

METHODOLOGIE DANS LE CADRE DE LA PREVENTION VIS-A-VIS DE L'ALCALI-REACTION

S.Guédon-Dubied ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris

Résumé

L'objet de cette présentation est de retracer en quelques lignes le chemin parcouru dans le domaine de la qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction depuis les recherches qui ont permis d'aboutir au document « Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction » paru en 1994 et les dernières normes parues dans le courant de l'année 2004 et utilisées depuis. Après un bref historique de la démarche méthodologique adoptée par la France depuis une douzaine d'années, les nouvelles normes seront présentées en insistant sur les améliorations apportées au fil des ans grâce à la réalisation de recherches et d'essais en laboratoire. Quelques exemples seront donnés pour valider la pertinence des options choisies, en particulier, dans le choix des essais, leur déroulement, tout en insistant sur la notion de démarche qui est une spécificité française. La dualité entre l'étude pétrographique et les essais de différentes catégories sera un fois de plus réaffirmée. Il est quotidiennement utile de rappeler que cette démarche méthodologique, comme son nom l'indique, intègre plusieurs étapes dont aucune n'est suffisante prise individuellement. Enfin, l'essai de performance sera évoqué dans son mode opératoire et les précautions à prendre lorsque l'on envisage une formulation incorporant des additions minérales.

Mots-clés

Granulat – Béton – Mortier – Essais – Réactivité aux alcalins

1 . INTRODUCTION

Cet article reprend les différentes étapes chronologiques, ayant conduit à l'établissement de différentes normes, combinant les recherches, les mises au point d'essai et leur validation par des essais croisés. Ces normes constituent maintenant un ensemble plus cohérent qui permet d'aboutir à la démarche méthodologique actuellement mise en oeuvre lorsque la construction d'un ouvrage est envisagée.

2. METHODOLOGIE DE LA PREVENTION DE 1994 A 1999

2.1Le document « Recommandations »

Le document « Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction » paru en 1994 [1] est le premier document de synthèse qui fixe les étapes d'une démarche méthodologique pour prévenir le risque d'alcali-réaction dans les bétons.

En neuf parties distinctes, il précise les principes de la démarche préventive, il impose la détermination de niveaux de prévention en fonction des caractéristiques de l'ouvrage et de son environnement climatique. Le futur ouvrage s'insère dans un tout.

Ce document « Recommandations » [1] reprend au fil du texte les différents essais déjà normalisés à l'époque [2-6] et issus de travaux d'un groupe de travail de l'AFREM (Association Française de Recherche et d'Etudes sur les Matériaux), publié en 1993, sous la forme d'un rapport final d'étude de l'ATILH (Association Technique des Industries des Liants Hydrauliques) [7].

2.2 La qualification des granulats

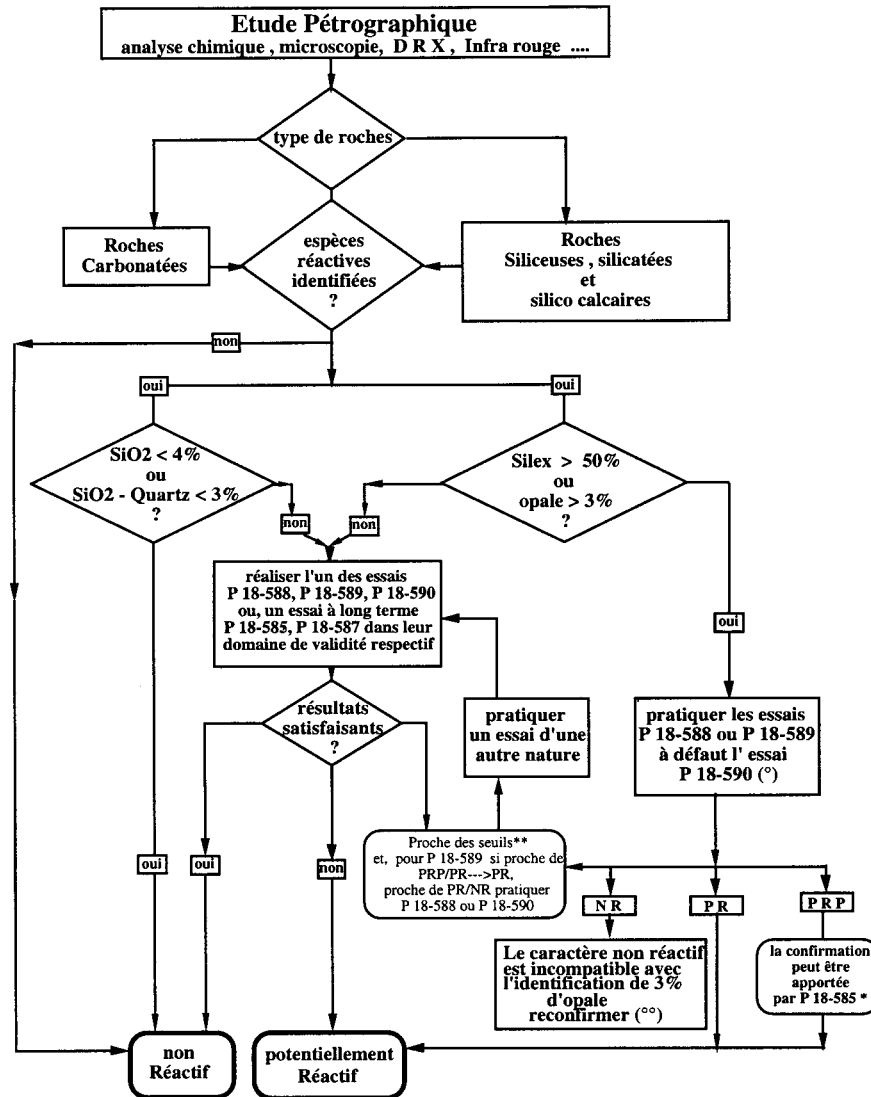
Cette recherche a fédéré 10 laboratoires, et une campagne d'essais croisés, impliquant les gravillons de référence stockés sur le site du LCPC Nantes a permis de valider les modes opératoires et les seuils retenus. Le **Tableau 1.** présente une synthèse des différents essais, la colonne de droite précise les évolutions qui ont été souhaitées après quelques années d'utilisation dans les laboratoires [8].

Tableau 1. Récapitulatif des essais en vigueur en 1994 et évolutions souhaitées après quelques années ayant suivi leur publication

Référence de l'essai	Intitulé	Evolution souhaitée en 1999
Les analyses physico-chimiques, minéralogiques ou pétrographiques		
Méthodologie décrite dans le document Recommandations (Juin 1994)	Diagnostic pétrographique	<i>Rendre cette étape systématique</i>
La mesure de dissolution de la silice		
P 18-589 (septembre 1992)	Réactivité potentielle de type alcali-silice et alcali-silicate. Test cinétique-Méthode chimique	<i>Réaliser une décarbonatation préalable de l'échantillon</i>
Les essais rapides de stabilité dimensionnelle		
P 18-588 (Décembre 1991)	Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai accéléré sur mortier MICROBAR	<i>Essai jugé discriminant</i>
P 18-590 (Avril 1993)	Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai accéléré sur mortier par autoclavage	<i>Pouvoir être plus tolérant sur la teneur minimale en $\text{Na}_2\text{O}^{\text{eq}}$. Limiter de la teneur en MgO du ciment. Permettre de qualifier les granulats potentiellement réactifs à effet de pessimum</i>
Les essais lents de stabilité dimensionnelle		
P 18-585 (Décembre 1990)	Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai sur mortier	<i>Regrouper les deux modes opératoires</i>
P 18-587 (Décembre 1990)	Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai sur béton	

On voit que le nombre des essais est conséquent, certains sont dits rapides et donnent des résultats à l'échéance de la semaine, et d'autres sont lents, l'échéance est alors de plusieurs mois. En fonction de leur domaine de validité, ces essais sont organisés selon le schéma décisionnel donné en **Figure1**.

Caractérisation des granulats vis à vis de l'Alcali-Réaction
Annexe du fascicule de documentation P 18-542
Schéma N°2



* Intéresse uniquement les sables

** La zone de doute correspond à la zone comprise entre la valeur fixée pour le seuil dans la norme et cette valeur moins 10%
Le second essai pratiqué, quel qu'il soit, sera considéré comme décisionnel

(°) dans le cas où on sera conduit à pratiquer l'essai P 18-590 on aura une information incomplète, actuellement cette méthode ne permet pas de faire la distinction entre les qualifications PR et PRP Seuls P18-588 et P 18-589 distinguent actuellement les PRP

(°°) Reconformer soit au niveau de la pétrographie soit en réalisant un autre essai

Figure 1. : Schéma décisionnel de caractérisation des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction selon le FD P 18-542 (1994) [9].

L'utilisation de ce schéma décisionnel donné **Figure 1.** permet dans certains cas d'aboutir au diagnostic final, lorsque par exemple le diagnostic pétrographique détermine la non réactivité à l'issue des analyses. Dans d'autres cas les incertitudes des résultats conduisent plus loin dans la démarche diagnostique, jusqu'à devoir pratiquer un essai rapide suivi d'un essai lent.

2.3 La qualification d'une formulation de béton sur la base d'un critère de performance

Le critère de performance est basé sur une caractérisation expérimentale directe de la formule de béton contenant les granulats, le ciment, les additions minérales dans

les proportions dans lesquelles ces composants seront gâché lors de la réalisation du chantier. Le principe de cette méthode expérimentale consiste à mesurer, par un essai accéléré, le gonflement d'éprouvettes de béton dont la formule est représentative de celle qui sera mise en oeuvre, puis à vérifier que cette expansion reste inférieure à un seuil fixé. Cet essai présente l'avantage de tester la formule complète en ayant la possibilité de tester aussi les additions minérales.

Dans une approche globale des préoccupations deux orientations peuvent se dégager :

Celle d'un producteur de granulats qui a avantage à bien connaître son gisement et donc connaître la ou les réactivité(s) des matériaux qu'il est susceptible de proposer dans un marché, il met alors en oeuvre une procédure de qualification de ses granulats.

Celle d'un concepteur d'ouvrage qui doit pouvoir obtenir l'information précédente de son producteur de granulats mais qui doit aussi s'assurer de la non réactivité de la formule qu'il envisage en intégrant les contraintes d'approvisionnement du chantier, il fait alors pratiquer un essai de performance.

Cette procédure d'essai publiée dès 1992 [10] a été testée par le LCPC, près de 150 essais ont été réalisés, impliquant des granulats de réactivités différentes, des ciments dont les teneurs en alcalins variaient de 1,6 à 5 kg/m³, des additions minérales diverses. L'essai de performance a permis dans tous les cas de donner satisfaction. Un mode opératoire final est disponible septembre 1999 pour être proposé à la normalisation AFNOR en 2000 et soumis début 2001 à l'enquête publique.

3. METHODOLOGIE DE LA PREVENTION DE 1999 A 2004

Le schéma décisionnel donné en **Figure 1.** a été mis en oeuvre systématiquement à chaque demande de qualification de granulats et après quelques années d'utilisation, des souhaits d'évolution des modes opératoires ont été formulés au travers de différents groupes de travail, le souhait général étant de mieux organiser les essais d'où l'apparition de la notion d'essai « crible ».

3.1 La qualification des granulats

Une nouvelle norme XP P 18-594 [11] accompagnée de son fascicule de documentation FD P 18-542 [12] sortent en 2004 précisant les améliorations souhaitées ainsi que la nouvelle méthodologie à mettre en oeuvre.

Dans ces deux nouvelles normes les familles d'essais sont au nombre de deux : les méthodes pétrographiques associées à l'analyse chimique, et les essais de stabilité dimensionnelle.

Un essai rapide est mis en avant sous l'appellation d'essai « crible ». Les laboratoires ont néanmoins toujours la possibilité de mettre en oeuvre une autre essais qualifié de « variante », dans la mesure où depuis le temps que ces essais sont pratiqués, certains laboratoires ont acquis une expérience plus spécifique dans l'une ou l'autre méthode, il lui est possible de continuer à la mettre en oeuvre en s'appuyant sur son expérience passée. Le **Tableau 2.** précise les améliorations qui ont été apportées.

Tableau 2. récapitulatif des essais en vigueur en 2004 et les évolutions souhaitées

Référence et intitulé de l'essai	Evolutions 2004
Les méthodes pétrographiques associées à l'analyse chimique	
Diagnostic pétrographique Nouveau mode opératoire : Paragraphe 3 de la XP P 18-594 (2004)	<i>Il est toujours aussi difficile de convaincre un maître d'ouvrage de réaliser cet essai.</i>
Méthode de référence : essai crible	
Essai accéléré à l'autoclave sur mortier. NF P 18-590 (1993) Nouveau mode opératoire : Paragraphe 5.1 de la XP P 18-594 (2004)	<i>Ciment non imposé avec un $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ compris entre 0,6 et 1% et $\text{MgO} < 2\%$. Trois valeurs ciment/granulats pour qualifier les granulats potentiellement réactifs à effet de pessimum.</i>
Variantes	
Essai accéléré sur mortier MICROBAR. NF P 18-588 (1991). Nouveau mode opératoire : Paragraphe 5.2 de la XP P 18-594 (2004)	<i>Essai jugé discriminant maintenu en variante</i>
Test cinétique-Méthode chimique. (1992). Nouveau mode opératoire : Paragraphe 5.3 de la XP P 18-594 (2004)	<i>Essai de laboratoire orienté vers la recherche et la compréhension des mécanismes</i>
Essai à long terme	
Essais sur béton. NF P 18-585 et 587 (1990) Nouveau mode opératoire : Paragraphe 6 de la XP P 18-594 (2004)	<i>Les deux modes opératoires ont été fusionnés</i>

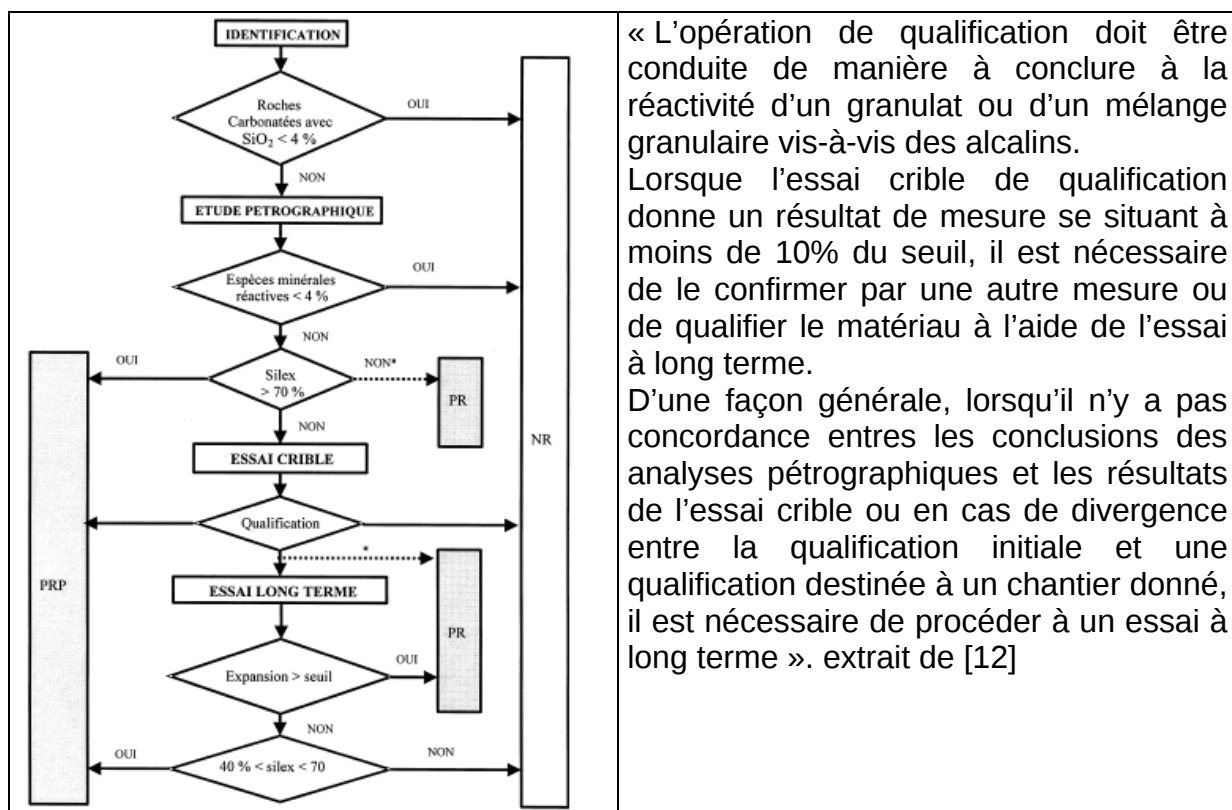


Figure 2. : Conduite d'une opération de qualification de granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction selon le FD P 18-542 (2004) [12].

3.2 La qualification d'une formulation de béton sur la base d'un critère de performance

La norme AFNOR précisant les conditions de détermination de la réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction a été publiée en Décembre 2004, NF P 18-454 [13] accompagnée de son fascicule de documentation FD P 18-456 (décembre 2004) [14] précisant les critères d'interprétation des résultats de cet essai.

Cette norme, outre le fait qu'elle précise le mode opératoire et les conditions de vieillissement des éprouvettes, donne une méthode d'évaluation de la teneur en alcalins des ciments, ce qui permet de se situer par rapport aux critères d'acceptation fourni dans le document « Recommandations ». Le fascicule de documentation, fixe les seuils et donne les conditions d'interprétation dans le cas où les formules incorporent des additions minérales. En effet l'avantage de cet essai est de pouvoir tester une formule complète, prête à la mise en oeuvre, or de nombreuses formules, pour des soucis d'ouvrabilité et de rhéologie incorporent des additions minérales. Ces dernières sont souvent accompagnées d'un ou plusieurs adjuvant qui ont aussi une influence sur ces critères de mise en oeuvre. Certaines additions minérales ou couple addition-adjuvant sont susceptibles de contenir des alcalins dont les teneurs doivent obligatoirement être prise en compte comme stipulé dans le document « Recommandations ». De plus certaines formulations incorporant des additions minérales ont une expansion qui se révèle parfois après les cinq mois de la durée de l'essai (seuil temporel fixé pour les formules sans additions), il était donc indispensable de fixer des critères de seuil et de pente afin de s'affranchir de ces inconvénients [13]. La **Figure 3.** présente des résultats pour 11 formulations de bétons incorporant soit des fumées de silice (FS), des cendres volantes (CV), une addition silico-calcaire (SCA), un métakaolin (MK), qui ont toutes des expansions inférieures au seuil de déformation longitudinale de 0,02% et au seuil temporel de cinq mois. Si l'essai est prolongé sur douze mois certaines expansions voient leur taux doubler par rapport à leur valeur à 5 mois. Il convenait donc de prendre en compte ces retards d'expansion de certaines formulations et donner les moyens normatifs au décideur pour juger de leur réactivité.

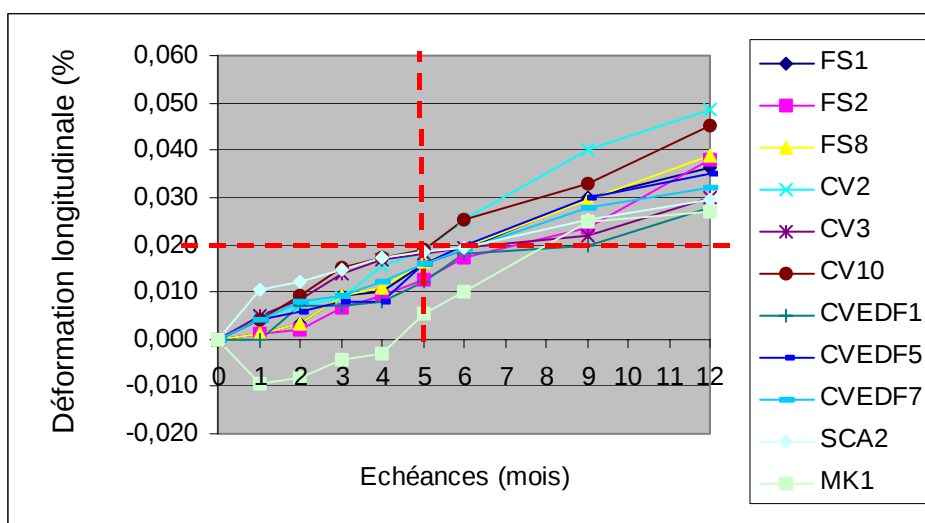


Figure 3. : Courbe déformation longitudinale en fonction du temps d'éprouvettes de béton soumises à l'essai de performance selon la norme NF P 18-454.

4. CONCLUSIONS

Ces quelques pages ont montré comment les résultats de recherches, menées par de nombreux laboratoires, testées par des essais croisés, ont permis d'aboutir à un panel de normes ayant chacune leur domaine d'application et orchestrées par une démarche méthodologique bien définie. En fonction d'un besoin ou d'une application, il est possible que qualifier un granulat vis-à-vis de l'alcali-réaction, (à partir du moment où sa pétrographie est connue, l'essai donnera une valeur que l'on situera en-dessus ou en-deçà d'un seuil), il est aussi possible de qualifier une formulation de béton avec les constituants qui seront réellement mis en oeuvre sur le futur chantier.

Cette démarche méthodologique constitue une suite logique, qui, couplée au document « Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction » [1] permet d'intégrer le futur ouvrage dans son environnement, en intégrant les facteurs qui auront une influence.

La France est, pour l'instant le premier pays d'Europe à avoir développé cette démarche, et en avoir un retour d'expérience suffisant, sue plus de 15 ans. Les groupes de travail européens comme ceux de la RILEM et le projet européen PARTNER commencent juste à intégrer cette vision plus globale dans leurs programmes mais l'essentiel de leurs travaux vise encore à mettre au point des essais de qualification de granulats, chose dont la France dispose depuis une quinzaine d'années.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] LCPC : « Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction ». 51p. 1994.
- [2] NF P 18-585 : Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai sur mortier. AFNOR Déc.1990.
- [3] NF P 18-587 : Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai sur béton. AFNOR Déc. 1990.
- [4] NF P 18-588 : Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai sur mortier MICROBAR. AFNOR. Déc. 1991.
- [5] NF P 18-589 : Réactivité potentielle de type alcali-silice et alcali-silicate. Test cinétique. Méthode chimique. AFNOR, Sept. 1992.
- [6] NF P 18-590 : Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin. Essai accéléré sur mortier par autoclavage. .AFNOR Avril 1993.
- [7] AFREM-ATILH : Campagne interlaboratoire de l'AFREM sur les méthodes d'essais incluses dans les recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction . Rapport interne . ATLIH. 1993.
- [8] Guédon-Dubied.S : Granulats et alcali-réaction : les essais normalisés et leur devenir. Journée scientifique sur l'alcali-réaction. ESPCI du 21 Octobre 1999.
- [9] FD P 18-542 : Critères de qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction. Mai 1994.
- [10] Bollotte B. Development of an accelerated performance test on concrete for evaluating its resistance to AAR. 9 th ICAAR London. 1992.
- [11] NF P 18-594: Méthodes d'essai de réactivité aux alcalis. AFNOR Fév. 2004.
- [12] FD P 18-542 : Critères de qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction. AFNOR Fév. 2004.
- [13] NF P 18-454 : Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction. AFNOR Nov. 2004.
- [14] FD P 18-456 : Critères d'interprétation des résultats de l'essai de performance. AFNOR Nov. 2004.