

ORIGINE LIEE AU MATERIAU

Les fissures qui affectent les ouvrages, murs, planchers ou autres, ont en général des causes qui leur sont extérieures, contraintes, mouvements de l'assise, etc.

Elles peuvent aussi résulter de phénomènes qui trouvent leur origine dans la nature des matériaux eux-mêmes entrant dans leur constitution, comme par exemple, un défaut d'enrobage.

2 A - Béton

L'objet de ce chapitre est d'aborder les principales pathologies inhérentes au matériau béton.

C'est ainsi qu'en fonction des actions extérieures auxquelles peut se trouver exposé un élément d'ouvrage, différents types de dégradations peuvent apparaître.

Le schéma ci-dessous présente quelques agressions extérieures auxquelles pourra être soumis un élément en béton, pouvant conduire à la corrosion de tout ou partie de ses armatures.



Doc. SIKA

2 A.1 - ALCALI-RÉACTION

→ Phénomène

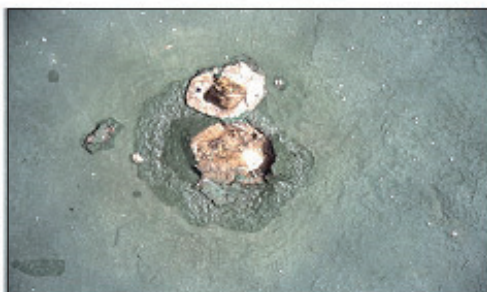
L'alcali-réaction est une réaction endogène, c'est-à-dire que la cause de cette réaction se trouve au sein du matériau béton : ce sont les composants du béton qui en sont la cause et non une cause extérieure.

On pourra ainsi voir apparaître un réseau de fissures au niveau de l'épiderme des ouvrages.

Les bétons peuvent présenter des désordres qui apparaissent à des délais variables, allant de deux à plus de dix ans.

Les désordres se traduisent par un ou plusieurs des symptômes suivants :

- une fissuration sous forme de faïençage à mailles plus ou moins larges, ou en étoile, ou encore orientée suivant une direction correspondant au sens des contraintes,
- des exsudations blanches de gels ou de calcite,
- des éclatements localisés en forme de petits cônes, qui correspondent à la réaction de gros granulats en surface,
- des mouvements et des déformations, visibles dans les gros ouvrages de masse, tels que les barrages.



Conséquences des phénomènes d'alcali-réaction sur des éléments d'ouvrage en béton.

Ces phénomènes se produisent lorsque les trois conditions suivantes sont réunies :

- les agrégats qui entrent dans la composition du béton contiennent de la silice réactive,
- l'ouvrage est soumis à un environnement humide,
- la teneur en alcalins du béton est élevée.

→ Procédés de réparation

On ne connaît à ce jour aucun procédé qui permette d'arrêter efficacement ce processus. Afin de freiner l'évolution des réactions, on essaie de limiter les arrivées d'eau : cela peut passer par la simple application de peintures (simple mais dont l'efficacité est très limitée), l'injection de résines époxy dans les fissures (mais qui peuvent se ré-ouvrir) ou la mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité (solution la plus efficace mais coûteuse et compliquée à mettre en œuvre).

→ Prévention

Cette pathologie des bétons s'est manifestée pour la première fois en France dans les années 1970 (cas du barrage de Chambon à côté de Grenoble).

Les recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction, établies par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en juin 1994, sont en cours de révision. A ce titre, il existe quatre normes relatives au phénomène de l'alcali-réaction :

FD P 18-542 (2017) « Granulats - Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction »,

XP P 18-594 (2015) « Granulats - Méthodes d'essai de réactivité aux alcalis »,

NF P 18-454 (2004) « Béton - Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Essai de performance »,

FD P 18-456 (2004) « Béton - Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Critères d'interprétation des résultats de l'essai de performance ».

Pour en savoir plus

Le principe de prévention s'articule sur la détermination d'un niveau de prévention parmi trois possibilités en fonction de la catégorie de l'ouvrage et de sa classe d'exposition que l'on peut schématiser selon :

Catégorie d'ouvrage + classe d'exposition climatique ► niveau de prévention.

Les catégories d'ouvrage sont regroupées dans le tableau page suivante. Catégorie Ouvrages

Catégorie	Ouvrages
I	Ouvrages en béton dont la résistance caractéristique est < 16 MPa Éléments non porteurs situés à l'intérieur des bâtiments Éléments aisément remplaçables Ouvrages provisoires La plupart des produits préfabriqués en béton
II	La plupart des bâtiments et ouvrages de génie civil
III	Ouvrages de génie civil pour lesquels l'apparition du risque d'alcali-réaction est jugée inadmissible (bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et réfrigérants, barrages, tunnels, ponts et viaducs exceptionnels, monuments et bâtiments de prestige)

Les classes d'exposition liées à l'environnement climatique sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Classes d'exposition	Types d'ouvrages ou de parties d'ouvrage
Classe 1 Environnement sec ou peu humide hygrométrie < 80 %	Intérieur de bâtiments ou de bureaux Ouvrages protégés contre les sources d'eau, les intempéries et les condensations Dallages sur terre-plein drainé Pièces d'épaisseur inférieure à 50 cm
Classe 2 Environnement avec hygrométrie > 80 % ou en contact avec l'eau	Gel peu fréquent et peu intense Intérieurs de bâtiments où l'humidité est élevée (laveries, réservoirs, piscines, ...) Parties extérieures exposées Parties en contact avec un sol non agressif et/ou l'eau Avec gel 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
Classe 3 Environnement avec hygrométrie > 80 % et avec gel et fondants salins	Parties intérieures et extérieures exposées au gel et aux fondants salins
Classe 4 Environnement marin	Gel peu fréquent et peu intense 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) Avec gel 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

A partir d'une classification des ouvrages en trois catégories représentatives du risque que le maître d'ouvrage est prêt à accepter et de la définition des quatre classes d'exposition climatique, les recommandations du LCPC déterminent trois niveaux de prévention allant de A à C qui sont résumées dans le tableau suivant.

Catégorie d'ouvrage	Classe d'environnement			
	1	2	3	4
I	A	A	A	A
II	A	B	B	B
III	C	C	C	C

Pour chacun d'eux, un type de précaution est préconisé.

C'est ainsi que pour le niveau A, il est simplement demandé de s'assurer que les constituants et leur mélange sont conformes aux normes, sans se préoccuper du risque d'alcali-réaction.

En revanche, les recommandations sont plus contraignantes pour le niveau B, qui s'applique à la plupart des ouvrages.

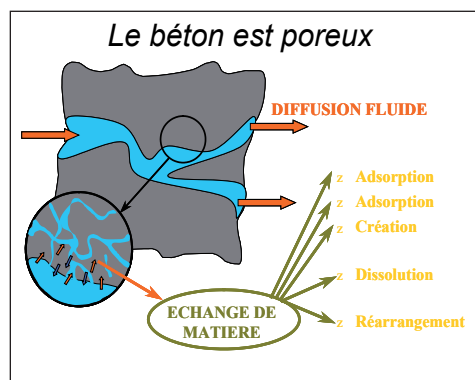
En effet, elles prescrivent un examen de la réactivité des granulats, un établissement du bilan total des alcalins, la vérification expérimentale de l'absence de risques de gonflement du béton sur un critère de performance.

Enfin, en ce qui concerne le niveau C, il est recommandé de n'utiliser que des granulats non réactifs.

####

2 B - Béton et mortier

Le schéma ci-contre nous présente différents types « d'échanges » au travers du matériau béton en fonction de la porosité de ce dernier.



2 B.1 - RETRAIT

→ Phénomène

Le béton est un mélange composé de ciment et d'additions, d'eau, de granulats (sables et gravillons) et d'adjuvants.

Le ciment et l'eau réagissent pour former des composés hydratés qui, en se solidifiant, liaisonnent les granulats.

La quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment représente environ 25 % du poids de ce dernier.

Ainsi pour un béton caractérisé par un rapport E/C = 0,60 avec une quantité de ciment C = 300kg/m³, seuls 75 litres d'eau sont nécessaires pour hydrater le ciment. Les 105 litres d'eau supplémentaires contribueront à la création de porosité (soit environ 10,5%) et au phénomène de retrait.

On définit le retrait du béton comme étant une variation dimensionnelle qui met en cause des phénomènes physiques et/ou chimiques et qui se produit avant, pendant ou après la prise.

Ces variations dimensionnelles peuvent être la cause de fissurations lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées (insuffisance de ferrailage, absence de joints, ...). Il faut cependant faire la différence entre la fissuration liée au retrait et celle liée au fonctionnement des ouvrages, cette dernière étant maîtrisée par le dimensionnement (Eurocode).

Tout rajout d'eau intempestif, comme tout bétonnage par temps chaud ou vent important, ne manquera pas de favoriser les phénomènes de retrait.



Fissuration de retrait au sein d'un dallage

Parmi les différents textes qui mettent en avant ce point, nous trouvons :

L'Eurocode 2 qui traite d'une section « Maîtrise de la fissuration » : on y retrouve

la clause 7.3.1 (2) qui précise que «*La fissuration est normale dans les structures en béton armé soumises à des sollicitations de flexion, d'effort tranchant, de torsion, ou de traction résultant soit d'un chargement direct soit de déformations gênées ou imposées*».

En complément la cause 7.3.1.(3) stipule que «*Les fissures peuvent avoir d'autres causes telles que le retrait plastique ou des réactions chimiques expansives internes au béton durci. L'ouverture de telles fissures peut atteindre des valeurs inacceptables mais leur prévention et leur maîtrise n'entrent pas dans le cadre de cette présente section* ».

Le DTU 13.3 (NF P 11-213) relatif à la conception, au calcul et à l'exécution des dallages précise dans l'article 5 «*Conception du dallage* » que «*La fissuration du béton, armé ou non, étant un phénomène inhérent à la nature du matériau, le présent document vise à limiter la densité et l'ouverture des fissures sans prétendre éviter leur formation* ».

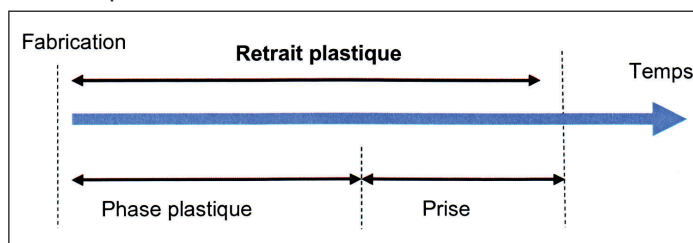
Il est somme toute difficile de distinguer les retraits élémentaires au sein du matériau béton, car ils se produisent simultanément et sur des échéances de temps plus ou moins longues.

On distingue «*classiquement* » cinq types de retrait :

1 – Le retrait plastique qui se produit lorsque le béton est à l'état frais.

Il est défini comme étant la contraction du béton en phase plastique et se développe lorsque la quantité d'eau qui s'évapore à la surface est supérieure à la quantité d'eau de ressuage.

La phase plastique est la période pendant laquelle le béton ne présente pas de cohésion, c'est-à-dire entre la fabrication et le début de prise. Mais comme il est difficile de mesurer le début de prise sur un béton, le retrait plastique est pris en compte jusqu'à la fin de prise.



Positionnement du retrait plastique par rapport à la phase plastique

En termes de phénoménologie, ce retrait est en général lié aux déformations du béton frais par tassement et si ces déformations sont gênées, on voit apparaître des fissures au droit d'obstacles comme les armatures.

2 – Le retrait de dessiccation : il est lié au séchage et se produit avant, pendant et après la prise. Classiquement le retrait de dessiccation est de l'ordre de 1 mm/m. La fissuration qui se développe est due à la dépression capillaire au niveau des ménisques.

Les facteurs influant ce séchage sont :

- le rapport surface/volume : la perte d'eau est plus faible lorsque le rapport surface/volume est faible,
- la porosité,
- le degré hygrométrique de l'air ambiant : le vent est essentiel.

3 – Le retrait thermique est celui qui se développe lorsque les pièces en béton reviennent à température ambiante après un échauffement consécutif aux réactions exothermiques d'hydratation. Ce type de retrait concerne les pièces massives (typiquement 80 cm d'épaisseur) et se manifeste plusieurs heures (voire semaines) après la mise en œuvre du béton.

4 – Le retrait endogène (ou d'auto dessiccation) qui est lié aux réactions d'hydratation qui engendrent une contraction du béton et ceci dans des conditions où la dessiccation ne peut se produire. Ce retrait est la conséquence de ce que l'on appelle la contraction de Le Chatelier (le volume des hydrates formés est plus faible que celui de l'eau et du ciment anhydre). S'il est assez important pour les bétons hautes performances (BHP) ou les bétons très hautes performances (BTHP), il est négligeable pour les bétons ordinaires.

5 – Le retrait de carbonatation qui est la conséquence de la réaction de la pâte de ciment hydratée avec le gaz carbonique de l'air. Ce retrait intervient dans une moindre mesure sauf sur les éléments très minces (plaques).

Il est évident que la fissuration, lorsqu'elle est avérée, est la conséquence de tous ces types de retrait et qu'il est très difficile de les individualiser.

→ Prévention

De ce qui précède, on s'aperçoit qu'il n'est pas possible de s'affranchir totalement du retrait et de ses conséquences.

En revanche, on peut en limiter l'importance à une valeur telle que le phénomène ne se traduise pas par une fissuration.

Les méthodes couramment employées pour y parvenir sont principalement de deux types, limitation de la quantité d'eau ainsi que des pertes de laitance qui peuvent se produire en certains points particuliers des coffrages et renforcement du béton et des mortiers par des armatures.

Limitation de la quantité d'eau

On y parvient par une formulation adaptée de la composition du béton et par l'emploi d'adjuvants tels que les plastifiants et super plastifiants qui permettent de maintenir l'ouvrabilité du béton tout en réduisant notablement le volume d'eau entrant dans le mélange.