

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

Principales agressions et attaques du béton



Anne-Charlotte GASSER

Nantes Métropole
Ex-Dter IdF CEREMA

ENPC Marne-la-Vallée - 23 octobre 2014

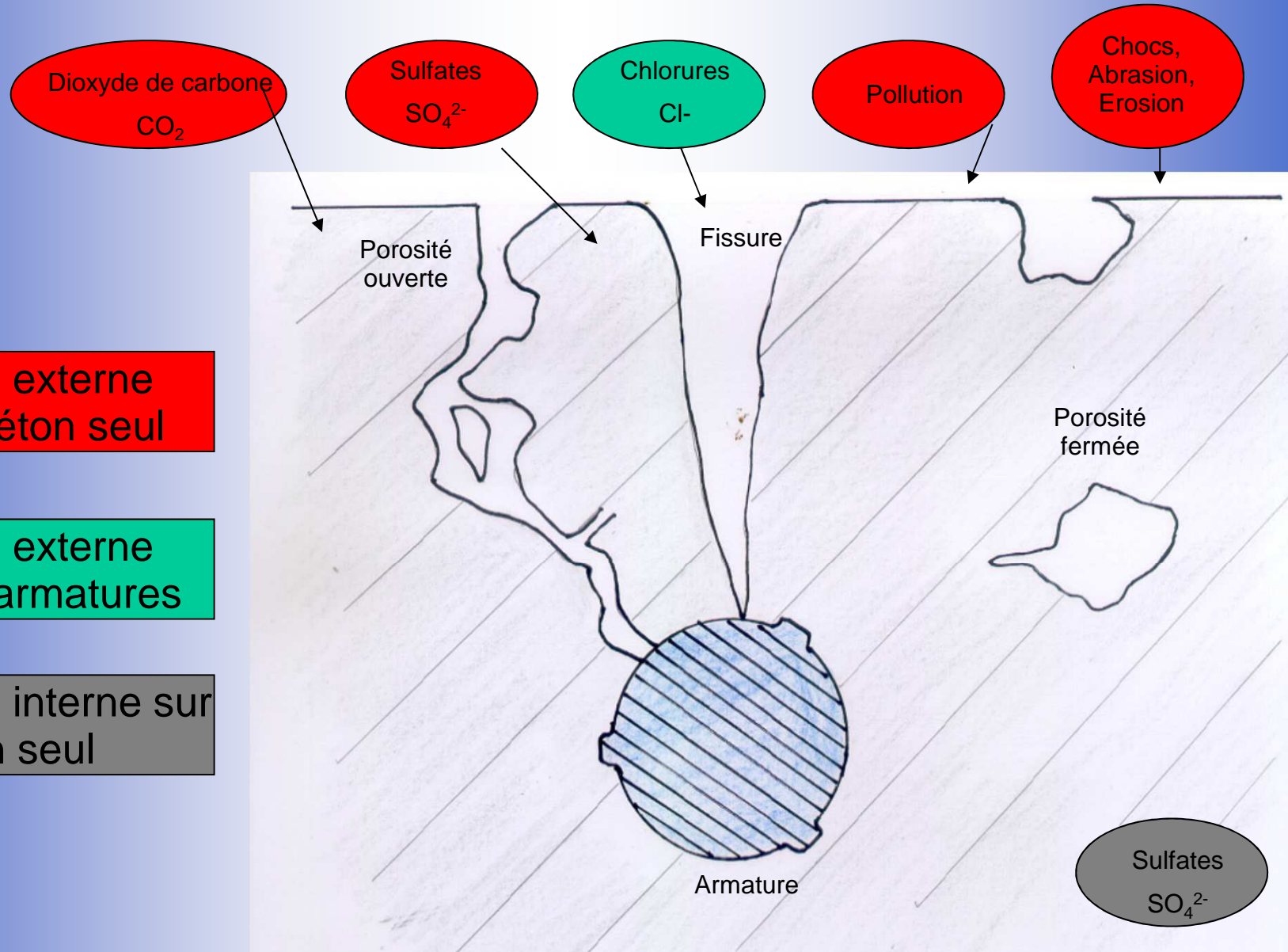
Sommaire

- Structure et propriétés du béton
- Corrosion des armatures
 - Carbonatation
 - Chlorures
- Alkali-réaction
- Réactions et attaques sulfatiques
 - Réaction interne
 - Attaque externe
- Gel / Dégel – Gel interne

Structures et propriétés du béton

- Constituants
 - Le squelette : granulats
 - La matrice cimentaire : ciment, eau, sable
 - L'armature en acier
- Propriétés du béton armé
 - La résistance mécanique
 - Esthétisme et qualité du parement
 - Durabilité (propriétés de transfert)
 - Porosité
 - Fissuration
 - Compacité
- L'environnement béton armé
 - Exposition (gel, saumure, marnage, ...)
 - Sollicitations mécaniques (charges, ...)

Structures et propriétés du béton



Attaque externe
sur le béton seul

Attaque externe
sur les armatures

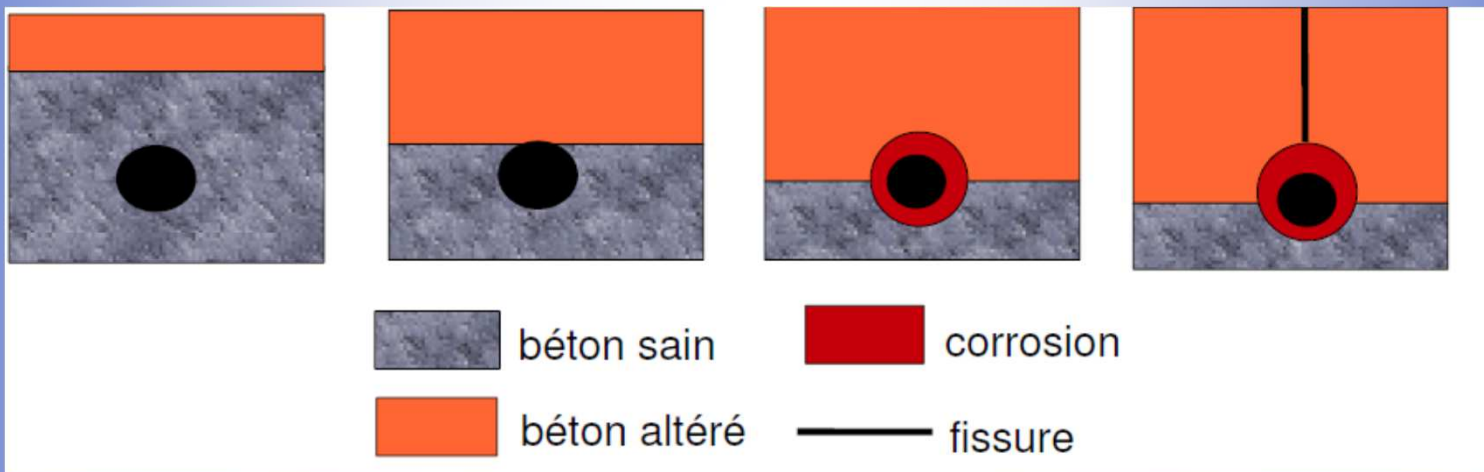
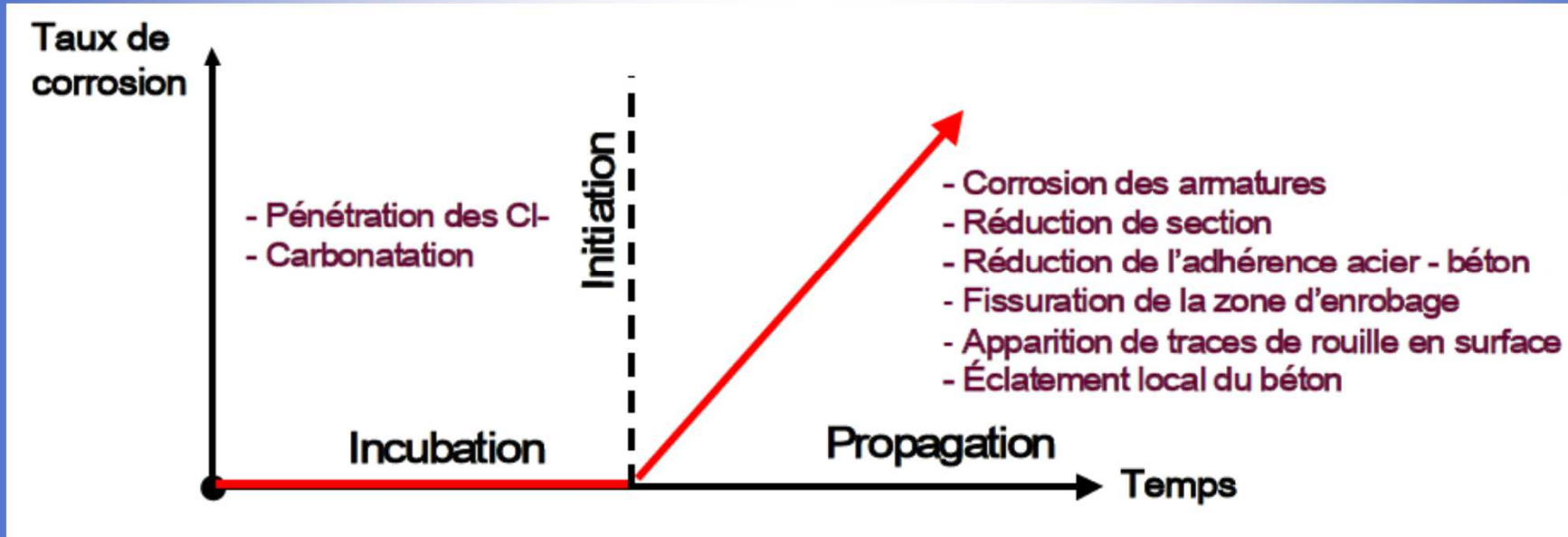
Attaque interne sur
le béton seul

Corrosion des armatures

- Origines de la corrosion
 - Pénétration des ions chlorures dans l'enrobage
 - Carbonatation du béton d'enrobage
- Phénomène plus ou moins rapide selon les propriétés du béton d'enrobage (propriétés de transfert) :
 - Porosités de la matrice cimentaire
 - Compacité
 - Fissuration

Corrosion des armatures

- Processus de corrosion



Corrosion des armatures

- Carbonatation du béton

Pénétration du CO₂ dans le béton:

=> Transformation de la portlandite (chaux) en carbonate :



Portlandite

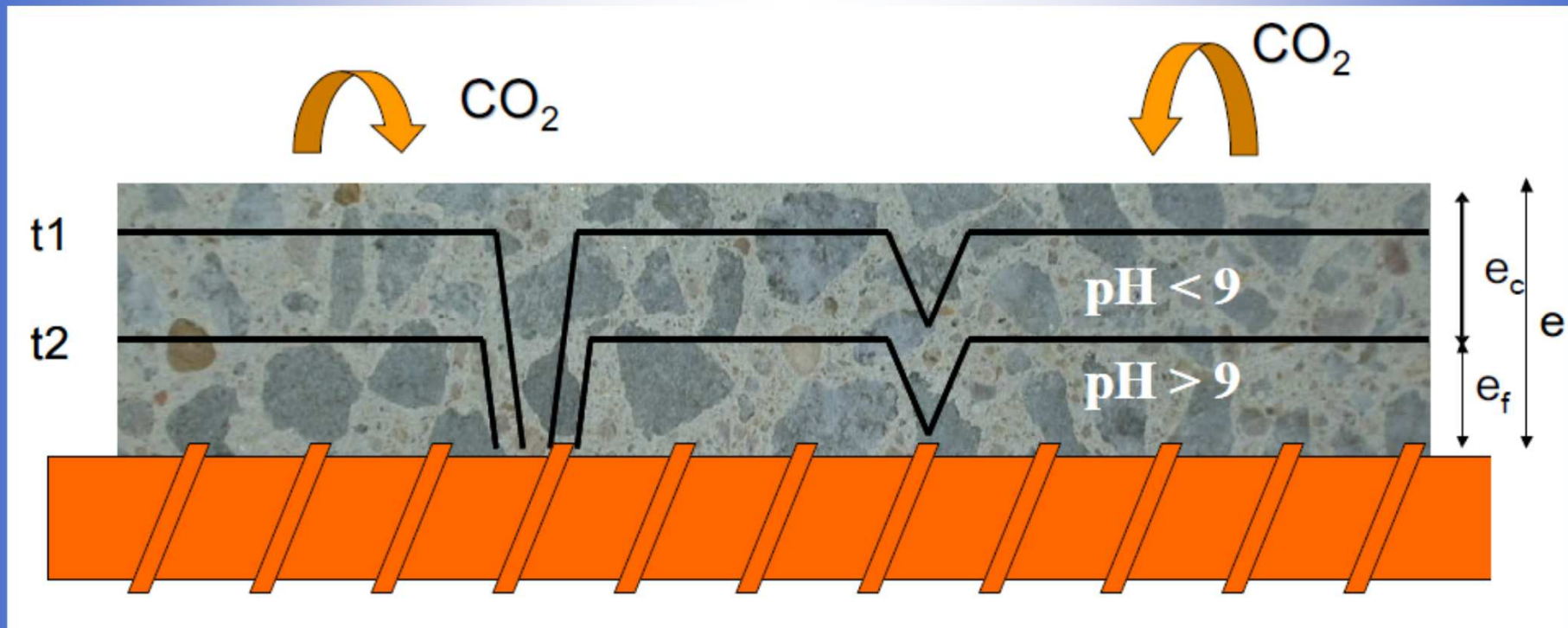
Calcite

=> Baisse du pH (pH < 9)

Dépassivation des armatures => Corrosion

Corrosion des armatures

- Carbonatation du béton



e : enrobage
ec : profondeur de béton carbonatée
ef : enrobage efficace

pénétration du CO₂ = loi de diffusion
 $ec = \sqrt{(Dc.t)}$

Corrosion des armatures

- Pénétration des ions chlorures

- Mécanisme de pénétration des Cl⁻ :

Entrainement mécanique par l'eau qui pénètre dans le béton sous l'effet de l'humidification ou d'une pression

Si béton constamment humide : pénétration due à un gradient de concentration

Loi de diffusion :

$$\frac{\partial}{\partial t} \text{Cl}(x,t) = D \times \frac{d^2}{dx^2} \text{Cl}(x,t)$$

D : coefficient de diffusion apparent des ions Cl⁻

- Source de Cl⁻ :

- Constituants du béton (sables, gravillons, adjuvants)
 - Sels de déverglaçage
 - Sels marins

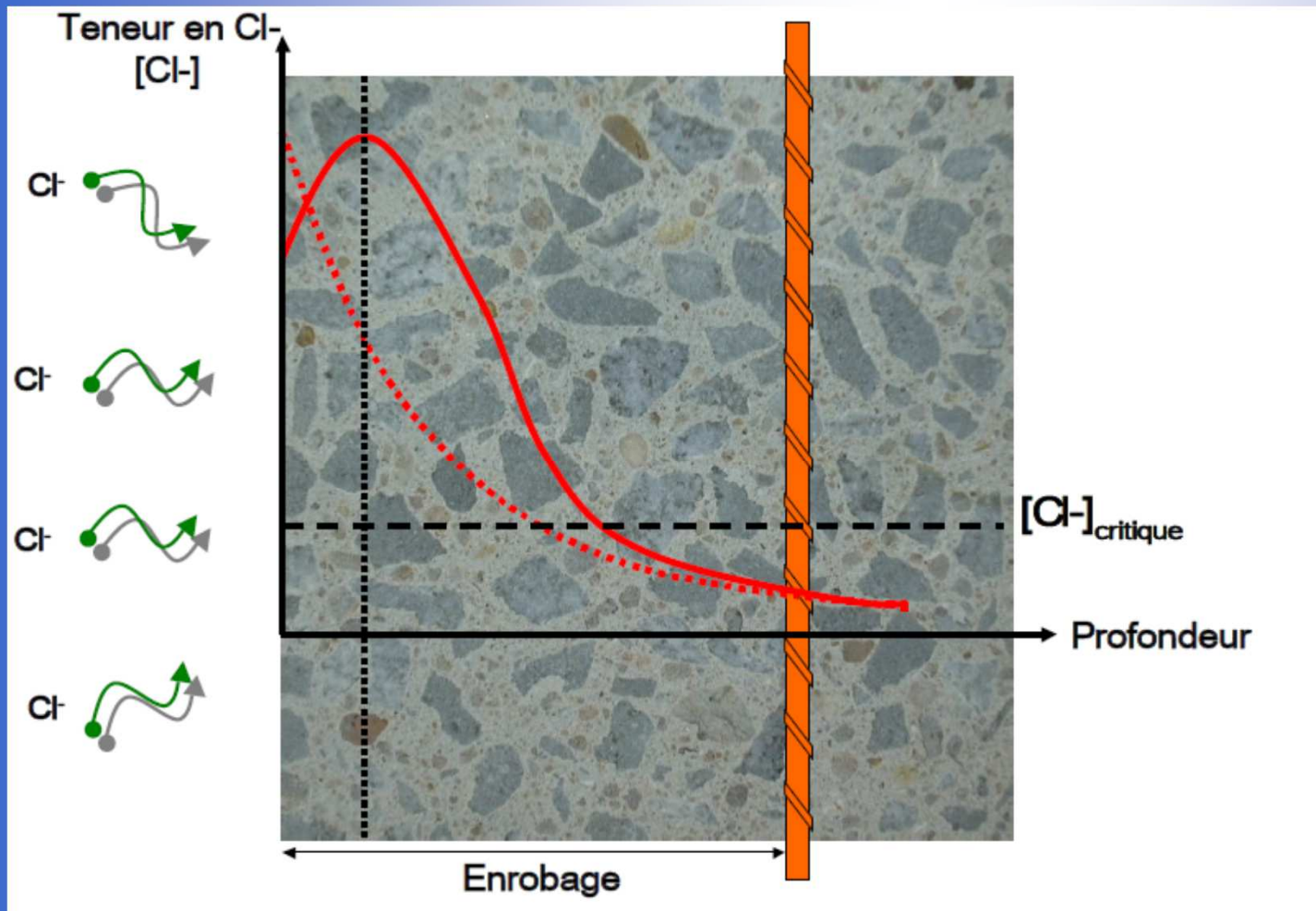
- Pénétration des chlorures est favorisée par un béton :

- Fissuré
 - Mal mis en œuvre
 - Pas suffisamment compact (adéquation de la formule avec l'environnement)

- La diffusion des chlorures nécessite de l'eau. Les ions chlorures pénètrent dans le béton par diffusion ou absorption capillaire.

Corrosion des armatures

■ Pénétration des ions chlorures



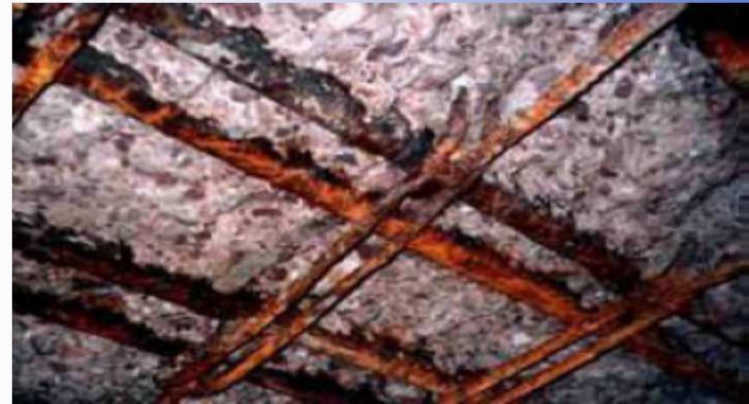
A la profondeur des armatures :
si $[\text{Cl}^-] > [\text{Cl}^-]_{\text{critique}}$
initiation de la corrosion

$[\text{Cl}^-] / [\text{OH}^-] > 0,6$ l'acier n'est plus protégé

$[\text{Cl}^-]_{\text{critique}} \gg 0,4\%$ (% vs masse de ciment)

Exemple : béton dosé à 350 kg/m^3
avec
 $r = 2\,500 \text{ kg/m}^3$
 $[\text{Cl}^-]_{\text{critique}} = 0,056\%$ (% vs masse de béton)

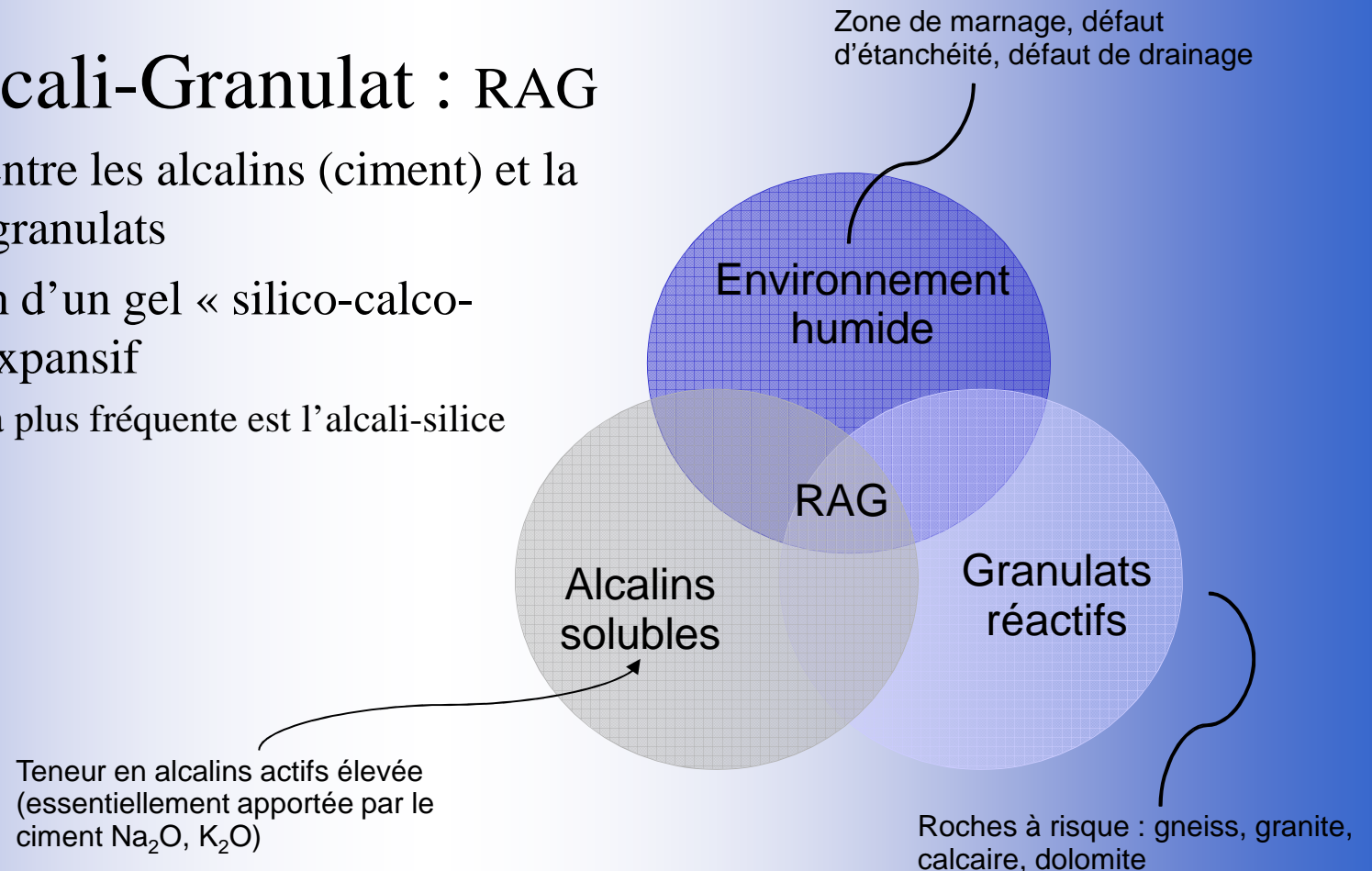
Corrosion des armatures



Alcali-Réaction

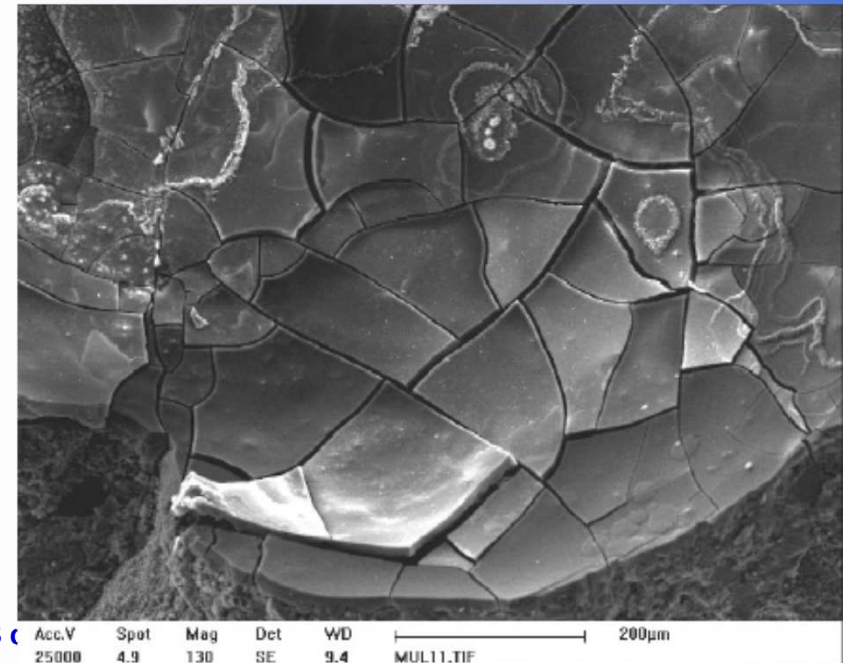
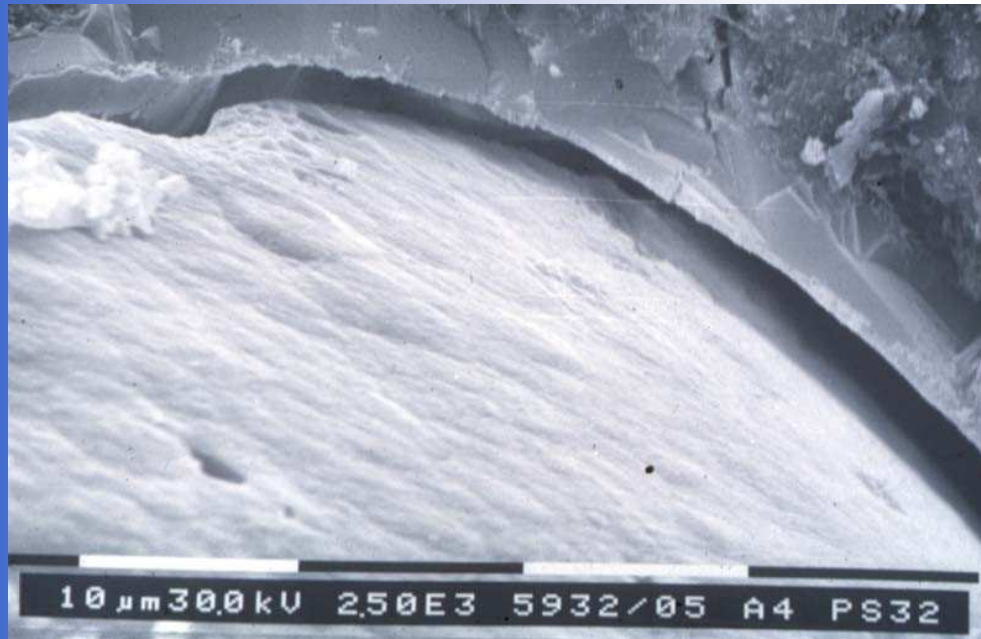
■ Réaction Alcali-Granulat : RAG

- Réaction entre les alcalins (ciment) et la silice des granulats
- Production d'un gel « silico-calco-alcalin » expansif
 - Réaction la plus fréquente est l'alcali-silice



Alcali-Réaction

- Réaction alcali-granulat
 - Symptômes :
 - Fissuration en réseau et faïençage (fissures avec rejets souvent bordées d'humidité)
 - Fissuration orientée (selon le tracé des armatures de peau)
 - Mouvements, déformations
 - Rupture d'armatures
 - Coloration des parements
 - Apparition des désordres 2 à 5 ans après la construction, parfois 20 ou 30 ans

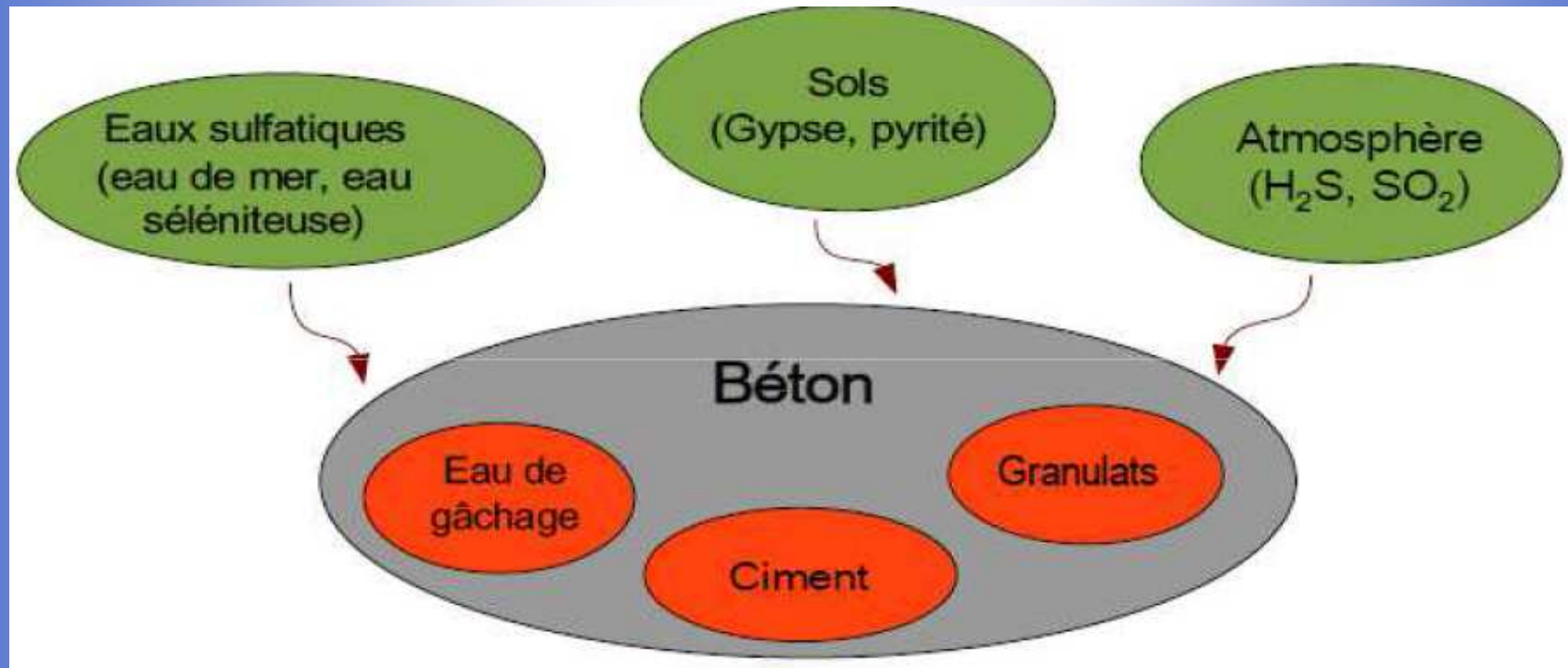


Alcali-Réaction



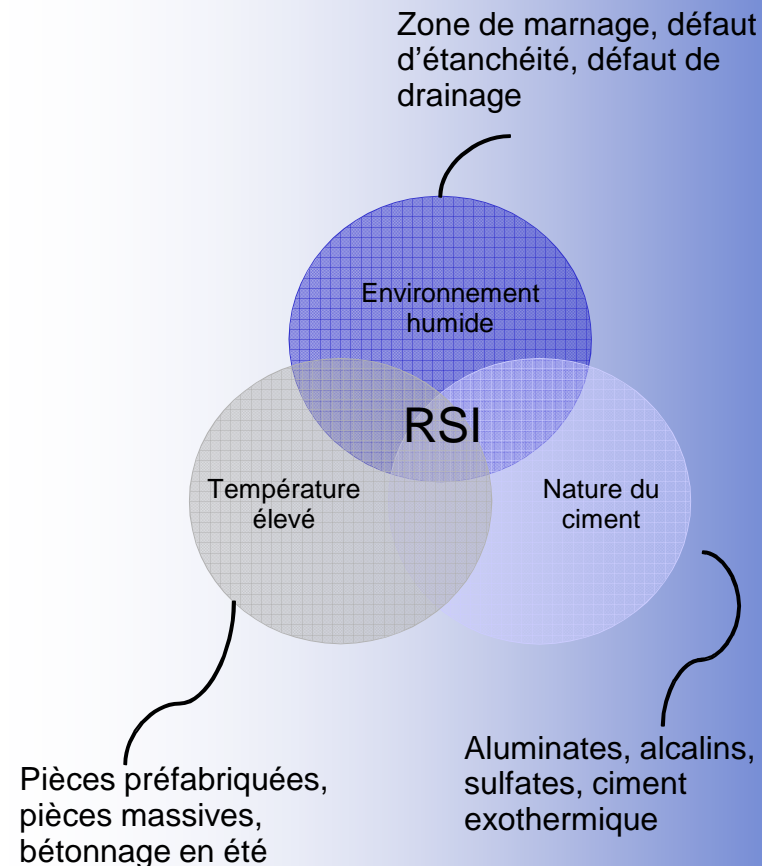
Réactions et attaques sulfatiques

- Sources de sulfates multiples :
 - Internes au béton
 - Externes au béton



Réactions et attaques sulfatiques

- Réaction sulfatique interne
 - Origine
 - Formation différée d'ettringite expansive
 - Ions sulfates contenus dans béton (solution interstitielle) réagissent avec les aluminates du ciment
 - 3 conditions d'apparition de la pathologie



Réactions et attaques sulfatiques

- Réaction sulfatique interne
 - Symptômes
 - Identiques à la RAG à l'œil nu
 - Cristallisation en aiguilles (microstructure)



Attaques sulfatiques

- Attaques sulfatique externe
 - Expansion provoqué par la croissance d'aiguille d'ettringite
 - Expansion se traduit par une fissuration et un éclatement superficiel du béton
 - Les fissures facilitent la pénétration des agents agressifs et accélère le processus de dégradation



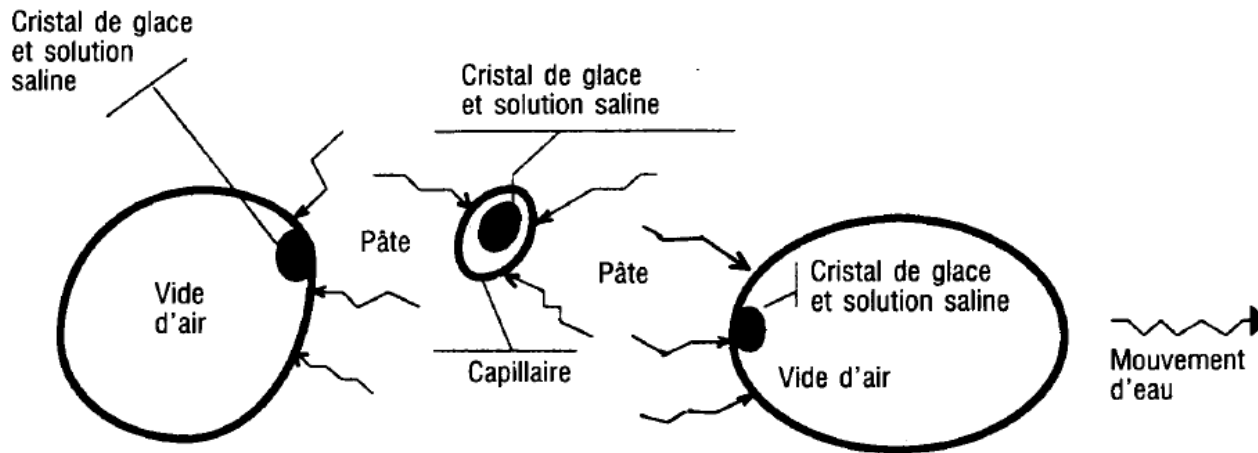
Gel/Dégel – Gel interne

- Gel/Dégel + sels de déverglaçage => dégradation de surface
 - Causes :
 - action du sel en surface (diffusion de chlorures) : pression osmotique (gradient de concentration)
 - Contact fondants/glace : chocs thermiques
 - Symptômes
 - Microfissuration du matériau résultant du choc thermique
 - Éclatement superficielle de la surface exposée aux sels de déverglaçage sous forme d'écailles
 - Désagrégation du béton



Gel/Dégel – Gel interne

- Gel interne
 - Symptômes :
 - Fissuration interne
 - Gonflement du béton



Conclusion

- Le béton armé est soumis à différentes sources de dégradations pouvant diminuer sa durabilité.
- L'approche performantielle basée sur des indicateurs de durabilité fixés en fonction de l'environnement de l'ouvrage concerné tend à répondre à cette problématique et à augmenter la durée de vie des ouvrages.

Concevoir, construire et gérer des structures durables en béton

Approche performantielle et évolutions normatives

**Merci de
votre
attention**

