



*Sté Rouennaise de Transformation*



*Sté de Promotion Industrielle et Energétique*

# **La Valorisation des Laitiers sidérurgiques en cimenterie**

Marseille, le 19 Mai 2011

William SONGEUR  
Arnaud HOURDIN

SRT  
SPI

# **LAITIERS SIDERURGIQUES : QUELLE VALORISATION EN CIMENTERIE ?**

## **Etat des lieux**

# Les Laitiers d'aciérie de convertisseur (LD ou LWS) en France

(volumes en KT)	2008	2009	Δ 09 / 08
Production laitiers d'acierie	2 190	1 600	- 27%
Dont laitiers LD	840	810	- 4%
Production mise en stock	415	215	- 48%
% mise en stock	49%	27%	
Production valorisée	425	595	40%
% valorisé	51%	73%	

(source: CTPL - Novembre 2010)

**Malgré le développement remarqué des usages en applications routières, la sidérurgie génère plus de laitiers d'aciérie qu'elle n'en valorise.**

# Les Laitiers de Haut Fourneau en France

( en KT )	2006	2008	2009	Δ 09 / 08
Production	4 200	3 600	2 300	-36%

- 45% entre 2006 et 2009

Domaines d'utilisation		2006		2009	
		KT	%	KT	%
Ciment et LHR	LHF vitrifié	2 792	67%	1 714	74%
Granulat	LHF cristallisé	1 308	31%	439	19%
Autres			0%	155	7%
en stock			0%	19	1%
Graves laitier	LHF vitrifié	86	2.05%	3	0.13%
Total		4 186	100%	2 330	100%

(source: CTPL - Novembre 2010)

**Les laitiers de haut fourneau restent encore des déchets/coproduits dont la production est déterminée par le marché de l'acier.**

**La totalité des laitiers est valorisée.**

# Production et consommation de clinker et ciment

MARCHE CIMENTS & CLINKER ( en KT )	2006	2007	2008	2009		Δ 09 / 07	Δ 09 / 08
Production clinker	17 731	18 046	16 885	14 568		-19%	-14%
Production ciment	22 268	22 268	21 443	18 300		-18%	-15%
Consommation ciment	24 092	24 803	24 116	20 381		-18%	-15%
Conso. liants géotech.	1 045	1 068	1 133	997		-7%	-12%

CONSTITUANTS DES CIMENTS ( en KT )	2006	2007	2008	2009		Δ 09 / 07	Δ 09 / 08
Gypse	888	896	872	728		-19%	-17%
Laitier de HF	1 411	1 484	1 532	1 180		-20%	-23%
Cendres volantes	109	113	96	91		-19%	-5%
Calcaires et autres	2 190	2 095	1 931	1 883		-10%	-2%

L'industrie cimentière mobilise sa flexibilité pour utiliser au mieux les déchets/coproduits susceptibles d'être valorisés (-36% laitier HF 09/08)

# La valorisation des laitiers repose sur une coopération de longue date entre sidérurgie et industrie cimentière

*Les enjeux liés au développement durable (Grenelle de l'Environnement) introduisent de nouvelles exigences.*

LES EXIGENCES DES AUTORITES (décret 2009-697 de juin 2009) :

- Durabilité des bétons
- Economie du coût de la construction
- Objectifs de développement durable

LES ATTENTES DU MARCHE

- 80% décoffrage de 0 à 16 heures
- 20 % attentes spécifiques dont 5 à 7 % bétons faible chaleur d'hydratation

# **LAITIERS SIDERURGIQUES : QUELLE VALORISATION EN CIMENTIERIE ?**

## **Les laitiers LD**

# Les Laitiers de conversion dans la composition du cru destiné à la cuisson du clinker

## Composition type du cru pour cuisson clinker

en %	mini	maxi	moyenne
CaO	60	69	65
SiO <sub>2</sub>	18	24	21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	8	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	8	3
MgO		5	2
K <sub>2</sub> O & Na <sub>2</sub> O		2	1
SO <sub>3</sub>		3	1

(source: La Fabrication du Ciment - éd. Eyrolles - 1993)

## Ajouts correctifs au cru

en %	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cendres volantes	1 à 8	43 à 54	22 à 32	4 à 15
Cendres de pyrite	1 à 19	6 à 25	2 à 16	62 à 87
Bauxite	2 à 4	15 à 22	44 à 58	10 à 16
Gaize de Couvrot	7,5	67,2	7,9	2,9
Laitier de HF	43 à 50	26 à 32	12 à 30	0
Schiste de Trélazé	1,9	47,8	23,8	10,5

## Composition type des laitiers LD de Fos sur Mer

en %	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Moyenne	49.2	12.8	2.0	18.2
Mini (moy-3σ)	39.8	4.8	-	5.5
Maxi (moy+3σ)	58.7	20.8	7.4	30.9

(source Arcelor Mittal - Fos sur Mer - 2007)



# Les Laitiers de conversion dans la composition du cru destiné à la cuisson du clinker

## Opportunités

- Déchets/coproduits largement excédentaires
- Economie des ressources naturelles calcaire
- Enjeu CO<sub>2</sub> significatif : 1 tonne de scories LD = 500 kg CaO = 385 kg CO<sub>2</sub>

## Contraintes

- Nécessité de rétablir l'équilibre chimique du cru
- Nécessité d'adaptation du process et des installations sur chaque cimenterie
- Poids des coûts logistiques
- Forte variabilité de la composition du Laitier LD d'une même origine

# **LAITIERS SIDERURGIQUES : QUELLE VALORISATION EN CIMENTERIE ?**

## **Les laitiers de Haut Fourneau (HF)**

# Forte capacité de valorisation disponible en cimenterie

Marché des 3 additions principales (hors importation)

- 3,5 Mt laitier (hors crise)
- 1,1 Mt cendres
- offre « illimitée » de calcaire mais usage limité

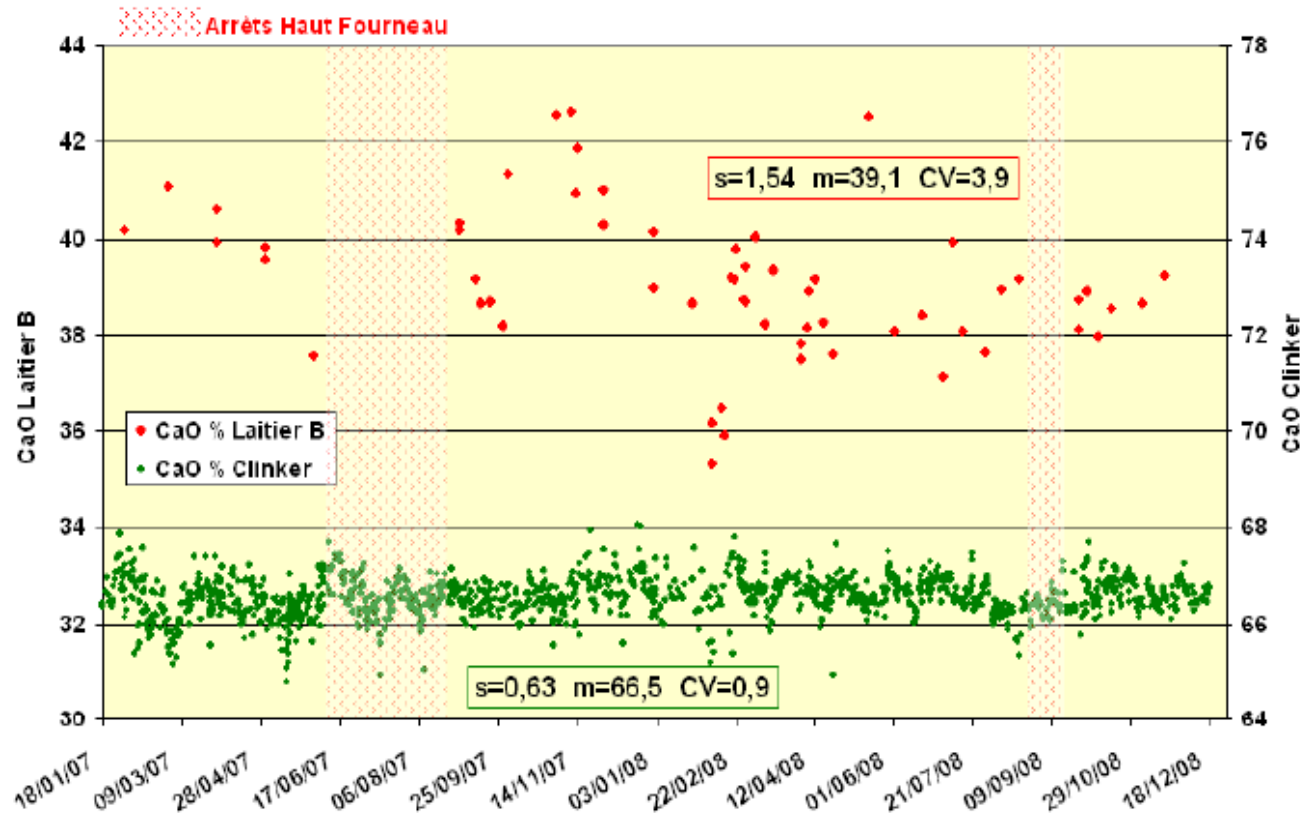
Capacité de valorisation des additions par le marché : ratio Ciment/Clinker (C/K)

C/K Actuel	C/K maximum avec les seules additions domestiques	C/K potentiel maximum sans limite d'offre additions
1,3	1,5	1,7

**A court terme, pénurie récurrente d'additions domestiques par rapport aux capacités techniques d'intégration dans les ciments :  
Importation de cendres essentielle**

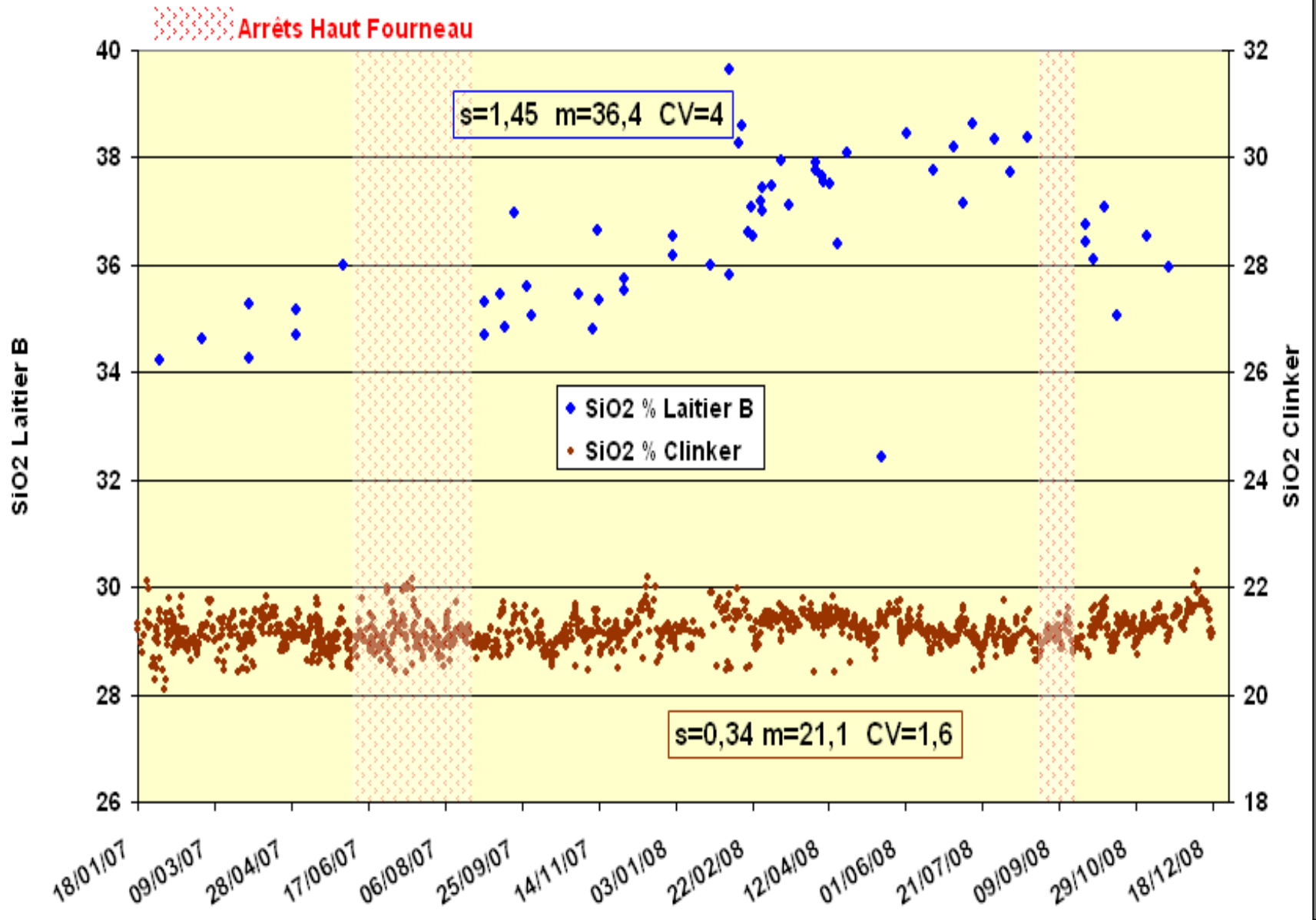
# Variabilité des laitiers : LAITIER B

Variabilité de la chaux du laitier B et d'un clinker

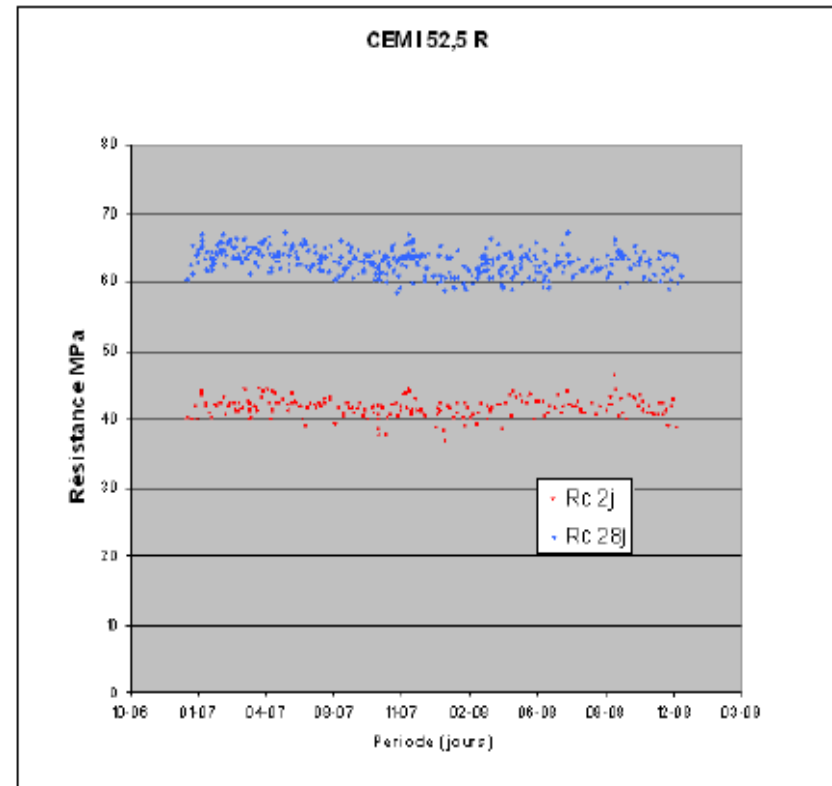
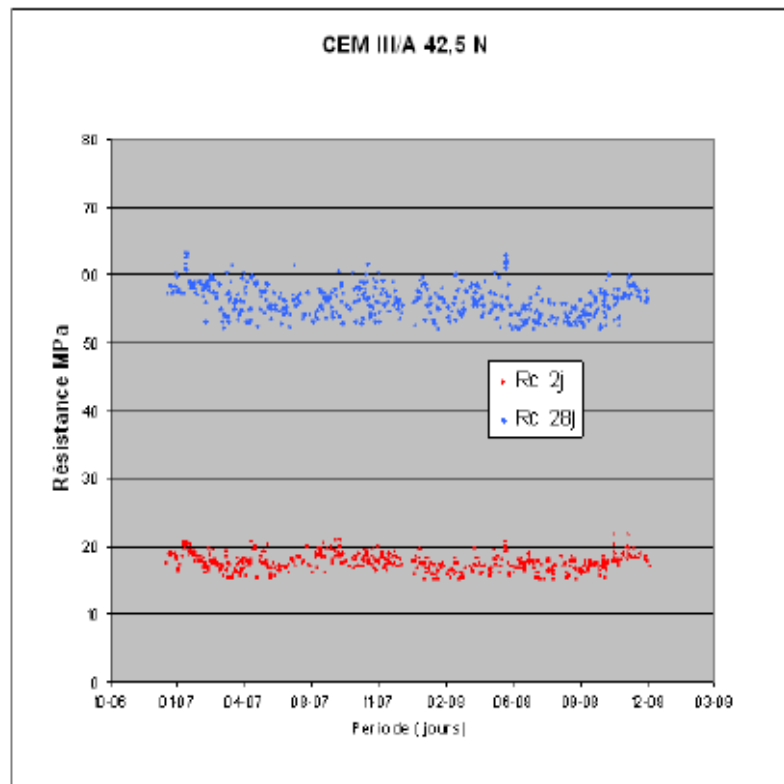


L'amplitude de variation du % CaO pour le laitier est beaucoup plus forte que celle du clinker.

# Variabilité de la silice du laitier B et d'un clinker



## Comparaison qualité CEM I / CEM III



Durant l'année 2008, on maintient la qualité des CEM I 52,5 R et CEM III/A 42,5 N

- Les Rc 2 jours et Rc 28 jours restent stables et régulières (mesurées sur mortier ISO)

# Meilleure utilisation additions Amont/Aval

**Courbe ATILH CEM III : Comparaison amont / aval (à compositions identiques)**

**Amont :**

**CEM III/A 52,5 L (S40) SSB CEM III 3665 cm<sup>2</sup>/g  
SSB Clinker 3400 cm<sup>2</sup>/g**

**Aval :**

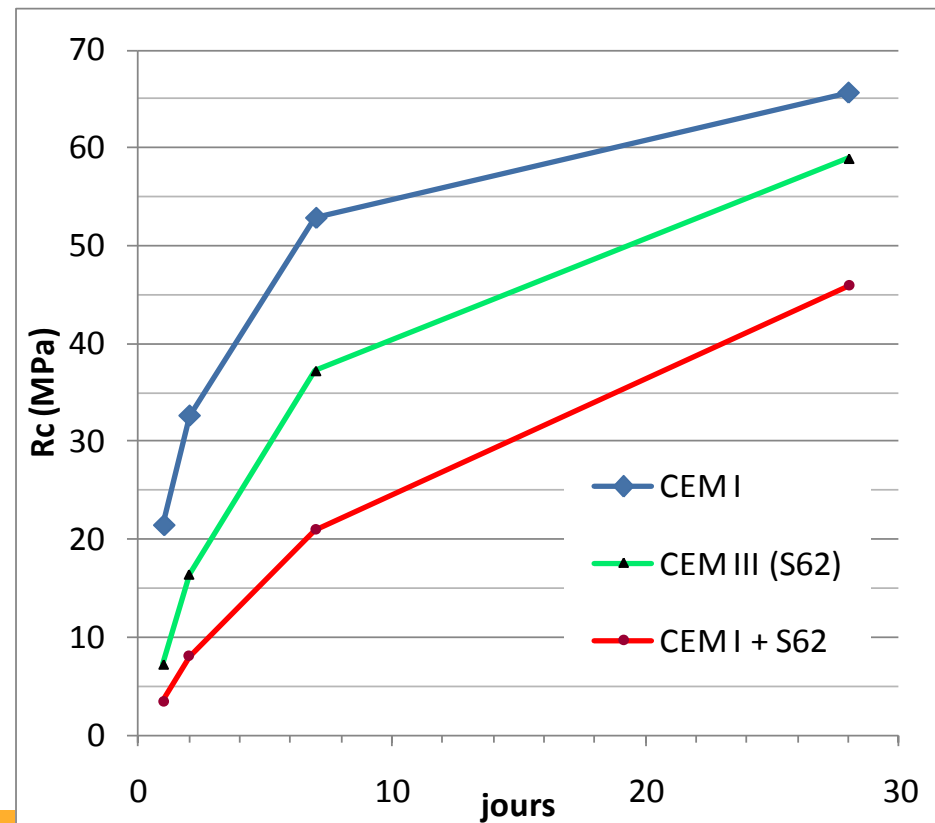
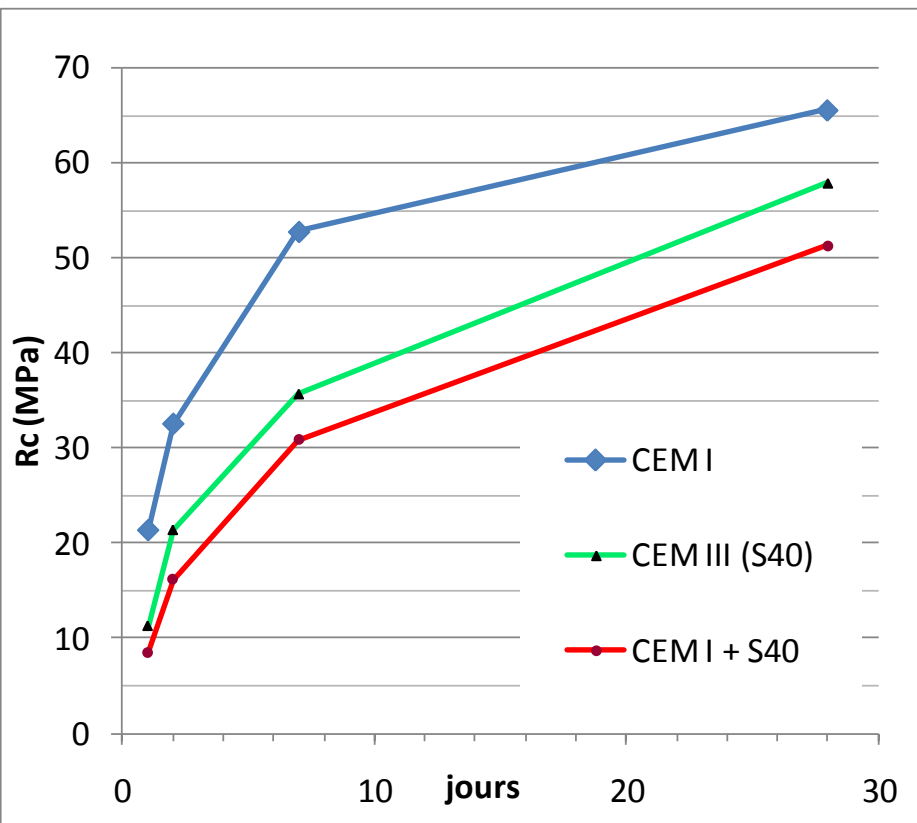
**60% CEM I 52,5 N SSB 3445 cm<sup>2</sup>/g  
40% Laitier 1 SSB 3850 cm<sup>2</sup>/g**

**Amont :**

**CEM III/A 52,5L PM-ES (S62) SSB CEM III 4060 cm<sup>2</sup>/g  
SSB Clinker 4200 cm<sup>2</sup>/g**

**Aval :**

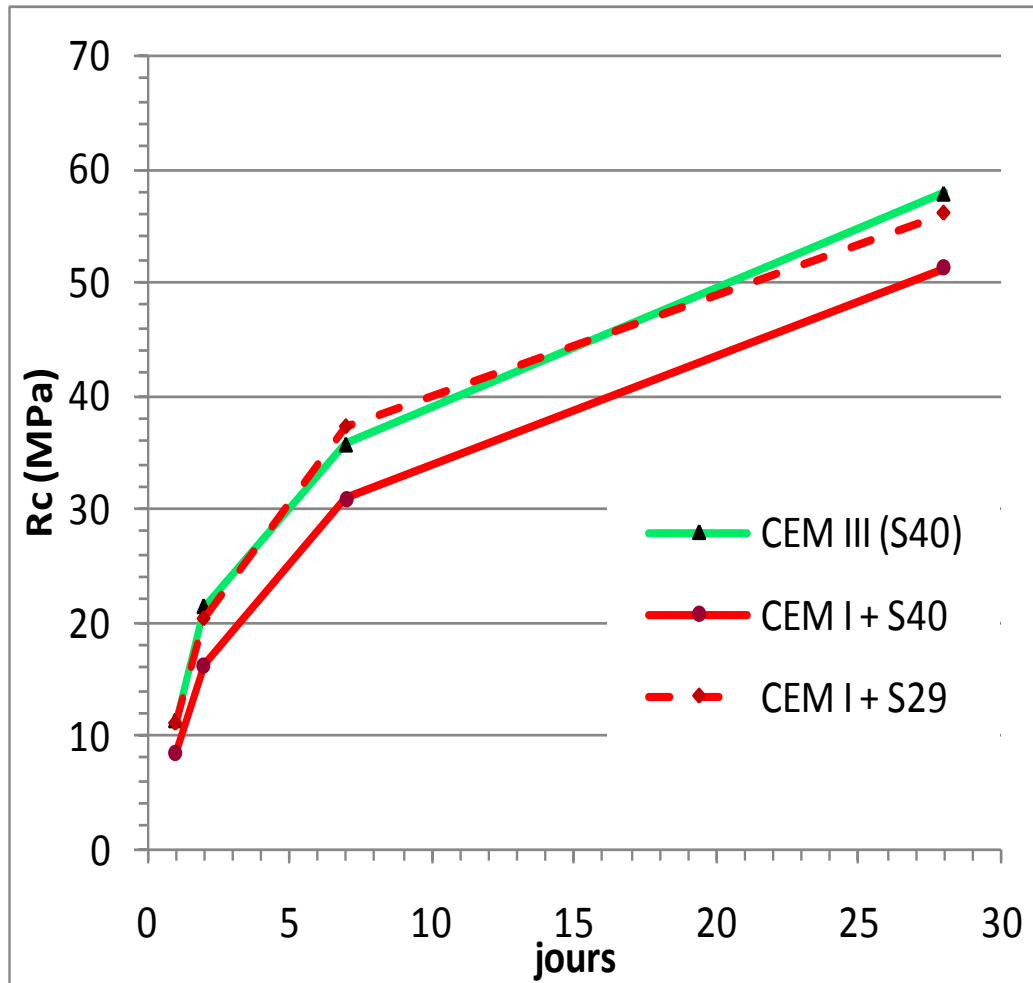
**38% CEM I 52,5 N SSB 3445 cm<sup>2</sup>/g  
62% Laitier 1 SSB 3850 cm<sup>2</sup>/g**



# Meilleure utilisation additions Amont/Aval

*Courbe ATILH CEM III : Comparaison amont / aval (à résistances équivalentes)*

**CEM III/A 52,5 L (S40)**



A performance équivalente, l'introduction au malaxeur conduit à une surconsommation de CEM I (clinker)

Laitier 40 - Clinker 60

Laitier 29 - Clinker 71

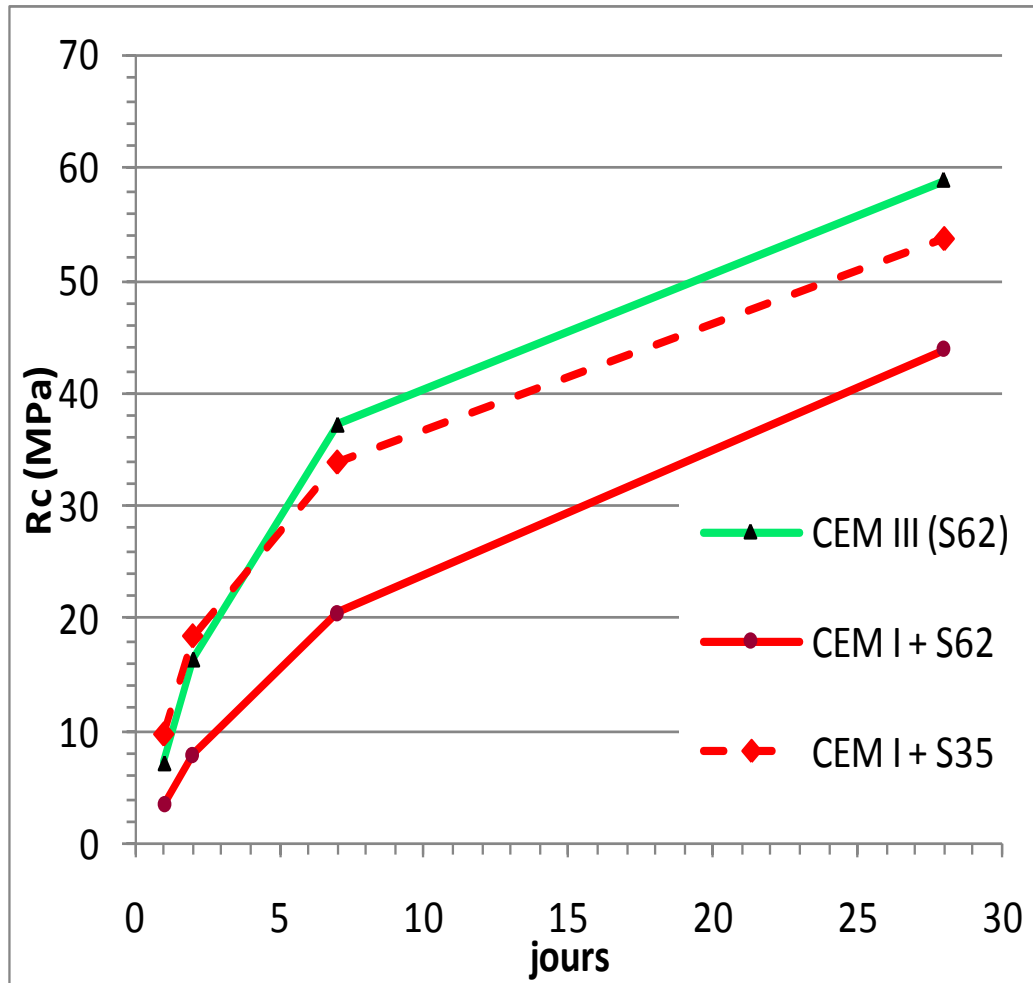
soit 18% de clinker en plus



# Meilleure utilisation additions Amont/Aval

*Courbe ATILH CEM III : Comparaison amont / aval (à résistances équivalentes)*

**CEM III/A 52,5 L PM-ES(S62)**



Sans atteindre la performance à 28 jours du CEM III, l'introduction au malaxeur conduit à une surconsommation de CEM I (clinker)

Laitier 62 - Clinker 38

Laitier 35 - Clinker 65

soit 71% de clinker en plus

# Les gains CO<sub>2</sub> liés à la formulation Amont en cimenterie

## Exemple de la production de la Cimenterie du Havre en 2009

AMONT Cimenterie du Havre	Vente 2009 (kt)	Clinker (kt)	Additions (kt)	Taux d'additions (%)
CEM III 52,5 L/A (S40) Vrac	97,0	58,2	38,8	40%
CEM III 52,5 L/A (S40) Sac	79,0	47,4	31,6	40%
CEM III 52,5 L/A PM-ES	312,0	118,6	193,4	62%
<b>TOTAL</b>	<b>488,0</b>	<b>224,2</b>	<b>263,8</b>	

Emission de CO <sub>2</sub> (kt)
44,6
36,3
90,8
<b>171,7</b>

Base : 766 kg de CO<sub>2</sub> par tonne de clinker produite

## Calcul à résistance équivalente de la même production en mélange aval

AVAL Mélange équivalent	Tonnage équivalent (kt)	CEM I (kt)	Additions (kt)	Taux d'additions (%)
Ciment + laitier	97,0	68,9	28,1	29%
Ciment + laitier	79,0	56,1	22,9	29%
Ciment + laitier	312,0	202,8	109,2	35%
<b>TOTAL</b>	<b>488,0</b>	<b>327,8</b>	<b>160,2</b>	

Emission de CO <sub>2</sub> (kt)
52,8
43,0
155,3
<b>251,1</b>

% d'additions à résistance jeune âge équivalente (hors limite de l'EN 206-1 k=0,9 et limite 30% add)

- BPE élévation, 10 à 12 MPa/1j
- Sac, 8 à 10 MP/1j
- BPE enterré, 5 à 8 MPa/1j

**Différence d'émission de CO<sub>2</sub> : - 79,4 kt, sur une seule usine entre formulation cimentière amont et mélange additions aval au malaxeur**

# Les gains CO<sub>2</sub> liés à la formulation Amont en cimenterie

Sur la seule cimenterie du Havre : 80 kt/an d'économie de CO<sub>2</sub>.

Extrapolation sur les 33 cimenteries en France :

- 12 cimenteries (dont le Havre) pourraient développer une gamme CEM III ou CEM V, soit 55 kt de gain de CO<sub>2</sub> en moyenne par unité ➔ **660 kt de CO<sub>2</sub>**.
  - 21 cimenteries pourraient développer des CEM II plus fortement dosés en additions, soit 15 à 20 kt de gain CO<sub>2</sub> en moyenne par unité ➔ **360 kt de CO<sub>2</sub>**.
- ↪ **Soit un gain de CO<sub>2</sub> estimé, entre AMONT et AVAL, à environ 1 000 000 tonnes (2009, année de crise économique)**

**Gain de CO<sub>2</sub> potentiel estimé en conjoncture normale en France :  
1 000 000 à 1 500 000 tonnes par an**

**Gain de CO<sub>2</sub> potentiel estimé en conjoncture normale sur l'Europe :  
8 000 000 à 12 000 000 tonnes par an**

# Utilisation des laitiers de HF

## Formulation en Cimenterie ou Mélange en BPE

### AMONT / FORMULATION CIMENTIERE

**LA FORMULATION CIMENTIERE COMPENSE LA VARIABILITE DES ADDITIONS**

**TAUX D'ADDITIONS SUPERIEUR RESISTANCE IDENTIQUE AU DECOFFRAGE (12 A 16 H)**

- Effet de pré-mélange en cimenterie
- Pas de k en amont
- Adaptation de la finesse clinker
- Adaptation de la chimie
- Optimisation des additions disponibles par les ciments tri-composants (ex CEM V)

**LISSAGE DES VARIATIONS CONJONCTURELLES : Stabilité des formules**

**OPTIMISATION ECONOMIQUE**

**DIMINUTION DES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>  
ECONOMIE RESSOURCES NATURELLES**

### AVAL / MELANGE BPE

**LE MELANGE BETON SUBIT LA VARIABILITE DES ADDITIONS**

**SURDOSAGE EN CIMENT  
RESISTANCE IDENTIQUE AU DECOFFRAGE**

- Uniquement malaxage 45s
- Gaspillage additions par effet K
- Qualité figée du CEM I local
- Pas d'additionneurs chimiques hors adjuvants du béton
- Pas de possibilité de béton tri-composants

**NECESSITE MODIFIER LES FORMULES SELON VARIATIONS CONJONCTURELLES**

**SURCOUTS A TERME**

**AUGMENTATION DES EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>**

# Les apports déterminants de la valorisation en cimenterie

**LAITIER LD**

**EXCEDENT STRUCTUREL**

**LAITIER HF**

**PENURIE LATENTE**

**CONTRAINTES INDUSTRIELLES DE VALORISATION LIEES A LEUR FORTE VARIABILITE**

**EXPERTISE VALORISATION DECHETS DANS CRU CIMENTIER**

**EXPERTISE VALORISATION DECHETS/COPRODUITS DANS GAMMES CIMENTS**

**PERFORMANCES & OPTIMISATION TECHNIQUES  
PERFORMANCE ECONOMIQUE**

**FORTS ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX:**

- GAINS CO<sub>2</sub>**
- ECONOMIE RESSOURCES NATURELLES**