



NOTE N°3

L'alcali-réaction dans les bétons

Sommaire

1. [Généralités](#)
 2. [Pathologie et manifestations externes](#)
 3. [Introduction](#)
 4. [Le dépistage des granulats réactifs](#)
 5. [Les recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction](#)
 6. [Les méthodes d'essais de qualification des granulats](#)
 7. [Remarques et conclusion](#)
 8. [Tableaux et schémas](#)
 9. [Bibliographie](#)
-

1. Généralités

Le développement des phénomènes d'alcali-réaction dans les bétons nécessite la conjugaison de trois principaux facteurs :

- des alcalins dans la phase liquide interstitielle du béton,
- des granulats réactifs,
- de l'eau ou un environnement humide.

Le premier facteur nécessite la connaissance du processus des réactions et du rôle des ciments.

La connaissance du deuxième facteur est essentielle dans la démarche préventive que tout projeteur doit effectuer lors de l'étude de l'ouvrage.

Le troisième facteur, lié à l'environnement de l'ouvrage, peut dans une certaine limite être maîtrisé par l'adoption de dispositions constructives.

La présente note rappelle dans un premier temps, la pathologie et les manifestations externes résultant du phénomène d'alcali-réaction, puis décrit les méthodes nouvelles récemment mises au point et normalisées en France, permettant de dépister de façon rapide et fiable les granulats potentiellement réactifs.

Enfin, elle présente, dans l'état actuel des connaissances, les recommandations techniques établies en France en janvier 1991 et en juin 1994, permettant de prévenir des désordres dus à l'alcali-réaction.

Dans le cas d'un risque éventuel, il est utile de contacter les organismes spécialisés.

Des tableaux et schémas complètent cette note.

2. Pathologie et manifestations externes

La dégradation du béton des ouvrages résultant du phénomène d'alcali-réaction a été répertorié dans de nombreux pays.

En France métropolitaine, les premières indentifications ont été décelées depuis plus d'une dizaine d'années sur des ouvrages hydrauliques, principalement des barrages, mais aussi des pièces en béton préfabriquées en usine avec étuvage.

Plus récemment, des cas de ponts, culées de ponts, et aussi bâtiments ou réservoirs affectés par le phénomène ont été identifiés.

Aux Antilles françaises en particulier, quelques réservoirs, stations d'épuration et constructions immobilières ont été signalées ces dernières années.

En général les désordres apparaissent à des échéances variables de deux à dix ans ou plus.

La pathologie et les manifestations externes se signalent par un ou plusieurs des symptômes suivants :

- une fissuration,
 - un faïençage à mailles plus ou moins larges ou en étoile ou une fissuration orientée suivant une direction fonction de la distribution des armatures,
 - des exsudations blanches formées de calcite et parfois de gels translucides,
 - des pustules ou cratères avec des éclatements localisés en forme de petits cônes résultant de la réaction de gros granulats superficiels qui sont visibles au fond des cratères d'éclatement,
 - des mouvements et déformations,
 - des colorations ou décolorations.
-

3. Introduction

L'alcali-réaction est une réaction chimique entre certaines formes de silice et de silicate, pouvant être présentes dans les granulats et les alcalins du béton. Elle correspond à une attaque du granulat par le milieu basique du béton et provoque la formation d'un gel de réaction (silicate alcalin), dont l'expansion engendre, sous certaines conditions, des gonflements.

Comme le souligne le chapitre généralités, les trois conditions nécessaires à l'existence de l'alcali-réaction sont :

- une teneur élevée en alcalins dans la phase liquide interstitielle du béton,
- la présence de produits réactifs dans les granulats (minéraux réactifs),
- de l'eau ou un environnement humide.

La prévention de ce type de pathologie et de manifestations externes, nécessite, d'une part de repérer les granulats potentiellement réactifs et d'autre part d'établir une procédure de choix des matériaux constitutifs du béton, de façon à éviter tout risque ultérieur.

4. Le dépistage des granulats réactifs

Les matériaux réactifs comme les silices amorphes ou cryptocristallines, sont les facteurs principaux qui interviennent dans les réactions. Ils sont facilement identifiables au moyen de l'analyse chimique et pétrographique. On les rencontre dans les roches et alluvions siliceuses, dans les roches carbonatées (sous forme d'inclusions) et dans les roches ou alluvions silicatées polyphasées.

La liste des principales roches concernées est largement publiée dans la littérature.

Le [tableau n°1 \[3\]](#), reproduit en annexe, donne les principales roches pouvant contenir des minéraux sensibles en milieu alcalin.

L'identification de ces roches n'est pas suffisante pour permettre de caractériser un granulats comme réactif. Cette première approche, absolument nécessaire, permet tout au plus d'alerter sur l'existence ou non d'un risque.

Dans l'affirmative, ce sont les essais qui permettent la décision. Ces essais existent depuis plusieurs années, essentiellement dans la littérature Nord américaine. Ils ont cependant été critiqués, car souvent lents mais également peu fiables.

Ces cinq dernières années, des recherches ont été conduites en France dans le cadre de l'AFREM [\[5\]](#), dans le but de mettre au point des méthodes d'essais de dépistage rapides et fiables des granulats potentiellement réactifs.

A l'heure actuelle en France, cinq essais normalisés de qualification des granulats sont pris en compte (voir chapitres [6.2.2](#) et [6.2.3](#)).

5. Les recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction [\[3\]](#)

5.1. Généralités

5.1.1 Préliminaires

Des recommandations provisoires ont été publiées en France en janvier 1991 [\[2\]](#), par le ministère de l'équipement, du logement, des transports et du tourisme. Elles ont été élaborées dans le cadre du Comité technique des alcali-réactions.

Il s'agit d'une réponse à une circulaire ministérielle de novembre 1988, signée par le directeur des routes, afin de prendre en compte un certain nombre de cas pathologiques qui venaient de se manifester en France, concernant essentiellement des ouvrages d'art.

Les recommandations de janvier 1991 étaient "provisoires", parce que l'alcali-réaction était loin d'être une science exacte. Nous disposons actuellement d'un acquis national et international, avec l'aboutissement de nombreuses recherches, qui ont permis de proposer un nouveau texte de recommandations publié en juin 1994, mais il reste encore des zones d'ombres, justifiant un certain nombre de recherches en cours, de sorte que le document actuel sera peut être appelé à évoluer.

Ces deux recommandations ont été éditées par le "Comité technique des alcali-réactions", organisme constitué à l'initiative du directeur des routes, qui est à l'heure actuelle, présidé par le directeur du

Laboratoire central des ponts et chaussées. Il réunit des maîtres d'ouvrage, des entrepreneurs et des producteurs de matériaux (ciments, granulats, adjuvants, béton prêt à l'emploi).

5.1.2 Les recommandations de juin 1994

Elles proposent une démarche préventive, qui s'effectue en deux temps :

- a) détermination d'un niveau de prévention parmi 3 cas possibles, selon la catégorie de l'ouvrage et sa classe d'exposition (voir tableaux [n° 2](#) et [3](#)).
- b) orientation vers la (ou les) solution(s) possible(s), en fonction du niveau de prévention retenu (voir [tableau n° 4](#)).

L'ensemble des dispositions recommandées, peut être utilisé pour la rédaction d'un cahier des charges. On consultera utilement certains guides publiés [\[7\]](#) et [\[8\]](#).

Les ouvrages intéressés par ces recommandations sont les ouvrages neufs (à réaliser). Ce qui relève des ouvrages existants (diagnostic, pathologie et réparation) n'est pas de son domaine d'application.

5.1.3 Remarques

Lors de la rédaction des recommandations "provisoires", certains membres, et en particulier les entrepreneurs se sont, au dernier moment, désolidarisés de ce document en manifestant leur désaccord sur certains niveaux de seuils recommandés.

La publication en 1991 des recommandations, résulte d'une démarche nouvelle, car les documents anciens étaient essentiellement descriptifs et qualitatifs. C'était le cas notamment du bulletin CIGB qui était en préparation. Ce sont d'ailleurs ces indications quantitatives et chiffrées des seuils, qui n'ont pas fait l'unanimité.

A l'heure actuelle, on ne sait pas encore établir la relation entre la réactivité chimique et les contraintes internes qui modifient le comportement des ouvrages. Les produits formés par la réaction, selon la porosité du matériau et la viscosité des gels qui se forment, peuvent avoir ou non un caractère pathogène.

Des recherches fondamentales ont été engagées. Des essais de dépistage rapides et fiables des granulats réactifs sont indiqués dans le document [\[3\]](#) : ils résultent des travaux réalisés en France par l'Association française de recherches et d'études des matériaux (AFREM).

L'aspect cinétique (développement et prévision d'évolution pour les ouvrages existants), lorsqu'on est en présence de cas pathologiques reste à traiter. S'il n'y a pas de problèmes pour le diagnostic, il en reste pour définir l'évolution ultérieure.

5.2. Les étapes de la démarche préventive

Comme indiqué précédemment, la démarche préventive comprend deux étapes qui sont :

- la détermination d'un niveau de prévention,
- le choix de solutions techniques possibles en fonction du niveau de prévention que l'on a retenu.

5.2.1. Niveau de prévention

Le [tableau N°4](#) des niveaux de prévention définit un certain nombre de classes d'exposition à l'environnement [[tableau N°3](#)] et de catégories d'ouvrages [[tableau N°2](#)]. C'est le maître d'ouvrage qui détermine le niveau de prévention.

Les ouvrages concernés par le fascicule 74 du CCTG, sont principalement classés en catégorie II dans la classification des ouvrages, en classe 2 d'exposition à l'environnement climatique, et donc un niveau de prévention B.

Le [tableau N°3](#) nous permet de définir l'appartenance d'un ouvrage en fonction de l'exposition et l'environnement.

Le [tableau N°2](#) classe les ouvrages par catégorie :

- la catégorie I regroupe les ouvrages intérieurs, secondaires ou ceux dont les parties détériorées sont facilement remplaçables,
- la catégorie II concerne la plupart des ouvrages du génie civil et du bâtiment, notamment les châteaux d'eau, réservoirs, cuves ; bassins et cuvelages,
- la catégorie III est celle des grands ouvrages de prestige, tels que les barrages, ou pour lesquels la sécurité a une grande importance.

En ce qui concerne la prévention, le [tableau N° 4](#) indique trois niveaux, qui correspondent à des recommandations, spécifications, examens, etc. :

- **niveau A** : il n'y a pas de recommandations particulières, et pour les spécifications on se réfère aux normes et documents techniques en vigueur.
- **niveau B** : les recommandations sont les suivantes :
 - . examen de la réactivité des granulats (étude du dossier granulats),
 - . établissement du bilan total des alcalins,
 - . vérification de la satisfaction du béton à un critère de performance par essai de gonflement, dit "essai de performance de béton",
 - . examen de références d'emploi similaire (région, type d'utilisation),
 - . recherche des possibilités d'additions inhibitrices et de leur efficacité,
 - . examen des conditions particulières aux granulats PRP.
- **niveau C** : dans ce cas la règle est simple : les granulats doivent être non réactifs (à quelques exceptions près).

Le choix des solutions techniques possibles résulte d'une analyse par le maître d'œuvre de l'ensemble des paramètres connus et identifiés, ainsi que de critères économiques. Cela concerne les matériaux constitutifs du béton, mais aussi la protection des ouvrages

5.2.2. Vérification de la réactivité d'un granulat

En ce qui concerne la vérification de la réactivité d'un granulat, si la preuve de **la non-réactivité** (NR) n'est pas faite, le granulat est réputé **potentiellement réactif** (PR). Dans cette classe, il existe une sous classe qui est celle des granulats **potentiellement réactifs à effet de pessimum** (PRP), qui contiennent des espèces réactives pour lesquelles il existe la notion de teneur critique.

L'ensemble des méthodes d'essais de qualifications des granulats est synthétisée au chapitre suivant. Un schéma décisionnel pour les granulats est proposé dans les recommandations de juin 1994. Le [schéma n° 1](#), indique comment conduire une étude de non-réactivité des granulats.

5.2.3. Conclusions

Les recommandations [3] contiennent les différents éléments nécessaires à la rédaction d'un cahier des charges ;

Le maître d'ouvrage doit fixer le niveau de prévention et la classe d'environnement en se référant aux niveaux suivants :

- **niveau A** : aucune recommandation particulière ;
- **niveau B** : l'ensemble des moyens (dossier granulats, critères de performances, etc.) est passé en revue ;
- **niveau C** : granulats non réactifs, à la nuance près de possibilité d'emploi des ciments à forte teneur en laitiers et/ou des additions minérales inhibitrices.

Les ouvrages concernés par le fascicule 74 du CCTG appartiennent en général **au niveau B de prévention** (catégorie II dans la classification des ouvrages, et classe 2 d'exposition à l'environnement climatique).

6. Les méthodes d'essais de qualification des granulats

6.1. Généralités

6.1.1 Essais de qualification

Concernant les essais de qualification, il convient de bien préciser les objectifs [6] :

- **S'il s'agit de qualifier un lot de granulats ou d'échantillons de roches**, on se réfère aux essais normalisés décrits ci-après ([chapitre 6.2](#) et [tableau N°1](#)).

La méthodologie de conduite d'une opération de qualification d'un granulat vis-à-vis de l'alcali-réaction est définie dans le fascicule de documentation AFNOR P 18542 qui sera prochainement publié. Les travaux du groupe de travail chargé de l'élaboration de ce fascicule sont en voie d'achèvement.

Les indications qui sont données au [chapitre 6.2](#) reflètent partiellement l'état d'avancement de ces travaux ; certaines modifications pourront cependant apparaître et il sera nécessaire de se rapporter à ce fascicule dès sa parution.

- **S'il s'agit de qualifier une carrière**, on consulte le "guide pour l'élaboration du dossier carrière" document [7] préparé par l'UNPG, adopté par le Comité technique français de l'alcali-réaction et annexé aux recommandations provisoires du LCPC, dont la démarche méthodologique est schématisée dans le schéma n° 4 des recommandations [3], (ou le [schéma n° 1](#)).

La phase 2 "qualification des produits issus de chaque entité géologique" de ce schéma, fait appel pour tout ou partie, à la méthodologie définie dans le fascicule P 18542.

- **S'il s'agit de la qualification d'une formulation de béton**, on s'appuie sur les recommandations des entreprises (FNB, FNTP, SNBATI) [1] ou du LCPC [3].

6.1.2 Qualification des granulats

Aux termes du projet de norme P 18-541 "Granulats pour béton hydraulique", en cours de parution, les granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction peuvent être qualifiés :

- soit de **non réactifs (NR)**, pouvant être utilisés sans précautions particulières ;

- soit de **potentiellement réactifs (PR)** c'est-à-dire susceptibles de réagir, si les conditions nécessaires et suffisantes à la manifestation de la réaction sont réunies. Ces granulats peuvent, dans la plupart des cas, être utilisés dans les bétons moyennant des précautions particulières définies dans les recommandations précitées.

Les granulats potentiellement réactifs comportent une sous classe, qui est celle des granulats **potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP)**. Ce sont des granulats qui contiennent des espèces réactives pour lesquelles existe la notion de teneur critique. Les effets expansifs ne se manifestent que lorsque l'on se rapproche de cette teneur dite pessimale, ce phénomène étant lié à des notions de cinétiques de réactions et de rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ des solutions interstitielles.

De tels granulats pourront être utilisés sans danger si d'une part, leur teneur en espèces réactives est suffisamment éloignée de la teneur critique, et d'autre part, s'ils sont utilisés seuls ou avec des granulats de même nature pétrographique.

6.2. La méthodologie de conduite d'une opération de qualification des granulats

6.2.1. La méthodologie

6.2.1.1. Généralités

La démarche de qualification des granulats impose d'identifier le type de granulats auquel on a à faire et les espèces réactives qui sont contenues dans ce granulat. Cela implique, d'une part la recherche d'espèces réactives par une identification pétrographique du granulat au sens large et d'autre part par la vérification de la potentialité de réactivité qui implique des essais rapides et à long terme.

6.2.1.2. Recherche d'espèces réactives

On procède à une identification pétrographique du granulat au sens large qui peut s'appuyer, soit uniquement sur une analyse chimique, soit par des examens pétrographiques plus poussés utilisant tout ou partie de méthodes telles que :

- l'analyse pétrographique sur lame mince,
- la diffraction X,
- la spectrographie infra-rouge,
- des essais de réactivité par examen au microscope électronique à balayage après traitement alcalin, etc.

Après identification pétrographique du granulat :

- soit le granulat ne contient pas d'espèces réactives en quantité néfaste et il est directement classé non réactif (NR),
- soit le granulat contient des espèces réactives en quantité supposée critique ou néfaste, et dans ce cas là, on vérifie que la présence et la teneur de ces espèces réactives confèrent au granulat une potentialité de réactivité (PR) qui peut être testée par l'un des essais normalisés.

6.2.1.3. Vérification de la potentialité de réactivité

Pour cela, on procède à des essais qui sont :

- soit des essais rapides donnant des résultats, dans un délai de l'ordre d'une semaine :
 - . essais Microbar P 18-588,
 - . test cinétique P 18-589,
 - . autoclave P 18-590.

- soit des essais à plus long terme, qui sont aussi des essais accélérés, mais qui donnent des résultats en quelques mois :

- . essais sur mortier P 18-585,
- . essais sur béton P 18-587.

Ces essais peuvent être classés en deux familles d'essais :

- d'une part, les essais de gonflement dans des conditions d'accélération qui utilisent l'alcanisation du milieu et la température. Si le gonflement est inférieur à un seuil déterminé, le granulat est classé "non réactif", si le gonflement est supérieur au seuil déterminé, le granulat est classé "potentiellement réactif" avec une plage d'incertitude de 10 % autour de la valeur du seuil.

- d'autre part, un essai chimique basé sur la mesure de l'évolution du rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ en fonction du temps d'une solution de soude dans laquelle le granulat broyé est conservé à 80°C.

6.2.2. Les essais rapides

Trois essais permettent d'obtenir un résultat de qualification en moins d'une semaine. Les trois normes proposées sont expérimentales.

L'essai Microbar P 18-588

Cet essai utilise des micro-éprouvettes 1 x 1 x 4 cm qui sont soumises successivement à une cure humide, à la vapeur d'eau bouillante, puis à une cure alcaline en milieu KOH à 10 % et à 150°C et dont on mesure les variations dimensionnelles pour trois rapports C/G (ciment - granulats).

L'essai de cinétique chimique P 18-589

Cet essai est une optimisation déterminante de l'ASTM C 289 ou de la norme P 18-584 par introduction notamment de la notion de cinétique de dissolution et du suivi de l'évolution du rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ de la solution.

Aux échéances de 24, 48, 72 heures, le point représentatif de l'évolution du rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ est reporté sur un diagramme qui permet le classement non réactif, potentiellement réactif ou potentiellement réactif à effet de pessimum.

L'essai P 18-590

Cet essai s'appuie sur le suivi dimensionnel d'éprouvettes 4 x 4 x 16 suralcanisées à 4 % en équivalent Na_2O par rapport au ciment, qui après cure humide et une conservation pendant 24 heures, sont soumises à un autoclavage à une pression de 0,15 MPa durant 5 heures.

Les essais P 18-588 et P 18-589 sont actuellement les seuls qui permettent le classement (PRP) (potentiellement réactifs à effets de pessimum). Il existe dans le projet de fascicule de documentation P 18-542 un diagramme de classement des essais P 18-589 et P 18-588 qui permet le classement des granulats en (NR), (PR), (PRP) suivant leur appartenance à une des trois zones définies.

6.2.3. Les essais à moyen terme

Les deux normes proposées sont expérimentales.

Dans les essais à moyen terme, il s'agit d'optimisation extrêmement importante des essais ASTM C 227 d'une part, et de l'essai canadien ACNOR, optimisation qui porte sur l'alcanisation du milieu (1,25 % en équivalent Na_2O par rapport au ciment) et sur le maintien de conditions strictes d'hygrométrie et de température (38°C et saturation d'humidité) qui sont extrêmement importantes pour la fiabilité de ces essais.

Pour la norme P 18-585

Les essais sont réalisés sur mortier (prismes 2,5 x 2,5 x 28,5 cm) et concernent les sables. Les résultats sont obtenus à six mois avec une mesure indicative à trois mois.

Pour la norme P 18-587

Les essais sont réalisés sur béton (prismes 7 x 7 x 28 cm) et concernent les gravillons ; le sable utilisé pour la confection des prismes étant un sable non réactif.

Les résultats sont obtenus à huit mois.

7. Remarques et conclusions

7.1. Remarques

Comme nous l'avons souligné au [chapitre 2](#), il y a peu de cas en France (dans le domaine des barrages, réservoirs, châteaux d'eau, bassins, cuves, etc.) de pathologie et de manifestations externes dus au phénomène d'alcali-réaction.

Cependant, compte tenu de la nature des ouvrages en béton de stockage et de transport de l'eau, en contact permanent avec l'eau, des liquides ou un environnement humide, il est conseillé d'adopter une démarche préventive.

En ce qui concerne le bilan des alcalins, le processus de détermination des alcalins totaux réactifs est maintenant clairement défini. On notera que le risque de réactivité est supérieur avec des ciments de la gamme CPA-CEM I et CPJ-CEM II, alors que les ciments à forte teneur en laitier sont d'excellents moyens d'inhiber la réaction.

Dans certains cas de figure où l'on est en présence de granulats potentiellement réactifs, il serait tout à fait déraisonnable d'aller chercher du granulat non réactif alors que l'on a d'autres moyens de prévention. Les recommandations introduisent dans la prévention de niveau C une nuance à l'interdiction des granulats réactifs avec la possibilité d'utiliser des ciments à forte teneur en laitier.

L'emploi de CLK-CEM III/C, pour d'autres raisons telles que la résistance aux eaux agressives et la faible exothermie, a mis à l'abri les constructeurs et maîtres d'ouvrage de nombreux problèmes.

Les cendres sont d'excellents moyens de prévention ainsi que les fumées de silice : elles peuvent être ajoutées soit au ciment, soit directement dans le béton. Elles sont en cours de normalisation sur le plan national et européen.

7.2. Conclusion

La prévention des risques dus à l'alcali-réaction, nécessite d'une part, un dépistage fiable et si possible rapide des granulats réactifs et d'autre part, une démarche générale de choix de matériaux et de composition du béton.

De nouveaux essais fiables de qualification des granulats, ont été normalisés en France, pour dépister les granulats réactifs. Ce sont actuellement des normes expérimentales.

On consultera utilement : les recommandations FNB - FNTP - SNBATI de mai 1990 [\[1\]](#) qui décrivent notamment les mécanismes des réactions et proposent des recommandations pratiques, ainsi que les recommandations du LCPC pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction [\[3\]](#).

Ces recommandations permettent d'effectuer les choix de matériaux et de composition, en fonction du type d'ouvrage, de son environnement et du niveau de prévention requis.

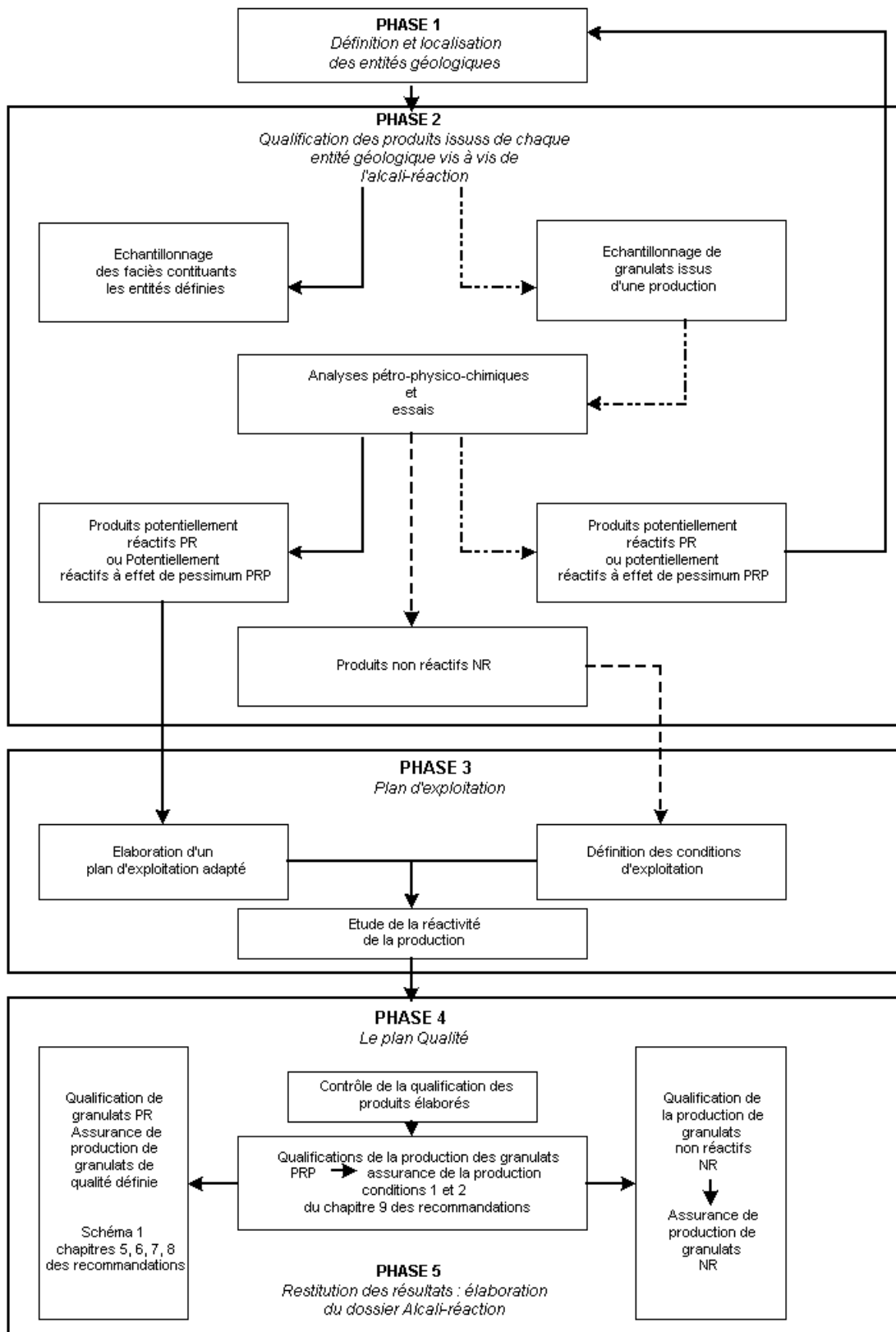
8. Tableaux et schémas

Tableau n° 1 - Principales roches pouvant contenir des minéraux sensibles en milieu alcalin

	Roches	Minéraux sensibles en milieu alcalin
M A G M A T I Q U E S	<ul style="list-style-type: none"> . Granites . Granodiorites . Rhyolites . Dacites . Andésites . Trachyandésites . Basaltes . Obsidienne . Tufs volcaniques . Rétinites 	<p>Quartz à réseau déformé, présentant une extinction ondulante. Minéraux feldspathiques altérés, joints de grains ouverts.</p> <p>Présence de verres siliceux ou de verres basaltiques plus ou moins dévitrifiés. Présence de tridynite, de cristobalite, d'opale.</p> <p>Verres riches en silice plus ou moins dévitrifiés, souvent microfissurés</p>
M E T A M O R P H I Q U E S	<ul style="list-style-type: none"> . Gneiss . Mica-schistes . Quartzites . Cornéennes 	<p>Quartz à extinction ondulante. Micro quartz de seconde génération. Joints de grains ouverts, minéraux feldspathiques et micacés altérés.</p> <p>Quartz associés à un ciment quartzeux et opalin. Présence de micro quartz de seconde génération. Présence de phyllosilicates. Présence de quartz à extinction ondulante ou de quartz microfissurés</p>
S E D I M E N T A I R E S	<ul style="list-style-type: none"> . Grès . Quartzites . Grauwackes . Siltites . Schistes quartzeux . Chailles . Silex . Calcaires . Calcaires dolomitiques . Dolomies 	<p>Ciment siliceux mal cristallisé, joints de grains élargis.</p> <p>Minéraux phylliteux associés. Présence d'opale, de quartz microcristallins.</p> <p>Présence de calcédoine, d'opale.</p> <p>Présence de silice de type opale en micronodules ou diffuse en réseau, associée ou non à des sulfures sédimentaires et des phyllites.</p>

Schéma n°1

Schéma décisionnel pour les granulats comment conduire une étude de non réactivité des granulats ?



**Tableau n° 2 - Classification des ouvrages en trois catégories
Exemples d'ouvrages classés par catégories**

Catégorie I	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages en béton de classe < B 16, les blocs. - Éléments non porteurs situés à l'intérieur de bâtiments. - Éléments aisément remplaçables. - Ouvrages provisoires. - La plupart des produits préfabriqués en béton.
Catégorie II	- La plupart des bâtiments et des ouvrages de génie civil
Catégorie III	<p>- Ouvrages de génie civil pour lesquels le maître d'ouvrage juge l'apparition du risque d'alcali-réaction inadmissibles, tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et réfrigérants. . Barrages. . Tunnels. . Ponts et viaducs exceptionnels au sens de l'annexe B, page 25 des Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction [3]. . Monuments ou bâtiments de prestige.

Tableau n° 3 - Classes d'exposition à l'environnement climatique

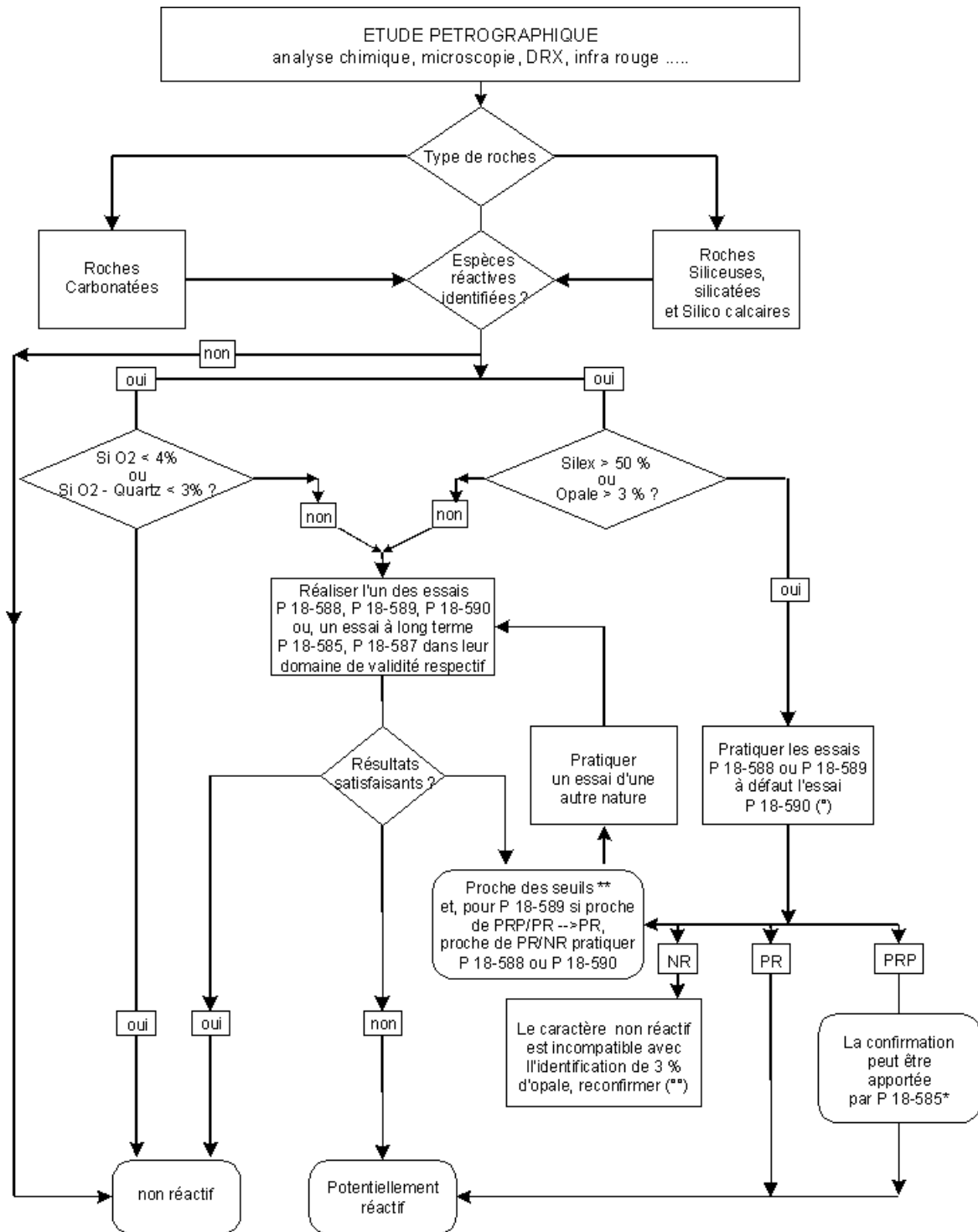
Classes	Types d'ouvrages ou de parties d'ouvrages
<p>Classe 1</p> <p>Environnement sec ou peu humide (hygrométrie inférieure à 80%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Intérieurs de bâtiments ou de bureaux. - Ouvrages protégés contre les sources d'eau, les intempéries et les condensations, par une étanchéité régulièrement entretenue. - Dallages sur terre-plein drainé. - Pièces d'épaisseur inférieure à 50 cm.
<p>Classe 2</p> <p>Environnement avec hygrométrie > 80% ou en contact avec l'eau</p>	<p>a) Gel peu fréquent et peu intense</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intérieurs de bâtiments où l'humidité est élevée (laveries, réservoirs, piscines, etc.). - Parties extérieures exposées. - Parties en contact avec un sol non agressif et/ou l'eau.

	<p>b) Avec gel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parties extérieures exposées au gel - Parties en contact avec un sol non agressif et/ou l'eau et exposées au gel. - Parties intérieures où l'humidité est élevée et exposées au gel.
<p>Classe 3</p> <p>Environnement avec hygrométrie > 80% et avec gel et fondants</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Parties intérieures et extérieures exposées au gel et aux fondants salins.
<p>Classe 4</p> <p>Environnement marin</p>	<p>a) Gel peu fréquent et peu intense</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éléments complètement ou partiellement immergés dans l'eau de mer ou éclaboussés par celle-ci. - Éléments exposés à un air chargé en sel (zone côtière) <p>b) Avec gel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Éléments complètement ou partiellement immergés dans l'eau de mer ou éclaboussés par celle-ci et exposés au gel. - Éléments exposés à un air chargé en sel et au gel.

Tableau n° 4 - Détermination du niveau de prévention en fonction de la catégorie d'ouvrage et de son exposition

Classe d'environnement	1	2	3	4
Catégorie d'ouvrage	sec ou peu humide	humide et eau	humide avec gel et fondant	milieu marin
I Risque faible - acceptable	A	A	A	A
II Risque peu tolérable	A	B	B	B
III Risque inacceptable	C	C	C	C

Schéma n°2
Récapitulatif le processus général de caractérisation des granulats



* 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 P 18-588 et P 18-589 distinguent actuellement les PRP.

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

Schéma n° 3
Essais de diagnostic du risque d'alcali-réaction

	Granulats		Bétons	Observations
	Essais de gonflement milieu suralcalinisé	Essai chimique solution de NaOH	Essai de performance béton	
E S S A I S L E N T S	Ep de mortier P 18-585 2,5x2,5x28,5 cm durée 6 mois 0,100 / 4,0 mm			P 18-585 ne teste que les sables issus de R meubles ayant moins de 25% de concassés
	Ep de béton P 18-587 7 x 7 x 28 cm durée 8 mois 0,100 / 20 mm			P 18-587 ne teste que les gravillons
			Essai sur béton P 15-XXX formule réelle Ep 7x7x28 cm durée 3 ou 5 mois	Annexe G La durée de l'essai est de 3 ou 5 mois suivant la nature des granulats utilisés
	Essai P 18-587 modifié durée 8 mois			Formule avec granulats PRP à moins de 60% de silex condition 2 chap. 9
E S S A I S	Essai microbar P 18-588 Ep micromortier 1 x 1 x 4 cm durée < 1 semaine 0,160 / 0,630 mm			P 18-588 domaine de validité : tous types de granulats, capable de mettre en évidence les granulats PRP

R A P I D E S	Autoclavage P 18-590 Ep de mortier 4 x 4 x 16 cm durée < 1 semaine 0,160 / 5,00 mm			P 18-590 domaine de validité : tous types de granulats, ne reconnaît pas les PRP
		Essai cinétique P 18-589 granulat broyé 0 --> 0,315 mm durée < 1 semaine		P 18-589 capable de mettre en évidence les granulats PRP, mais ne teste pas les calcaires dolomitiques

L'essai P 18-584 n'existe plus, il conviendra de ne plus y faire référence

9. Bibliographie

[1] "Les alcalis-réactions - recommandations", mai 1990, FNB-FNTP-SNBATI. Annales de ITBTP N° 485 juillet-août 1990, série matériaux.

[2] "Recommandations provisoires pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction" - LCPC janvier 1991.

[3] "Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction" - LCPC Juin 1994.

[4] Communication pour le 17ème Congrès international des grands barrages, Vienne - juin 1991. Question N° 65 - Barrages et vieillissements, A. CORNEILLE, EDF CEMETE, "l'alcali-réaction dans les bétons".

[5] Groupe AFREM "Mise au point d'essais rapides et fiables pour la caractérisation des granulats", animé par A. CORNEILLE.

[6] Méthodes d'essais de qualification des granulats et de diagnostic de l'alcali-réaction - journées d'étude, "la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction", Mr SALOMON, CEBTP, février 1995.

[7] Guide pour l'élaboration du dossier carrière - Édité par le LCPC - juin 1994, texte préparé par UNPG en collaboration avec le LCPC.

[8] Guide pour la rédaction des pièces écrites de marché - En cours d'élaboration sous la responsabilité du SETRA.