

PRÉVENTION DU RISQUE DALCALI-RÉACTION

par application de l'essai accéléré à l'autoclave

Denise GUIGNARD

Technicienne supérieure

Section Géologie et matériaux naturels

André LE ROUX

Directeur de recherche

Chef de la section Géologie et matériaux naturels

Division Mécanique des sols et géologie de l'ingénieur

Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Introduction

L'essai accéléré à l'autoclave (norme française expérimentale P18-590) est l'un des essais préconisés pour qualifier les granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction.

Il consiste à mesurer les variations dimensionnelles d'éprouvettes de mortiers (4 x 4 x 16) enrichies en alcalins et soumises pendant cinq heures, en autoclave, à une température de $127^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sous une pression de $0,15 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$.

Cet essai a été appliqué à trois types de granulats ayant subi l'ensemble des essais préconisés dans le recueil des recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction.

Application à trois granulats

Les granulats testés sont :

- un calcaire primaire Viséen, faiblement dolomitique, contenant moins de 5 % de minéraux secondaires : quartz, argiles ;
- un calcaire primaire du tournaïsien à chailles comportant un réseau siliceux important, où l'on note la présence de sulfure de fer

(FeS₂) soit sous forme framboïdale, soit sous forme de cubes, avec une répartition d'environ 50/50 de chaque morphologie ;

- un quartzite provenant de la formation des grès armoricains, composés de micro-quartz bordés de minéraux phylliteux avec présence de silice amorphe ou cryptocrystalline en bordure de grain ou dans le ciment.

Les résultats des mesures de variations dimensionnelles après autoclavage sur les éprouvettes de mortier confectionnées avec ces trois granulats sont identiques à ceux des autres laboratoires ayant pratiqué cet essai sur les mêmes matériaux.

En outre, la qualification issue de nos essais est généralement identique à celle proposée par d'autres laboratoires utilisant des essais basés sur des mesures de variations dimensionnelles mettant en oeuvre une procédure différente.

Dans l'essai P 18-590, pour une expansion inférieure à 0,15 %, le granulat est classé NR (non réactif). Au-dessus de 0,15 %, il est classé PR (potentiellement réactif).

La figure 1 rassemble les résultats obtenus sur les trois matériaux testés.

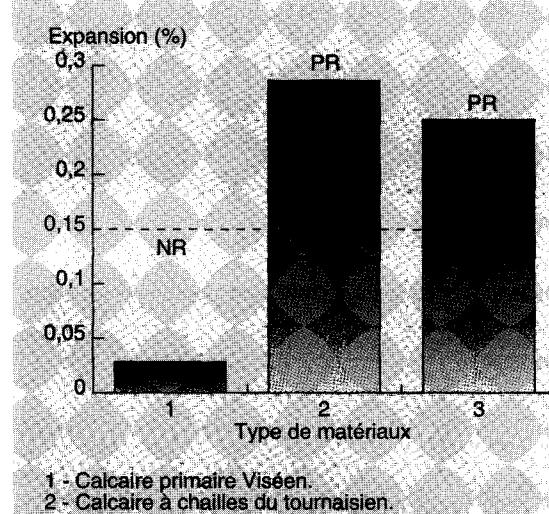


Fig. 1 - Expansion à 24 heures selon la norme P 18-590.

Après l'autoclavage, des fragments d'éprouvettes ont été examinés au microscope électronique à balayage Philips XL 30 équipé d'un analyseur EDAX DX 4 i, afin de contrôler la relation entre l'expansion et le développement de l'alcali-réaction.

L'observation d'échantillons d'éprouvettes confectionnées avec les granulats classés PR montre effectivement la présence de «gels de réaction» massifs, ce qui confirme le développement de réactions dégradantes à caractère expansif (fig. 2).

Quant aux granulats classés NR, ils ne montrent pas de gels.

Nous ne présentons pas d'illustrations se rapportant aux granulats NR dans la mesure où il n'y a aucune manifestation spécifique et où les images sont celles d'un mortier normal de bonne qualité.

Fig. 2 - Illustration des manifestations de l'alcali-réaction dans les éprouvettes de granulats classés PR.

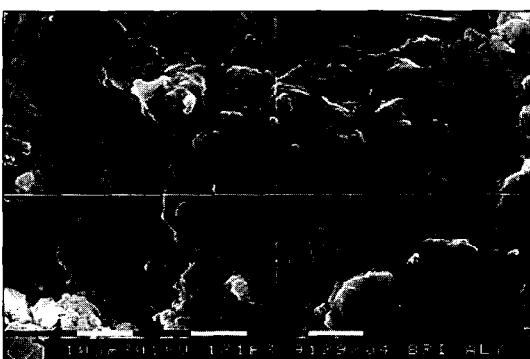


Fig. 2 a - Épaisse couche de «gel de réaction» se développant autour d'un granulat de quartzite.

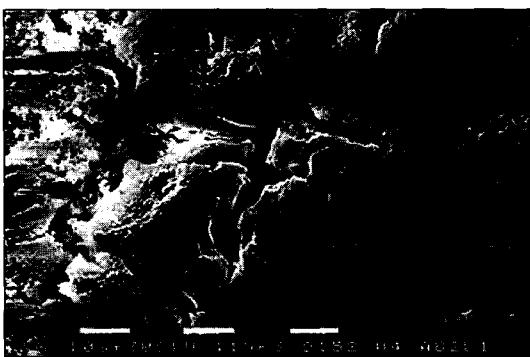


Fig. 2 b - «Gel de réaction» épais, amorphe, craquelé, caractéristique des formes dégradantes de l'alcali-réaction (calcaire à chailles du tournaïsien).

Influence d'ajouts de poudre minérale sur l'expansion des éprouvettes de mortier

Il n'existe pas actuellement d'essais susceptibles de caractériser l'influence de fines siliceuses ou silicatées pouvant servir d'ajouts minéraux à une formulation de béton. Une des options consiste à considérer ces ajouts non comme un granulat mais comme une partie du liant, ce qui autorise l'utilisation de la procédure de la norme P 18-590. Pour tester l'influence de ces ajouts avec les trois granulats types, la norme **P 18-590** a été

suivie scrupuleusement, avec pour seul écart la substitution de 10 % du ciment par l'un des ajouts suivants :

- Cr : poudre de cristobalite.
- Fr : farine de roche composée essentiellement de quartz, d'albite et de chlorite.
- FS : fumée de silice.

Les résultats obtenus montrent l'incidence des différents ajouts sur l'expansion des éprouvettes (fig. 3).

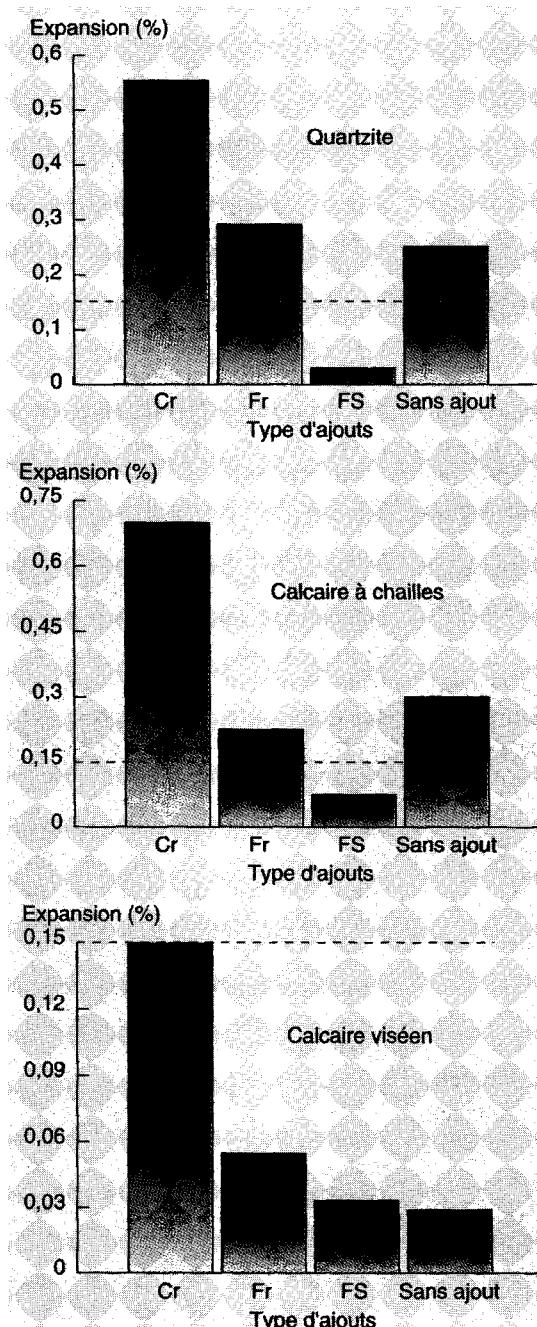


Fig. 3 - Expansion à 24 heures selon la norme P 18-590 de bétons comportant des ajouts de cristobalite, farine de roche ou fumée de silice.

La cristobalite et la fumée de silice avaient pour rôle d'enrichir le mélange en «silice réactive» afin de voir si les modifications du rapport silice réactive/alkalins de la solution interstitielle pouvaient avoir une répercussion significative sur le développement des réactions dégradantes. Nous constatons que :

- la cristobalite provoque avec les trois granulats types, classés soit NR soit PR, une expansion supérieure ou égale à 0,15 %, ce qui traduit le développement d'une réactivité indépendante de la nature minéralogique du granulat ;

- avec les granulats classés PR, la fumée de silice a un effet inhibiteur, l'expansion mesurée étant inférieure dans tous les cas à 0,15 %.

Cette constatation va dans le sens des observations réalisées par ailleurs sur les bétons incorporant des fumées de silice aux jeunes âges :

- la farine de roche n'a aucune incidence sur l'expansion des éprouvettes. Cet ajout est neutre, alors que l'essai microbar (P 18-588) et l'essai cinétique (P 18-589) le classent comme un matériau très réactif.

Observations au microscope électronique à balayage

Les observations ont été faites sur des fragments d'éprouvettes confectionnées avec les deux granulats classés PR, la quartzite et le calcaire à chailles, afin de vérifier si l'incidence des ajouts trouve une traduction morphologique.

Les figures 4 à 7 témoignent de l'aspect des éprouvettes avec les ajouts de cristobalite et de fumée de silice.

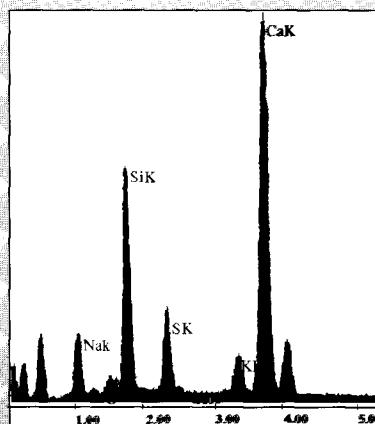
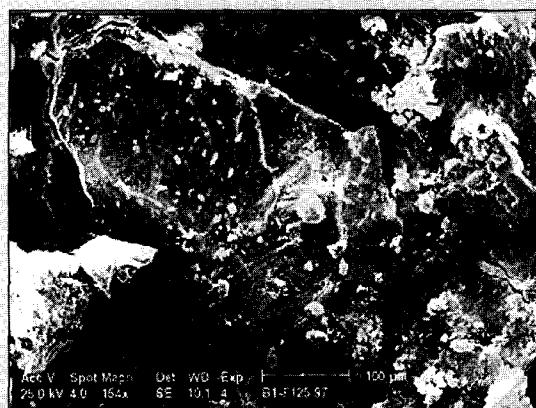


Fig. 4 - Aspect d'une éprouvette dont les granulats sont constitués de quartzite, avec ajout de cristobalite.

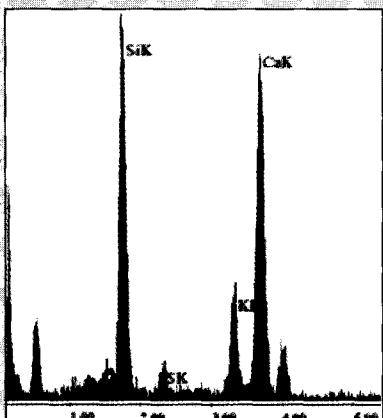
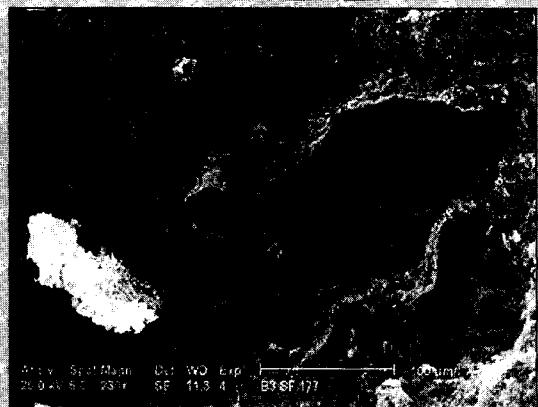


Fig. 5 - Aspect d'une éprouvette dont les granulats sont constitués de quartzite, avec ajout de fumée de silice. On note l'amorce d'une manifestation d'alcali-réaction autour d'un granulat, avec formation d'un gel épais.

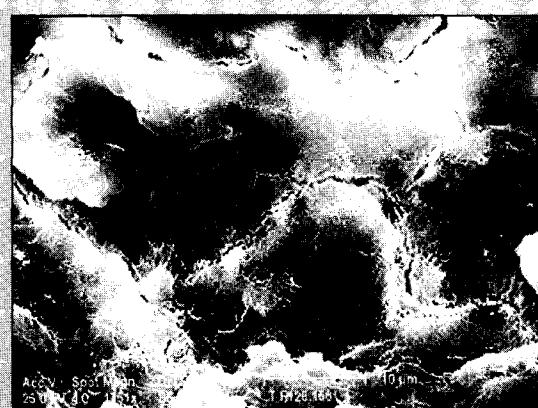
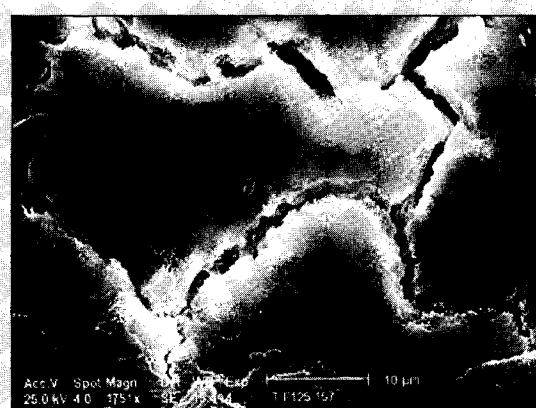


Fig. 6 - Aspect d'une éprouvette dont les granulats sont constitués de calcaire à chailles, avec ajout de cristobalite. Le gel est lisse et légèrement alvéolé, de forte épaisseur.

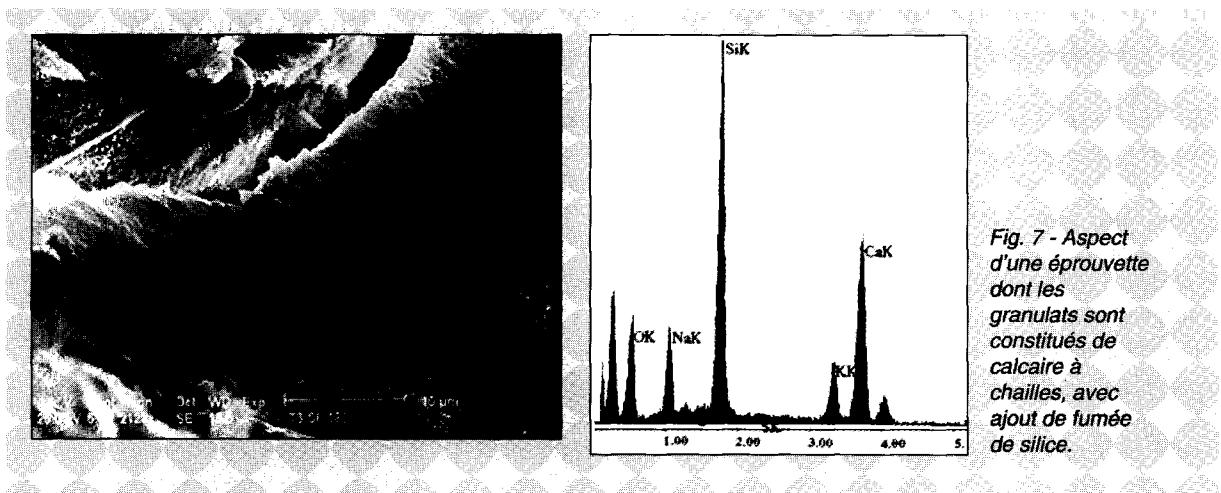


Fig. 7 - Aspect d'une éprouvette dont les granulats sont constitués de calcaire à chailles, avec ajout de fumée de silice.

Conclusion

L'essai à l'autoclave caractérise la réactivité des granulats de façon concordante avec les autres essais préconisés dans le document «Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction».

L'utilisation de cet essai pour déterminer l'incidence d'ajouts de poudre minérale dans les mortiers permet de constater que :

- la farine de roche, incorporée à un lot de granulats, a un comportement neutre dans l'essai à l'autoclave quelle que soit la nature minéralogique des granulats, alors qu'elle se caractérise par le développement d'une forte réactivité dans les essais «micro-bar» et «cinétique chimique»;
- la silice produit des effets diamétralement opposés lors-

qu'elle est utilisée comme ajout dans un mortier. Soit elle inhibe, soit elle provoque ou amplifie la réaction à l'origine des gonflements. Il conviendra donc de rechercher un essai susceptible de caractériser au mieux cette réactivité. Remarquons pourtant que la cristobalite est parmi les variétés naturelles de silice une de celles qui peut être considérée comme très sensible en milieu alcalin :

- la présence de produits de la réaction alcali-silice dans un mortier ne se traduit pas nécessairement par une expansion considérée comme un risque potentiel de dégradation liée à l'alcali-réaction. C'est ce que nous avons constaté avec le mélange quartzite/fumée de silice qui présente une variation dimensionnelle largement en deçà du seuil à partir duquel un matériau est considéré comme potentiel-

lement réactif alors que l'observation au MEB montre la présence d'un gel de réaction épais et craquelé.

A contrario, le développement de réactions dégradantes, d'égale amplitude, ne s'identifie pas nécessairement par des morphologies parfaitement similaires.

Ces premières constatations font l'objet de recherches plus approfondies d'une part sur les relations entre le développement de produits morphologiquement assimilables aux produits de l'alcali-réaction et les risques potentiels de dégradations, d'autre part sur l'incidence des additions minérales.

Ces recherches animées par J.-S. Guédon-Dubied, devraient déboucher sur une caractérisation des additions minérales au moyen d'un essai adapté, et sur une appréciation de leur efficacité, peut-être avec un nouvel essai.