

L'EMPLOI D'ADDITIONS MINÉRALES DANS LA PRODUCTION DE BÉTONS DURABLES

Patricia TUFFÉ, François PERRIER
CONDENSIL

1. INTRODUCTION

Les matériaux d'additions ont participé aux développements les plus récents de la fabrication du béton, car leur utilisation apporte une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.

Le développement des BHP ou BUHP ou BFUP a été fortement corrélé à celui des adjuvants super plastifiants et à la disponibilité d'additions actives.

On distingue les additions minérales correspondant à des « résidus » de fabrication de produits industriels de celles dont la fabrication demande un apport d'énergie.

2. PRÉSENTATION DE TROIS TYPES D'ADDITIONS POUZZOLANIQUES PARTICULIÈREMENT EFFICACES DANS LES BTHP ET BUHP SUIVANT LEUR PROVENANCE : FUMÉE DE SILICE / PHONOLITHE / METAKAOLIN

2.1. Fumée de silice

La fumée de silice est un produit minéral, amorphe, très fin obtenu essentiellement lors de la fabrication du silicium et de ses alliages (Figures 1, 2 et 3).



Figure 1 : Usine de fabrication de silicium métal



Figure 2 : Le four



Figure 3 : Le silicium métal en fusion

Le silicium est obtenu par réduction du quartz en présence de carbone à 2000°C, dans des fours à arc électrique (industrie électrométallurgique). Les fumées contiennent du monoxyde gazeux (SiO) qui s'oxyde et se condense en particules vitrifiées amorphes extrêmement fines. Les fumées sont alors captées et filtrées (Figure 4).

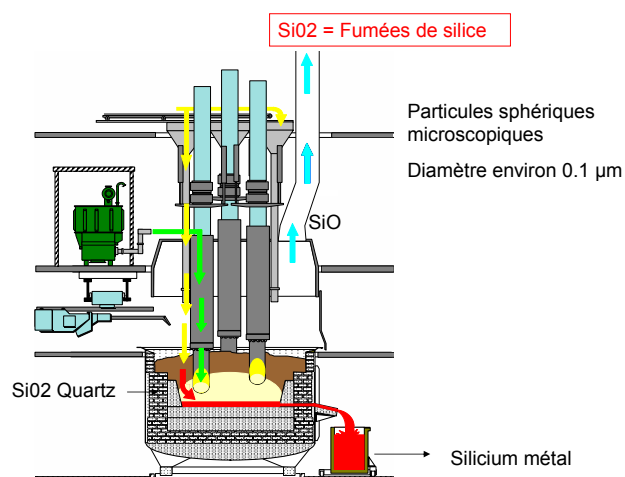


Figure 4 : Production de silicium métal et fumées de silice

Ces micro - silices sont généralement densifiées afin de faciliter les opérations de stockage et de manutention (Figures 5 et 6)

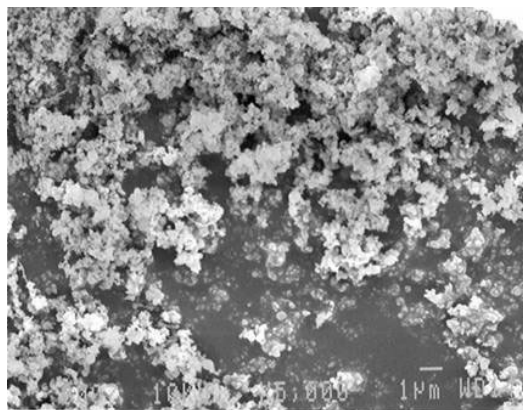


Figure 5 : La fumée de silice non densifiée, Microscope Electronique à Balayage X 5000

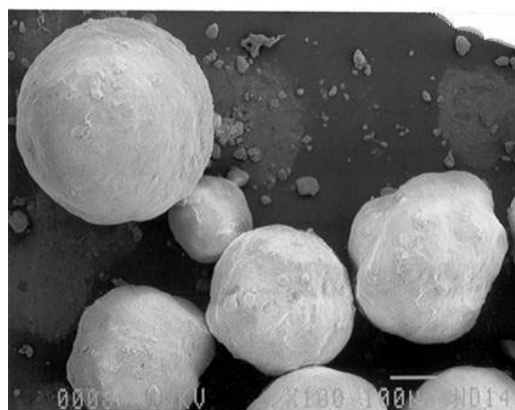


Figure 6 : La fumée de silice densifiée pneumatiquement, Microscope Electronique à Balayage X 100

Elle est composée de billes d'un diamètre moyen de 0.2 μm , formées principalement (à plus de 90%) de silice SiO_2 avec un taux de carbone de l'ordre de 1.5% pour une surface spécifique très élevée de l'ordre de 15 à 30 m^2/g .

Dans les bétons, elle intervient selon deux mécanismes :

- par un effet granulaire lié à la forme et à l'extrême finesse de la poudre
- par une réaction pouzzolanique due à la haute teneur en silice amorphe.

2.2. Phonolithe

La phonolithe étudiée provient d'une pierre volcanique, âgée d'environ 16 millions d'années.

Cette roche extrêmement dure (188 kg/cm^2) contient environ 45% de zéolithe, 32% d'orthose, et d'autres composants minéralogiques mais pas de quartz.

Après concassage plus ou moins fin, et pour certaines applications, un passage au four tournant d'environ 400 à 500 $^\circ\text{C}$, la roche est broyée jusqu'à obtention d'une poudre de granulométrie choisie.

2.3. Métakaolin

Le métakaolin étudié est une pouzzolane artificielle obtenue par calcination et broyage d'une argile kaolinique du bassin des Charentes.

Sa surface spécifique BET est de 15-30 m^2/g .

Ce silicate d'alumine déshydroxylé de composition générale $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ est un matériau amorphe, non cristallisé, dont les particules présentent une forme lamellaire.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX : PERFORMANCES DE CES ADDITIONS MINÉRALES BÉTON

Les contraintes potentielles dans la fabrication ou l'utilisation d'additions ultrafines sont les suivantes :

- des contraintes techniques : au niveau de la fabrication ou de l'utilisation
- des contraintes économiques : prix pratiqués et investissements éventuels
- disponibilité : quantités et régularité des produits

Ces charges ultrafines utilisées dans les BTHP et les BUHP doivent répondre à certains critères :

- demande en eau
- dispersion
- temps de fluidification
- raidissement du béton frais
- retrait
- compatibilité avec les adjuvants
- résistances à court et long terme
- cure du béton
- (couleur)

3.1. Étude comparative de ces 3 produits

Il a été demandé à SIGMA BETON de formuler un béton selon les caractéristiques suivantes :

- Viser un B 60
- $\text{E/C} = 0.36$
- Ciment CEM I 52.5 N CE PMES CP2 – ST EGREVE
- Granulats
 - 0/4 R Rudiste
 - 4/8 R Rudiste
 - 8/20 R Rudiste
- Adjuvant VISCOCRETE 5400 F SIKA

- Additions en pourcentage du poids du ciment (+ 8 % et + 15 %)

Ciment	ST EGREVE
Fumée de silice CONDENSIL	S 95 DM
Méta kaolin	
Phonolithe	

Les 2 variables sont :

- Le type et le pourcentage d'addition minérale ; deux dosages, 8% et 15%
- Le dosage en superplastifiant

Le but de l'étude était de tester l'intérêt technique et économique de ces additions minérales en mettant en évidence l'impact de ces ultrafines en tant qu'additions en termes de:

- maniabilité
- performances mécaniques
- performances en durabilité

3.2. Présentation des résultats

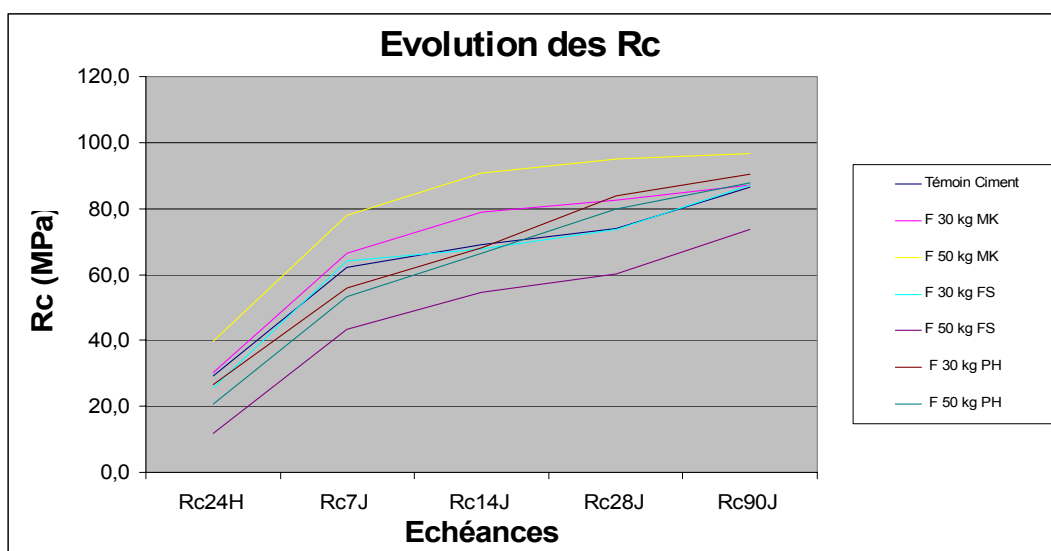


Figure 7 : Evolution des résistances mécaniques des bétons avec additions minérales

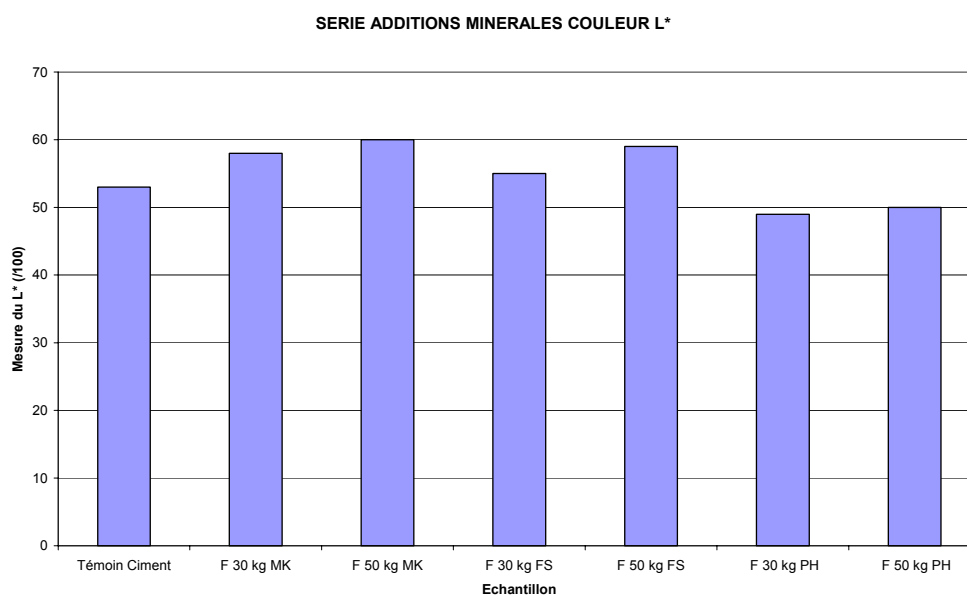


Figure 8 : Couleur des additions minérales, Mesure du L*

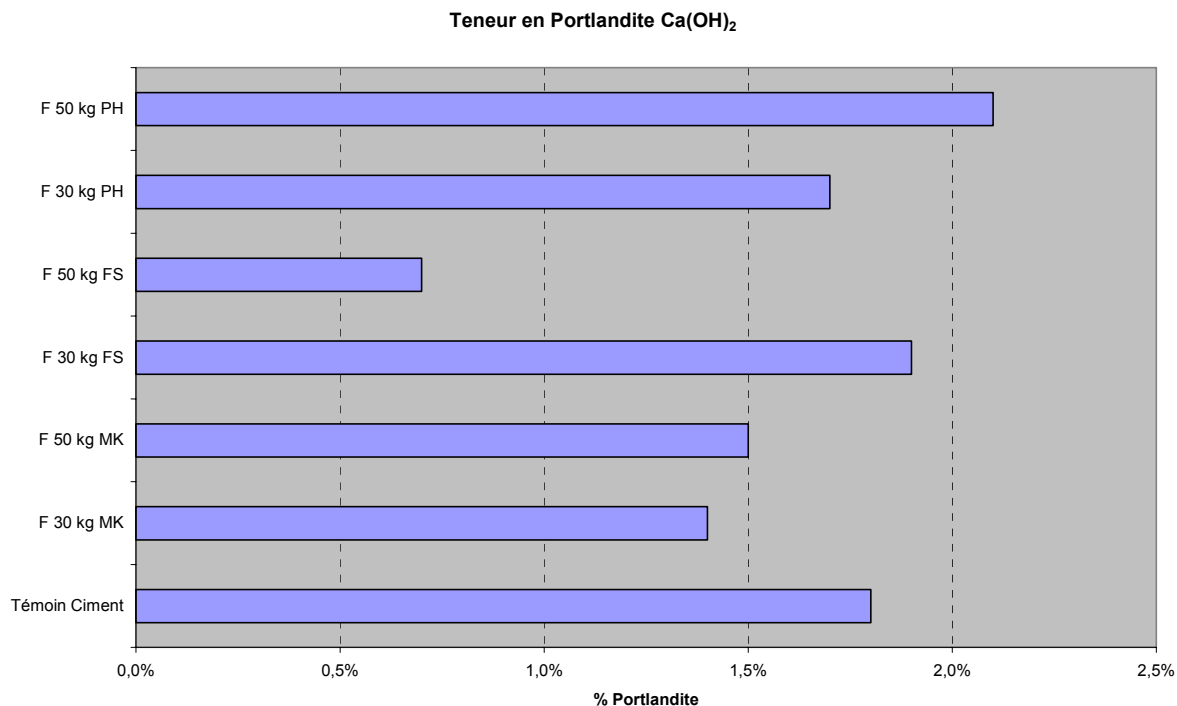


Figure 9 : Mesure de la durabilité, teneurs en portlandite à 28 jours

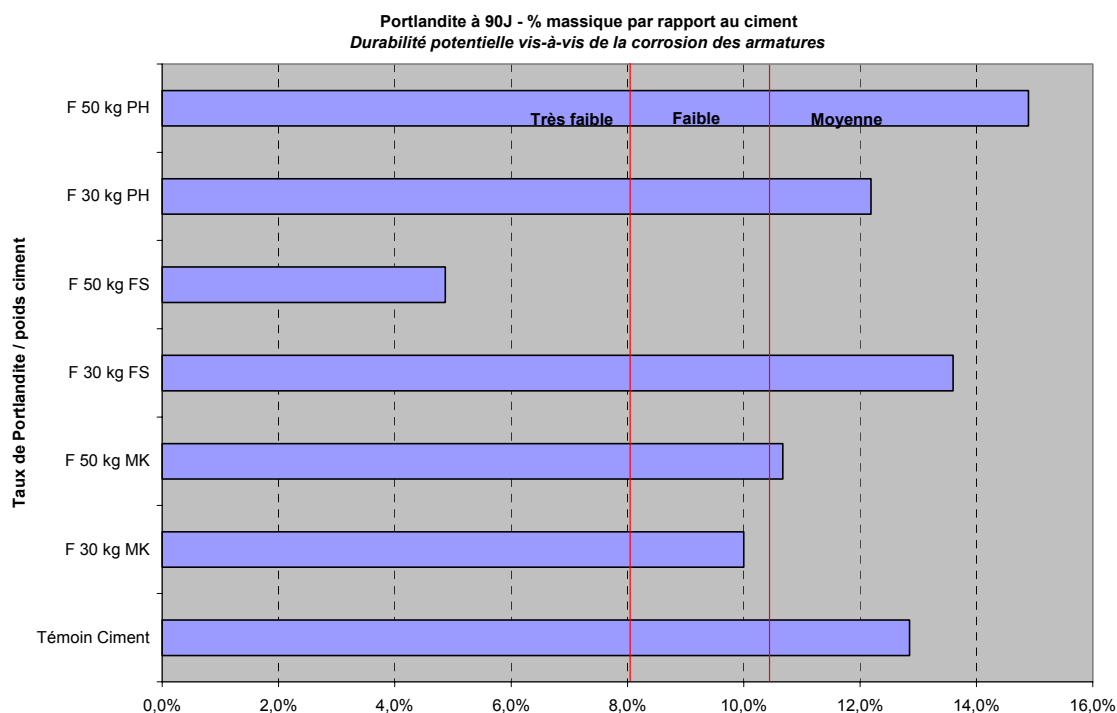


Figure 10 : Mesure de la durabilité potentielle vis-à-vis de la corrosion des armatures

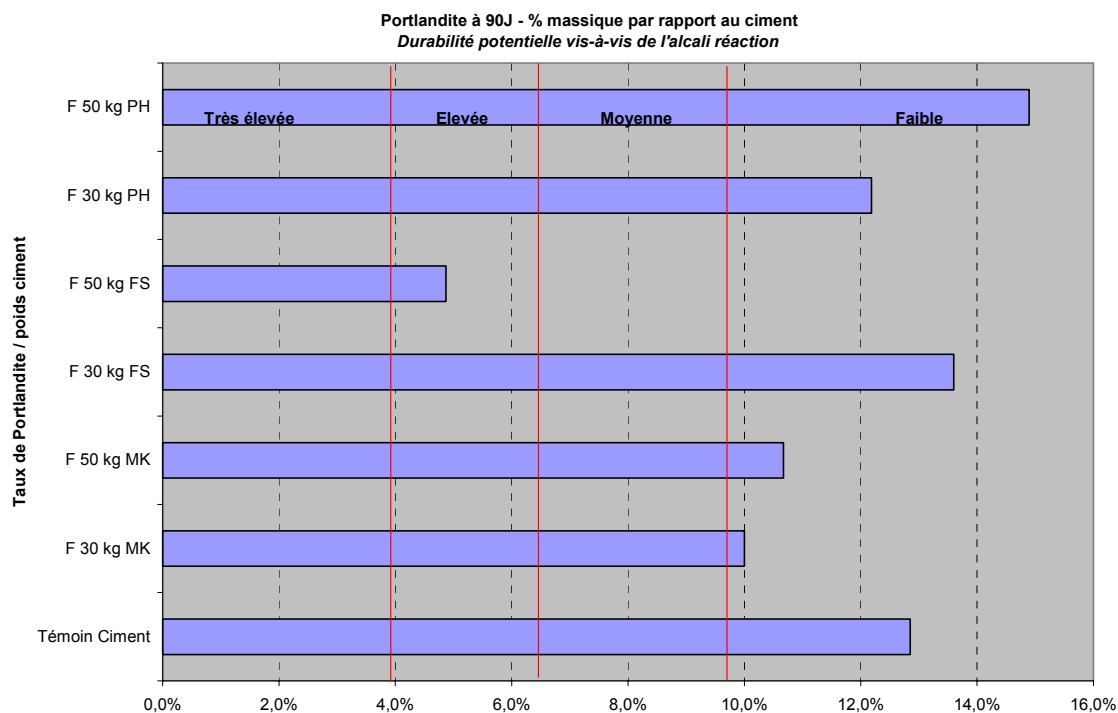


Figure 11 : Mesure de la durabilité potentielle vis-à-vis de l'alcali réaction

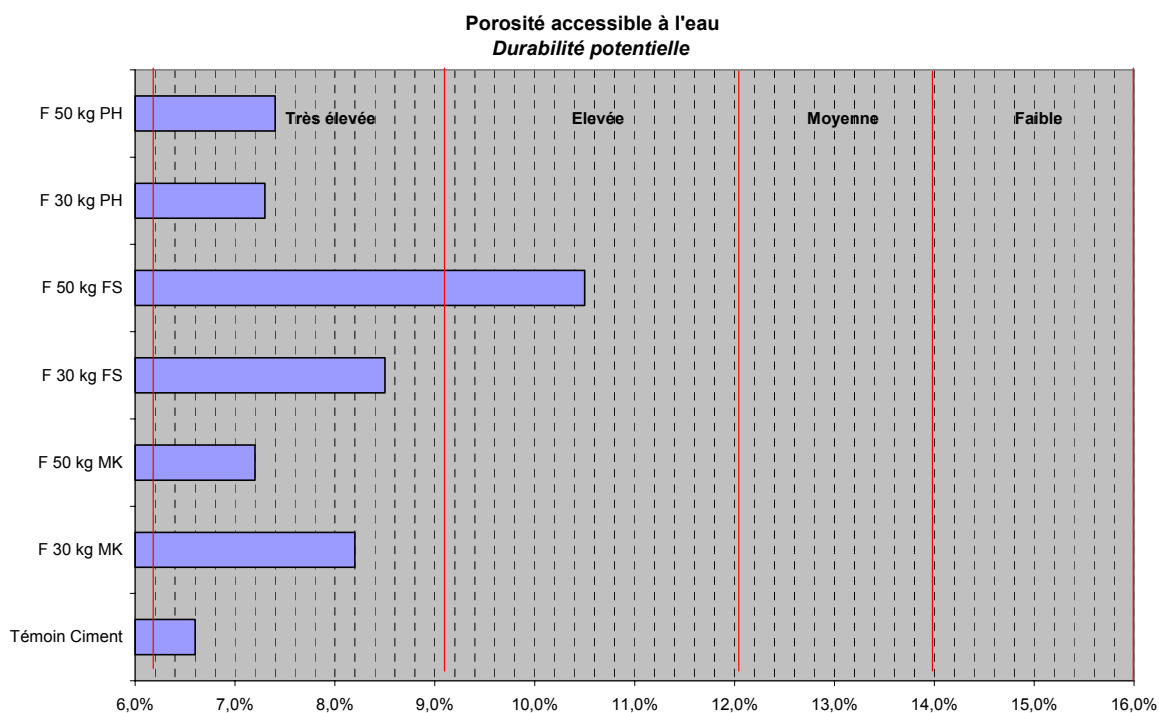


Figure 12 : Mesure de la durabilité, Porosité accessible à l'eau à 90 jours

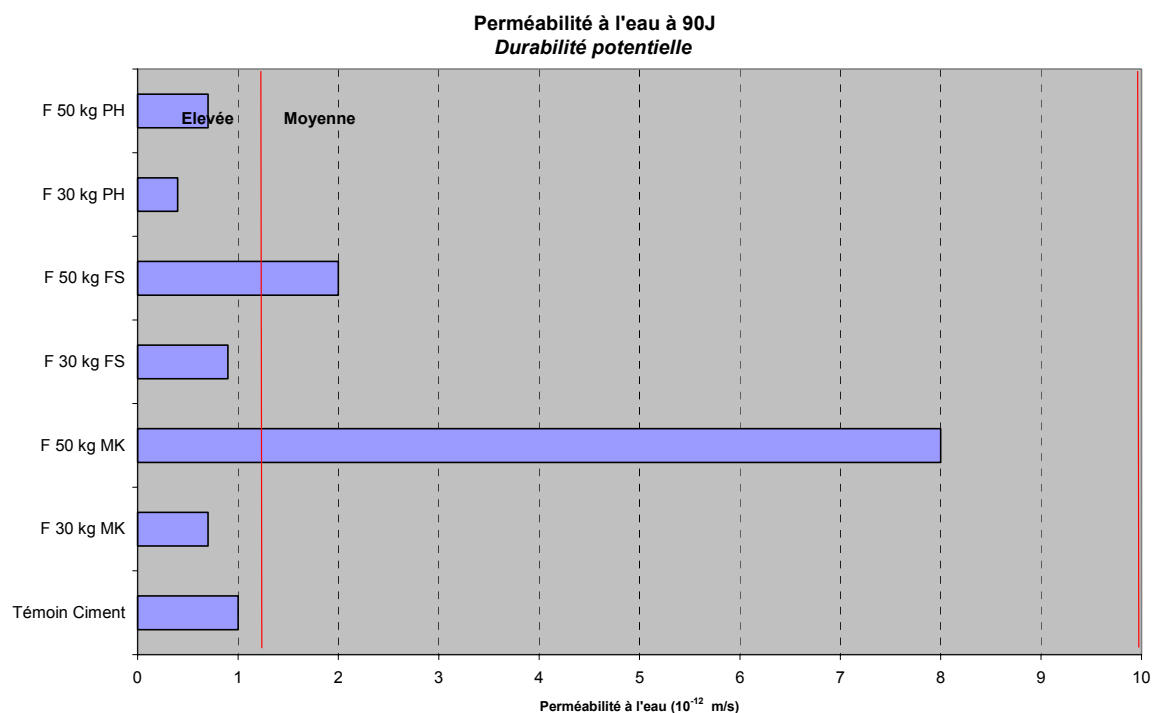


Figure 13 : Mesure de la durabilité, perméabilité à l'eau à 90 jours

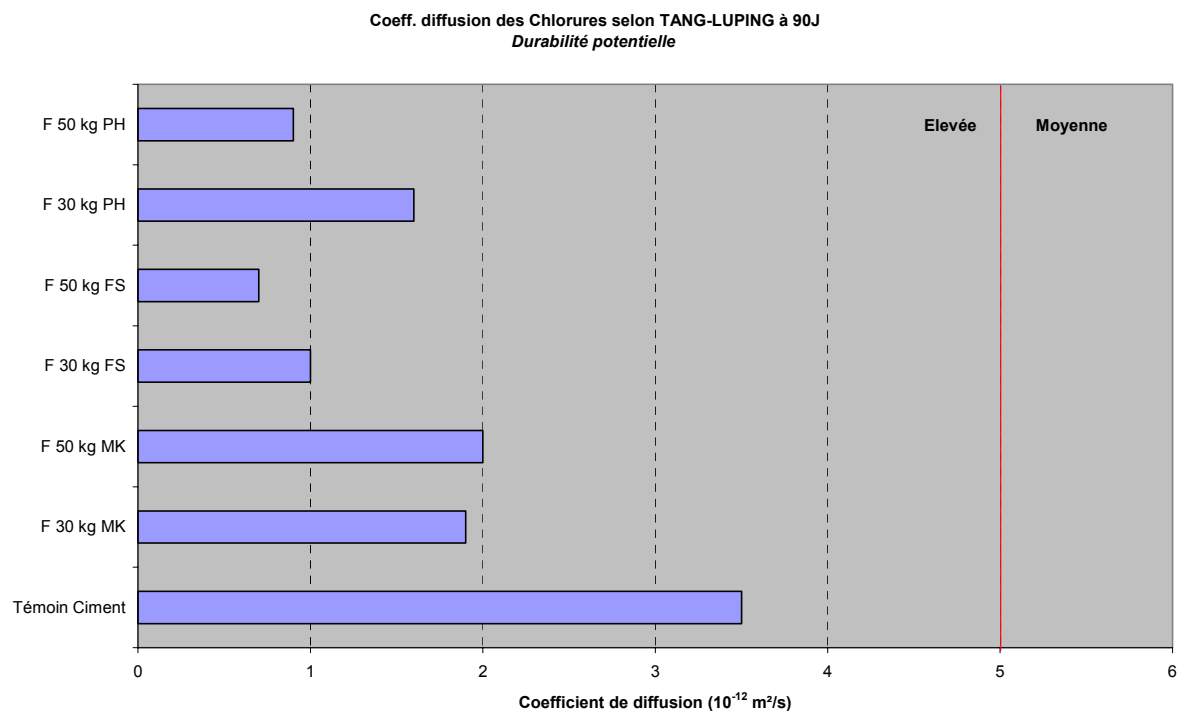


Figure 14 : Mesure de la durabilité, diffusion aux chlorures à 90 jours

4. CONCLUSION

- Les matériaux utilisés influencent directement la durabilité des ouvrages et les résistances mécaniques des bétons ainsi que leurs propriétés au sens large.
- La recommandation de ces produits alternatifs du point de vue développement durable est préconisée dans la recherche et l'optimisation de :
 - Economies de ressources naturelles
 - Utilisation de matériaux de substitution
 - Optimisation des structures hautes performances ou recyclage des matériaux)