

1. Quels sont les essais qu'on fait normalement pour caractériser le béton durci? Citez les possibilités et expliquez pourquoi on les utilise.

- Essai de résistance à la compression : un cylindre de béton est soumis à une charge axiale en compression. On peut mesurer à travers de cet essai :
 - Contrainte-déformation;
 - Résistance ultime à la compression;
 - Module d'élasticité.
- Essai de résistance à la traction :
 - Essai de traction direct : détermine la résistance à la traction du matériau;
 - Essai de traction en flexion : détermine la résistance en traction à la flexion (i.e. indirecte) sur une poutre avec une charge en 4 points;
 - Essai de traction par compression diamétral : mesure de façon indirecte la résistance en traction du béton.
- Essais non destructifs (NDT) se réalisent afin de connaître les propriétés du béton sans le détruire. On peut obtenir :
 - Résistance à la compression (surtout la résistance relative entre différents éléments d'un même ouvrage);
 - Évaluer l'état de fissuration du matériau;
 - Localiser les points de non-homogénéité;
 - Les barres d'armature et points de corrosion;
 - Endommagement lié aux phénomènes mécaniques et chimiques.

2. Décrivez le mécanisme de rupture en compression.

La rupture commence par la fissuration du liant (surtout de l'interface pâte-granulat) qui présente des microfissures à environ 30-40% de la contrainte ultime. Ensuite, les microfissures préexistantes vont augmenter en termes de longueur et ouverture jusqu'à 70% de la charge ultime (ces fissures seront visibles dans la matrice cimentaire - ou mortier - du matériau. Finalement, il y aura de la propagation de ces fissures jusqu'à un point (100% de la charge ultime) au-delà duquel arrivera la fragmentation et la rupture rapide du matériau. En plus, de façon générale, avant 100% de charge ultime, on considère que la rupture en compression est un processus de propagation lente et « stable » des fissures. Après 100%, la propagation se donne de façon rapide et instable.

3. Quels sont les principaux paramètres qui vont jouer sur la résistance à compression du béton?

Le paramètre majeur est :

- **Le rapport e/c (principalement!);**

Cependant, il y a des paramètres qui jouent aussi sur la résistance (mais de façon moins importante), par exemple :

- Le degré d'avancement de l'hydratation;
- Le type de ciment Portland;
- Type et quantité d'ajouts cimentaires;
- Contenu d'air;
- Type et quantité de granulats (grossiers et sable);

- Qualité de la liaison pâte-granulat

4. Décrivez les types de retrait du béton et ce qu'on peut faire pour les éviter.

- Retrait chimique :
 - Diminution du volume en fonction de l'hydratation.
- Retrait plastique :
 - Arrive avant et pendant la prise du béton qui subit une légère perte du volume causé par le vent ou l'évaporation rapide à la surface du béton.
- Retrait par séchage :
 - Arrive après la prise du béton en fonction de l'évaporation de l'eau. Elle est aggravée par une mauvaise cure. Cause des fissurations à long terme.

Pour contrôler/éviter le retrait, on :

- Réduit la quantité d'eau;
- Fait le sciage des joints;
- Utilise des adjuvants réducteurs d'eau et/ou entraîneur d'air;
- Réduit la quantité de ciment;
- S'assure d'une cure selon les normes.

5. Décrivez le phénomène du fluage du béton et ce qu'on peut faire pour l'éviter.

- Processus à long terme (nombreuses années);
 - Augmentation de la déformation sous une charge/contrainte soutenue.
 - Pas d'impact sur la sécurité des structures sauf que le fluage peut affecter l'état de fonctionnement des structures (ex. Portes, fenêtres, etc.)
- Le fluage dépend du/de la (temps, humidité, résistance):
 - Importance des efforts;
 - Âge et de la résistance du béton lorsque la contrainte est appliquée;
 - Période de temps durant laquelle le béton est chargé.
- Le fluage est influencé par :
 - Type, quantité et grosseur maximale des granulats;
 - Type de liants;
 - Quantité de pâte de ciment;
 - Grosseur et forme de la masse de béton;
 - Quantité d'acier d'armature;
 - Conditions de cure antérieures;
 - Température et l'humidité ambiante.

6. Qu'est-ce que c'est le phénomène de gel-dégel? Comment l'éviter?

Le gel-dégel est un phénomène causé par l'expansion de la pâte, ou des granulats, ou la pâte et les granulats. Quoiqu'il est plus rare que le phénomène soit causé par seulement les granulats. Ce phénomène se produit lors de conditions atmosphériques difficiles à travers des cycles de gel-dégel, où l'eau devient en glace avec une augmentation de 9% du volume, ce qui cause contraintes de traction au

béton et par la suite fissuration et endommagement. En plus, ce phénomène peut aussi engendrer de l'écaillage de la pâte de ciment, et les pop-outs des granulats.

On évite le gel-dégel en utilisant :

- Entraîneur d'air : contribue à protéger efficacement le béton contre les cycles de gel-dégel
 - Les bulles agissent comme des soupapes où l'eau peut geler sans occasionner de pression nuisible sur le squelette solide de la pâte (expansion).
 - Doit tenir compte du facteur d'espacement afin que les vides soient rapprochés l'un de l'autre pour que cela fonctionne.

7. Décrivez le processus et les types de corrosion d'armatures du béton armé. Montrez les principales étapes du mécanisme et ce qu'on peut faire pour le contrôler.

La corrosion d'armatures est causée par l'oxydation de l'acier. Ce processus altère la surface des armatures à travers d'une réaction électrochimique qui engendre un produit qui n'est pas adhérent et cause la fissuration du béton. Il y a deux étapes :

- Initiation :
 - C'est la réunion des conditions créant la rupture du film passif (couche de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou Fe_2O_3 à la surface de l'acier. Perturbation de l'état de passivation
 - Pénétration des ions de chlorures;
 - Carbonatation du béton de recouvrement.
- La propagation :
 - Le degré de corrosion augmente linéairement. Le produit de cette réaction occupe six fois le volume de l'acier original. Cela cause un gonflement suivi de la fissuration et éclatement du béton. Il dépend de la teneur en O_2 de l'humidité, la température différentielle.

On contrôle la corrosion en utilisant les méthodes suivantes :

- Optimisation des propriétés du béton de recouvrement [e/c faible, recouvrement élevé, type de ciment, cure, ajouts minéraux (fumée de silice, cendres volantes...)];
- Inhibiteurs de corrosion (adjuvants chimiques);
- Scellants sur la surface du béton;
- Protection des barres d'armatures (recouvrement d'époxy et acier galvanisé);
- Protection cathodique (protection active).

8. 8. Décrivez les trois types d'attaques aux sulfates possibles. Montrez les particularités et les paramètres nécessaires pour que la réaction arrive dans chacun des cas.

Type d'attaque	Particularités	Paramètres nécessaires
Attaque aux sulfates internes (RSI)	<ul style="list-style-type: none"> • Ettringite transformée en monosulfates et retransformée en ettringite après la prise • Expansion du matériau • Diminution de la teneur en AFM • Formation de la thaumasite • Dégrade le béton en dissolvant le CSH 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaleur supérieur à 65-70° • Milieu humide • Faible teneur en alcalis
Attaque aux sulfates externes	<ul style="list-style-type: none"> • Détérioration de la pâte de ciment • Augmentation de la porosité et perméabilité • Pénétration des ions sulfates • Attaque à la porlandite • Formation d'ettringite et de gypse 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition aux sols ou de l'eau de mer (ions sulfates)
Attaque aux sulfates bactériologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Production d'acide sulfurique des bactéries • Gonflement • Fissuration • Perte de résistance 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte concentration de bactéries • Grande porosité du béton

9. Expliquez la RAS. Montrez les paramètres essentiels pour que la réaction arrive.

La RAS, réaction alcali-silice (ou RAG – réaction alcalis-granulats) est la réaction chimique entre les ions (Na^+ , K^+ , et OH^-) dans les pores du béton et des phases minérales siliceuses des granulats dont le produit secondaire est le gel de silice. Le gel de silice absorbe de l'eau et gonfle, causant des contraintes de traction au béton et alors de fissuration du matériau.

Les paramètres essentiels pour que la réaction arrive sont : 1) contenu élevé en alcalis, 2) teneur en silice réactive élevée, et 3) humidité élevée.

10. Qu'est-ce que c'est la vie utile d'un ouvrage? Et la vie utile résiduelle? Comment est-ce qu'on peut mesurer la vie utile résiduelle d'un ouvrage vieillissant?

Déterminée lors de sa conception, la vie utile d'un ouvrage est le nombre d'années prévu en service tandis que la vie utile résiduelle est le nombre d'années restantes pour que la structure ait une performance acceptable en service.

On peut mesurer la vie résiduelle d'un ouvrage de plusieurs façons, quoiqu'il n'y a pas nécessairement une façon de la mesurer parfaitement :

- Corrosion des armatures qui commence;
- Perte de section d'acier importante;
- Plastification des armatures;
- Diminution de la sécurité générale (résistance du béton, rigidité, etc.)