

Quand les barrages vieillissent

Le béton est très durable. C'est une des raisons qui en font le matériau de construction le plus utilisé au monde. Mais le béton vieillit lui aussi. Des fissures peuvent apparaître, conséquence de la réaction alcali-granulat (RAG). Selon certaines estimations, il est possible que 10 à 20 % des barrages des Alpes suisses soient concernés par cette dégradation parfois appelée le « cancer du béton ». Un projet de recherche à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne mène des recherches fondamentales afin que les ingénieurs puissent répondre de manière appropriée à la formation de fissures.



Dr. Cyril Dunant dans son laboratoire à l'EPFL. Dunant montre le capteur de température qui assure que la température ambiante de la pièce reste constante à 38° C. Photo : B. Vogel

Dr. Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Il existe plus de 200 lacs de barrage dans les Alpes suisses. L'un d'entre eux est le lac de Salanfe au-dessus de Martigny (VS). Le barrage construit en 1952 mesure 52 mètres de haut et a une couronne de plus de 600 mètres de long. 230 000 mètres cube de béton ont été utilisés pour ce barrage de taille moyenne. Les générateurs dans le bâtiment des turbines fournissent avec régularité du

courant depuis des décennies. Il s'agit d'un lac de barrage tout à fait normal pour les randonneurs qui admirent les Alpes valaisannes. Mais les apparences sont trompeuses. Il y a quelques temps, on a pu constater que les murs en béton se dilataient, de façon certes très lente, mais mesurable. Plus tard, on a constaté que cette dilatation s'accompagnait de petites fissures. Ce processus qui se poursuit très lentement mais continuellement au fil des années peut provoquer une dilatation de plusieurs centimètres. Un processus qu'il

2 Quand les barrages vieillissent

n'est pas possible de stopper dans l'état des connaissances actuelles.

Le béton gonfle lentement

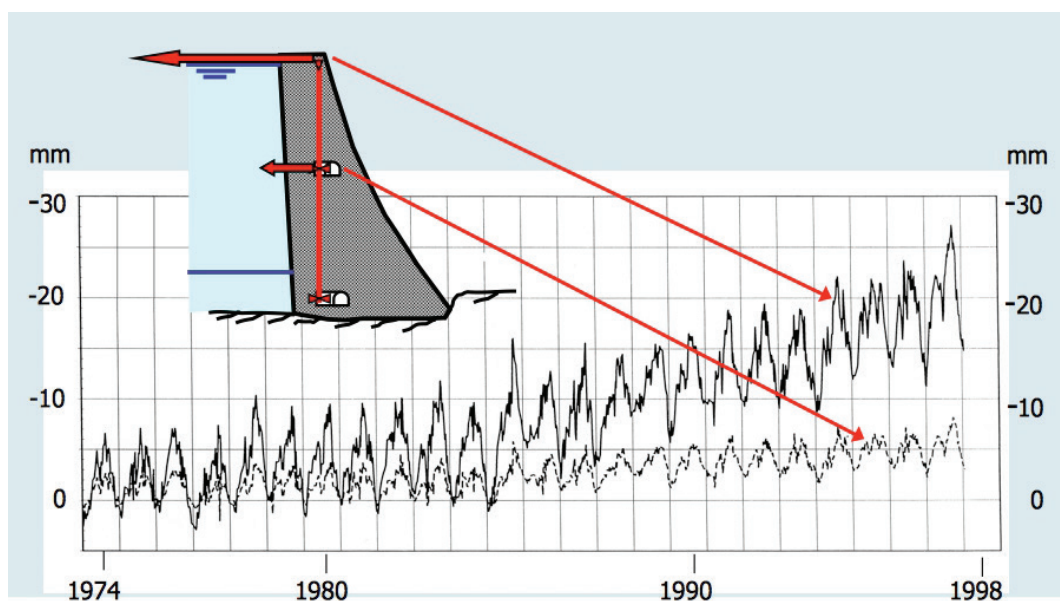
Le barrage de Salanfe est marqué des signes d'un vieillissement typique du béton. Ce phénomène a été observé pour la première fois sur un barrage suisse au milieu des années 1990. Depuis, ces symptômes sont apparus dans d'autres barrages alpins. La cause de cette altération est un processus physico-chimique très lent : la réaction alcali-granulat (RAG). La réaction provoque de fines fissures à l'intérieur du béton. Avec le temps, ces fissures deviennent visible même à la surface pour former un faïençage typique.

Des fissures dans un barrage – cela semble une menace imminente. Karen Scrivener est professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et experte en RAG. Elle ne voit aucune raison de s'inquiéter : « Dans de nombreux cas, les conséquences de la RAG sont si minimes qu'on ne peut pas véritablement parler d'altération du béton. Les barrages suisses sont soumis à une surveillance stricte qui permet de détecter d'éventuels dangers de manière précoce », affirme Mme Scrivener.



Fissures sur le barrage de Salanfe dans le canton du Valais en raison de la réaction alcali-granulat. À droite de l'image se trouve un appareil pour la surveillance de la formation de fissures. Photo : Cyrille Dunant

Même s'il n'existe aucune menace imminente, les fissures dans les barrages ont fait l'objet d'activités de recherches intenses.



Au fil des années, la dilatation du béton augmente sous l'effet de la RAG et ce, plus fortement au sommet qu'à hauteur moyenne du barrage. La dilatation est soumise à une fluctuation saisonnière. Graphique : OFEN

3 Quand les barrages vieillissent

Depuis environ dix ans, Karen Scrivener, ingénieur britannique en génie des matériaux, étudie le phénomène dans son laboratoire de matériaux de construction de l'EPFL. La réaction alcali-granulat a déjà fait l'objet de trois doctorats rédigés dans sa chaire. Une expérience financée par l'Office fédéral de l'énergie et Swisselectric research analyse actuellement et sur plusieurs années le comportement du béton en cas de RAG. Pour compléter l'expérience, les scientifiques de



Le barrage de Salanfe au-dessus de Martigny (VS) a été assaini il y a deux ans après la découverte de fissures dues à la RAG. Photo : Cyrille Dunant

l'EPFL élaborent des modèles mathématiques afin de pouvoir comprendre de manière aussi réaliste que possible les processus qui se déroulent dans le béton.

Des échantillons de béton mis sous pression

Dr. Cyrille Dunant travaille dans un laboratoire souterrain de l'EPFL. C'est là que l'équipe scientifique de Karen Scrivener a monté sa dernière expérience sur quelques mètres carrés.

L'ingénieur en génie des matériaux de 35 ans veut analyser à quelle vitesse le béton se dilate sous l'influence de la RAG. Contrairement aux expériences précédentes, le nouvel essai tient compte du fait qu'un barrage concerné par la RAG ne peut pas se dilater librement. La pression exercée sur les différents côtés agit sur la dilatation : celle du lac de barrage, du massif avoisinant et le poids propre du béton.

Au laboratoire, Cyrille Dunant a construit six cylindres en acier inoxydable de 150 cm de hauteur et 30 cm de diamètre en collaboration avec des collègues scientifiques. Les cylindres contiennent des échantillons de béton entourés d'eau dans lesquels la RAG a lieu. Les échantillons de béton sont exposés à des pressions différentes situées entre 0 et 15 Megapascal (ce qui correspond à 150 bar) et leurs expansions verticales et horizontales mesurées. L'expérience est en cours depuis déjà dix mois et doit durer encore au moins aussi longtemps. Les capteurs mesurent la dilatation due à la RAG des échantillons de béton dans les cylindres en acier inoxydable toutes les 30 secondes. Les valeurs de mesure sont transmises à un ordinateur installé dans la salle voisine par le biais de nombreux câbles en fibres optiques. « L'expérience est encore en cours et nous ne sommes pas encore en mesure d'en tirer des conclusions définitives », affirme Cyrille Dunant, « mais ce que nous avons mesuré jusqu'à présent nous a extrêmement surpris. » En dix mois, la longueur de certains échantillons de béton a augmenté de jusqu'à 0,7 %. Contrairement à ce que Dunant avait prévu, la pression ne semble pas diminuer l'expansion du béton.

Faut-il créer de l'espace pour le béton - ou pas ?

Si ce résultat se confirme au cours de l'expérience, cela voudrait dire que : la dilatation provoquée par la RAG du béton a lieu même sous pression. Cela signifie-t-il que la menace est bien présente ? Cyrille Dunant répond par la négative : « Dans ce cas, le danger ne serait pas plus grand mais différent

de ce que nous pensions jusqu'à présent. » Les résultats du laboratoire de l'EPFL fournissent en effet des informations importantes aux ingénieurs sur la manière de procéder au mieux avec les barrages concernés. Jusqu'à présent, nous avons rénové les barrages en ouvrant des fentes afin de créer de l'espace pour la dilatation du béton. C'est ainsi que le barrage de Salanfe a été assaini il y a deux ans : les ingénieurs ont fait 22 entailles de 11 mm d'épaisseur avec un fil diamanté. Ces entailles, supposent les ingénieurs, augmenteraient la sécurité des barrages car le béton subit moins de dommages s'il peut se dilater.

Dunant veut vérifier cette hypothèse. Contrairement à ce qui est généralement supposé, son hypothèse est que le béton ne se dilate pas proportionnellement à la quantité du gel de silice formé par la RAG (cf. zone texte) mais proportionnellement au nombre de fissures. « Si l'expérience confirme mon hypothèse, ce serait une observation importante pour les ingénieurs spécialisés en barrages. Une nouvelle compréhension de la RAG pourrait permettre dans certains cas d'éviter les entailles dans les barrages », dit Dunant. Les chercheurs de l'EPFL soulignent toutefois que nous ne pourrions jamais renoncer complètement aux entailles. Ces dernières sont nécessaires, par exemple pour éviter les déformations des bâtis de turbines susceptibles d'altérer la génération d'électricité. Selon M. Dunant, l'assainissement par entailles était également judicieux pour le barrage de Salanfe en raison de sa géométrie particulière. Ces considérations géométriques sont valables également pour d'autres barrages suisses.

Des recherches accélérées

L'expérience de Cyrille Dunant est encore en cours. Toutefois, ses réflexions montrent l'importance que l'expérience de longue durée réalisée au sous-sol de l'EPFL pourrait prendre. Dans un premier temps, le chercheur de l'EPFL doit faire preuve de patience. Avec son expérience, il a imité un processus qui prend un demi-siècle dans la nature. Pour ne pas avoir à attendre les résultats aussi

longtemps, le chercheur accélère le processus dans le laboratoire. Grâce à la température plus élevée, la dilatation du béton due à la RAG a lieu en accéléré. C'est pourquoi la température était de 38 °C dans le laboratoire. Ainsi, la dilatation du béton est environ 20 fois plus rapide que dans la réalité. Ainsi, les chercheurs obtiennent les résultats 20 fois plus vite.

- » Dr. Markus Schwager (Markus.Schwager[at]bfe.admin.ch), directeur du programme de recherche de l'OFEN sur les barrages réservoirs, communique des informations supplémentaires concernant le projet.
- » Vous trouverez d'autres articles spécialisés concernant les projets de recherche, pilotes, de démonstration et phares dans le domaine de l'énergie hydraulique sur : www.bfe.admin.ch/CT/hydro

La réaction alcali-granulat

La fabrication du béton consiste à ajouter du ciment (liant) dans un mélange gravier-sable (également nommé 'agrégats') puis à déclencher une réaction chimique en ajoutant de l'eau. Cette réaction chimique provoque le durcissement du béton. Le béton durci contient de minuscules pores dans lesquels une solution alcaline s'accumule. Cette solution réagit avec le dioxyde de silicium (également : silice) amorphe (c'est-à-dire non cristallin) que l'agrégat contient en plus ou moins grandes quantités. Lors de la réaction alcali-granulat (RAG), la silice se dissout dans l'eau interstitielle dans un premier temps et précipite ensuite sous la forme d'un gel de silice. Ce gel absorbe l'humidité ambiante et gonfle. Cette augmentation de volume, confinée, entraîne la formation lente de fissures. Ce processus s'étend sur des décennies. Au stade avancé, les fissures se créent un passage à travers le ciment et un réseau de fissures peut apparaître à la surface.

Tous les bétons ne sont pas concernés par la RAG. La réaction s'enclenche uniquement lorsque les agrégats sont réactifs, lorsque la teneur en alcalins dans le béton est suffisamment élevée et enfin lorsque le niveau d'humidité est suffisant. Ces trois conditions sont souvent réunies dans les barrages en partie parce que les agrégats obtenus dans les Alpes sont souvent réactifs. Les maisons sont rarement concernées par la RAG dans la mesure où elles sont moins exposées à l'humidité. On a tenté d'éviter la RAG sur les barrages en appliquant un revêtement sur la paroi exposée à l'eau. Cette tentative s'est cependant soldée par un échec sur le barrage de l'Ilsee (VS) ; le processus source n'a pu être stoppé. Aujourd'hui, il est impossible d'arrêter la RAG. BV