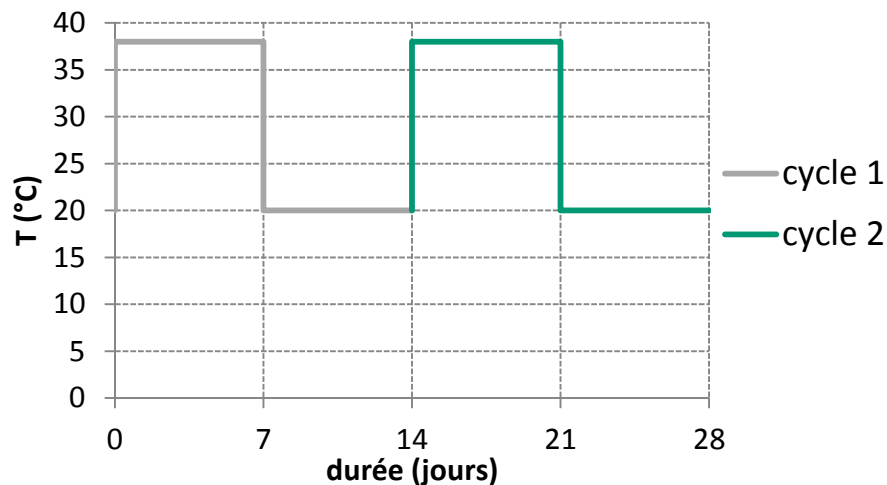


Cycle 1:

- Température béton frais 25°C
- 12h de montée en température à 75°C (4,2°C/h)
- 3j de maintien du palier
- Redescente en 24h (2°C/h)

Cycle 2:

- Température béton frais 25°C
- 12h de montée en température à 85°C (5°C/h)
- 3j de maintien du palier
- Redescente en 30h (2°C/h)



Séchage:

38°C, 30% d'humidité relative

Humidification:

20°C, immersion (eau du réseau)

LCPC Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées

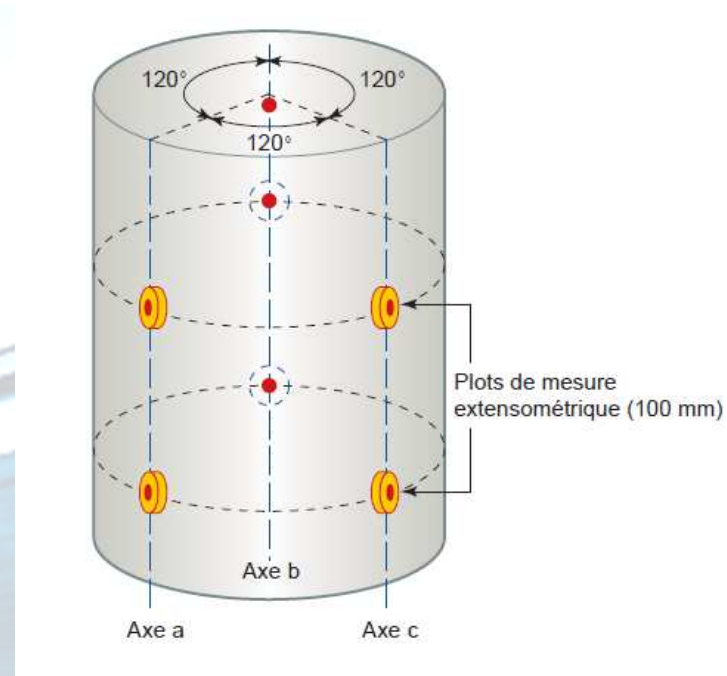
techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



Méthode d'essai des lpc n°66

**Réactivité d'un béton vis-à-vis
d'une réaction sulfatique interne**

Essai de performance



Partie 1 : Influence des additions minérales sur la RSI en présence de CEMII/A-LL (cycles thermiques 1 et 2)

6 formules
2 cycles thermiques

12 lots (3 éprouvettes/lot)

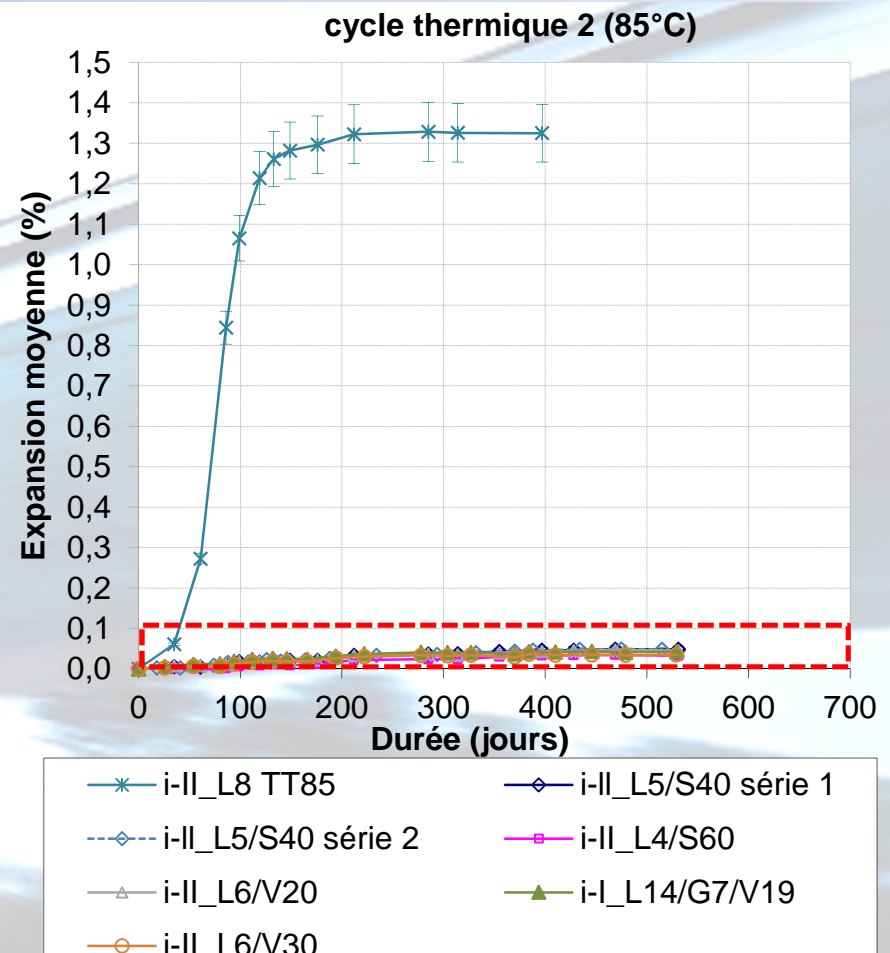
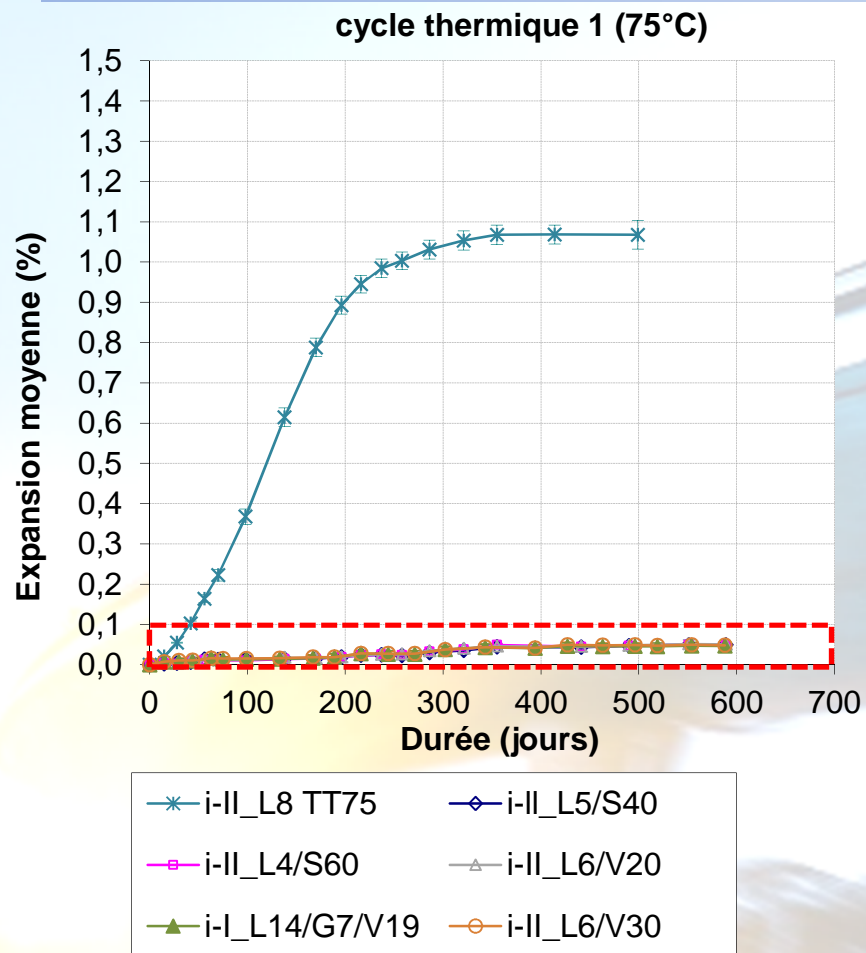
36 éprouvettes 11*22 cm
(+3 ep. 11*22)

nomenclature formulations	ciment	dosage (kg/m ³)	addition 1	dosage (kg/m ³)	addition 2	dosage (kg/m ³)	dosage en liant (kg/m ³)	E/L	slump (mm)	
									cycle 1	cycle 2
i-II_L8	CEM II/A-LL	370	filler calcaire	30	/	/	400	0,45	160	192
i-II_L5/S40	CEM II/A-LL	220	filler calcaire	20	laitier moulu	160	400	0,45	198	210 (160)*
i-II_L4/S60	CEM II/A-LL	145	filler calcaire	15	laitier moulu	240	400	0,45	201	198
i-II_L6/V20	CEM II/A-LL	295	filler calcaire	25	cendres volantes	80	400	0,45	160	200
i-II_L6/V30	CEM II/A-LL	255	filler calcaire	25	cendres volantes	120	400	0,45	184	195
i-I_L14/G7/V19	CEM I	260	filler calcaire grossier	90**	cendres volantes	80	430	0,45	158	165

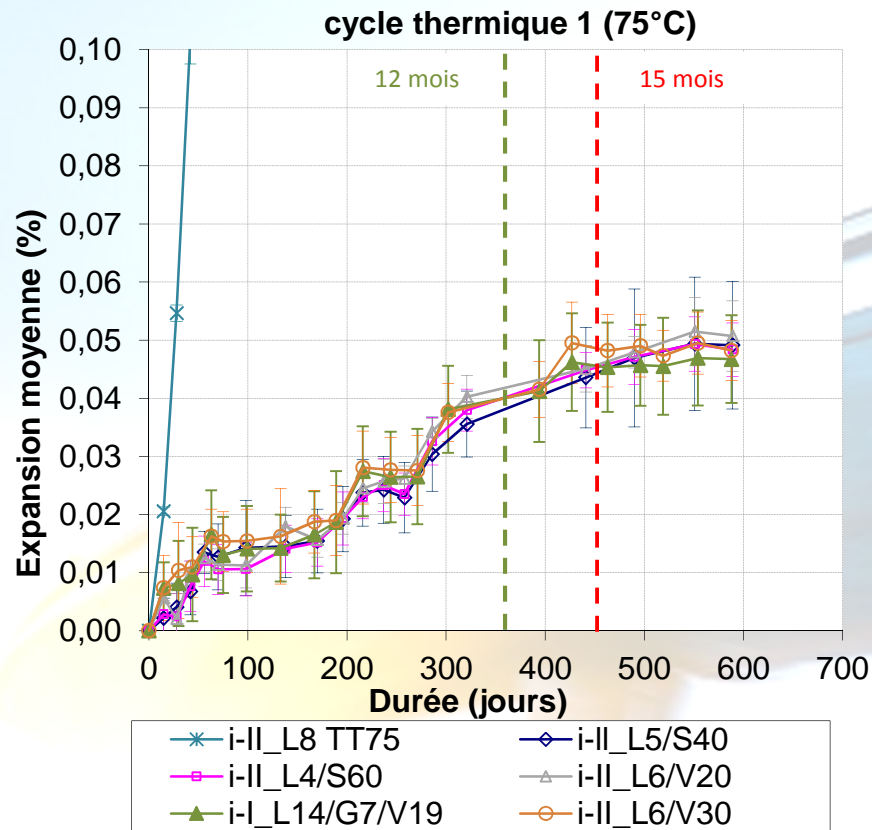
*: problème de ressuage sur la série 1 – nouvelle fabrication de 3 éprouvettes pour la formule 1 (série 2)

** : 60 kg/m³ de filler calcaire et 30 kg/m³ de filler calcaire grossier

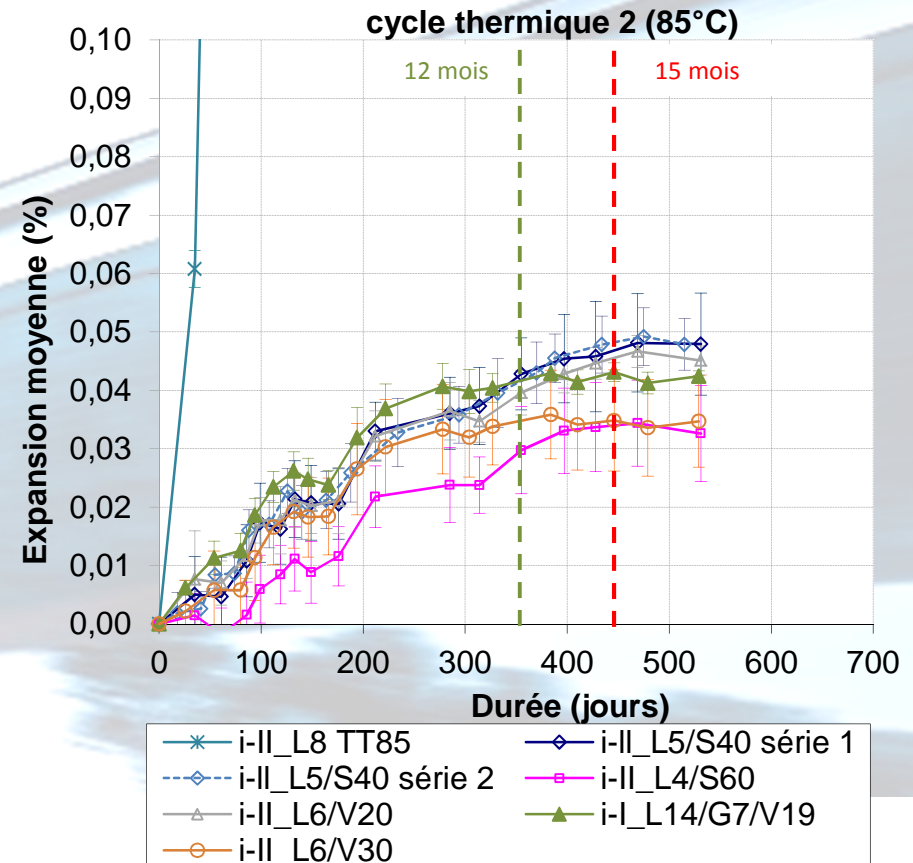
Partie 1 : Influence des additions minérales sur la RSI en présence de CEMII/A-LL (cycles thermiques 1 et 2)



Partie 1 : Influence des additions minérales sur la RSI en présence de CEMII/A-LL (cycles thermiques 1 et 2)



- gonflements stabilisés à 14 mois
- compris entre 0,045 et 0,050%

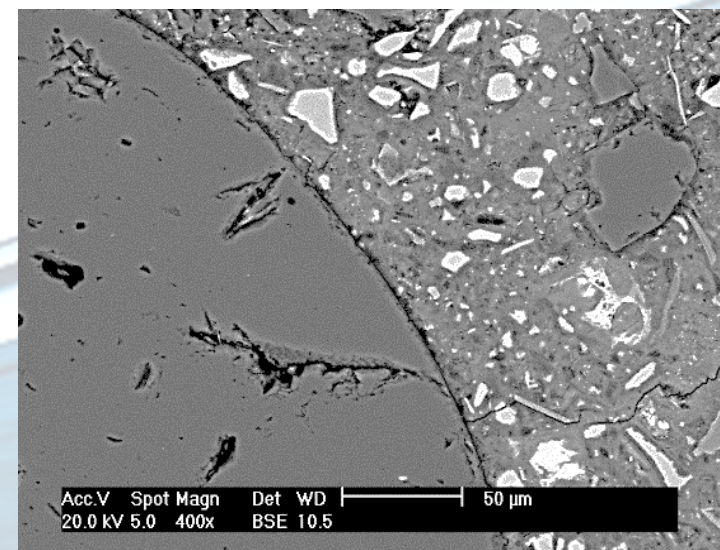
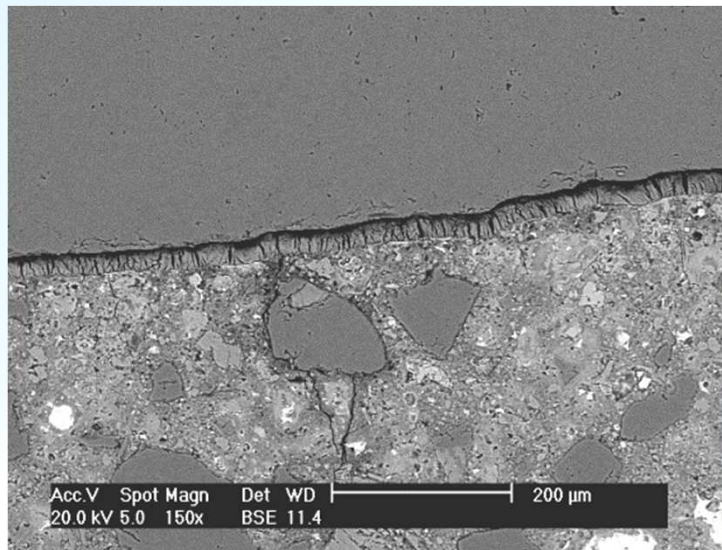


- gonflements stabilisés à 13 mois
- compris entre 0,034 et 0,050%

témoin i-II_L8 TT75

À 12 mois

formule i-II_L4/S60 TT75

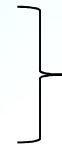


Pour les 2 cycles thermiques, pas d'expansion significative avec un CEMII/A-LL et:

- 5% filler calcaire + 40% laitier HF
- 4% filler calcaire + 60% laitier HF
- 6% filler calcaire + 20% cendres volantes
- 6% filler calcaire + 30% cendres volantes

Partie 2 : influence des additions minérales sur la RSI (niveau Ds) (cycle thermique 1)

4 formules
cycle thermique 1



4 lots (3 éprouvettes/lot)



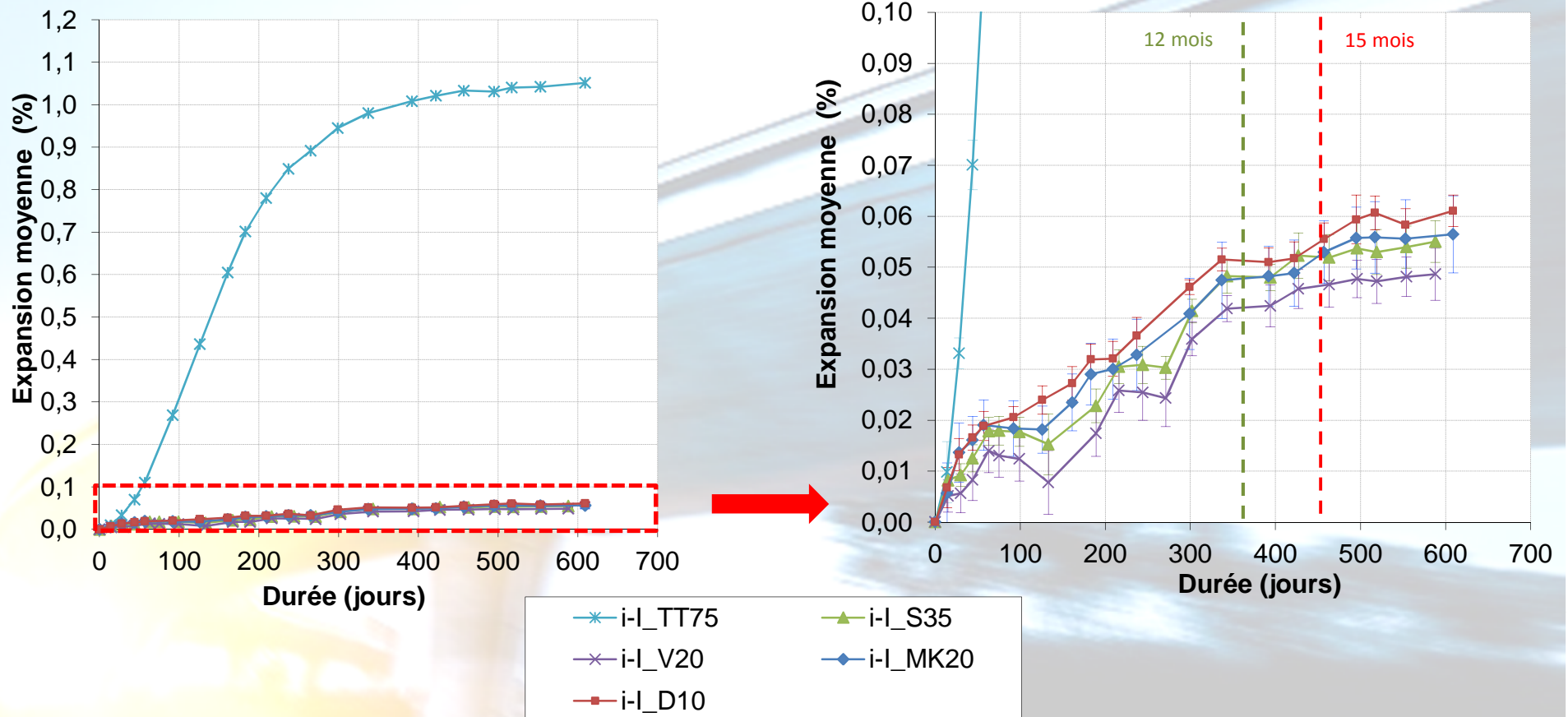
12 éprouvettes 11*22 cm

dénomination formule	nomenclature commune	ciment	dosage (kg/m ³)	addition 1	dosage (kg/m ³)	addition 2	dosage (kg/m ³)	dosage en liant (kg/m ³)	E/L	slump (mm)
formule 5	i-I_S35	CEM I	260	laitier moulu	140	/	0	400	0,45	189
formule 6	i-I_V20	CEM I	320	cendres volantes	80	/	0	400	0,45	159
formule 7	i-I_MK20	CEM I	320	métakaolin	80	/	0	400	0,45	152
formule 8	i-I_D10	CEM I	360	fumées de silice	40	/	0	400	0,45	155

témoin 2	i-I	CEM I	400	/	0	/	0	400	0,45	192
-----------------	------------	-------	-----	---	---	---	---	-----	------	-----

Partie 2 : influence des additions minérales sur la RSI (niveau Ds) (cycle thermique 1)

cycle thermique 1 (75°C)

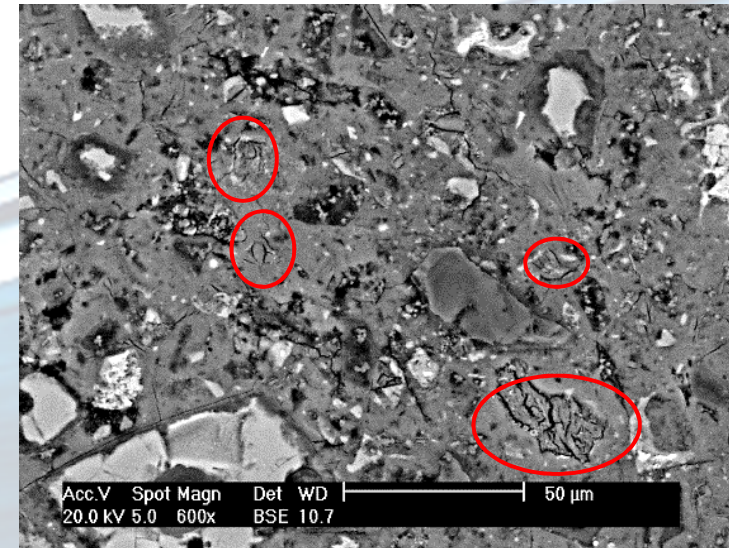
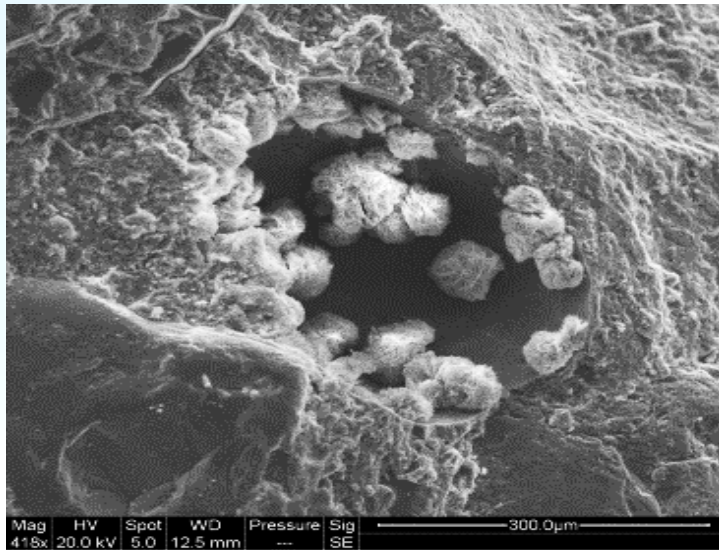


- gonflements en cours de stabilisation à 15 mois
- Compris entre 0,045 et 0,060%

formule i-l_S35 TT75

À 12 mois

formule i-l_S35 TT75



Pour le cycle thermique 1 (75°C), pas d'expansion significative avec un CEMI et:

- 35% laitier HF
- 20% cendres volantes
- 20% métakaolins
- 10% fumées de silice

Partie 3 : Influence d'un liant ternaire sur la RSI (cycles thermiques 1 et 2)

2 formules
2 cycles thermiques



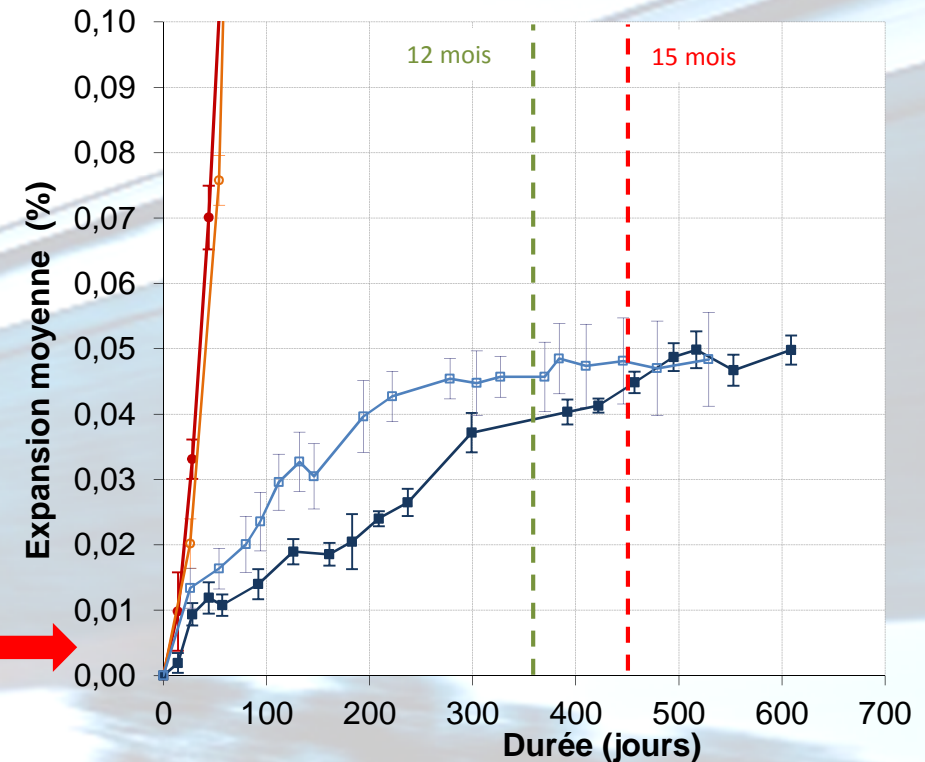
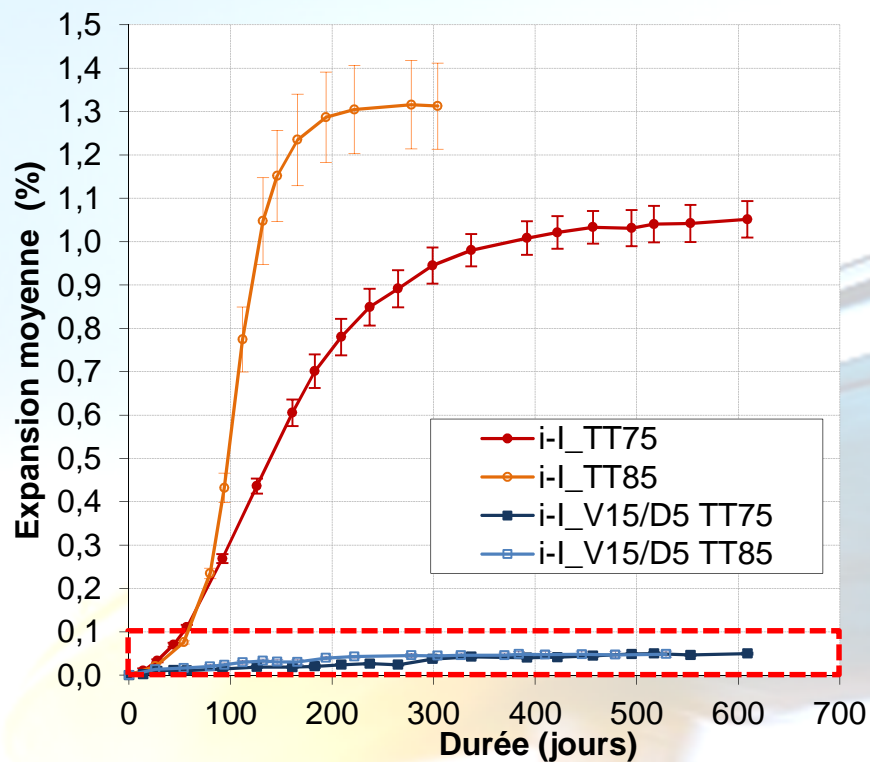
4 lots (3 éprouvettes/lot)



12 éprouvettes 11*22 cm

dénomination formule	nomenclature commune	ciment	dosage (kg/m ³)	addition 1	dosage (kg/m ³)	addition 2	dosage (kg/m ³)	dosage en liant (kg/m ³)	E/L	slump (mm)	
										cycle 1	cycle 2
témoin 2	i-I	CEM I	400	/	0	/	0	400	0,45	192	155
formule 10	i-I_V15/D5	CEM I	320	cendres volantes	60	fumées de silice	20	400	0,45	199	165

Partie 3 : Influence d'un liant ternaire sur la RSI (cycles thermiques 1 et 2)



Liant ternaire:

- cinétique de gonflement augmente avec la température
- TT85: palier stabilisé dès 9 mois (< à 0,05%)
- TT75: stabilisation à 16 mois (0,05%)

Pour les deux cycles thermiques, pas d'expansion significative avec un CEMI et:

- 15% cendres volantes + 5% fumées de silice

Conclusion

- Mise en évidence de l'efficacité des additions minérales pour inhiber la RSI aussi bien avec un CEMI qu'avec un CEMII/A-LL (calcaire)
 - Mise en évidence de l'efficacité d'un liant ternaire (80% CEMI + 15% cendres volantes + 5% fumées de silice) pour inhiber la RSI
 - Détermination des teneurs minimales en additions minérales avec un CEMI ou un CEMIIA pour se prémunir de la RSI:
 - Laitiers de haut fourneau: 35%
 - Cendres volantes: 20%
 - Métakaolins: 15% (LNEC)
 - Fumées de silice: 10%
- ☞ Modifications apportées dans les recommandations pour la prévention des désordres dus à la RSI

Merci pour votre attention



Ifsttar

14-20 Bld. Newton

Cité Descartes

Champs sur Marne

77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

France

Tél. +33 (0)1 81 66 80 00

www.ifsttar.fr

