

DURABILITÉ ET RÉPARATIONS DU BÉTON

GCI - 714

INTRODUCTION

1.1 Conséquences techniques et économiques de l'endommagement des structures de béton

- L'Amérique du Nord fait face à des sérieux problèmes de durabilité du béton qui affectent un très grand nombre de structures et tout **particulièrement celles qui sont associées au réseau routier**.
- D'autres types de structures sont aussi affectées
 - Barrages
 - Produits de béton : pavés, tuyaux, regards d'égout, etc
- Aux États Unis seulement, on estime que les coûts de réparation des structures de béton endommagées par les **cycles gel-dégel ou la corrosion des aciers d'armature sont de 16 à 24 milliards de dollars**.
- Chaque année, c'est environ **400 millions** de dollars supplémentaires qui s'ajoutent à cette liste.
- Au Québec, on observe à peu près les mêmes problèmes mais à une **échelle plus petite**.
 - C'est par **centaine** qu'on peut compter les **structures ou les parties de structures** (**ponts**, ponceaux, viaducs, tabliers de pont et **trottoirs, stationnements multiétagés**) qui doivent être réparés ou reconstruits en raison de leur état avancé de détérioration.
 - Dans la majorité des cas, on pourrait démontrer que les coûts de réparation et d'entretien des structures endommagées en viennent rapidement à **dépasser les coûts initiaux de construction**.

- Au Québec, le service d'entretien du Ministère des transports réserve **plus de la moitié de son budget** pour l'entretien des structures en béton dont l'endommagement est relié à la **corrosion des aciers** d'armature.
- Au Canada, on estime à environ **cinq milliards** de dollars le coût de réparation des **stationnements multiétagés** urbains affectés par des problèmes de **corrosion**.
- Il y a aussi l'effet sur la **qualité de vie** des usagés du système routier et sur **l'activité socio-économique** de toute une région.
 - Interruption de la circulation
 - Réduction de la capacité de service
 - Retards
 - Embouteillages
 - **Baisse de la performance du transport en général**

1.2 Bref historique des problèmes de durabilité (les leçons du passé)

- Il existe un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 à 90 ans qui sont encore en excellent état.
- Il existe aussi de très nombreux cas où une mauvaise durabilité a provoqué la ruine complète ou partielle des ouvrages.
- Les principales causes:

À une certaine époque, on ne connaissait pas tous les **mécanismes de destruction** et les façons d'éviter les détériorations.

- Gel-dégel
- Réactions alcalis-granulats
- Corrosion

• ***On accordait trop d'importance à la résistance à la compression et pas assez aux facteurs environnementaux (on ne devrait pas concevoir un stationnement extérieur en béton de 20 MPa !)***

- Une partie des échecs peut aussi être associée à **l'évolution de la technologie de fabrication et de la performance des ciments**.

La performance des ciments progresse constamment et on peut atteindre une résistance donnée en utilisant un rapport E/C toujours de plus en plus élevé.

- En 1945, pour obtenir **33 MPa** (28d) on devait utiliser **380 kg/m³** de ciment et un E/C de **0,47**.
- En 1978, seulement **250 kg/m³** de ciment peuvent suffire avec un E/C de **0,72 !**

En terme de résistance, ces deux bétons sont équivalents. **Leur durabilité est cependant complètement différente.**

La réactivité chimique des ciments était plus faible (MPa en réserve)

Il n'y avait **pas de fluidifiants ni de superplastifiants** (on devait utiliser plus de ciment par m³ !)

- Le contact n'est pas toujours adéquat entre les chercheurs, les concepteurs et les propriétaires d'ouvrage. Les recommandations touchant à la durabilité n'atteignent souvent pas les bonnes personnes en raison des trois solitudes du monde de la construction : Les **responsables des matériaux**, les **concepteurs** et les **ingénieurs** de chantier.

Pour obtenir un ouvrage durable, il faut

- **Utiliser un matériau durable**
- **Concevoir la structure en fonction des facteurs environnementaux**
- **Exercer un bon contrôle de la qualité des matériaux et des techniques de construction.**

1.3 Les deux principales causes physiques de la dégradation du béton

- Mehta et Gerwick ont regroupé les principales causes physiques de détérioration du béton en deux grandes catégories:

1) Dégradations de surface

- Abrasion
- Érosion
- Cavitation
- Écaillage

2) Fissuration interne (Cracking)

- Gradients d'humidité ou de température
- Pressions de cristallisation
- Chargement structural
- Exposition aux températures extrêmes : Gel - Feu

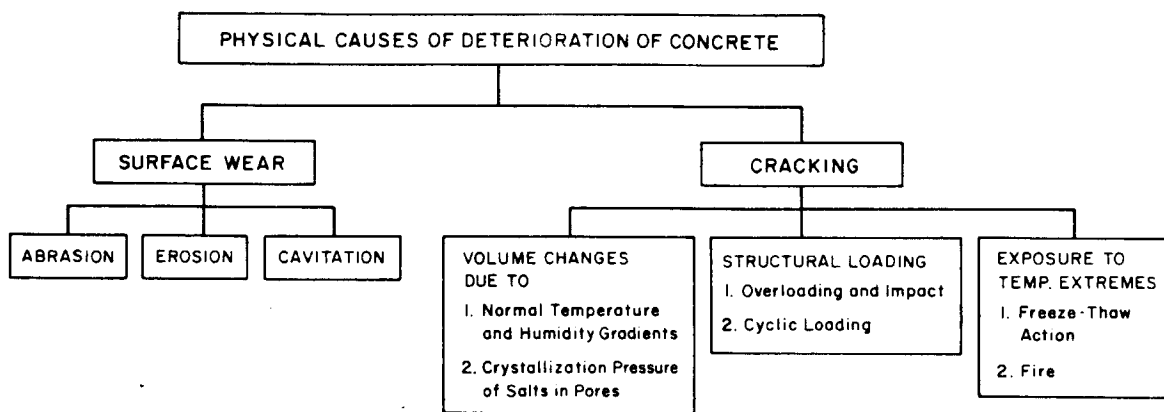


Fig 1.1 - Causes physiques de la détérioration du béton [tiré de Mehta, P.K. et Gerwick, B.C. *Concrete structures, properties and materials*].

1.4 L'origine des dégradations

1.4.1 Les facteurs climatiques et environnementaux

- Il est clair qu'une structure de béton évoluera de manière très différente en fonction des **conditions climatiques et du type d'exposition** face aux agents potentiellement agressifs.
- Par exemple, un béton de 20 MPa sans air entraîné (E/C = 0,6) pourrait être acceptable pour fabriquer un trottoir ou un parapet de pont à **Mexico**. Cependant dans un climat beaucoup plus rude (**Montréal** par exemple !), il serait totalement inacceptable d'utiliser un tel béton dans ce type d'ouvrage.
- Dans les climats chauds et secs (Mexique par exemple), les problèmes de durabilité sont beaucoup plus rares. Les exigences touchant à la qualité du béton y sont généralement moins sévères.

Pas de gel, peu de précipitations, pas de sels de déglacage, peu d'écart thermique, etc. On retrouve parfois des cas de dégradation par des eaux agressives (eau souterraine, eau de mer).

-
- ***Les différents mécanismes à la source des dégradations sont très souvent fonction des conditions climatiques et du type d'exposition du béton.***
-

° Climat tempéré froid : cycles de gel-dégel et taux d'humidité élevé

- Fissuration interne due au gel-dégel
- Écaillage dû aux sels fondants
- Corrosion des armatures
- Réactions alcalis-granulats

° Climat tempéré chaud et humide

- Attaque par les eaux agressives
- Réactions alcalis-granulats

° Climat sec

- Carbonatation

° Environnement marin

- Attaque par l'eau de mer (sulfates)
- Corrosion des aciers d'armature
- abrasion par les glaces
- Détérioration par les cycles de gel-dégel

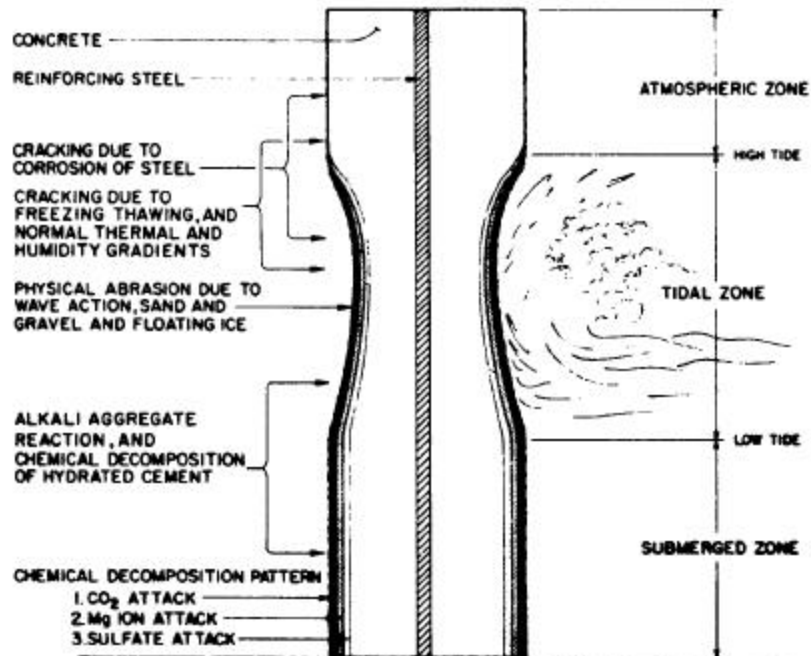


Fig 1.2 - Exposition du béton dans un environnement marin [tiré de Mehta, P.K. *Performance of concrete in marine environment*, ACI SP-65, 1980, pp. 1-20]

- **En plus des facteurs climatiques et environnementaux**, les dégradations qui affectent les ouvrages en béton peuvent avoir **plusieurs autres origines**. On peut généralement regrouper ces autres facteurs en **quatre grandes familles** (Fig 1.3).

- 1) Les facteurs liés à la **conception** de l'ouvrage
- 2) Les facteurs liés à la **mise en œuvre** de l'ouvrage
- 3) Les facteurs liés aux **caractéristiques des matériaux et du béton**
- 4) Les facteurs liés à **l'entretien** de la structure

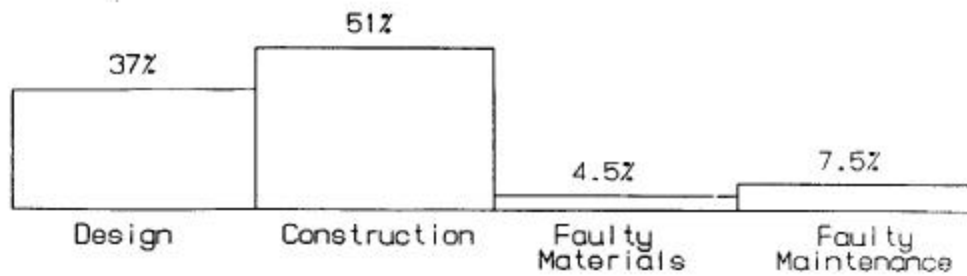
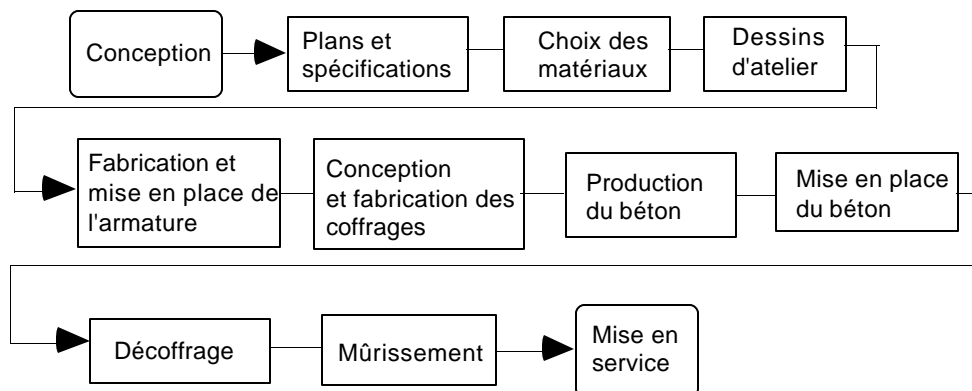


Fig 1.3 - Principales causes des problèmes de durabilité des structures de béton [tiré de Mailvaganam, N. P. *Repair and protection of concrete structures*, CRC Press, 473 p.].

- Le processus qui mène de la conception à la livraison finale des ouvrages peut être **relativement complexe**.
- Le cas d'une structure de béton par exemple:



- On pourrait adapter cette figure pour d'autres types de constructions
- Des déficiences au niveau **d'une ou plusieurs des étapes** de ce processus peuvent avoir des répercussions importantes sur la **durabilité et la performance générale** de l'ouvrage.

1.4.2 Conception des structures

- De nombreux critères de **conception** peuvent exercer une **grande influence** sur la durabilité d'une structure de béton. Ainsi, une structure mal conçue peut avoir une durabilité déficiente malgré l'utilisation d'un béton de bonne qualité.
- En choisissant des **critères de conception** appropriés on peut diminuer considérablement le stress environnemental sur la structure.

Exemple: Dans le cas d'un pont routier, il est important de prévoir un **drainage adéquat** pour limiter les accumulations d'eau et de sels fondants. Il faut aussi prévoir un **recouvrement de béton** suffisant pour offrir une bonne protection contre la corrosion des aciers d'armature.

- Parmi les principaux critères de conception qui contrôlent la durabilité d'une structure de béton on retrouve:
 - Tous les aspects reliés au **système de drainage** et d'évacuation des eaux (pour diminuer les problèmes de gel-dégel et d'écaillage)
 - Le **calcul des acier d'armature** et le choix de **l'épaisseur de recouvrement** des armatures (corrosion).
 - Le choix des **enduits protecteurs** ou des **imperméabilisants**
 - Le choix d'une **géométrie particulière de la structure** qui permettrait de **diminuer le stress environnemental** (forme et disposition des colonnes et des poutres)

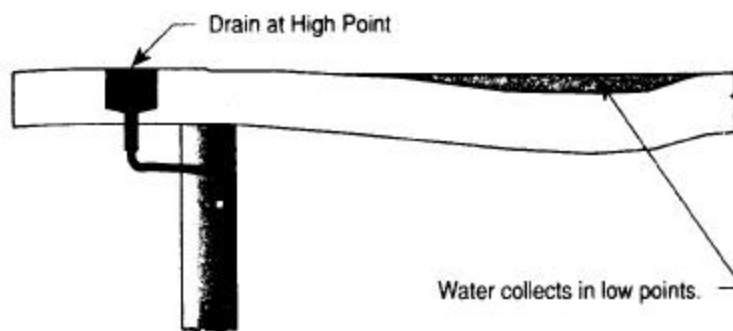


Fig 1.4 - Mauvais positionnement d'un système de drainage [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

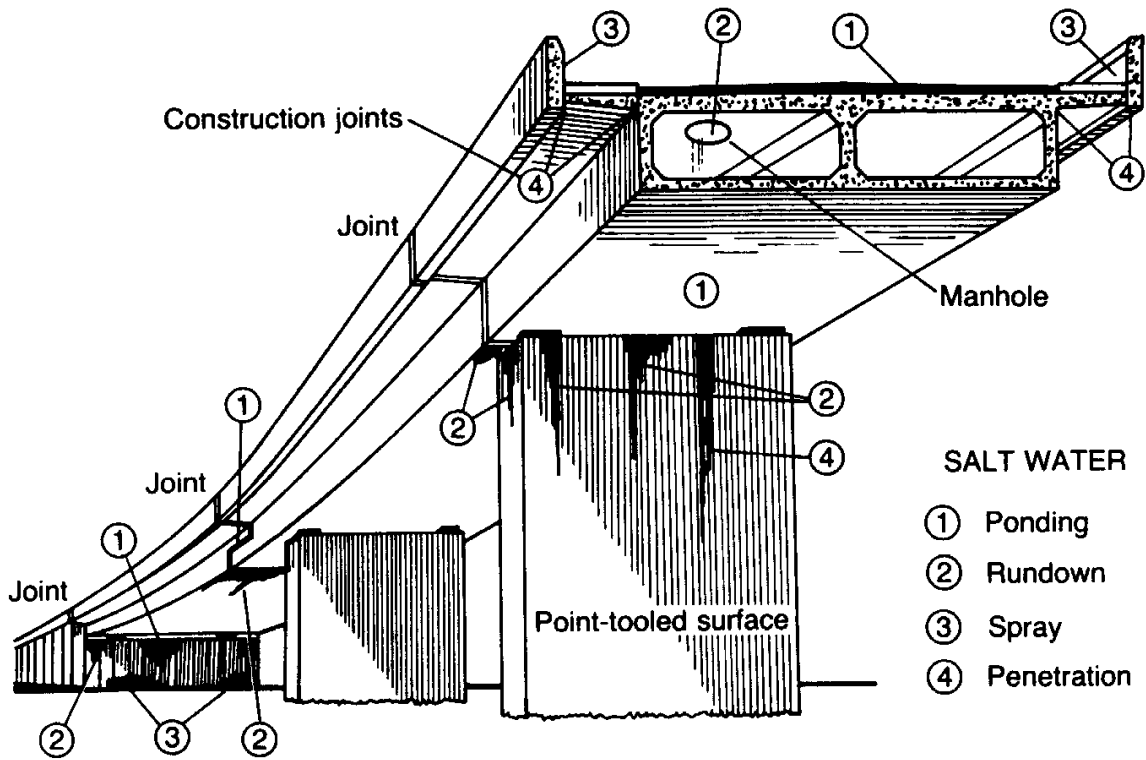


Fig 1.5 - Zones typiques d'attaques par les ions chlore
 [tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services London, 172 p.]

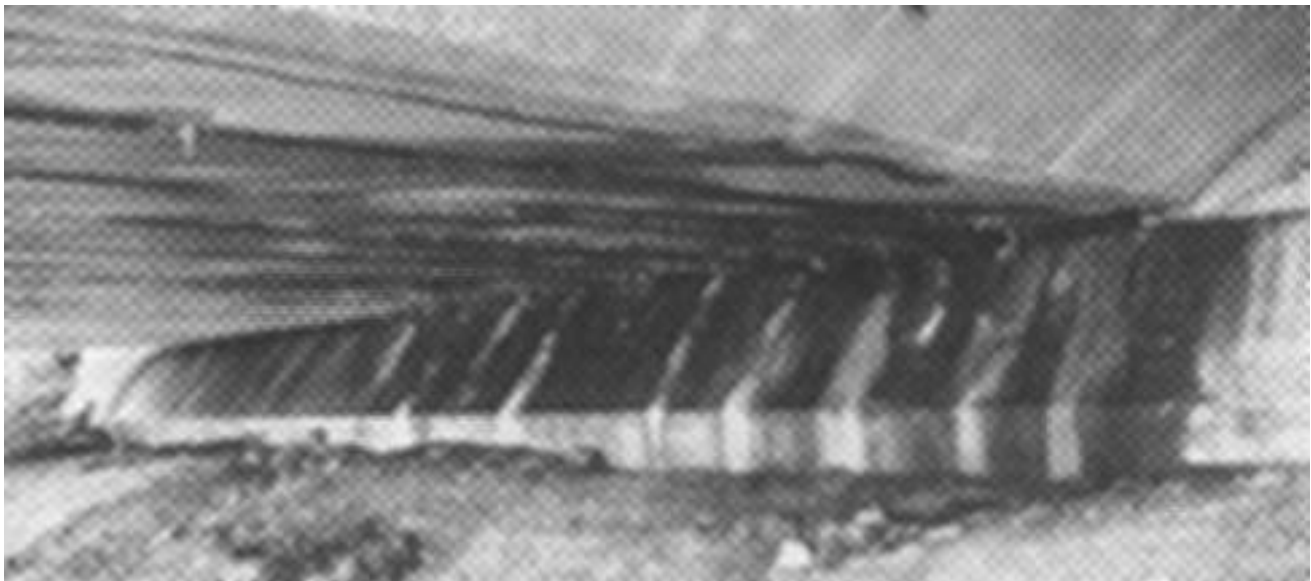


Fig 1.6 - Contamination par les sels de déglacage
 [tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services London, 172 p.]



Fig 1.7 - Pénétration des chlorures dans une poutre caisson
[tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services London, 172 p.].



Fig 1.8 - Un pont à tablier continu
[tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services London, 172 p.].

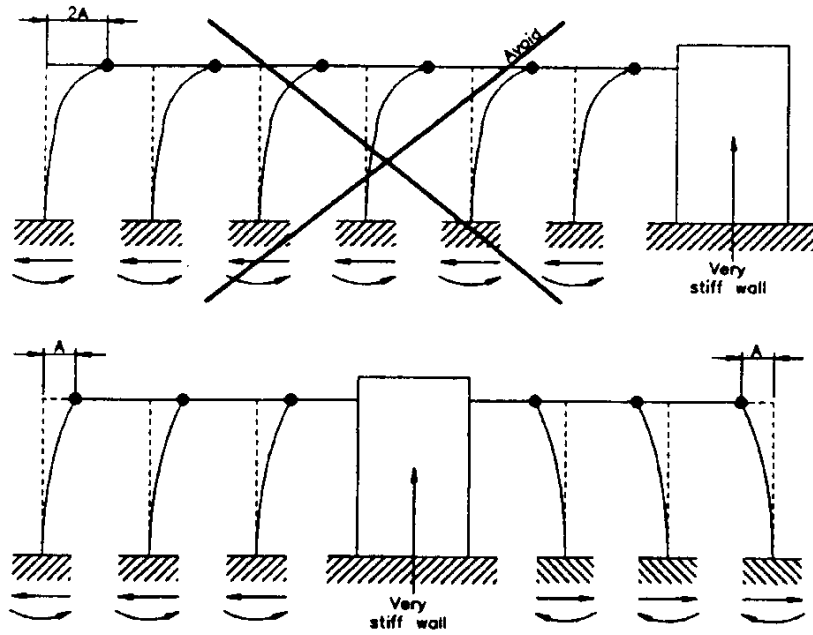


Fig 1.9 - Influence de la géométrie d'un système structural sur les déformations à long terme. [tiré de la norme CSA S413-94].

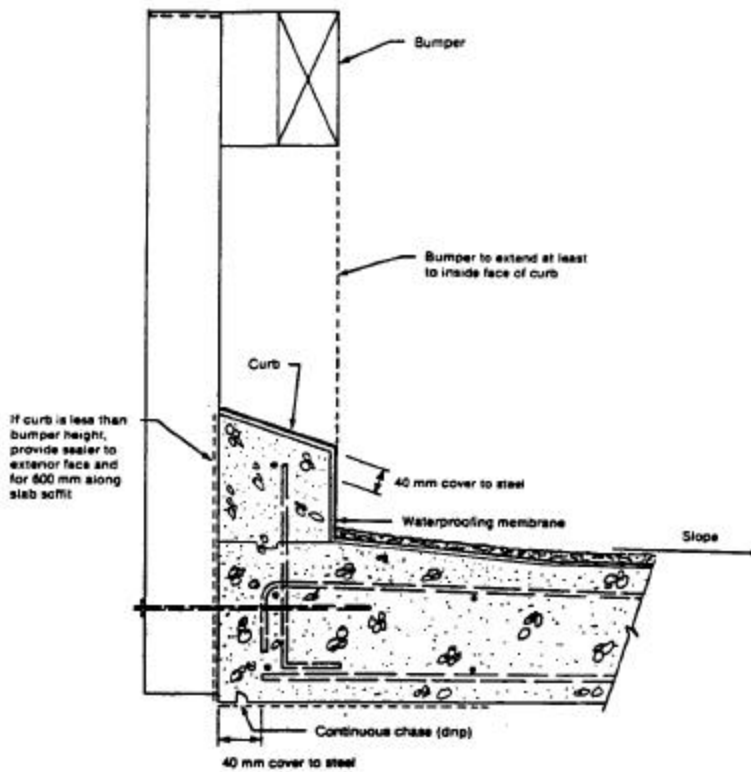
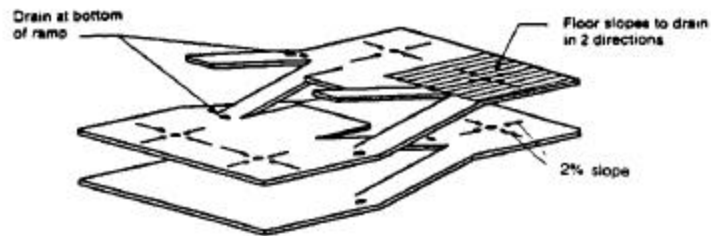
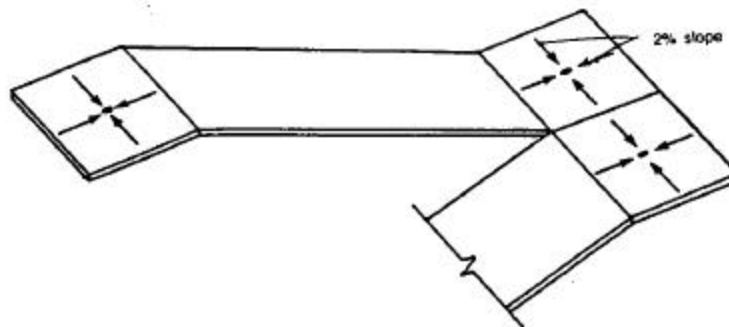


Fig 1.10 - Quelques détails de conception d'un joint mur - dalle d'un stationnement multiétagé. [tiré de la norme CSA S413-94].



(a) Nonramped Floor



(b) Ramped Floor

Fig 1.11 - Positionnement des drains dans une dalle d'un stationnement multiétagé.
[tiré de la norme CSA S413-94].

1.4.3 Mise en oeuvre

- Le béton est un des rares matériaux de construction où les composants sont **rassemblés au site**, ou près du site de construction, pour ensuite être dosés, malaxés et mis en place dans les coffrages pour obtenir un produit fini. Il existe un très **grand nombre de variables** qui contrôlent ce type de production. Il y a donc toujours une possibilité qu'il y ait un **maillon faible** dans la chaîne de production qui fasse en sorte que la **durabilité** de l'ouvrage soit handicapée.
- Si les méthodes de **mise en place** et de **mûrissement** ne permettent pas au béton de développer toutes ses qualités, la durabilité de l'ouvrage pourra être considérablement réduite.
- Les principaux points à surveiller concernant la mise oeuvre sont:
 - Les méthodes de mise en place du béton

Il faut adopter une technique appropriée de mise en place du béton dans les coffrages pour éviter les nids d'abeilles et la ségrégation. Il faut aussi surveiller les techniques de finition de surface

- **La mise en place des aciers d'armature** (Fig. 1.12 et 1.13)

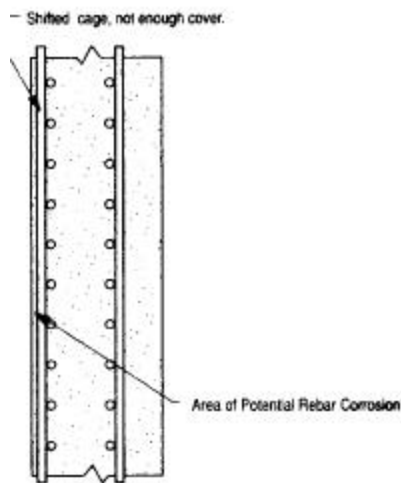


Fig 1.12 - Importance de la localisation des aciers d'armature [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

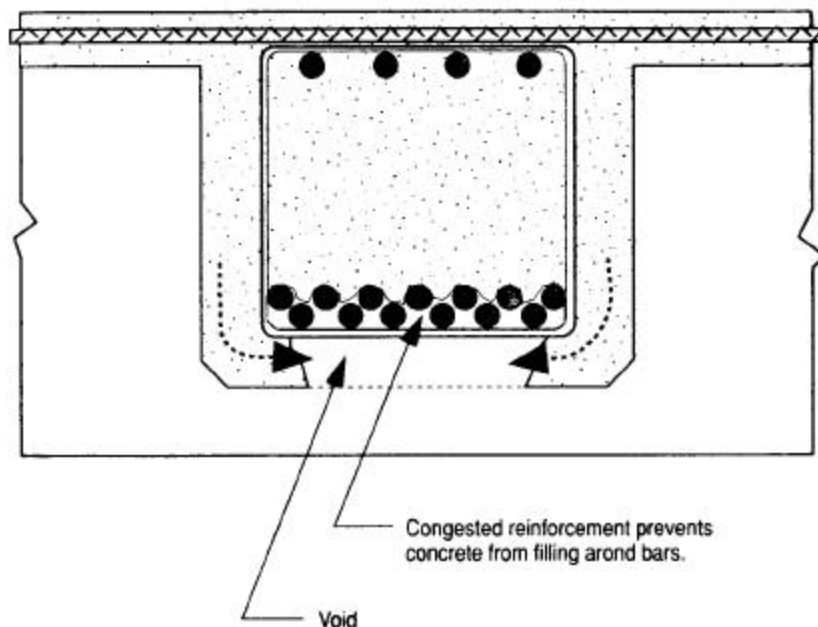


Fig 1.13 - Mauvaise conception du renforcement d'une poutre [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

- Les **méthodes de mûrissement** et de cure

Une mauvaise technique de mûrissement réduit presque toujours la capacité du béton à résister à la plupart des types d'agressions.

- Vérifier la **rigidité, l'étanchéité** et la **conception des coffrages** (Fig. 1.14).

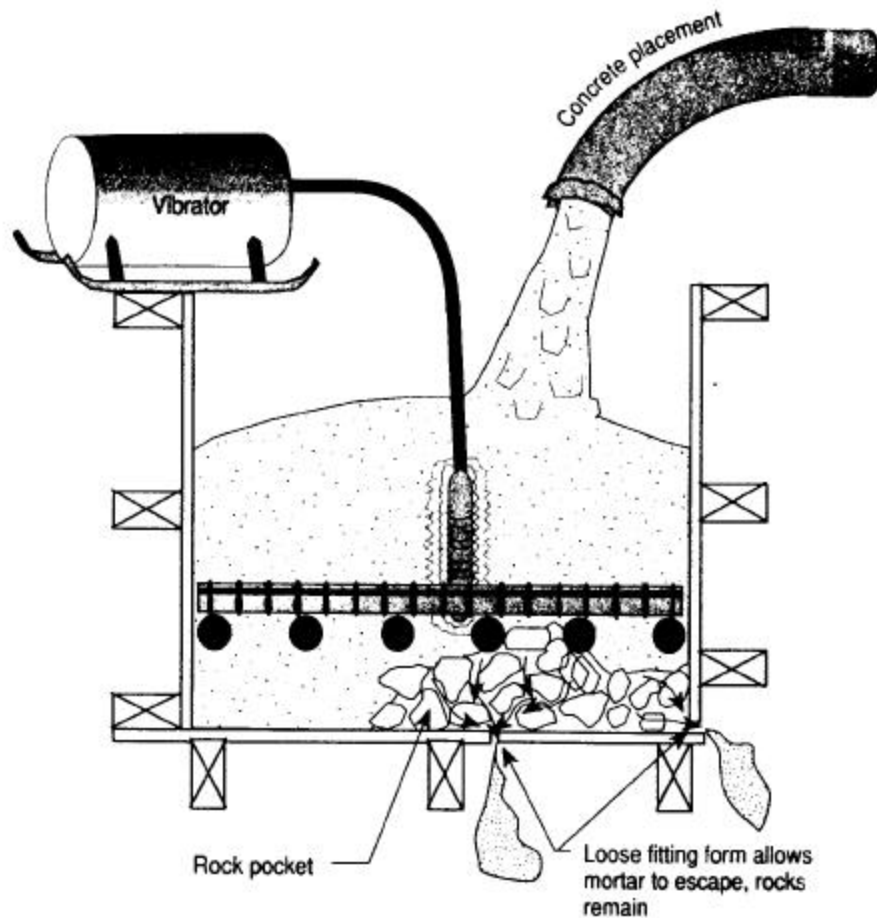


Fig 1.14 - Formation de nids d'abeilles dans un élément de béton armé [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

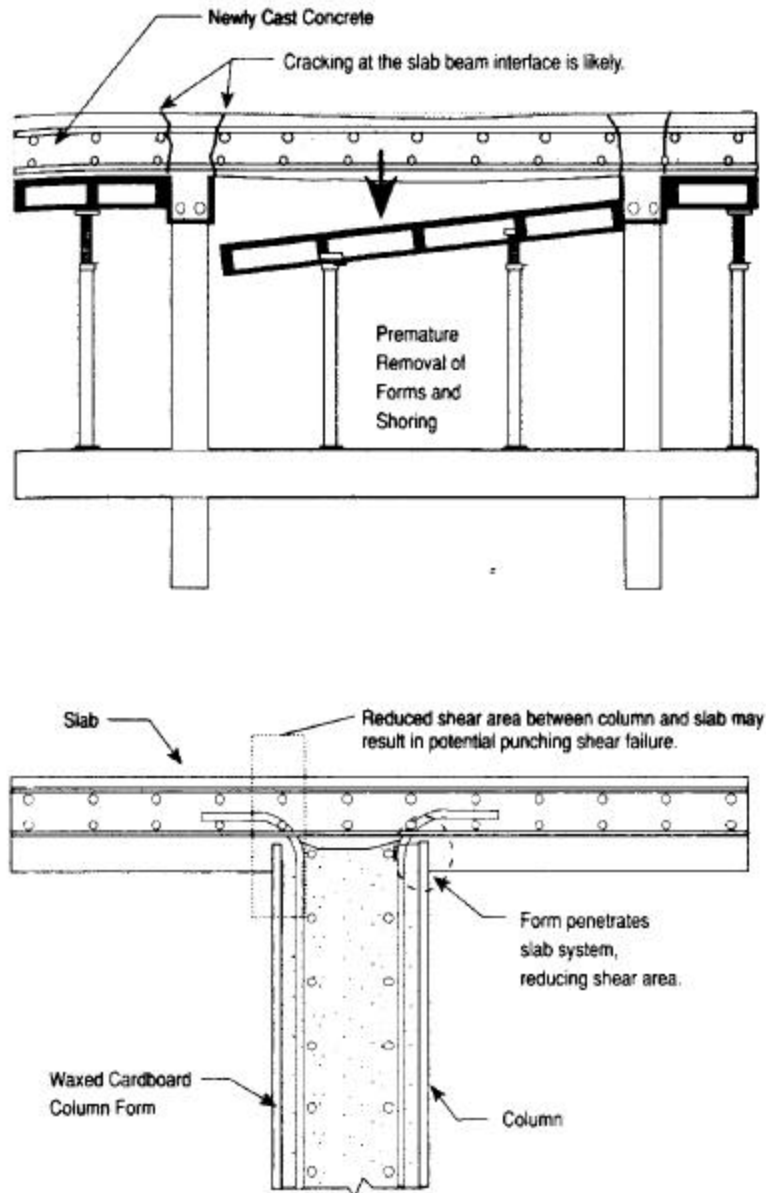


Fig 1.15 - Influence d'un décoffrage trop hâtif et d'une mauvaise conception de coffrages [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

- Prendre les mesures nécessaires pour **éviter le ressuage excessif** et le **retrait plastique** (Fig. 1.16)

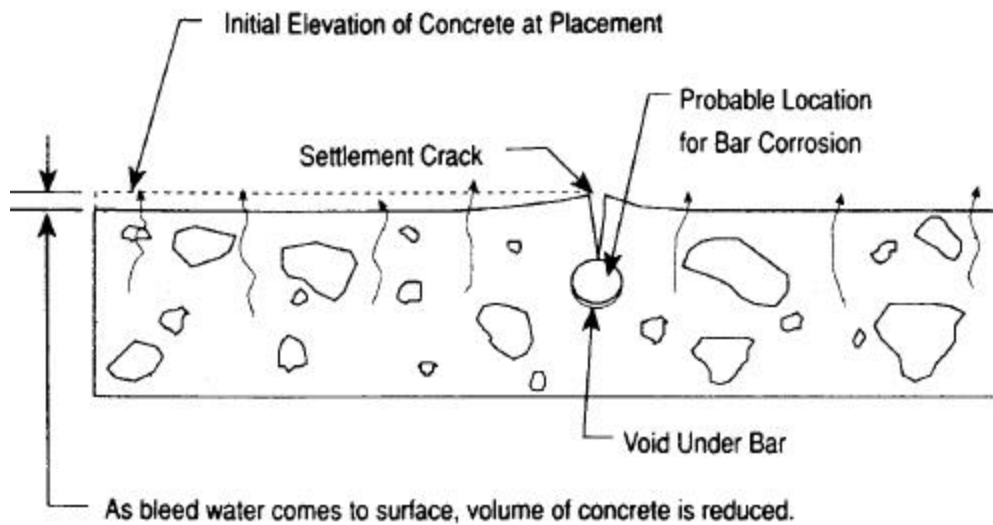


Fig 1.16 - Problèmes engendrés par un ressue excessif et le retrait plastique [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

- Adopter des mesures de protection nécessaires pour éviter le **gel du béton au très jeune âge**

1.4.4 Propriétés du béton et des matériaux

- Les propriétés du béton ont une influence directe sur la durabilité de l'ouvrage.
- Pour fabriquer un **ouvrage durable**, il faut donc utiliser un **matériau durable**.
- Les caractéristiques du béton qui contrôlent sa durabilité peuvent être regroupées en **deux grandes familles**.

A- INFLUENCE DES PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX ENTRANT DANS LA FABRICATION DU BÉTON

- Type de **ciment**

Exemples: Certains types de ciment offrent de meilleures performances en présence d'eau de mer ou de granulats potentiellement réactifs. En milieu marin, il peut être nécessaire d'utiliser un ciment type 50 à faible teneur en C₃A. Pour limiter les risques de réaction alcalis-granulats on peut choisir un ciment à faible teneur en alcalis.

- Type de **granulats**

Certains granulats sont gélifs, c'est-à-dire qu'ils sont sensibles à l'action des cycles de gel-dégel. Il faut donc éviter de les utiliser dans les bétons exposés au gel.

Il existe aussi des granulats qui peuvent réagir avec les alcalis du ciment pour former des produits expansifs qui peuvent faire fissurer le béton (réaction alcalis-granulats). Il existe des essais d'acceptation qui permettent d'identifier les granulats potentiellement réactifs.

- **Ajouts minéraux** (fumée de silice, cendres volantes, laitiers)

Les ajouts minéraux peuvent modifier considérablement le comportement du béton exposé à un environnement donné. Ils peuvent parfois **améliorer** ou **diminuer** la durabilité du béton. Les effets sont fonction du **type et du dosage** de l'ajout minéral.

B- INFLUENCE DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES ET DES PARAMÈTRES DE FORMULATION DU BÉTON

- Résistance à la compression et à la traction

Une résistance à la **compression élevée** est généralement un indice de **bonne qualité** du béton : Elle est généralement le signe d'un rapport **E/C faible** qui produit généralement une pâte de ciment durcie de meilleure qualité (porosité et perméabilité plus faibles).

Une bonne résistance à la traction est souhaitable pour la résistance au gel.

La résistance à la compression peut être utilisée pour spécifier un niveau de maturité minimal avant la première exposition en milieu agressif (résistance minimale à 28 jours).

- Choix du rapport eau/ciment (**E/C**) ou eau/liant (**E/L**)

Le rapport E/C est un **paramètre fondamental** qui contrôle la plupart des propriétés physico-chimiques du béton.

Le E/C exerce un rôle prépondérant dans presque tous les mécanismes de destruction qui peuvent affecter le béton.

Du point de vue de la durabilité, une réduction du E/C est presque toujours bénéfique car elle entraîne une diminution de:

- ° Porosité de la pâte de ciment hydraté
- ° **Perméabilité de la pâte et du béton**

- **Caractéristiques des vides d'air**

La production d'un **bon réseau de bulles d'air entraînées** et d'un bon facteur d'espacement sont **nécessaires** pour obtenir un béton durable face aux cycles de gel-dégel.

1.4.5 Méthodes d'entretien

- Des **programmes d'entretien ou de protection** sont généralement **nécessaires** pour éviter ou retarder certains types de dégradations des structures.
- Un bon programme d'entretien peut contribuer à **prolonger** très significativement la **vie utile** d'un ouvrage.



Fig 1.17 - Défaut d'entretien d'un joint
[tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services
London, 172 p.].



Fig 1.18 - Problèmes d'étanchéité des joints
[tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services
London, 172 p.].

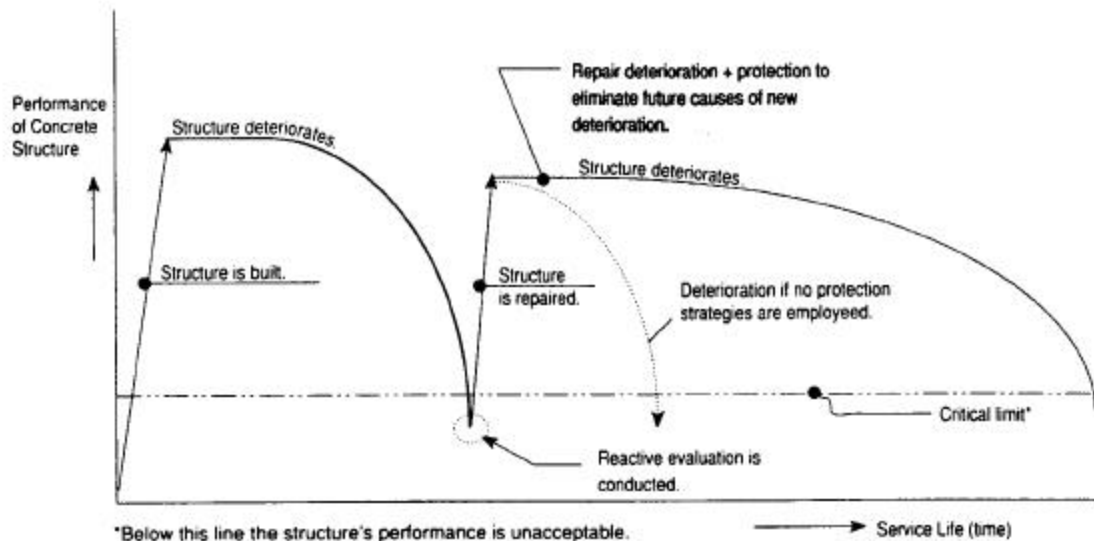


Fig 1.19 - Courbe de dégradation typique d'une structure de béton.
[tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

Exemples:

- Un **nettoyage régulier des joints de dilatation** permet d'éviter qu'ils se bloquent. Un mauvais fonctionnement des joints de dilatation peut engendrer des efforts parasites néfastes pour la performance à long terme des ouvrages
- Le **remplacement des membranes d'étanchéité** perforées ou fendues de certains types de joints de dilatation contribue souvent à diminuer les risques de dégradation des sous structures (infiltration d'eau et des chlorures).
- **Nettoyage des conduits de drainage** ou d'évacuation des eaux de pluies.
 - > Pour éviter qu'ils se bouchent suite à l'accumulation de débris
- **Nettoyage des joints de dilatation** des pavements routiers en béton.
 - > Protection contre l'éclatement des joints
- **Scellement des fissures**



Fig 1.20 - Trop tard....
[tiré de Pritchard B. 1992 *Bridge design for economy and durability*, Thomas Telford Services
London, 172 p.]

1.5 Les principaux processus chimiques de dégradation

- Les dégradations du béton peuvent résulter de plusieurs processus chimiques entre les constituants du béton et le milieu extérieur.
 - Avant de décrire et de classifier brièvement ces processus, il est important de souligner que le **béton est un matériau étonnant !**
 - La structure interne du béton est un milieu très alcalin possédant un pH voisin de 13.
-
- ***Pour le béton, l'environnement externe (l'eau de pluie ou de ruissellement, le CO₂ de l'air) apparaît comme un milieu extrêmement corrosif. C'est un peu comme si nous devions vivre dans un environnement constitué d'acide sulfurique !***
-

- Malgré tout, il résiste à la plupart des attaques chimiques lorsqu'il est fabriqué et mis en place selon les règles de l'art.

Ses principaux moyens de défense sont sa faible porosité et **sa faible perméabilité** qui joue le rôle de scaphandre en lui permettant de limiter les interactions avec l'extérieur.

- Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton sont généralement regroupés en **trois catégories**.

A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates

Lorsque les eaux de ruissellement ou l'humidité du milieu externe entrent en contact avec la pâte de ciment, elles tendent à lixivier (dissoudre) certains produits à base de calcium (surtout la chaux formée par l'hydratation du ciment). **Ce processus peut diminuer les propriétés mécaniques des hydrates ou augmenter la porosité interne.**

- Perte de résistance mécanique du béton
- Problèmes d'ordre esthétique lorsque les substances lixiviées interagissent avec le CO₂ de l'air et se redéposent en surface (efflorescences)

B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif

Certaines **solutions acides**, souvent rencontrées en milieu industriel, peuvent **interagir avec la pâte** de ciment pour former des **sels solubles** qui peuvent ensuite être facilement lixiviés.

Des eaux agressives peuvent réagir avec la pâte de ciment pour former de nouveaux produits insolubles mais qui ne participent pas au développement des propriétés mécaniques du béton.

C- La formation de produits expansifs

Plusieurs types de produits expansifs peuvent se former dans la pâte de ciment durcie. Le processus de formation est fonction des **matériaux utilisés** et/ou du **type d'exposition**. Ces produits expansifs peuvent créer de très grandes **pressions internes** qui peuvent provoquer une intense fissuration du béton.

Les principales causes de la formation de ces produits expansifs sont:

- L'attaque par les sulfates que l'on retrouve parfois dans les eaux souterraines. Ces réactions produisent un **gel expansif**
- Les réactions alcalis-granulats qui produisent aussi un gel de silice fortement expansif -> **gonflement de la structure**
- La corrosion des aciers d'armature, qui produit différents oxydes de fer très fortement expansifs au voisinage des barres corrodées -> **décollements du recouvrement de béton**
- La **formation de glace** qui engendre des pressions internes dans la porosité capillaire du béton

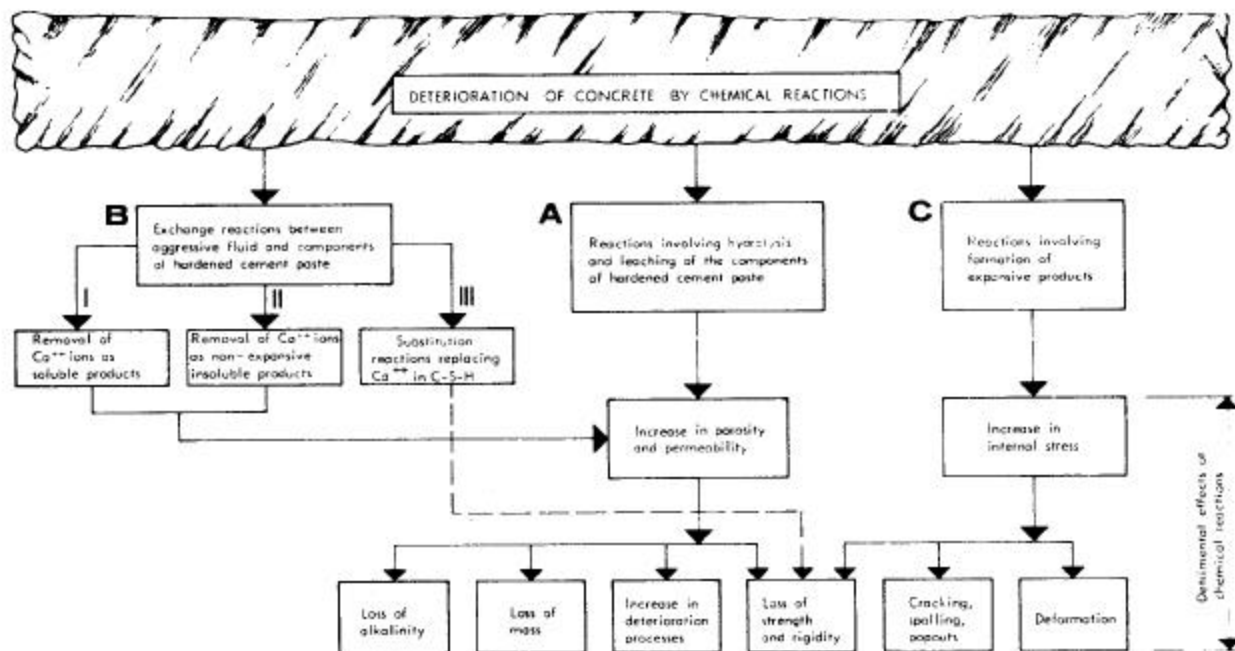


Fig 1.21 - Les différents processus chimiques de détérioration du béton [tiré Metha, P.K.; *Concrete structures, properties and materials*]

1.6 La durabilité des réparations - problématique

- On peut commencer par simplifier le problème en regroupant les réparations en **deux grandes familles**

A- Les réparations "**profondes**" ou les **reconstructions partielles** sont généralement effectuées pour rétablir **l'intégrité structurale** d'une structure ou d'une partie de structure. Ce type de réparation doit donc être en mesure de résister aux diverses sollicitations mécaniques subies par l'ouvrage.

B- Les réparations "**minces**" sont généralement réalisées pour **protéger** le béton ou les aciers d'armature contre les **agressions du milieu extérieur**. Plusieurs réparations minces sont aussi effectuées pour restaurer l'aspect esthétique d'un ouvrage.

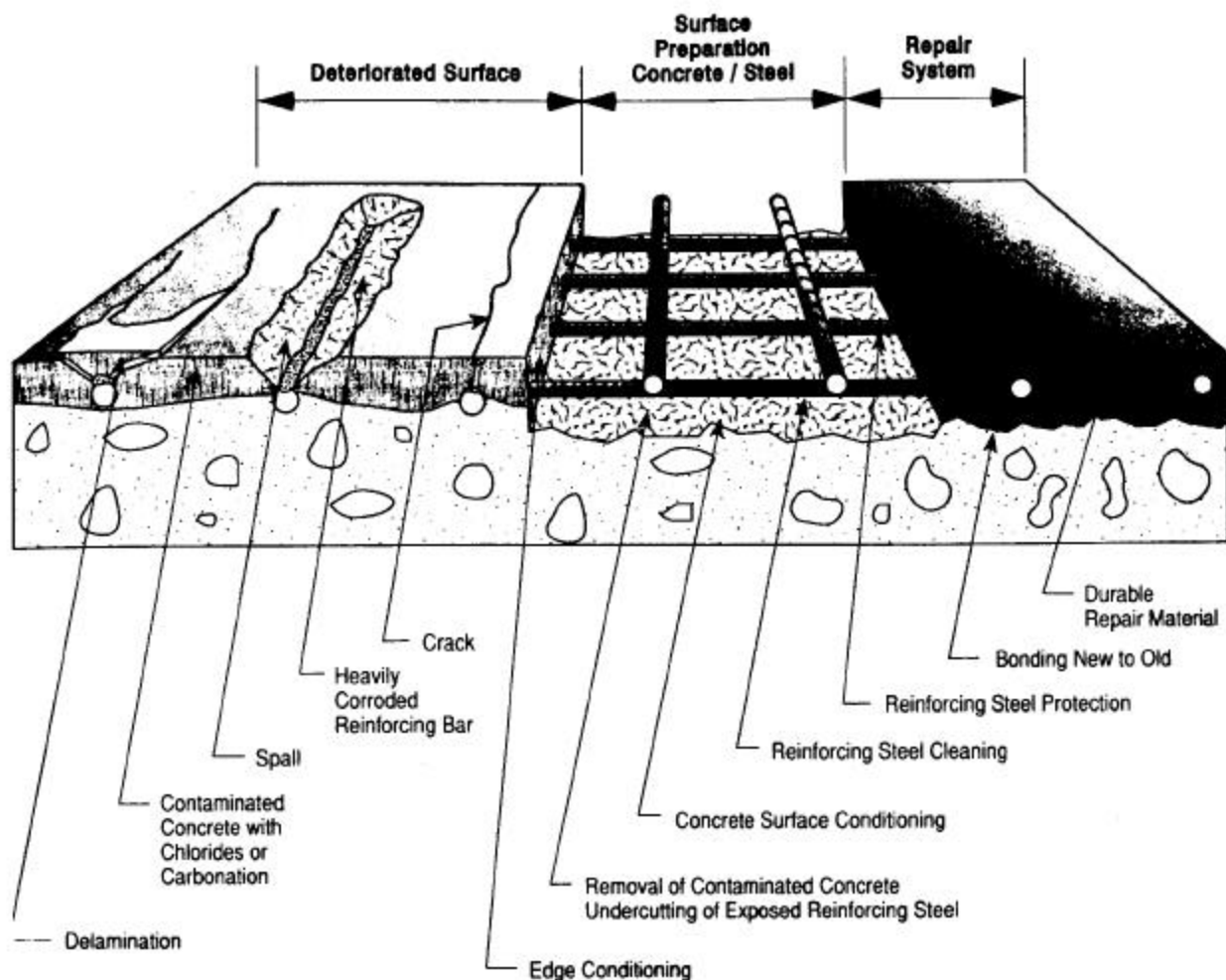


Fig 1.22 - Anatomie d'une réparation de surface [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*].

- Pour qu'une réparation soit efficace, il faut évidemment qu'elle puisse résister aux diverses sollicitations mécaniques ou aux attaques du milieu environnant.
- La durabilité d'une réparation implique deux principaux aspects

A- Les **matériaux** utilisés pour la réparation doivent d'abord être **durables**. Ils doivent être choisis en fonction de leur aptitude à résister aux attaques physiques et mécaniques (**ce n'est généralement pas un problème majeur**).

B- Le plus **grand problème** concerne surtout la **durabilité du "composite"** constitué du vieux béton et de la nouvelle couche, plus ou moins épaisse, de matériau de réparation.

L'ensemble du composite doit pouvoir résister aux sollicitations thermiques, mécaniques, aux effets du gel et des sels de déglacage, aux cycles de mouillage-séchage, **aux effets du retrait du nouveau matériau en contact avec l'ancien béton**.

- Lorsque le matériau de réparation est durable, la performance des réparations est surtout contrôlée par le **comportement et la qualité du lien entre l'ancien et le nouveau béton**.
- Il faut donc comprendre les mécanismes qui contrôlent l'intensité des contraintes au niveau de l'interface ancien-nouveau béton (retrait, problèmes de compatibilité des matériaux). Il faut aussi comprendre comment l'exposition au milieu extérieur peut modifier la qualité de cette interface (influence du gel et des cycles de mouillage-séchage).

1.7 Durabilité et normalisation

- Il existe plusieurs organismes de normalisation ou sociétés techniques qui publient des normes ou des recommandations sur la plupart des aspects touchant la technologie du béton
- Les plus connus sont :
 - **CSA** (A5 - A23.1 - A23.2 - ...)
 - **ASTM**
 - **NQ**
 - **CCDG**
 - **ACI**

- Les sujets traités sont très nombreux
 - Définitions
 - Exécution des travaux, mise en place et mûrissement
 - Responsabilités
 - Méthodes de calcul et de formulation du béton
 - Méthodes d'entretien
 - Méthodes d'échantillonnage et d'essais
 - Exigences minimales pour les propriétés du béton frais et durci
 - **Exigences minimales sur les constituants du béton**
 - **Exigences minimales concernant la durabilité du béton**

1.7.1 Matériaux

- En fonction du type d'utilisation du béton ou de son degré d'exposition, on doit souvent respecter les exigences des normes concernant les **critères de sélection des matériaux** utilisés pour la fabrication du béton (ciment, granulats).

Ciments : En fonction des **conditions d'exposition**, il peut y avoir des exigences particulières pour prévenir les **réactions alcalis-granulats** ou l'attaque par les **sulfates** ou l'eau de mer (CSA A23.1).

Granulats : En fonction des **conditions d'exposition**, il existe de nombreuses exigences sur la granulométrie, la **résistance au gel**, la **péetrographie**, la résistance à l'abrasion ou à la désagrégation (CSA, NQ).

1.7.2 Formulation

- Plusieurs organismes de normalisation imposent des règles de formulation du béton de manière à diminuer les risques de voir apparaître des problèmes de durabilité.
- Ces règles sont la plupart du temps énoncées en **fonction du type et du degré d'exposition du béton**.

Exemple: exposition au gel-dégel, aux sels de déglacage et à l'eau de mer

En fonction de la sévérité de l'exposition et du type d'ouvrage, on impose un rapport eau-ciment maximal, une teneur en air minimale (aussi un facteur d'espacement), et une résistance à la compression minimale à 28 jours (CSA A23.1 sections 14 et 15)

1.7.3 Exigences de conception et de mise en oeuvre

- Des critères de conception et des techniques de mise en oeuvre du béton sont souvent prescrits pour minimiser les problèmes de durabilité. Les exigences changent en fonction du **type d'ouvrages et du degré d'exposition**.

- Ainsi, certaines recommandations s'appliquent aux :
 - Méthodes de cure et de protection

 - Recouvrement minimal des aciers d'armature pour assurer la protection contre la corrosion.