



Adjuvants

Yves Dénomé, ing. M.Sc.A.
Directeur technique
Association béton Québec

19 novembre 2024

1



1

Introduction

Mission de l'ABQ

- Promouvoir l'excellence au sein de l'industrie du béton en s'engageant à rassembler l'ensemble des parties prenantes de l'industrie, et ce, en visant l'amélioration constante de la qualité, la réduction de l'impact environnemental et la formation continue.

2

Introduction

L'Association béton Québec en quelques lignes...

- Fondée en 1975
- Regroupe près de 100 entreprises associées à l'industrie du béton
- 2022, plus de 5 millions de m³ de béton produit et livré au Québec
 - Soit plus de 95% de la production québécoise.
- Développement de système qualité depuis 1985



3

Documentation technique

Site web ABQ



Consultez nos
Technobéton au

betonabq.org



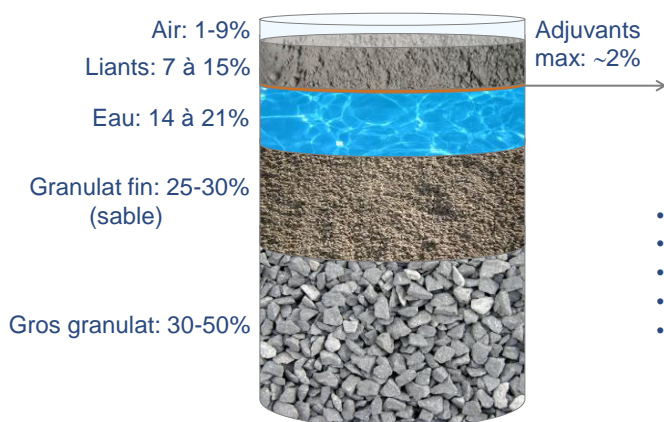
4



5

5

Composition typique d'un béton (en volume)



- Agent entraîneur d'air
- Réducteur d'eau
- Superplastifiant
- Réducteur de retrait
- Retardateur
- Accélérateur
- Agent viscosant
- Agent anti-lessivage
- Inhibiteur de corrosion
- etc.

Normalement les formulations de béton
sont exprimées en poids pour faire 1 m³

6

Généralités

Définition

- Tout ingrédient, autre que le ciment portland, l'eau et les granulats que l'on ajoute au mélange immédiatement avant ou pendant le malaxage pour améliorer les propriétés du béton.



Source: Dosage et contrôle des mélanges de béton

7

7

Pourquoi les utiliser?

Pour permettre de rencontrer les spécifications

- Respect du rapport eau/liants
- Durabilité (gel/dégel, écaillage, etc.)
- Modifier la cinétique d'hydratation (accélérateur, retardateur)
- Autres propriétés du béton frais et durci

Pour diminuer le coût du béton mis en place

- Diminution du coût total du béton;
- Accélération des cadences de décoffrage.

8

8

Généralités

Les différents types d'adjuvants

Adjuvants courants

- Réducteurs d'eau
 - standard
 - moyenne portée
 - superplastifiant
- Retardateurs de prise
- Accélérateurs de prise
- Entraîneurs d'air

Adjuvants spécialisés

- Agents de viscosité
- Inhibiteurs de corrosion
- Adjuvants réducteurs de retrait
- Pigments de couleur
- Agents moussants
- Imperméabilisants
- Fibres...

9

9

Généralités

ASTM C494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete

Types	Description	Réduction d'eau minimale par rapport à un béton de référence
Type A	Réducteur d'eau	5%
Type B	Retardateur	-
Type C	Accélérateur	-
Type D	Réducteur d'eau et retardateur	5%
Type E	Réducteur d'eau et accélérateur	5%
Type F	Superplastifiant	12%
Type G	Superplastifiant et retardateur	12%
Type S	Performance spécifique	-

10

10

Généralités

Autres normes encadrant les adjuvants courants

ASTM C1017

- Superplastifiants avec et sans retard de prise (béton fluide)

ASTM C260 et AASHTO M154

- Agent entraîneur d'air

ASTM D98

- Chlorure de calcium (accélérateur)

ASTM C1582/C1582M

- Inhibiteur de corrosion

ASTM C979/C979M

- Pigments de couleur

11

11

La grande famille des réducteurs d'eau

12

12

La grande famille des réducteurs d'eau

Les différents types de réducteurs d'eau

- Réducteurs d'eau standards (avec et sans retard de prise)
 - Réduction d'eau minimale 5%
 - Lignosulfonates, gluconates, sucres
- Réducteurs d'eau moyenne portée (mid-range)
 - Rencontrent généralement les spécifications ASTM C494 type A ou F
- Superplastifiants (avec et sans retard de prise)
 - Réduction d'eau minimale 12% et allant à plus de 30%
 - Polynaphtalène et polymélatamine sulfonates (PNS et PMS)
 - Polycarboxylate (PCP = PCE = PC)

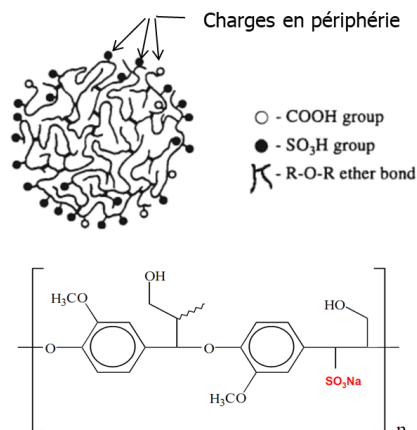
13

13

Réducteurs d'eau standards

Lignosulfonates

- Sous-produit de l'industrie des pâtes et papier
- Propriétés peuvent varier selon les essences de bois, la source disponible et le niveau de purification
- sucre → retard de prise
- tensio-actif → entraînement d'air
- Structure: pas un polymère linéaire, mais sous forme de microgel
- Utilisés dans les formulations des mid-ranges



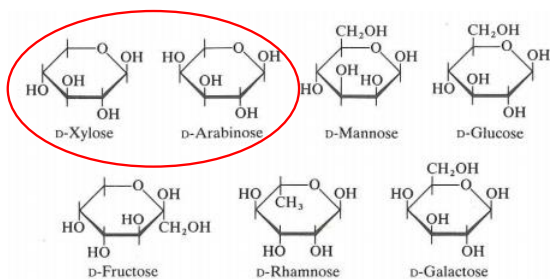
14

14

Réducteurs d'eau standards

Lignosulfonates

- Retard de prise dépend de la concentration en sucre



Types de sucre pouvant se retrouver dans les lignosulfonates

- Entraînement d'air
 - Concentration d'impuretés ayant un effet tensio-actif
 - Présence ou non d'un anti-mousse



Respecter les dosages recommandés par votre adjuvantier



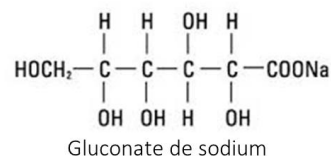
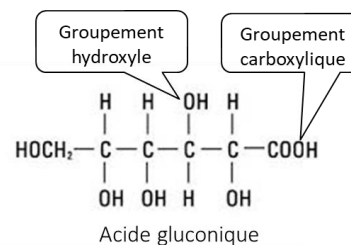
15

15

Réducteurs d'eau standards

Acides hydrocarboxyliques (dont les gluconates)

- Composés de groupements hydroxyles et carboxyliques.
- Le nombre de groupements varie selon la nature de l'acide hydrocarboxylique
- Utilisés dans l'alimentation et le pharmaceutique
- Créent plus de ressuage que les lignosulfonates
- Non-tensioactif
- Selon le dosage et la formulation: réducteur d'eau ou réducteur d'eau + retardateur

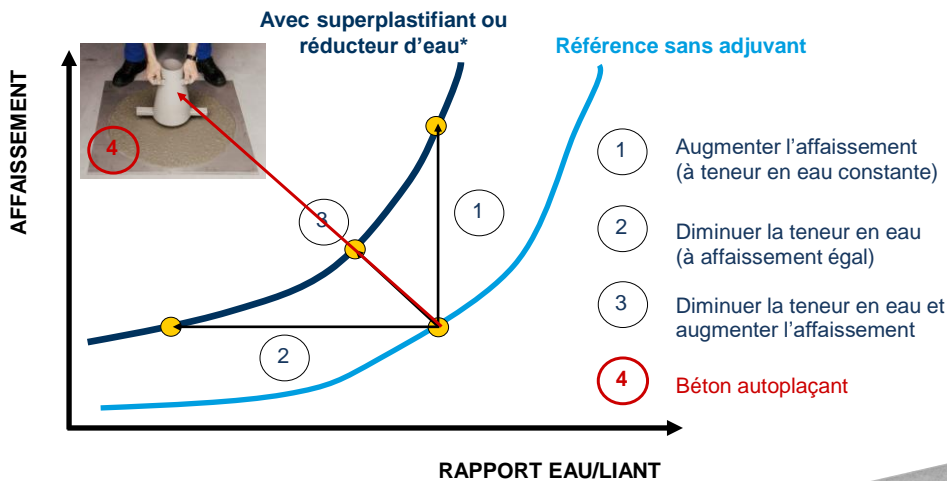


16

16

La grande famille des réducteurs d'eau

Trois principales façons de les utiliser

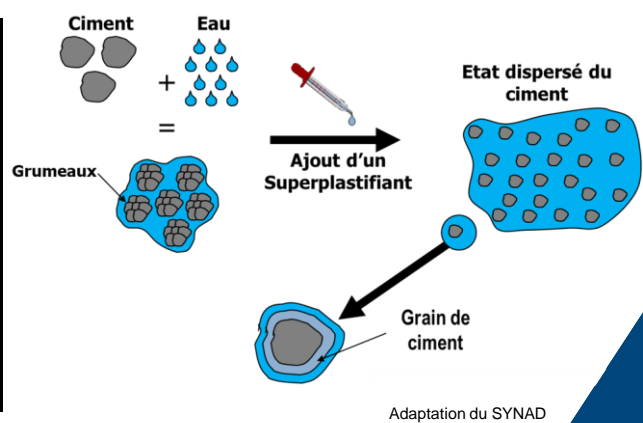
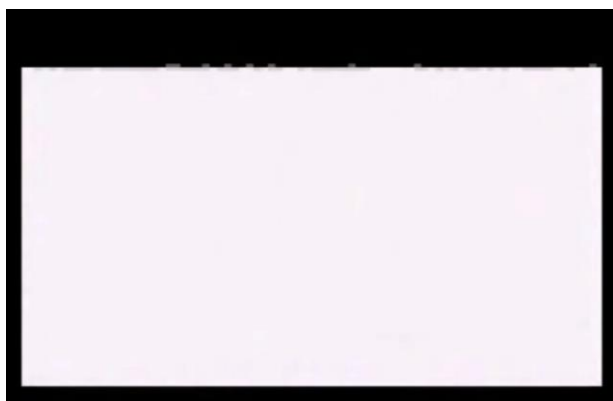


Note: la réduction d'eau et l'augmentation de la fluidité sont limitées pour les réducteurs d'eau standards (Type A)



La grande famille des réducteurs d'eau

Mode d'action: superplastifiant

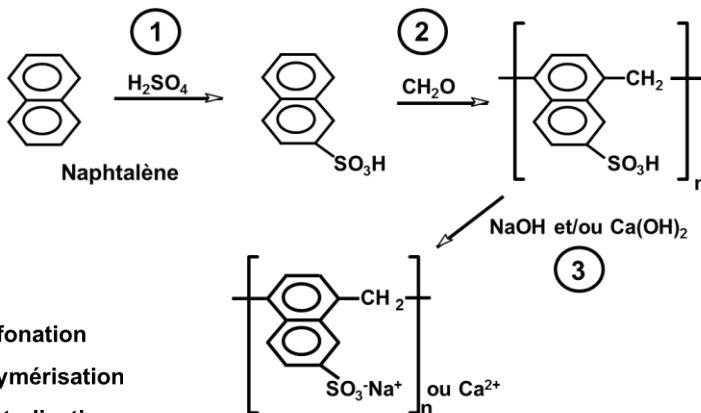


Adaptation de Lafarge



Polynaphtalène sulfonate (PNS)

Synthèse



1. Sulfonation
2. Polymérisation
3. Neutralisation
4. Filtration

Polynaphtalène sulfonate



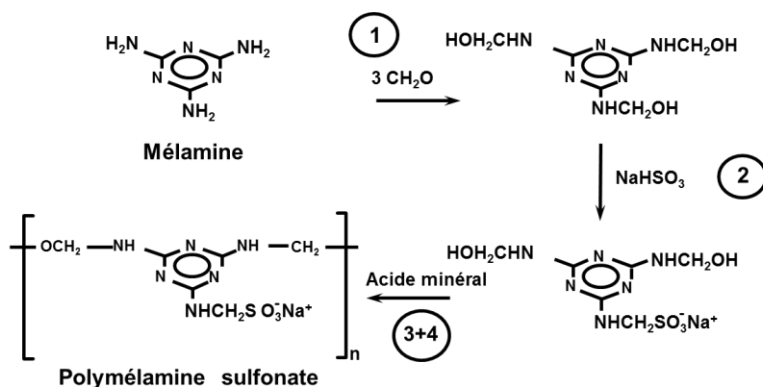
Adaptation: Les Polymères Ruetgers

19

19

Polymélamine sulfonate (PMS)

Synthèse



1. Méthylolation
2. Sulfonation
3. Polymérisation
4. Neutralisation

Polymélamine sulfonate



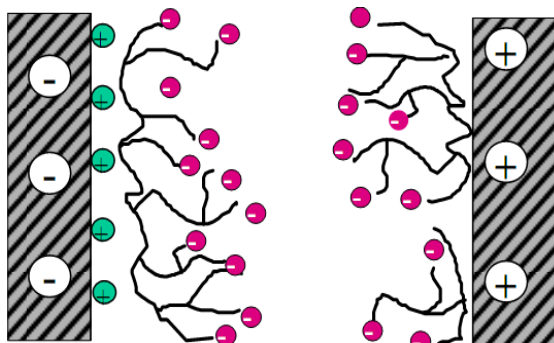
Adaptation: Les Polymères Ruetgers

20

20

La grande famille des réducteurs d'eau

Mode d'action des PNS et PMS



Répulsion électrostatique

Propriétés

- Maintien de la fluidité plutôt court (20 à 30 min);
- Effet généralement neutre sur l'air entraîné;
- Peu de configurations différentes.

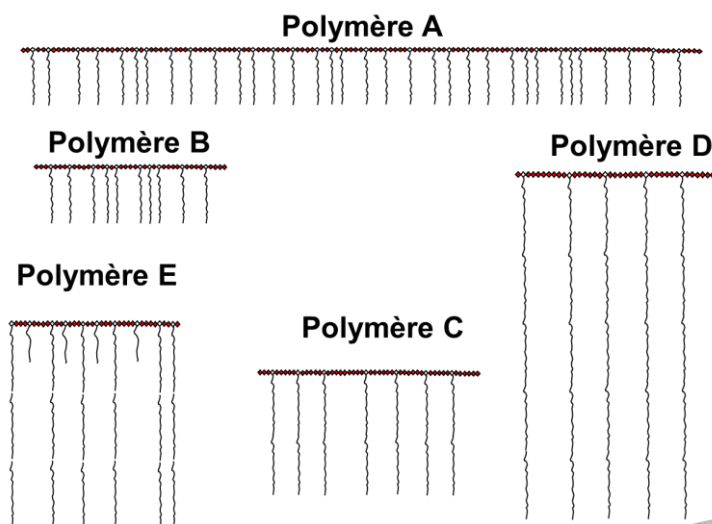
Note: les réducteurs d'eau dispersent généralement par répulsion électrostatique

21

21

La grande famille des réducteurs d'eau

Polycarboxylates



- Configuration adaptée selon :

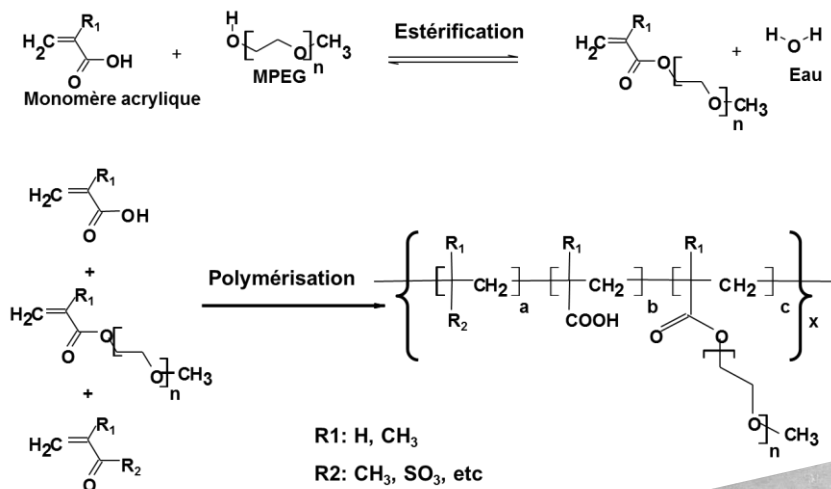
- Nature des liants
- Préfabrication vs BPE

22

22

Polycarboxylates

Synthèse



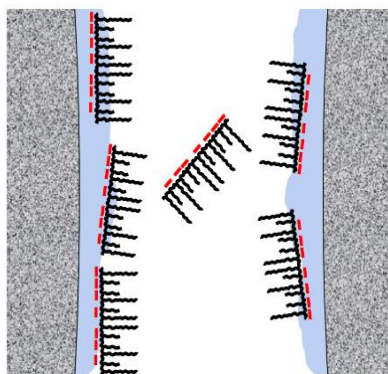
Adaptation: Les Polymères Ruetgers

23

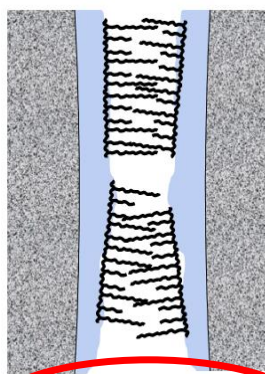
23

La grande famille des réducteurs d'eau

Configuration des polycarboxylates



Répulsion électrostatique



Répulsion stérique

• Propriétés

- Maintien de la fluidité d'environ 60 min (variable selon la configuration);
- Effet tensio-actif pouvant affecter l'entraînement d'air du béton;
- Plusieurs configurations possibles selon les propriétés recherchées

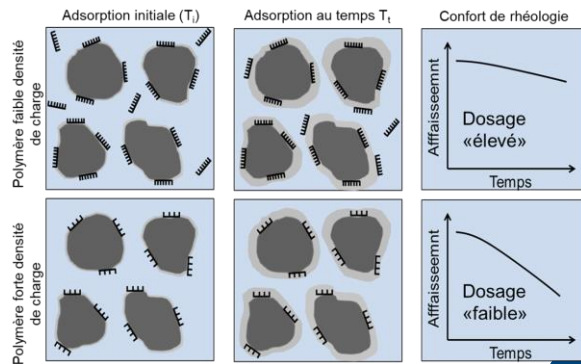
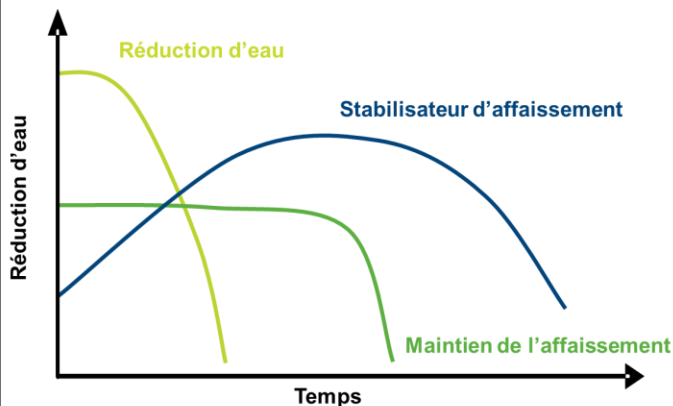
Source: Jolicoeur, UdeS

24

24

La grande famille des réducteurs d'eau

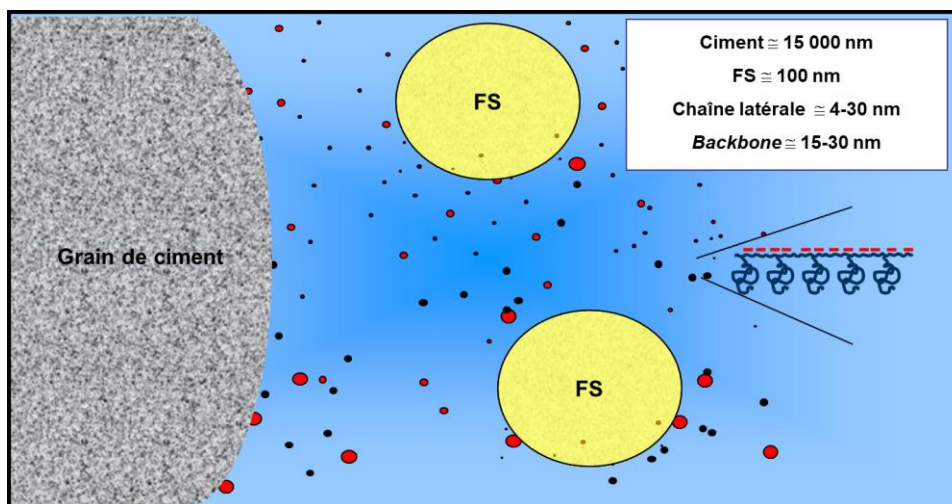
Polycarboxylates: réduction d'eau vs maintien de l'affaissement



Adaptation de Schmidt, Concrete Plant International – 4, 2012

La grande famille des réducteurs d'eau

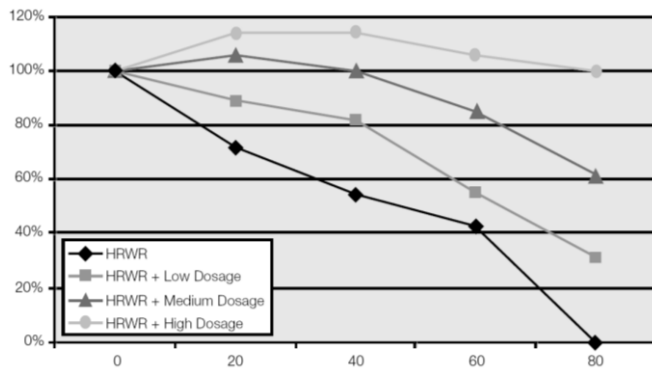
Représentation schématique des polycarboxylates dans le béton



La grande famille des réducteurs d'eau

Stabilisateurs d'affaissement

- Rétention et ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable;
- Niveaux modulables de rétention et de maniabilité selon le dosage;
- Améliore les résistances en compression en bas âge et à long terme;
- Procure une plus grande constance de l'ouvrabilité;
- Limite le nombre de corrections d'affaissement en chantier

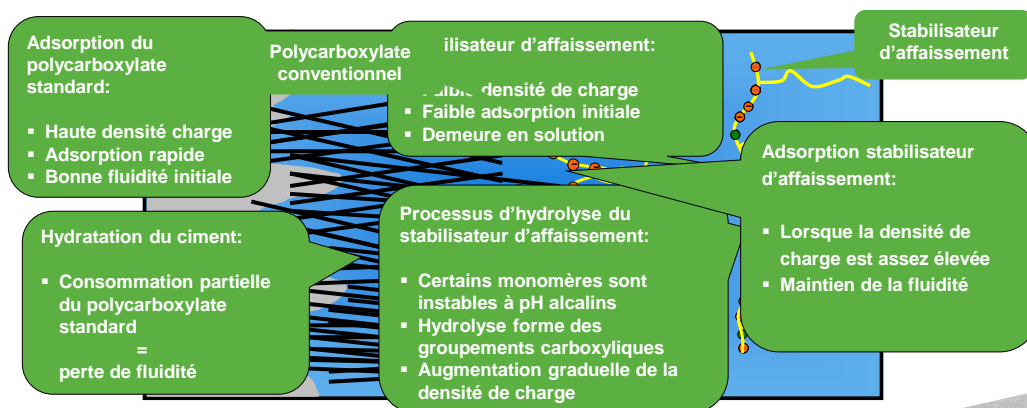


27

27

La grande famille des réducteurs d'eau

Mode d'action des stabilisateurs d'affaissement



28

28



29

29

Les agents entraîneurs d'air

Pourquoi utiliser les agents entraîneurs d'air?

- Fonction principale
 - Développer un réseau de bulles d'air microscopiques dans le béton afin d'offrir une protection contre les cycles de gel/dégel et aux agents de déglçage (écaillage).
- Autres fonctions
 - Résistances aux sulfates;
 - Résistance à la réactivité alcali-silice;
 - Améliorer l'ouvrabilité.



Crédit: SNC Lavalin GEM

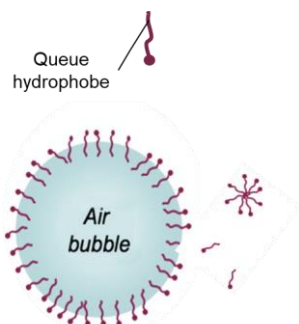
30

30

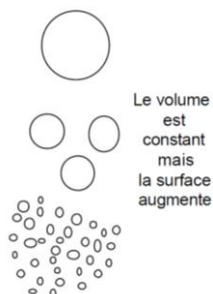
Les agents entraîneurs d'air

Modes d'action des agents entraîneurs d'air

- Tension actif (savon)



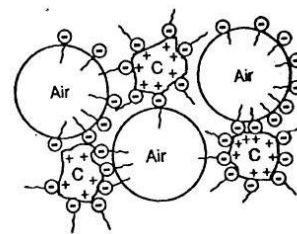
- Stabiliser les bulles d'air piégées par les turbulences générées lors du malaxage du béton



Énergie de malaxage croissante pour créer de nouvelles surfaces

En diminuant la tension superficielle de l'eau, on diminue l'énergie totale nécessaire pour fractionner les bulles

- Stabilisation par adsorption sur les grains de ciment



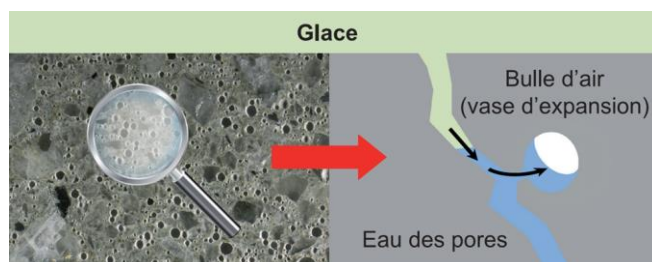
31

31

Les agents entraîneurs d'air

Modèle des pressions hydrauliques (Powers)

- En gelant, l'eau augmente de volume de 9% créant ainsi des efforts considérables de traction si l'expansion est restreinte.
- La formation de glace se fait graduellement en fonction :



- Diamètre des pores. L'eau gèle initialement dans les gros pores;
- La concentration des ions en solution dans l'eau augmente

- Les bulles d'air agissent comme des vases d'expansion pour l'eau poussée par la glace ou pour la glace elle-même.

32

32

Les agents entraîneurs d'air

Détermination du facteur d'espacement



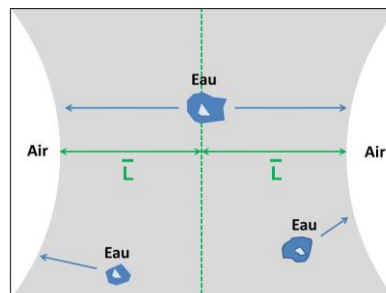
*Microscope utilisé pour l'essai



*Plaque de béton poli pour essai



*Vue au microscope



Lbarre pour béton standard:

- Moyenne : $\leq 230 \mu\text{m}$
- Aucun résultat $> 260 \mu\text{m}$

33

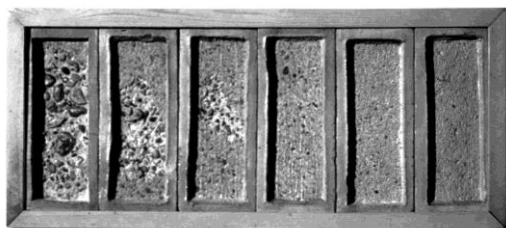
33

Les agents entraîneurs d'air

Résistance à l'écaillage (cycles de gel et dégel en présence de sels)

Echelle d'évaluation numérique de la désagrégation à l'écaillage du béton

Sévère 5 4 3 2 1 0
Modérée
Aucun



Sans air entraîné

% (pourcentage) croissant d'air entraîné

Avec air entraîné



Exemple d'écaillage sévère

34

34

Facteurs influençant l'entraînement d'air

Presque tout!!!

- Le rapport e/l
- Composition ciment, quantité et sa finesse
- Les autres adjuvants
- Les granulats (granulométrie, rapport sable/pierre)
- Matière organique (pertes d'huile, terre,...)
- Les pigments
- L'affaissement (viscosité)
- La vitesse de malaxage, le temps et le volume
- Le temps transport
- Le pompage
- Le mode de consolidation
- La finition
- La température
- La qualité de l'eau
- L'altitude

35

35

Les retardateurs de prise

36

36

Les retardateurs de prise

Domaines d'application des retardateurs de prise

- Coulage du béton en continu;
- Limiter la perte d'ouvrabilité;
- Limiter les risques de joints froids
- Coulage de béton par temps chauds;
- Transports sur longues distances;
- Pour les mises en place difficiles (ex.: coulage de piliers ou radiers);
- Différer la prise pour des finis spéciaux (ex.: granulats exposés).



Source: euclidchemical.com

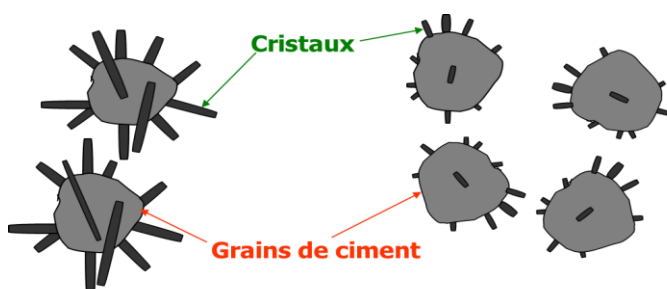
37

37

Les retardateurs de prise

Mode d'action simplifié des retardateurs de prise

- Ralentir la vitesse de réaction entre le ciment et l'eau en affectant le taux de croissance des produits d'hydratation et/ou réduire la vitesse de pénétration de l'eau sur les grains de ciments



Béton témoin

Béton retardé
Ralentissement de l'hydratation
des grains de ciment

État de l'hydratation
à 3 heures à 20 °C

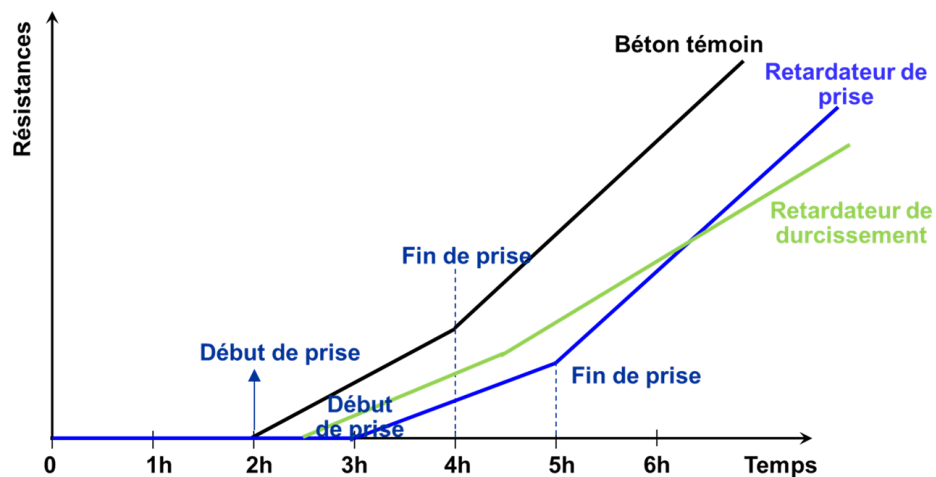
Adaptation du SYNAD

38

38

Les retardateurs de prise

Résultats typiques



Adaptation du SYNAD

39

39

Les accélérateurs de prise

40

40

Les accélérateurs de prise

Domaines d'application des accélérateurs de prise

- Accélérer le temps de prise, particulièrement par temps froids;
- Accélérer les opérations de finition;
- Réduire les temps de protection hivernale;
- Réduire le temps pour obtenir les résistances spécifiées;
- Réduire l'utilisation de l'eau chaude dans la fabrication du béton
- Augmenter la cadence de décoffrage;
- Réduire les coûts globaux de construction.



41

41

Les accélérateurs de prise

Deux principaux types d'accélérateurs de prise

Accélérateurs non-chlorés

- N'apporte pas des ions chlorure dans le béton comme le chlorure de calcium;
- N'entraîne pas la corrosion des aciers d'armature

Accélérateurs chlorés

- Augmentation du potentiel de corrosion, du retrait et de la réaction alcalis granulats;
- Diminution de la résistance aux sulfates;
- Peut causer une décoloration du béton (taches foncées et pâles).

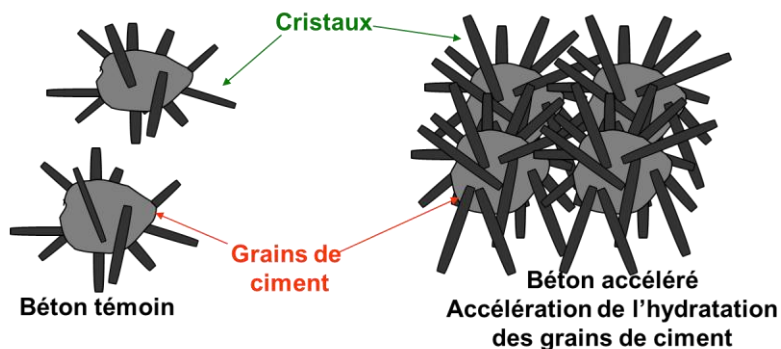
42

42

Les accélérateurs de prise

Mode d'action simplifié des accélérateurs de prise

- Accélérer le taux d'hydratation (prise) ainsi que l'augmentation de la résistance initiale du béton à jeune âge.



Ajout de Ca^{+2} :

- formation de $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- CSH

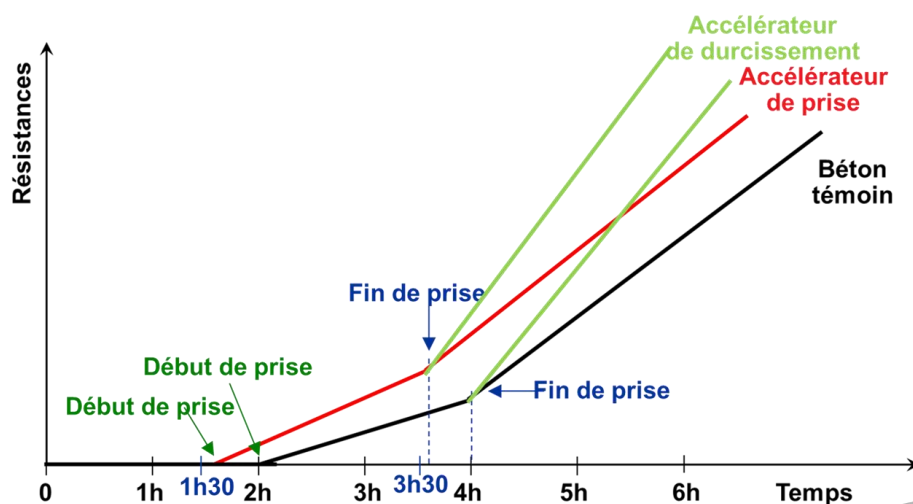
Adaptation du SYNAD

43

43

Les accélérateurs de prise

Résultats typiques



Adaptation du SYNAD

44

44

Les accélérateurs de prise

Important de souligner

- Les accélérateurs de prise ne sont pas vraiment des antigels.
- Ils accélèrent la prise pour éviter d'exposer le béton au gel à l'état frais

45

45



Les réducteurs de retrait

46

46

Les réducteurs de retrait

Les différents types de retrait:

- Retrait plastique
 - Évaporation de l'eau de gâchage en cours de prise
- Retrait endogène
 - Volumes des hydrates < (volume ciment + volume eau)
- Retrait de séchage
 - Évaporation de l'eau dans les capillaires fermés : formation de ménisques et tension sur le matériau
- Retrait thermique
 - Variation de température lors de l'hydratation

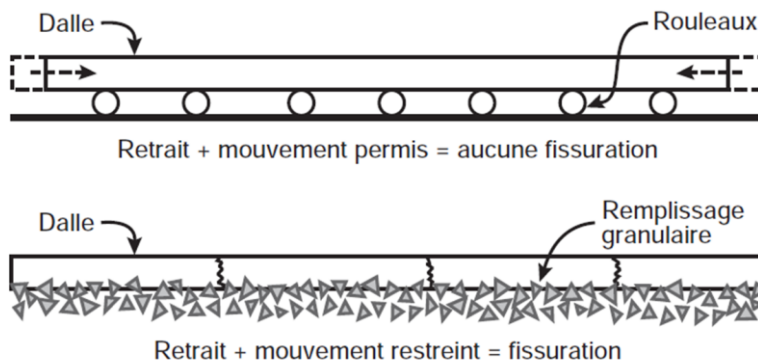
47

47

Les réducteurs de retrait

Fissuration due au retrait de séchage

Retrait et fissuration



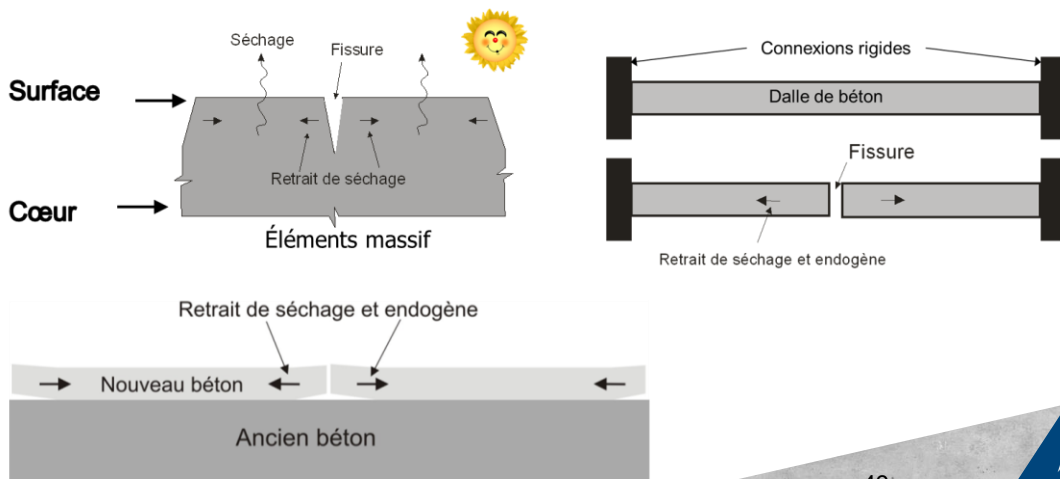
Source: Dosage et contrôle des
mélanges de béton (DCMB)

48

48

Les réducteurs de retrait

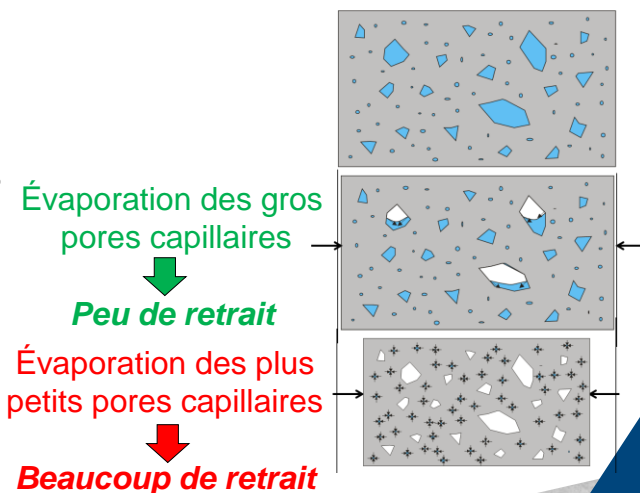
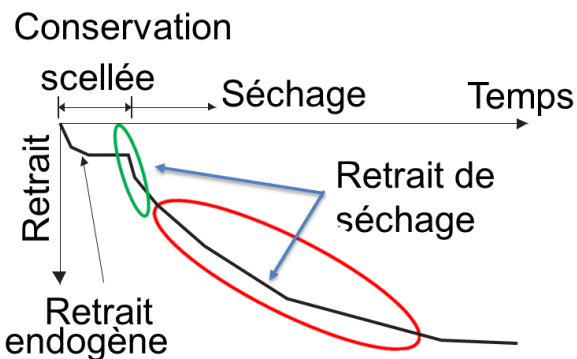
Les retraits empêchés sont une des principales causes de la fissuration des bétons



Source: Gagné et Lessard

Les réducteurs de retrait

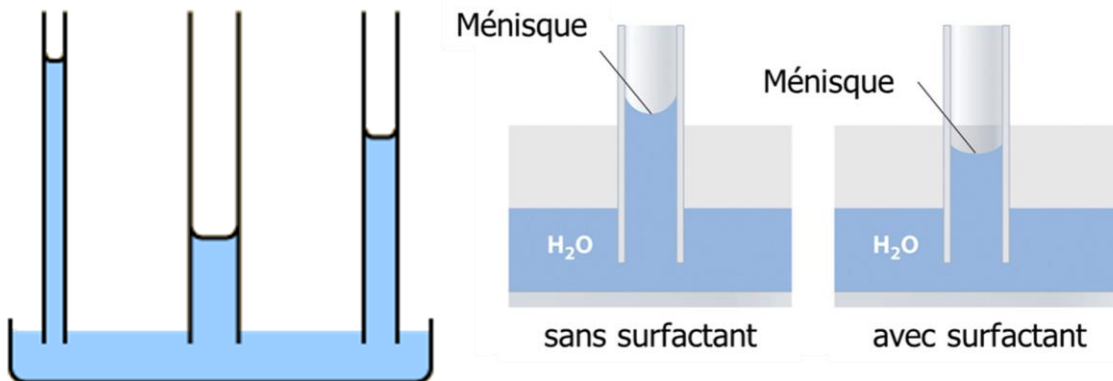
Fissuration due au retrait de séchage



Source: Gagné et Lessard

Les réducteurs de retrait

Capillarité et tension de surface



Crédit : Sweet Random Science

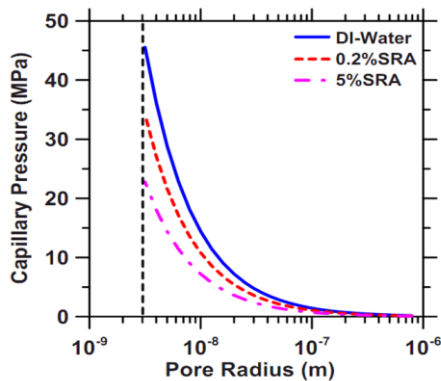
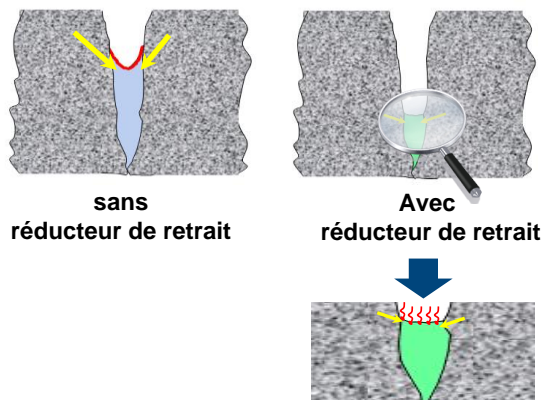
51



51

Les réducteurs de retrait

Réduire la tension de surface de l'eau interstitielle



Source: Gaurav Sant & all., 2010

➔ Réduction des tensions internes dues aux ménisques

Adaptation: Jolicoeur

52



52

Les réducteurs de retrait

À surveiller

- **Entraînement d'air:**
 - Les AEA et les agents réducteurs de retrait fonctionnent sur des mécanismes similaires: réduction de la tension de surface de l'eau.
- **Durabilité au gel/dégel et écaillage**
 - Consulter votre adjuvantier pour utiliser le bon produit et choisir une formule de mélange adaptée;
 - Certaines études démontrent une baisse de durabilité à l'écaillage.
- **Résistance à la compression:**
 - Une perte de résistance jusqu'à 15% à 28 jours peut être observée;
 - Compenser en abaissant le e/l.

53

53

Les agents expansifs

54

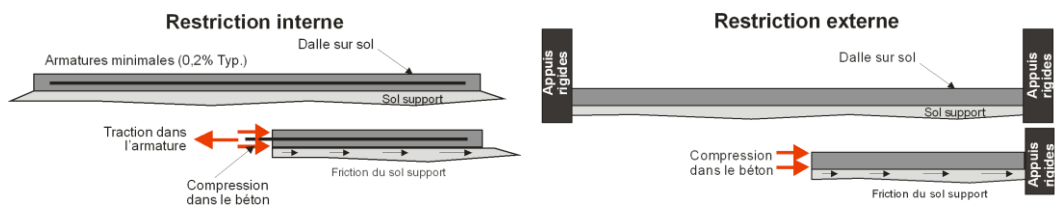
54

Les agents expansifs

L'agent expansif à base de CaO ou MgO

• Mécanisme d'action

- Le CaO ou MgO contenu dans l'agent expansif interne réagit avec l'eau présente dans le béton pour former respectivement du Ca(OH)_2 et du Mg(OH)_2 , qui provoque l'expansion contrôlée du béton après la prise du béton et durant son durcissement. Mûrissement à l'eau important!



Source: Gagné et Lessard

55

55

Les agents expansifs

Recommandations

- Mûrissement à l'eau 7 jours
 - Essentiel au départ pour assurer la présence d'assez d'eau dans le béton pour permettre la réaction.
- Pour les bétons dans un environnement confiné ou avec au moins 0,2% d'acier d'armature
 - le béton ou l'acier d'armature est en quelque sorte en précontrainte et viendra alors contre les tensions provoquées par les retraits du béton.



Source: Gagné et Lessard

56

56

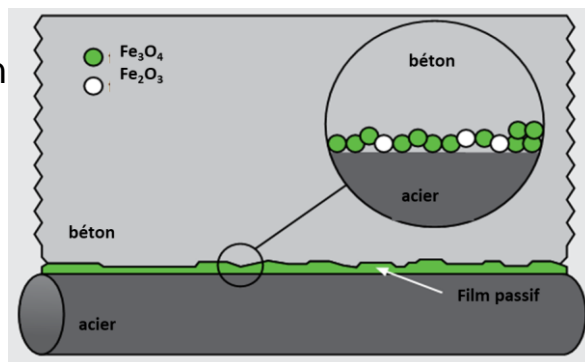


57

Les inhibiteurs de corrosion

Béton sain: bonne protection contre la corrosion

- Le béton est un milieu très alcalin (pH=13) et assure alors la protection de l'acier.
- Une mince couche d'oxyde, ou film passif (solution solide de Fe_3O_4 - Fe_2O_3 dont l'épaisseur est de 10^{-3} à 10^{-1} μm), se forme et protège la barre d'armature.
- La corrosion des aciers d'armature peut débuter si le film passif est détruit ou si les pH de la solution interstitielle devient trop faible.



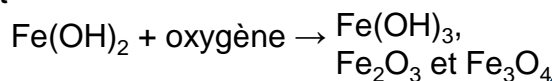
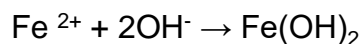
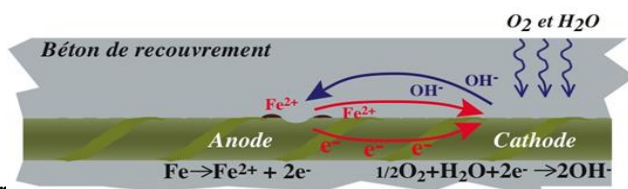
58

58

Les inhibiteurs de corrosion

Les étapes de la corrosion de armatures

- Dépassivation progressive de l'acier par essentiellement:
 - carbonatation (baisse du pH);
 - pénétration des ions chlorure.
- Propagation de la rouille produite par des réactions d'oxydation à la surface du métal. Formation produits fortement gonflants (6x).
- Aux endroits où la couche a été détruite, l'acier se dissout (zone anodique), alors que le reste de la surface encore passivée correspond à la zone cathodique.



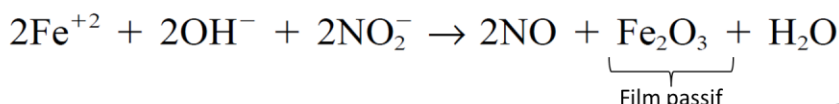
59

59

Les inhibiteurs de corrosion

Nitrite de calcium

- Forme d'inhibiteur de corrosion qui agit au niveau des sites anodiques.
- Les nitrites permettent aux ions ferreux de retrouver un état de passivation aux endroits où le film passif a été détruit par la carbonatation ou par les ions chlorure.
- Les nitrites permettent de reformer un film passif, même si la concentration en ions chlorure est supérieure au seuil critique d'initiation de la corrosion.
- Le nitrite de calcium a une fonction secondaire d'accélérateur de prise.



Pour obtenir une protection adéquate il est très important de maintenir un rapport $\text{Cl}^-/\text{NO}_2^- < 1,5 - 1,0$

60

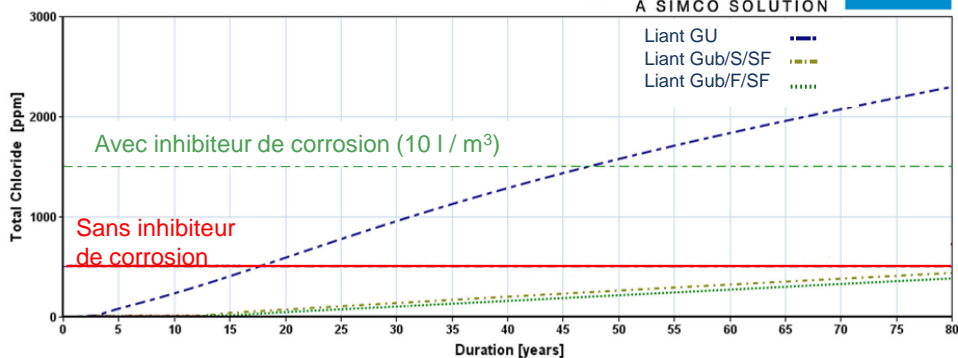
60

Les inhibiteurs de corrosion

Augmentation du seuil critique de la concentration en ions chlorures

Content vs. Time at 75.0 [mm]

STADIUM® SIMCO
A SIMCO SOLUTION



61

Association
Béton
Québec
LA référence

61

Adjuvants modificateurs de viscosité

62

Association
Béton
Québec
LA référence

62

Les adjuvants modificateurs de viscosité

Définition



bronzoperasso.fr



theconstructor.org

- Substance composée d'une longue chaîne de molécules de polymères qui, mélangée au béton, modifie la viscosité (cohésion) du mélange. Ces agents sont généralement utilisés dans le béton autoplaçant ou comme agents anti-lessivage dans le béton coulé sous l'eau.

63

63

Les adjuvants modificateurs de viscosité

Applications

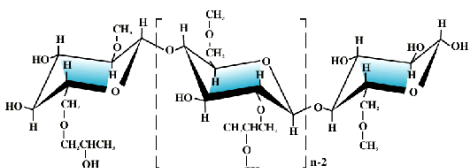
- Réduction de la ségrégation des BAP
- Réduire le ressuage
- Réduction de la friction et de la pression lors du pompage
- Réduction du lessivage lors du bétonnage sous l'eau
- Compenser une mauvaise granulométrie, particulièrement en manque de fin
- Réduction du volume de poudre dans les bétons autoplaçants
- Amélioration de la compaction dans les bétons à faible affaissement

64

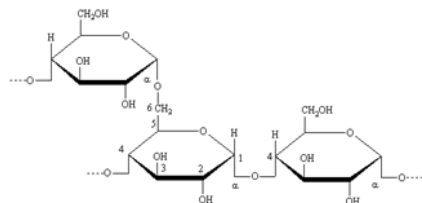
64

Les adjuvants modificateurs de viscosité

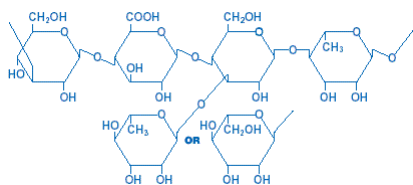
Principaux adjuvants modificateurs de viscosité



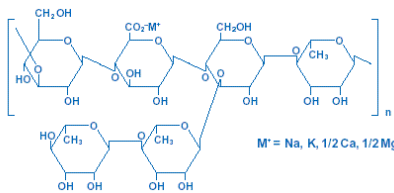
Cellulose (ex:HPMC)



Amidon



Gomme Welan



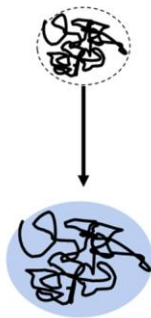
Gomme Diutan

65

65

Les adjuvants modificateurs de viscosité

Modes d'action des agents viscosants (1/2)



Gonflement et rétention d'eau

Formation d'un réseau-gel de macromolécules



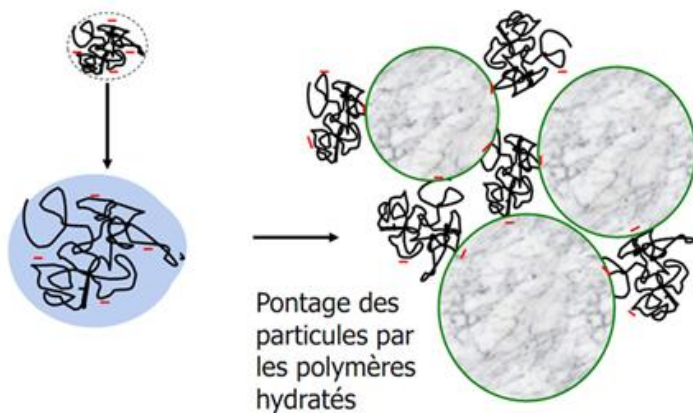
Source: Jolicoeur (UdeS)

66

66

Les adjuvants modificateurs de viscosité

Modes d'action des agents viscosants (2/2)



Source: Jolicoeur (UdeS)

67

67

Les imperméabilisants cristallins

68

68

Les imperméabilisants cristallins

Mode d'action



- Bouche pore cristallin
- Technologie d'autocicatrisation
- Consiste en des produits chimiques et du sable siliceux



- Produits chimiques cristallins réagissent avec les produits de l'hydratation du ciment et l'eau (humidité)



- Une structure cristalline se forme en bloque les pores capillaires et les vides et micro fissures
- Un manque d'humidité va stopper la réaction (réactivée en présence d'eau)



- Très performant lorsque la structure est exposée à l'eau en permanence

69

69

QUESTIONS

code:

Superplastifiant



70

70