



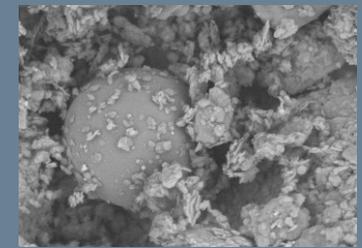
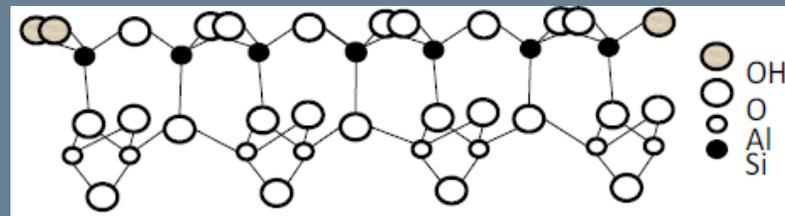
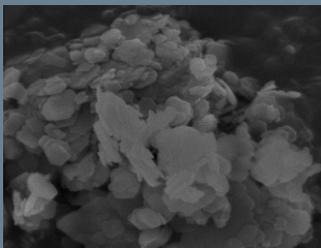
Le Métakaolin Flash

(NF P18 513)

Addition minérale pouzzolannique à faible impact environnemental pour bétons durables et bétons à hautes performances

Débat A.F.G.C: Bétons, l'addition s'il vous plaît!
Paris, le 06/12/2018

P. HAUZA
Directeur Technique



SOMMAIRE

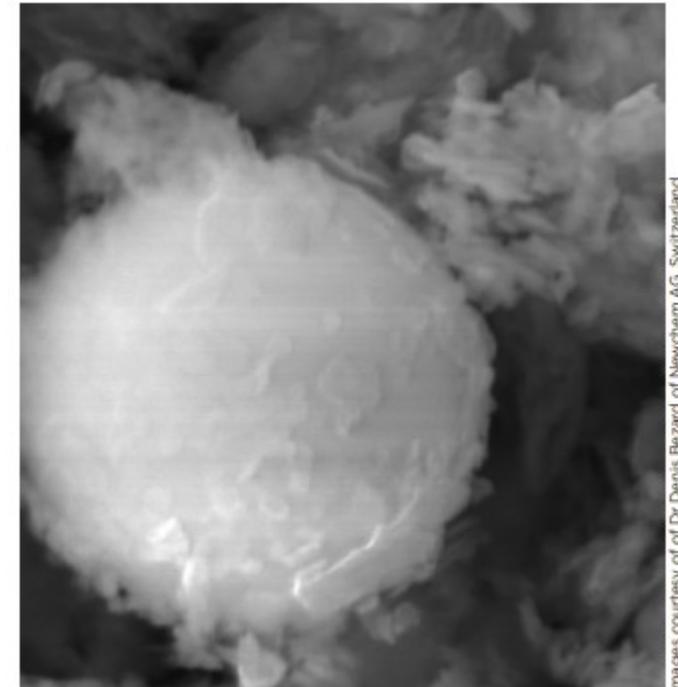
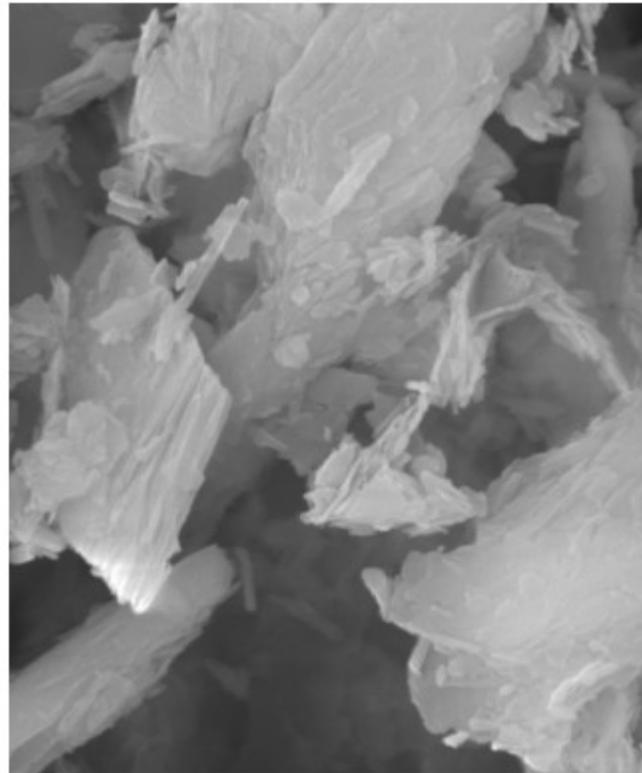
- › Le Metakaolin Flash (MKf): définition,
- › Elaboration du MKf,
- › Caractéristiques techniques et environnementales du MKf,
- › L'usage du MKf pour BHP, BTHP
- › Le MKf, acteur de la durabilité des bétons,
- › Pour en savoir plus

The logo consists of the letters 'MKf' in a white, bold, sans-serif font, set against a black rectangular background. This black rectangle is centered within a larger, light blue square.

DEFINITION DU MK FLASH

ELABORATION

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CIMIQUES



Rotary-calcined metakaolin Flash-calcined metakaolin

SEM images courtesy of Dr Denis Beazard of Newchem AG, Switzerland

Mkf

Métakaolin et Metakaolin Flash: définitions

MKf

METAKAOLIN (MK):

Matériau argileux contenant essentiellement de la **kaolinite, déshydroxylée par traitement thermique**. La déshydroxylation, ou perte d'une partie de l'eau de structure, est obtenue entre 600 et 850 °C.

Il existe en France et dans le Monde deux systèmes industriels de production des MK: **le four horizontal (durée 2h en moyenne) et le système en four vertical flash**.



Four rotatif horizontal
(Crédit IMERYS France)

METAKAOLIN FLASH (MKf):

Métakaolin produit par une calcination en four vertical flash.

La kaolinite se transforme en MKf en cheminant gravitairement autour de la flamme du brûleur.

Durée de la calcination: quelques secondes.

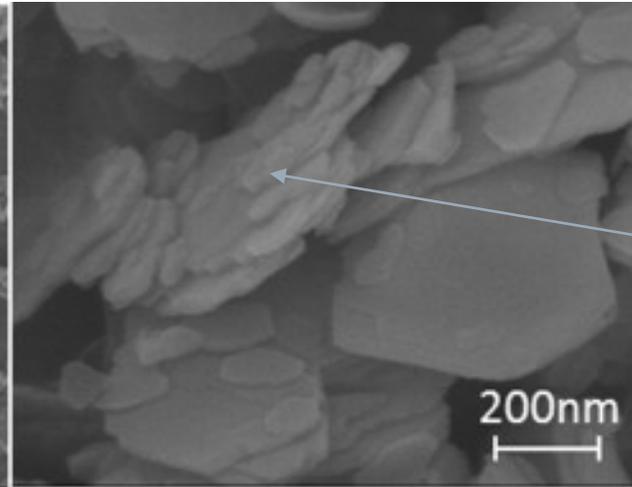
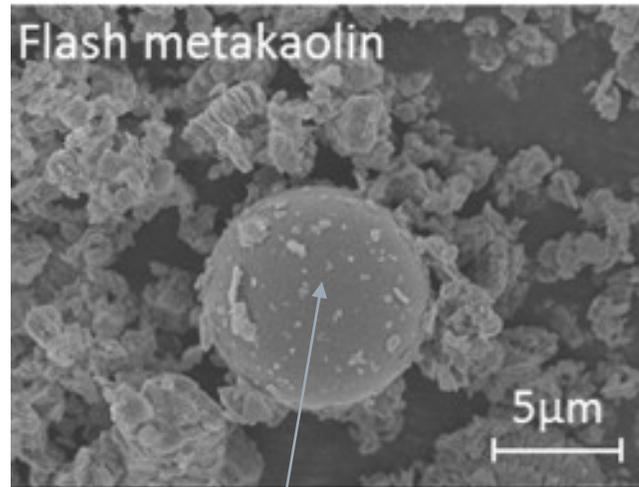
Capacité annuelle de production de l'outil (Fumel): 60 000 t/an



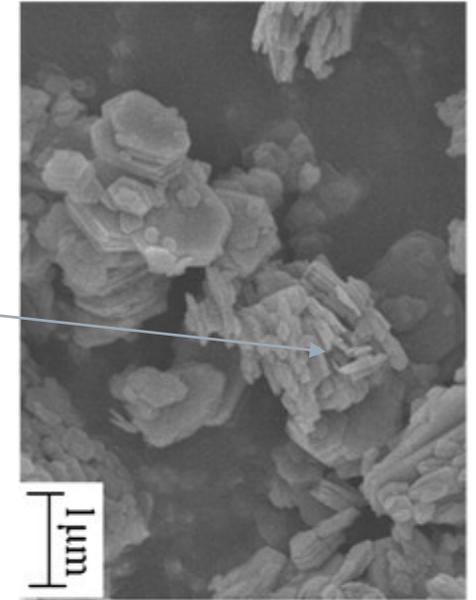
Four Flash vertical – FUMEL (47)
(Crédit ARGECO Développement)

Caractéristiques techniques du MK Flash:

MKf



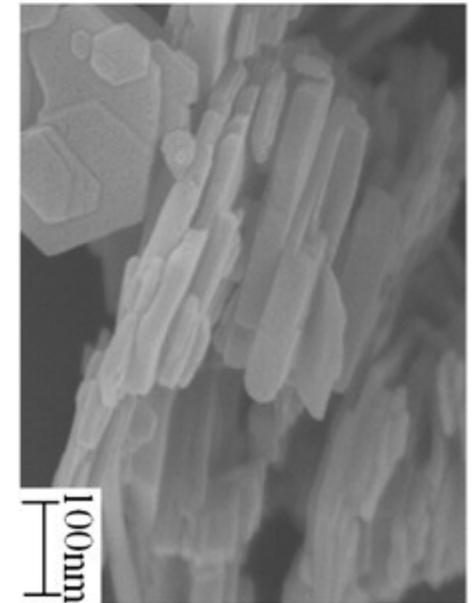
Feuillets de MKf
(entre 100 et 500 nm)



Sphère silico-alumineuse d'accrétion (quelques µm)

Le MK Flash ARGECO Développement est une ultrafine constituée d'un mélange de MK très fin (inframicrométrique), de sphérules silico-alumineuses réactives (micrométriques) et de quartz:

- Grande réactivité, malgré une granulométrie apparente usuelle,
- Demande en eau moindre comparée à d'autres additions ultrafines,



Caractéristiques techniques du MK Flash:

MKf

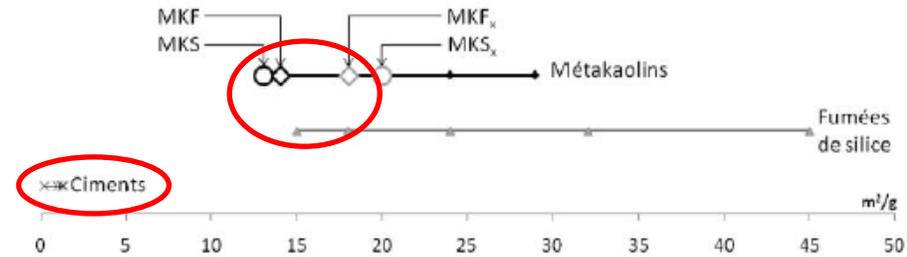


Figure III.21 : Représentation de la répartition de la surface spécifique pour les ciments et les métakaolins

Caractéristiques physiques:

Critères physiques	Normes	Valeurs représentatives
Masse Volumique Réelle	NF EN 196-6	2590 kg/m ³
Finesse	NF EN 933-1	Passant à 0,063mm 75,0%
Indice d'activité à 28j	NF EN 196-1	104,9 ≥ 100 (Type A)
Demande en eau	NF EN 196-3	1,07 <1,15 (Catégorie W _M)
Ecart de temps de début de prise	NF EN 196-3	+2,04 % / témoin CEM I 42,5 R
Stabilité	NF P18 513	CaO libre 0,40 %
Surface spécifique B.E.T	NF ISO 9277	14 à 18 m²/g
Valeur au bleu (MB _F)	NF EN 933-9	7,8 g/kg

Caractéristiques techniques du MK Flash:

MKf

Caractéristiques chimiques:

Critères physiques	Normes	Valeurs représentatives
Silice (SiO ₂) + Alumine (Al ₂ O ₃)	NF EN 196-2	94,2 %
Chlorures	NF EN 196-2	0,01 %
Sulfates	NF EN 196-2	0,58 %
CaO libre	NF EN 451-1	0,04 %
Teneur en alcalins totaux (Na ₂ O eq)	NF EN 196-2	0,16 %
Oxyde de Magnésium (MgO)	NF EN 196-2	0,20 %
Perte au feu	NF EN 196-2	1,17 %
Fixation de l'oxyde de Ca (Ca(OH) ₂)	Essai Chapelle Modifié	750 à 850 mg/g

Des caractéristiques physico-chimiques robustes, contrôlées en continu par le Laboratoire de l'usine à Fumel (47)

Autocontrôles disponibles sur demande.



Le site ARGECO de Fumel, lui-même parfaitement intégré à son environnement

CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DU MKf



MKf

Caractéristiques environnementales du MK Flash

MKf

Indicateur	Unité	Metakaolin Flash	Ciment portland (CEM I)	Ciment portland au laitier (CEM II/A-S)	Ciment Portland au calcaire (CEM II/A-L)
Réchauffement climatique (1)	kg éq CO ₂ / t	139	854	736	752
Acidification atmosphérique	kg éq SO ₂ / t	0,187	1,99	1,72	1,76
Formation d'ozone photochimique	kg éq C ₂ H ₄ / t	0,0106	0,0863	0,0746	0,0761
Consommation d'énergie primaire non renouvelable (2)	MJ / t	3 110	5 967	5 250	5 186
Utilisation d'eau	m ³ / t	0,5	1,885	1,69	1,59
Déchets non dangereux	kg / t	6,4	2,857	2,49	2,957

Source: FDES ARGECO Développement, élaborée par le CERIB – Février 2017

Intégration en cours dans la base de données DIOGEN de l'AFGC

	CEM I	CEM II/A-L	Métakaolin four rotatif	Métakaolin flash*
Réchauffement climatique (kg eq CO ₂ /t)	855	750	250	140



Le MKf = seule addition pouzzolanique décarbonnée totalement indépendante techniquement et économiquement des pans de l'Industrie.



LE METAKAOLIN FLASH POUR CONCEVOIR DES BHP, BTHP, BFUP



Le MKf, contributeur intéressant pour la formulation des BHP, BTHP

Exemple de formule de BTHP (pour Immeuble de Grande Hauteur):

Formules	Ciment (kg/m ³)	Eau eff (l/m ³)	FS (kg/m ³)	MKf (kg/m ³)	0/4mm (kg/m ³)	4/12mm (kg/m ³)	Adjuvant (kg/m ³)
Référence FS Condensil S95D	450	152	40	-	730	1060	7,35
Métakaolin Flash (MKf)	450	160	-	50	700	1070	8,5

	Référence 40kg FS E/L = 0.31 S4	50kg MKf E/L = 0.32 S5
Ajustement de la teneur en eau à la fabrication en centrale	+6l	-6l
Consistance à T0	220 mm	245 mm
Consistance à T30'	200 mm	245 mm
Consistance à T60'	180 mm	245 mm

Une formule à base de MKf calibrée en consistance (S5) et en maintien de consistance (> 1h) pour des conditions sévères

Le MKf, contributeur intéressant pour la formulation des BHP, BTHP

Exemple de formule de BTHP (pour Immeuble de Grande Hauteur):

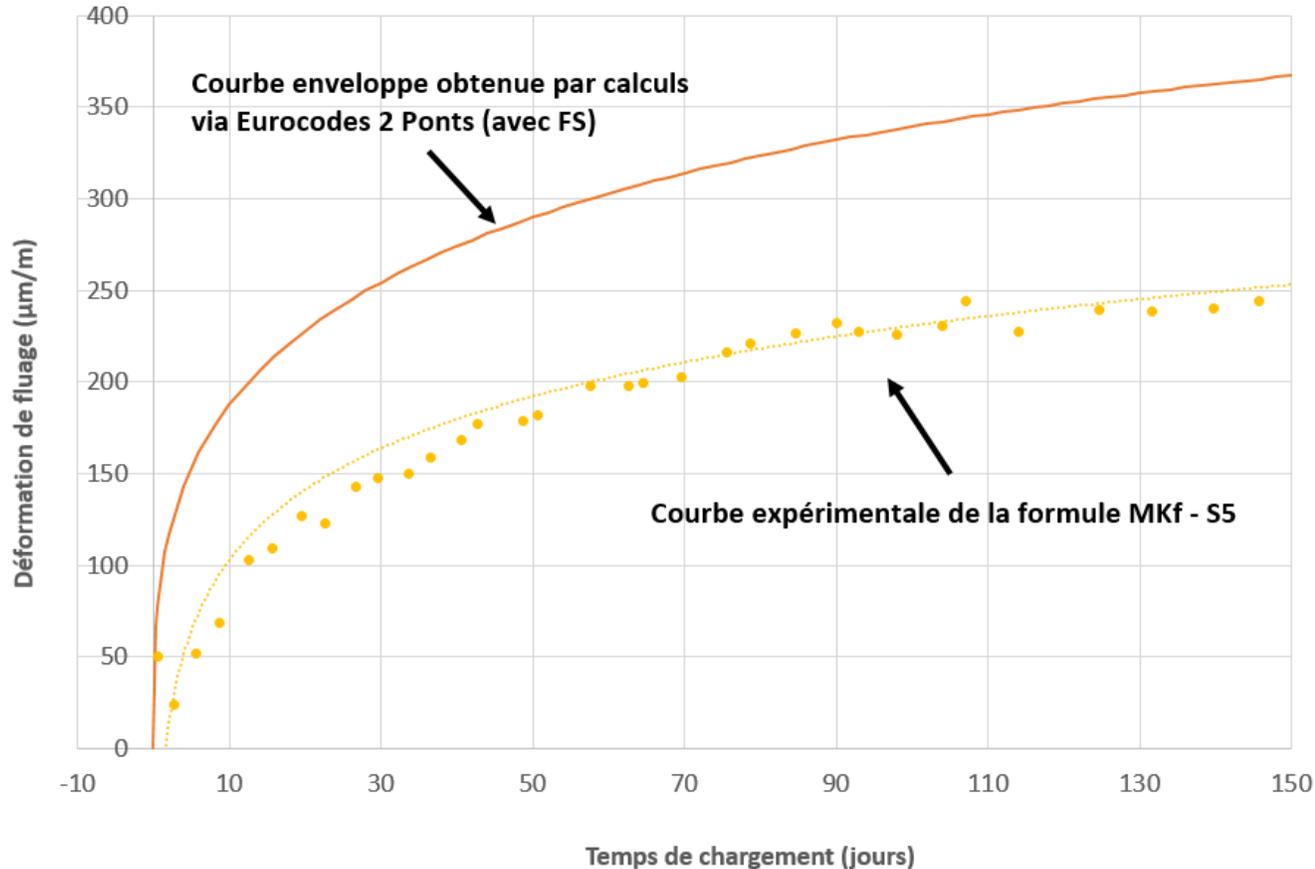
	Référence FS E/L = 0.31 S4	MKf E/L = 0.32 S5
Rc 28j (MPa)	113	113
Rc 90j (MPa)	116	118

A iso-dosage en ciment et malgré une classe de consistance d'écart, les performances mécaniques mesurées avec le MKf sont strictement comparables à celles de la formule de référence

Oui, mais.....Quid du fluage sur une telle formule ???

Le MKf, contributeur intéressant pour la formulation des BHP, BTHP

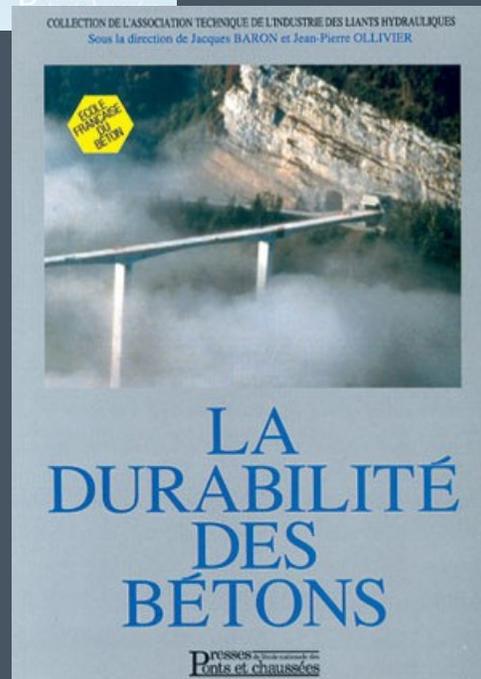
Exemple de formule de BTHP (pour Immeuble de Grande Hauteur):



Malgré une quantité de pâte importante, une fluidité élevée (S5) et l'absence de FS, la formule de BTHP au MKf s'inscrit en deçà de la courbe enveloppe des Eurocodes 2 Ponts (calcul avec FS)



LES ATOUTS DU METAKAOLIN FLASH DANS LES BÉTONS DURABLES



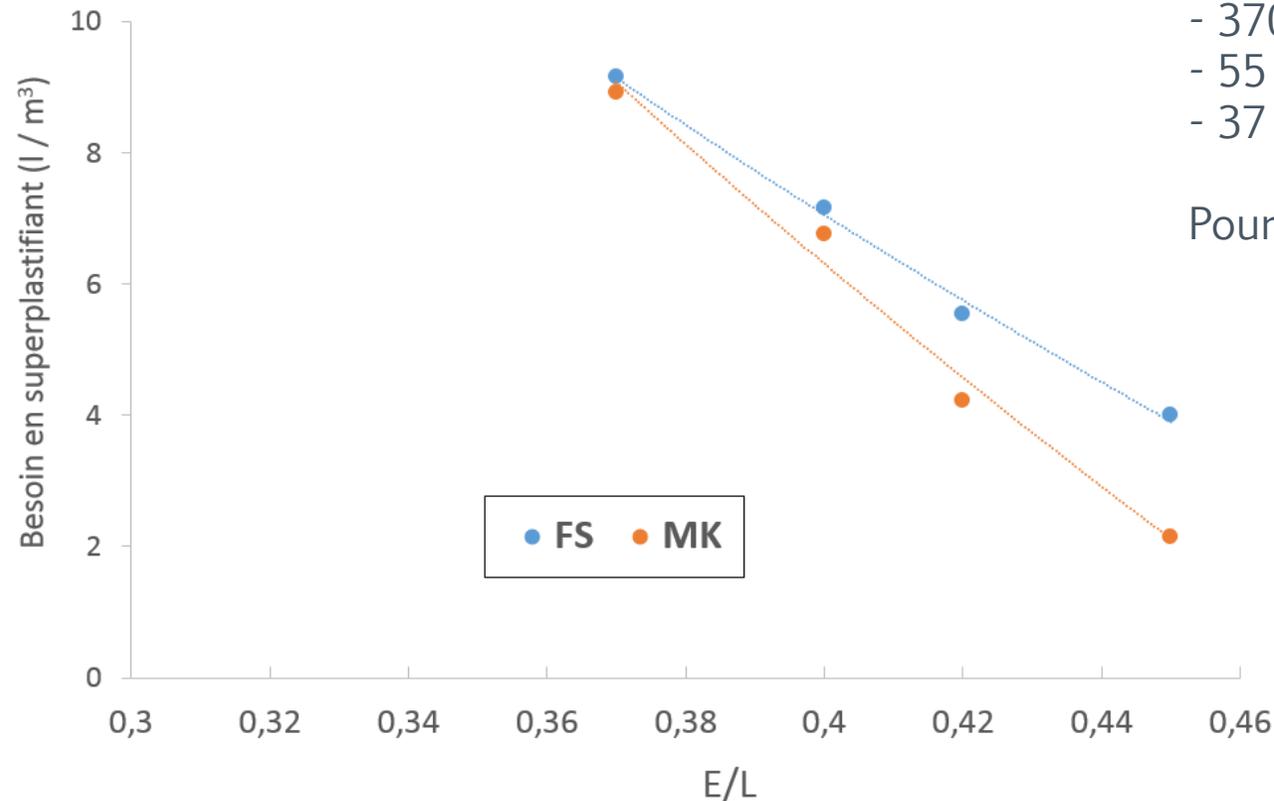
Les atouts du MKf pour la durabilité:

MKf

Tests menés sur formules contenant:

- 370kg/m³ de CEM I 52.5 Lumbres,
- 55 kg/m³ de MKf (15%)
- 37 kg/m³ de FS (10%)

Pour une consistance de 17cm +/- 2cm



A iso-consistance, moindre consommation en eau que d'autres ultrafines.

A dosage en SPP équivalent, possibilité d'abaisser le rapport E/L, tout en conservant une iso-consistance

Le MK Flash, acteur de la durabilité des bétons

MKf

	Unités	Formule avec MK Flash (MKf)	Formule avec ultrafines (FS)
CEM I 52.5 N	kg/m ³	340	385
Addition	kg/m ³	80	40
Eau eff	l/m ³	136	163
Superplastifiant	%	1,8%	1,6%
G/S	s.u	1,1	1,1
Etalement	mm	600	620
Performances mécaniques			
Rc 20h	(MPa)	44	32
Rc 28j	(MPa)	88	76
Critères de durabilité			
P eau 28j (NF P18-459)	%	11,8	11,6
K gaz 90j (XP P18-463)	10 ⁻¹² m ² /s	30	21
D app 28j (XP P18 462)	10 ⁻¹² m ² /s	1,1	1,9
Dapp 90j	10 ⁻¹⁸ m ²	0,7	0,6
Economie des formules (Base 100)			
		87,5	100 (Référence)

Exemple :

Béton C 60/75
XC 4 / XS 3
pour préfabrication

Illustration de l'obtention d'iso-résultats en durabilité via exploitation de la moindre demande en eau du MK Flash

Le MK Flash, acteur de la durabilité des bétons

MKf

Chaleur d'hydratation en début de prise: mesure Q41 (Norme EN 196-9):

Essai	Unité	BHP FS E/L = 0,40	BHP MKf E/L = 0,40
Rc 2j	MPa	55,5 MPa	61,1 Mpa
Rc 7j		78,8 MPa	80,3 MPa
Rc 28j		88,5 MPa	87,1 MPa
Rc 91j		93,3 MPa	92,2 MPa
Q41	j/g	319	330

La réactivité du MKf dans la formule est au moins équivalente à celle de la FS à court terme, voire plus élevée (cf Rc)

La chaleur d'hydratation entre les deux formules demeure identique à proche.

Le MK Flash, acteur de la durabilité des bétons

MKf

Prévention contre les réactions sulfatiques internes:

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne



- Utilisation, en combinaison avec du CEM I ou du CEM II/A, de cendres volantes conformes à la norme NF EN 450-1, de laitiers de haut fourneau moulus conformes à la norme NF EN 15167-1, de fumées de silice conformes à la norme NF EN 13263-1 ou de métakaolins conformes à la norme NF P18-513. Leur proportion dans le liant (combinaison ciment + additions) doit être d'au moins 20 % pour les cendres volantes, 35 % pour les laitiers de haut fourneau, 10 % pour la fumée de silice (note 1) et 20 % pour le métakaolin. Le liant utilisé doit respecter les exigences suivantes : C_3A (rapporté au clinker) 8 % et SO_3 (rapporté au liant) 3 %.

- **CEM II/A-Q + métakaolin** selon le calcul : pourcentage de métakaolin à ajouter* = $0,2 - (0,8 \times x)/(1-x)$ avec x = pourcentage d'argile calcinée dans le CEM II/A-Q.

Le MK Flash, acteur de la durabilité des bétons

MKf

Prévention contre les désordres liés aux réactions d'alcali-réaction:

ISSN 0335-3931

normalisation
française

FD P 18-464
9 Avril 2014

Indice de classement : P 18-464

ICS : 91.100.30

**Béton — Dispositions pour prévenir
les phénomènes d'alcali-réaction**

E : Concrete — Provisions for the prevention of alkali silica reactions
D : Beton — Bestimmungen zur Verhütung von den Alkali-Reaktionsvorgängen

Fascicule de documentation
publié par AFNOR.

Tableau 4 — Méthodes pour déterminer les teneurs en alcalins actifs des constituants d'un béton (suite)

Constituant	Méthode à appliquer
Métakaolins	Teneur en alcalins actifs déterminée selon la prXP P 18-544, ou à défaut prise égale à 0,17 fois la teneur en alcalins totaux déterminée selon NF EN 196-2

Thèse L.P.E.E – ARGECO Développement en cours pour valoriser des basaltes réactifs dans des bétons formulés avec du MKf

Le MK Flash, acteur de la durabilité des bétons

MKf



Contribution au P.N PERFDUB: GT3A et GT3B:

- Formulation CEM I + 20% MKf à rapport E/Leq = 0,42 (2018)
- Formulation CEM I + 20% MKf à rapport E/Leq \approx 0,35 (2019)
- Corps d'épreuves en vieillissement naturel (suivi pendant 5 à 10 ans) en cours de définition

POUR EN SAVOIR PLUS:



Tour de calcination (FUMEL – 47)

Parutions récentes Bétons, Le Magazine (2017-2018):

- Métakaolin Flash: une addition à la hauteur de nombreux défis (Octobre 2017),
- Métakaolin Flash: un atout pour les bétons durables (Janvier 2018),
- Métakaolin Flash: du côté chantiers (Avril 2018),
- Métakaolin Flash: contributeur pertinent en formulation de BHP, BTHP (Juin 2018)

Parution récente « Planète bétons » (2018):

- Le métakaolin Flash: addition pouzzolanique réactive pour bétons (N°42 – Septembre 2018),

Contacts:

Ingénieur développement produit:

Pierre DRELON

pdrelon@argeco.fr

Directeur du site de production:

Aurélien GANCARZ

agancarz@argeco.fr

Direction Technique:

Philippe HAUZA

philippe.hauza@campus.colas.fr

The logo consists of the letters 'MKf' in a bold, white, sans-serif font, set against a black square background.