

Technologie du béton – GCI 340

Ammar Yahia, ing., Ph.D.
Génie civil

Automne 2011

CHAPITRE 4 : Adjuvants (ajouts chimiques)

- Comprendre le rôle des réducteurs d'eau, SP et AEA dans le béton
- Étudier leurs mécanismes d'action dans le béton
- Comprendre leurs effets sur les propriétés rhéologiques et mécaniques
- Introduire la notion de compatibilité/incompatibilité avec le ciment

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

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

Ils sont des produits organiques et inorganiques utilisés en petite quantité pour:

- modifier certaines propriétés du béton
- compenser certaines déficiences

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

- **Classification**
- **Surfactants (0.05% à 0.4%, nouveaux 2%)**
- **Adjuvants chimiques (RD, SP, etc.) – 1 à 4% de la masse de ciment**
- **Ajouts minéraux -- > 15% de la masse de ciment**

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

Classification selon leur fonction...

.... Selon leur rôle/effet dans le béton

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

- Classification difficile – un grand nombre et certains adjuvants peuvent avoir plus d'une fonction – fonction principale!!
- Classification basée sur la fonction principale de l'adjuvant

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

- 1. Les entraîneurs d'air**
- 2. Les réducteurs d'eau**
- 3. Les superplastifiants**
- 4. Les accélérateurs**
- 5. Les retardateurs**
- 6. Les inhibiteurs de corrosion**
- 7. Les réducteurs de retrait**
- 8. Les inhibiteurs de réaction alcalis-silice**
- 9. Les adjuvants pour colorer le béton**
- 10. Autres (adhérence, étanchéité, plasticité)**

Classification

- 1. Adjuvants qui modifient la rhéologie**
 - a. Réducteurs d'eau: plastifiants et superplastifiants**
 - b. Les viscosants**

- 2. Adjuvants qui modifient la prise**
 - a. Les accélérateurs**
 - b. Les retardateurs**

Classification

- 3. Adjuvants entraîneurs d'air dans le mélange**
 - a. Adjuvants entraîneurs et desentraîneurs d'air**
 - b. Adjuvants producteurs de mousse**

- 4. Adjuvants qui modifient la résistance du béton aux attaques physiques et chimiques**
 - a. Adjuvants antigel**
 - b. Inhibiteurs de corrosion**

Classification

5. Adjuvants expansifs

6. Autres – colorants, etc.

Tableau 7-1. Adjuvants du béton par catégories

Type d'adjuvant	Effet désiré	Constituants
Accélérateurs (chlorés) CSA A266.2 type AC	Accélèrent la prise et la résistance initiale.	Chlorure de calcium
Accélérateurs (non chlorés)	Accélèrent la prise et la résistance initiale.	Triéthanciamine, thiocyanate de sodium, formiate de calcium, nitrite de calcium, nitrate de calcium
Désentraîneurs d'air	Diminuent la teneur en air.	Tributylphosphate, dibutylphthalate, alcool octylique, esters insolubles dans l'eau des acides carbonique et borique, silicones.
Entraîneurs d'air CSA A266.1 AEA	Améliorent la durabilité en conditions de gel-dégel, en présence d'agents de déglacage et de sulfates. Améliorent l'ouvrabilité.	Sels de résines de bois (résine Vinsol). Certains détergents synthétiques. Sels de lignine sulfonatée. Sels d'acides du pétrole. Sels de substances protéiniques. Acides gras et résineux et leurs sels. Sulfonates de benzène d'alkyle. Methyl ester-dérivé de cocamide diéthanolamine. Sels d'hydrocarbures sulfonates.
Adjuvants d'adhérence	Augmentent l'adhérence.	Caoutchouc, chlorure de polyvinyle, acétate de polyvinyle, acryliques copolymères de butadiène-styrène.
Colorants (ASTM C979)	Béton coloré.	Noir de carbone modifié, oxyde de fer, phtalocyanine, terre de sienne, oxyde de chrome, oxyde de titane, bleu de cobalt
Inhibiteurs de corrosion	Réduisent la corrosion de l'acier en présence de chlorures.	Nitrite de calcium, nitrite de sodium, benzoate de sodium, certains phosphates ou fluosilicates, fluoaluminates, chromates de potassium.
Hydrofuges	Retardent la pénétration de l'humidité dans le béton sec.	Savons de calcium, de stéarate ou d'oléate d'ammonium. Stéarate de butyle. Produits à base de pétrole.
Fongicides, germicides et insecticides	Inhibent ou contrôlent la croissance bactérienne et fongique.	Phénols polyhalogénés. Émulsions de Dieldrine. Composés de cuivre.
Agents moussants	Provoquent de la dilatation avant la prise.	Poudre d'aluminium. Savon de résine et colle végétale ou animale. Saponine. Protéines hydrolysées.
Agents d'injection	Ajustent les caractéristiques du coulis pour certaines applications.	Voir Entraîneurs d'air, Accélérateurs, Retardateurs, Fluidifiants
Imperméabilisants	Réduisent la perméabilité	Ajouts cimentaires (CSA A23.5). Latex.
Agents de pompage	Améliorent la pompabilité	Polymères organiques et synthétiques. Floculants organiques. Émulsions organiques de paraffine, de goudron, d'asphalte, d'acryliques. Bentonite et silices pyrogènes. Pouzzolanes naturelles (CSA A23.5, type N). Cendres volantes (CSA A23.5, types F et C). Chaux hydratée (ASTM C141).
Retardateurs (CSA A266.2, types R et RX)	Retardent la prise	Sodium, calcium de sels de triéthanolamine d'acide adipique ou acide gluconique hydrogéné et leurs modifications ou dérivés.
Adjuvants augmentant la résistance (CSA A266.2 types SN, SR)	Augmentent la résistance sans affecter de façon significative la demande en eau.	Hydrate de carbone (de type polyoxacide). Le Type SN contient un accélérateur (chlorure de calcium ou triéthanolamine).
Superplastifiants* (CSA A266.6 type SPN)	Béton qui s'écoule bien. Réduire le rapport eau/ciment.	Condensats de mélamine-formaldéhyde sulfonatée. Condensats de naphthalène-formaldéhyde sulfonatée.
Superplastifiants et retardateurs (CSA A266.6 type SPR)	Béton qui coule bien et à prise retardée. Réduire la quantité d'eau.	Voir Superplastifiant et Réducteur d'eau.
Réducteurs d'eau (CSA A266.2 type WN) RD	Réduire la quantité d'eau nécessaire d'au moins 5%.	Lignosulfonates. Acides carboxyliques hydroxyliés. Hydrates de carbone (tendent aussi à retarder la prise, de sorte qu'on ajoute souvent un accélérateur).

WN = prise normale

CHAPITRE 4 : Adjuvants du béton

La norme CSA A23.1, Béton : Constituants et exécution des travaux, renvoie à la norme ASTM lorsqu'elle fait référence aux exigences pour les agents entraîneurs d'air et les adjuvants chimiques.

Béton de qualité...

... meilleure performance et longue durée de service

- **Le béton doit être maniable – malaxage, mise en place**
- **Le béton doit être facile à finir**
- **Le béton doit être résistant, étanche et durable**
- **Le béton doit être résistant à l'usure**

On utilise les adjuvants pour:

- Réduire le coût de construction en béton!!**
- Obtenir des propriétés spécifiques du béton plus facilement que l'utilisation d'autres moyens**
- Assurer la qualité du béton dans des conditions météorologiques défavorables**
- Répondre à des besoins urgents durant le bétonnage**

Efficacité d'un adjuvant:

- **Une bonne compréhension de ses effets!!**
- **facteurs de formulation:**
 - ✓ **le type et le dosage en liant,**
 - ✓ **la teneur en eau,**
 - ✓ **la forme et la granulométrie des granulats,**
 - ✓ **le temps et l'énergie de malaxage,**
 - ✓ **l'affaissement désirée et la température du béton**

Évaluation des adjuvants:

- Assurer la conformité avec les spécifications
- Évaluer l'uniformité du produit: essais sur coulis (rhéologie) ou sur béton, etc.
- réaliser des mélanges d'essais avec les mêmes matériaux et mêmes conditions de température et d'humidité
 - effet et efficacité des adjuvants
 - observer la compatibilité de l'adjuvants avec les autres adjuvants et liant!
 - évaluer les propriétés du béton frais et durci



EUCLID CANADA

2835, Grande-Allée, Saint-Hubert (Québec) J4T 2R4
Tél. : (450) 465-2233 • 1 800 667-0920 • Téléc. : (450) 465-2140
www.euclidchemical.com

PLASTOL 5000

**SUPERPLASTIFIANT À PRISE NORMALE
ASTM C 494 TYPE A et F**

PRODUITS DE CONSTRUCTION

VOX

POUR UN ENVIRONNEMENT SAIN

PLASTOL 5000 est un superplastifiant liquide pour le béton à base de polycarboxylate issu des plus récents développements technologiques. **PLASTOL 5000** permet d'augmenter la résistance du béton à jeune âge ainsi que sa résistance ultime. **PLASTOL 5000** peut être utilisé pour augmenter l'affaissement à rapport eau/liant constant ou pour réduire la demande en eau pour un même affaissement. **PLASTOL 5000** peut être ajouté autant à l'usine qu'au chantier. **PLASTOL 5000** ne contient pas d'ion de chlorure.

CARACTÉRISTIQUES/AVANTAGES

- Permet la production d'un béton pouvant avoir un rapport eau liant beaucoup plus faible, ce qui produira un béton plus imperméable.
- Permet la production d'un béton autoplaçant* qui réduit les coûts reliés à la main d'oeuvre.
- Accélère le gain de résistance permettant un décoffrage ou une mise en service rapide.
- Permet d'obtenir une résistance élevée à jeune âge réduisant ainsi les coûts associés à la cure accélérée en préfabrication ou au chauffage en chantier.
- Facilite le maintien de l'affaissement sur une plus longue période de temps.

DOMAINES D'APPLICATION

- Béton de haute performance
- Béton autoplaçant*
- Béton préfabriqué
- Béton avec faible rapport eau/liant
- Béton à haute résistance initiale

* **PLASTOL 5000 SCC** doit être utilisé au lieu du **PLASTOL 5000** dans le cas des bétons autoplaçants.

DONNÉES TECHNIQUES

Données d'ingénierie typiques

Les résultats suivants proviennent d'essais réalisés en laboratoire.

Résistances à la compression (MPa)

	Référence	PLASTOL 5000
1 jour	11,9	18,0
3 jours	21,2	29,4
7 jours	25,2	37,4
28 jours	32,0	42,8
6 mois	38,4	52,1
1 an	40,6	55,2

Résistances à la flexion (MPa)

	Référence	PLASTOL 5000
3 jours	3,3	4,6
7 jours	4,0	5,0
28 jours	4,3	5,4

Temps de prise

	Référence	PLASTOL 5000
Initiale	4h49	4h30
Finale	6h19	5h54

Facteur de durabilité relative 101,9%

DOSAGES RECOMMANDÉS

200 à 2000 mL/100 kg de liant.

Le dosage de **PLASTOL 5000** dépend de plusieurs facteurs tels que:

- Le rapport eau/liant
- L'affaissement initial
- L'affaissement recherché
- La quantité et les caractéristiques du liant
- La température ambiante et celle du béton

Si nécessaire, des rajouts peuvent être effectués au béton frais afin de maintenir l'affaissement désiré.

COMPATIBILITÉ

PLASTOL 5000 est compatible avec la gamme des adjuvants **EUCLID**, sauf les adjuvants à base de naphthalène.

MODE D'EMPLOI

PLASTOL 5000 peut être ajouté au béton à l'usine et/ou au chantier selon les besoins.

L'ajout de PLASTOL 5000 vers la fin du cycle de malaxage augmente son action fluidifiante ainsi que la dispersion des grains de liant.

ASSISTANCE TECHNIQUE

Votre représentant EUCLID est en mesure d'apporter une aide technique à votre entreprise.

SPÉCIFICATIONS/CONFORMITÉS

PLASTOL 5000 est conforme aux exigences de la norme ASTM C 494 Type F.

PLASTOL 5000 est approuvé par le ministère des Transports du Québec (MTQ).

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Densité relative à 25° C	1,070
Solides	31,0%
Valeur du pH	8,5

DISPONIBILITÉ

En vrac, par camion-citerne.

En contenants de 1000, 205 et 20 litres.

SÉCURITÉ/MANUTENTION

Produit non réglementé S.I.M.D.U.T.

Consulter la fiche signalétique.

PRÉCAUTIONS/LIMITATIONS

Durée de conservation : 2 ans dans son contenant d'origine non ouvert.

Éviter le gel

Fiche Plastol 5000-8.04



Fiche technique

Description: Un liquide brun foncé, non toxique; une solution concentrée de résines de Vinsol neutralisées. Rencontre les normes américaines ASTM C-260; Corps of Engineers CRD-C-13; Bureau of Public Roads (février 1954); Bureau of Reclamation (15 mai 1962).

Avantages:

- Augmente la résistance à l'écaillage et aux dommages causés par le gel.
- Augmente la maniabilité des mélanges difficiles.
- Améliore l'apparence du béton architectural. → ↓ *ressuage et ségrégation*

Où Utiliser: Un adjuvant pour le béton augmentant la maniabilité et la résistance au gel.

Dosage: 35 ml à 105 ml pour chaque 100 kg de ciment afin de produire 4% à 6% d'air occlus. Vérifier le pourcentage d'air avec un appareil à mesurer l'entraînement d'air et ajuster en conséquence.

Durée d'entreposage: Indéfinie. Gèle à -1°C. Protéger contre le gel. Jeter si gelé.

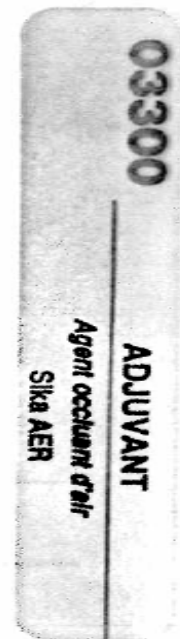
Emballage: Seau de 20 litres et baril de 200 litres ou en vrac.

MODE D'EMPLOI

Ajouter le Sika AER soit manuellement ou au moyen d'un doseur automatique à l'eau de gâchage ou au sable, mais en aucun cas au ciment.

Restrictions: *important* Ne pas pré-mélanger le Sika AER avec d'autres adjuvants liquides. Ajouter le Sika AER à l'eau de gâchage et les autres adjuvants au sable. Assurer que chaque adjuvant soit ajouté de dispensateur différent.

TENIR HORS DE LA PORTÉE DES ENFANTS



ASTM C494 – réducteurs d'eau

- 1. Réduction de 5% (min) - efficacité faible (ex. Lignosulfonate)**
 - **Type A = normal**
 - **Type D = RE et retardateur**
 - **Type E = RE et accélérateur**
- 2. Réduction de 12% (min) – efficacité élevée (polymère synthétique: SP, polynaphtalène, mélamine, acrylate, etc.)**
 - **Type F = normal**
 - **Type G = REE et retardateur**

Réducteurs d'eau - 1ere génération de dispersant

- 1. Réduction d'eau – 5 à 10% (même affaissement – plus économique, moins de ciment (E/C = fixe, moins de retrait!)**
- 2. Réduction d'eau et plus de résistance (E/C plus faible)**
- 3. Action plastifiant – même teneur en eau, maniabilité meilleure, pompage, trémie!**

Réducteurs d'eau - 1ere génération de dispersant

1. **Plusieurs RD sont modifiés pour régulariser (accélérer ou retarder) le temps de prise du béton**
2. **Les lignosulfonates (déchet des usines de pâte et papier), acide carboxylique hydroxydés (gluconate) = réducteur d'eau qui dispersent les grains de ciment et libère l'eau entrappée entre les grains de ciment**
3. **Ces produits contiennent des impuretés (sucre = retarde, agent moussant (lignin = entraîne de l'air – donc difficile de réduire le $E/C > 0.45$**

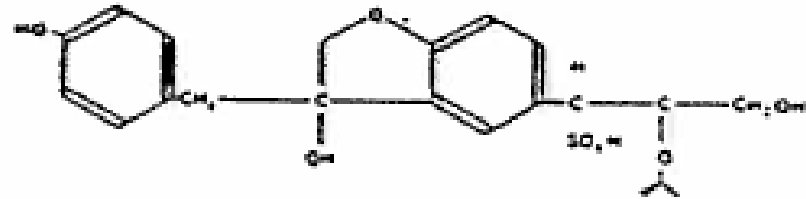
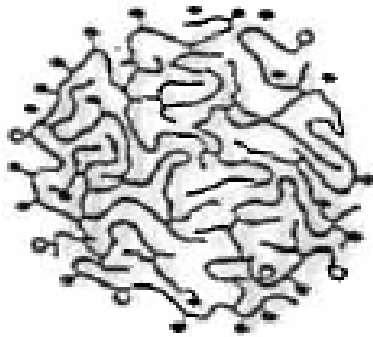
Superplastifiants (super dispersant)

1. Action réducteur d'eau – 10 à 30%

- Pour un même affaissement (réduction de C)
- Améliore l'affaissement (rapport E/C fixe)
- Les deux
- Cas du BHP??
- Possibilité de faire des béton de $E/C = 0.24!!$

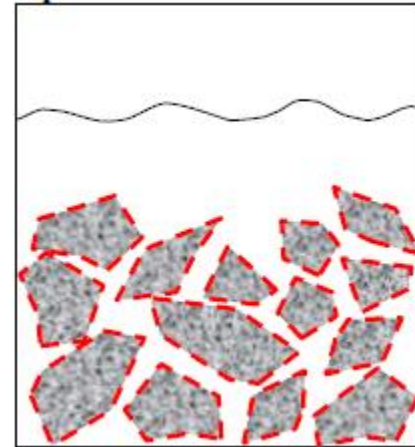
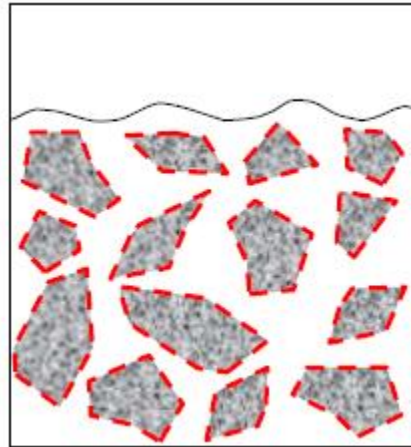
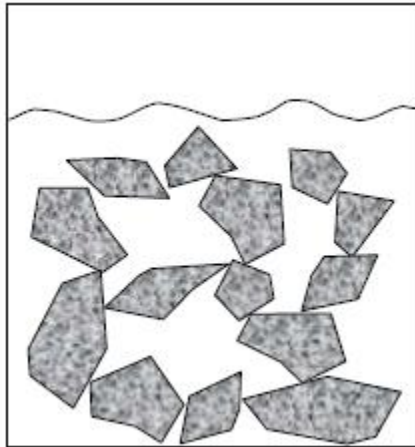
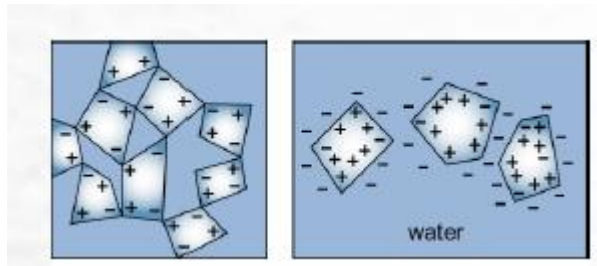
Nouvelle génération!!

Molécule de lignosulfonate

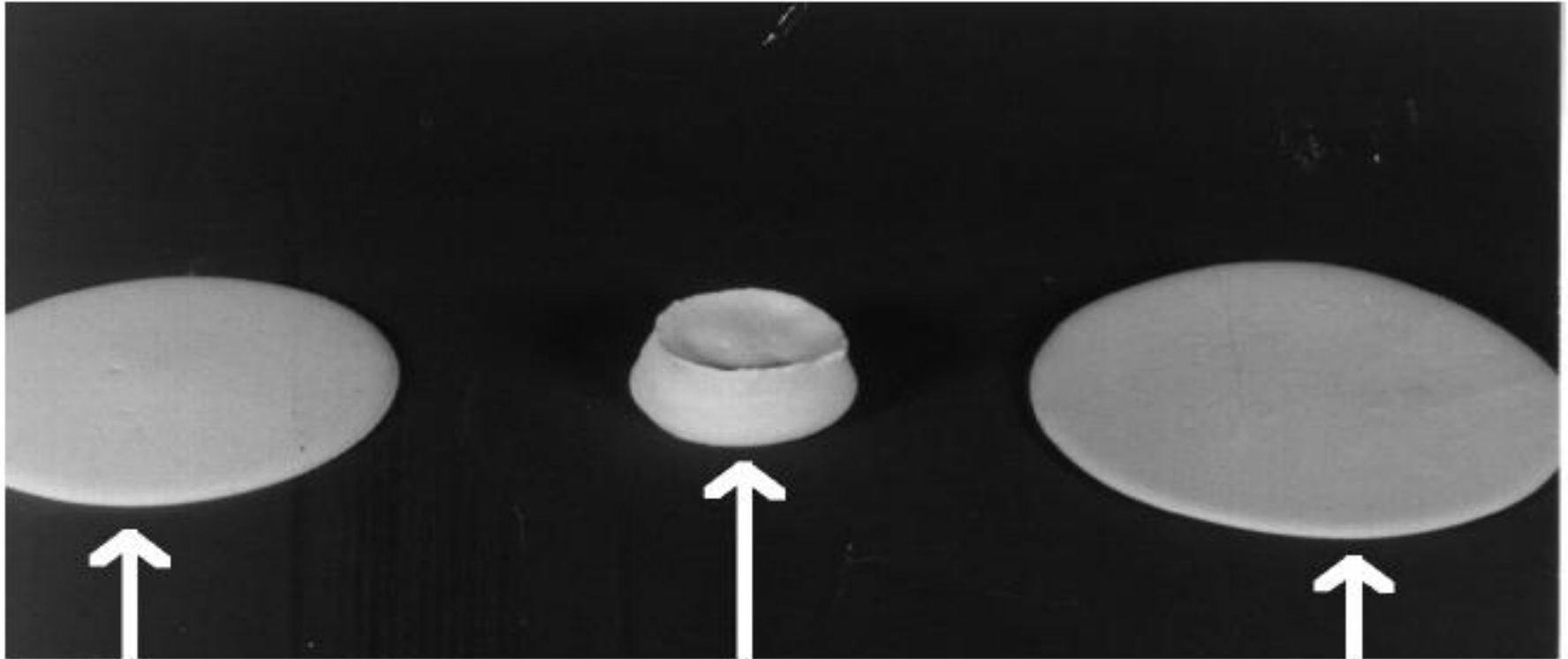


Molécule de lignosulfonate

- Groupe COOH
- Groupe SO₃H
- ⋈ Liaison éther R-O-R



- Lors de l'absorption, les extrémités polaires négatifs des molécules (RD ou SP) s'orientent vers la solution (au lieu vers le solides) et causent une répartition des charges sur les grains de ciment qui réduisent 1) la tension superficielle de l'eau dans la solution et 2) force de répulsion entre les grains de ciment – système dispersé



+10 % water



Mineral Paste



+0.1 wt% PNS

Jolicoeur, UdeS

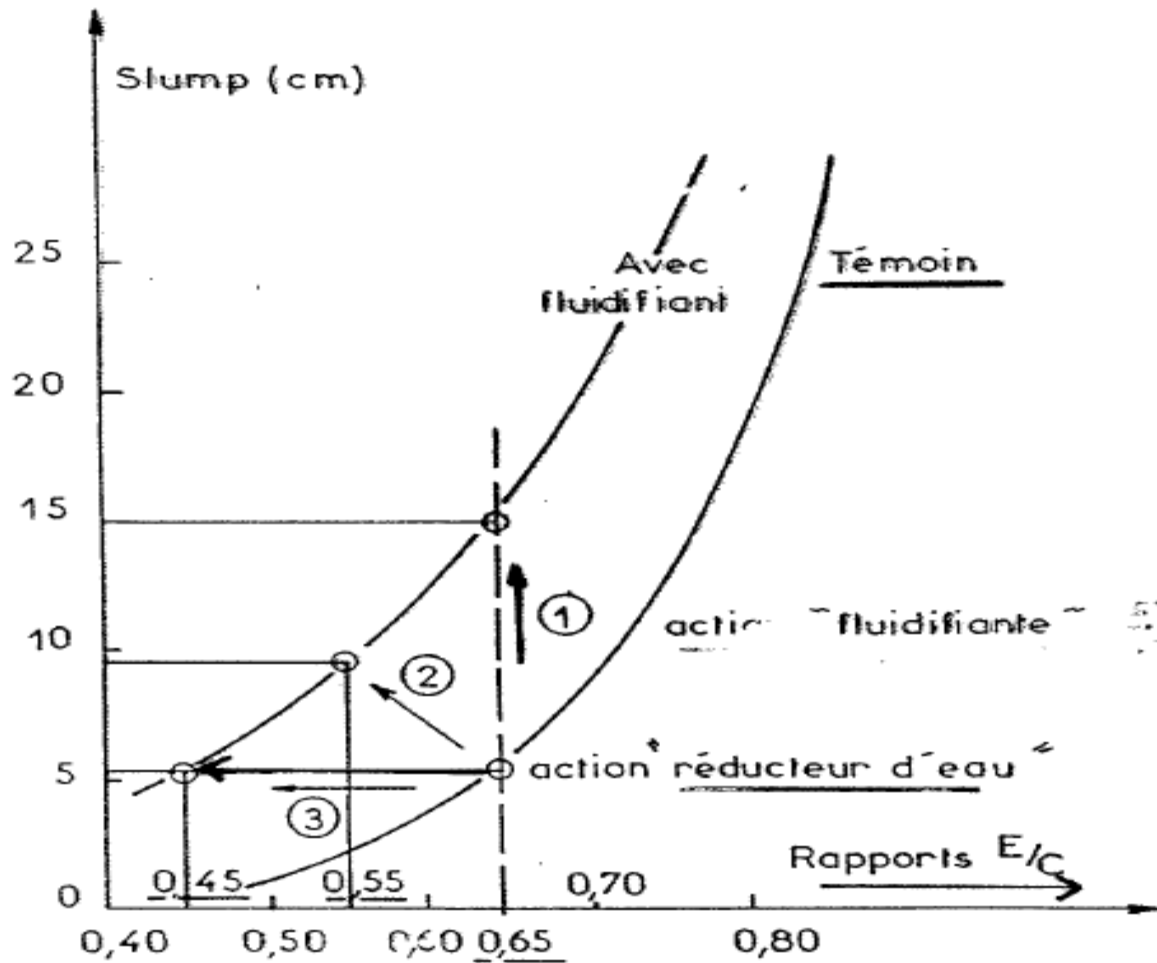


Fig. 11.9 – Les utilisations des fluidifiants.
 1 augmentation du slump (à teneur en eau égale)
 3 Diminution de l'eau (à slump égal)
 2 Diminution de la teneur en eau et augmentation du slump.

Mécanismes d'action

- 1. Les particules de ciment sont électriquement chargées (+ et -, broyage, composition chimique différente, etc!!). En présence d'eau, elle sont souvent floculées à cause des forces attractives entre les charges entre les + et – ainsi que la tension superficielle élevée d'eau**
- 2. Les RD et SP sont des polymères qui:**
 - Réduisent la tension superficielle de l'eau (surtout le RD) – moins de flocculation**
 - S'adsorbent entre l'eau et l'eau**

Mécanismes d'action

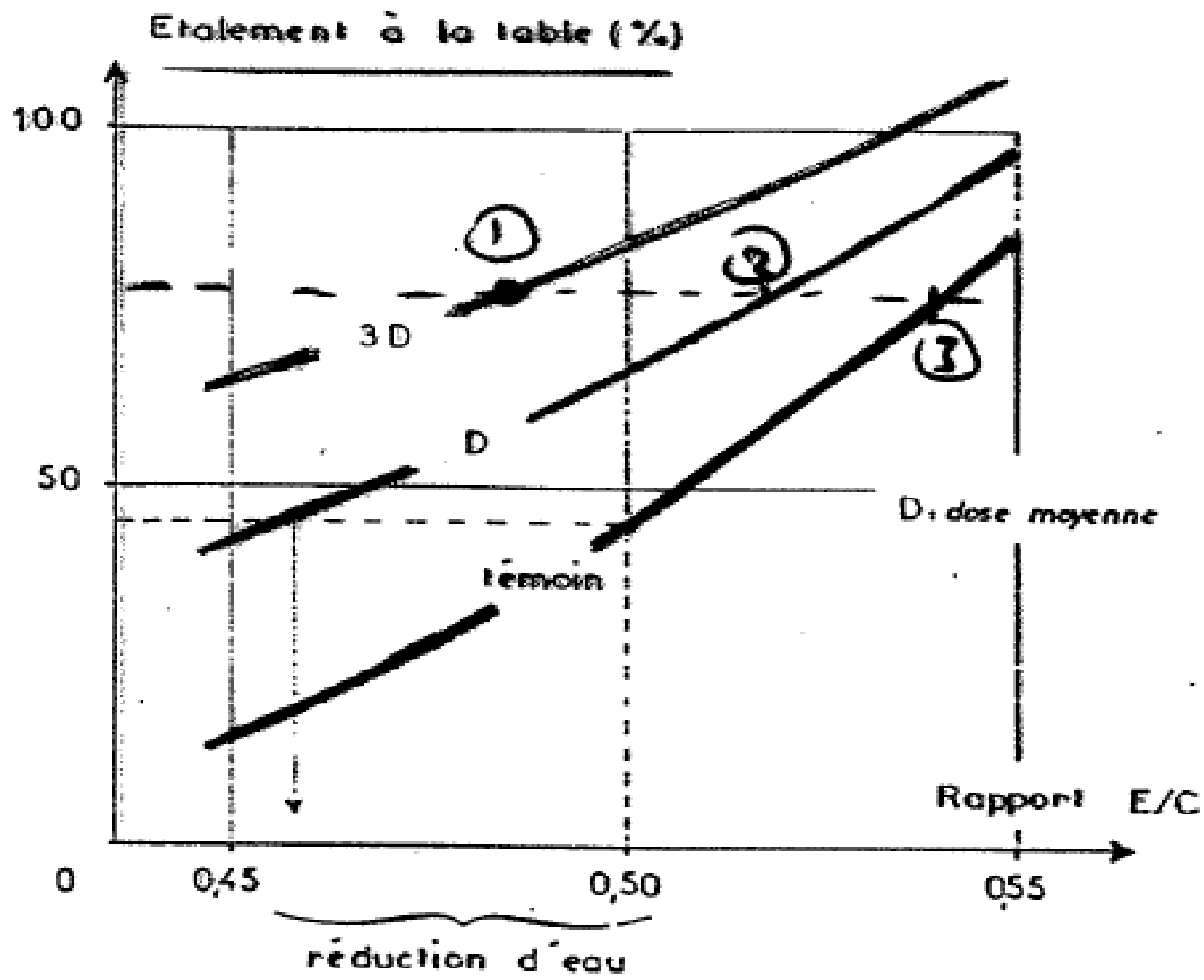
La chaîne polaire est adsorbée sur la particule de ciment en orientant le côté non-polaire vers l'eau!

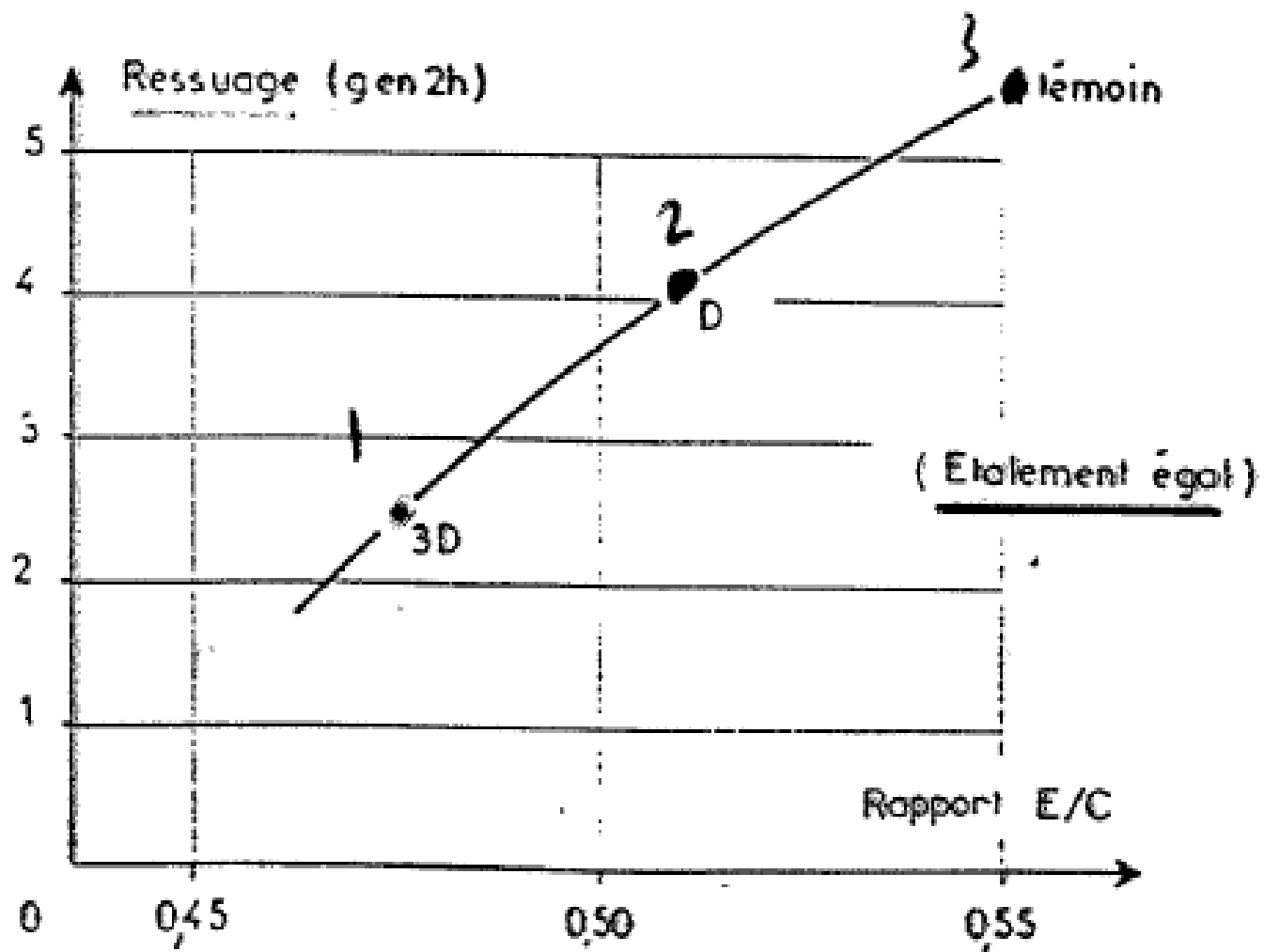
- **Les RD sont des molécules qui présentent des extrémités qui viennent neutraliser les sites opposés sur les grains de ciment**
- **Il y a aussi des RD qui sont non ioniques qui viennent se fixer sur les grains de ciment**
- **Les SP sont des polymères organiques composés de groupes hydrophobes et d'autres hydrophiles (les groupes hydrophiles = groupes sulfonates).**

- Les SP n'affectent pas la tension superficielle d'eau aussi que les RD (Ex. utilisation de 20 L/m³ pour les BHP) sans avoir une teneur en air excessive.

MAIS!!

- Certains type (ligosulfonate et carboxylic hydroxydes (gluconate) contiennent des sucres et retardent la prise (de 1 à 3 heures!!)tés qui viennent neutraliser les sites opposés sur les grains de ciment
- Lorsque SP/Rd sont utilisé- moins d'eau disponible pour le ressuage – retrait plastique et finition!!
- Efficacité en péril si $T < 5^{\circ}\text{C}$





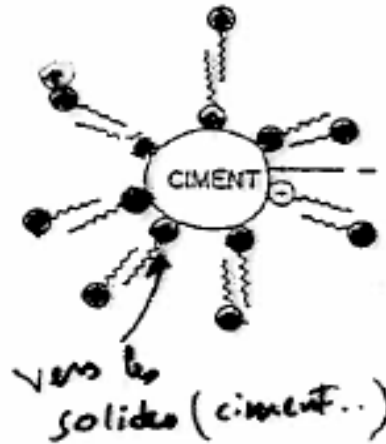
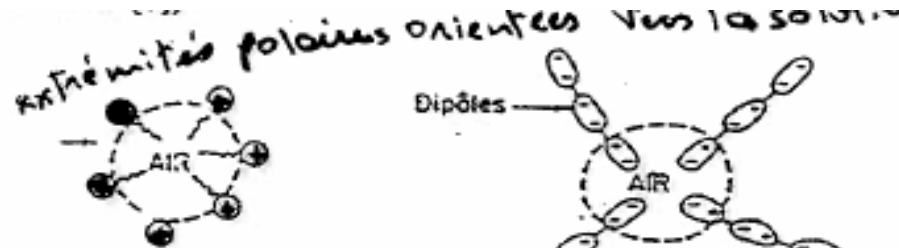
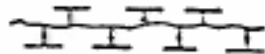
- Action d'un superplastifiant peut être réduite à cause de la formation de l'étringite
- Les facteurs qui favorise la formation de l'étringite (teneur en C3A, alcalis et SO3, finesse de ciment, température du béton) diminue la durée d'action (efficacité) du SP
- L'action du SP est limité à 30 à 45 minutes (dépendamment du type!!):
 - Ajouter une partie au chantier (au moins qu'il ya un retardateur de prise)
 - Redoser les SP en chantier pour améliorer la maniabilité

- Augmentation du dosage en SP pour améliorer son efficacité – retarder la prise.
- Dosage élevé en SP ($>1\%$, en extrait sec) – risque de retarder la prise, un volume d'air excessif, ressuage, etc.!
- Dispersion des grains de ciment peut augmenter le taux d'hydratation (perte d'affaissement rapide) – choix de SP pour éviter ce genre de problème. Ex. lignosulfonate!

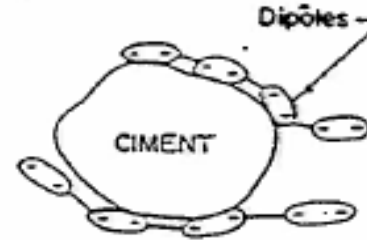
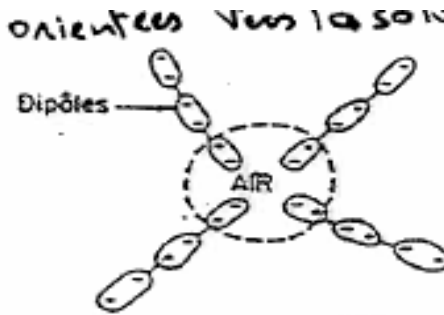
Modes d'action



(a)



(b)

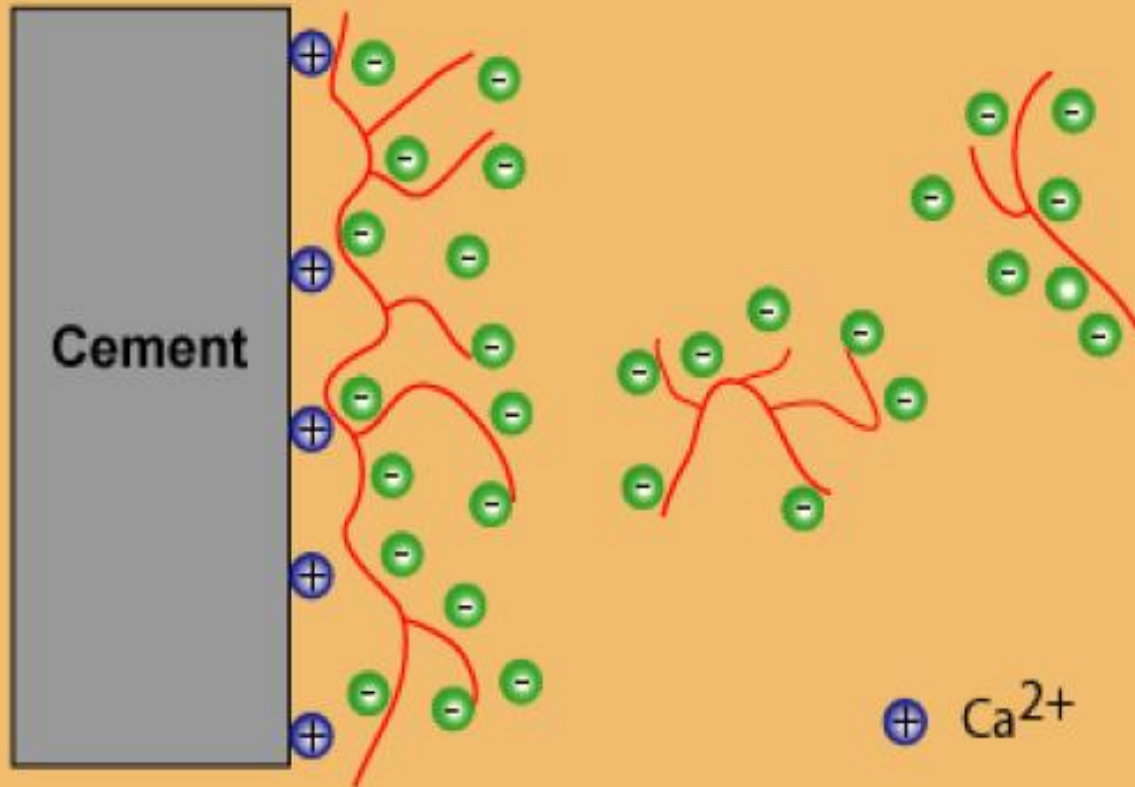


Non ionique
 = fixé sur surface de ciment

(c)

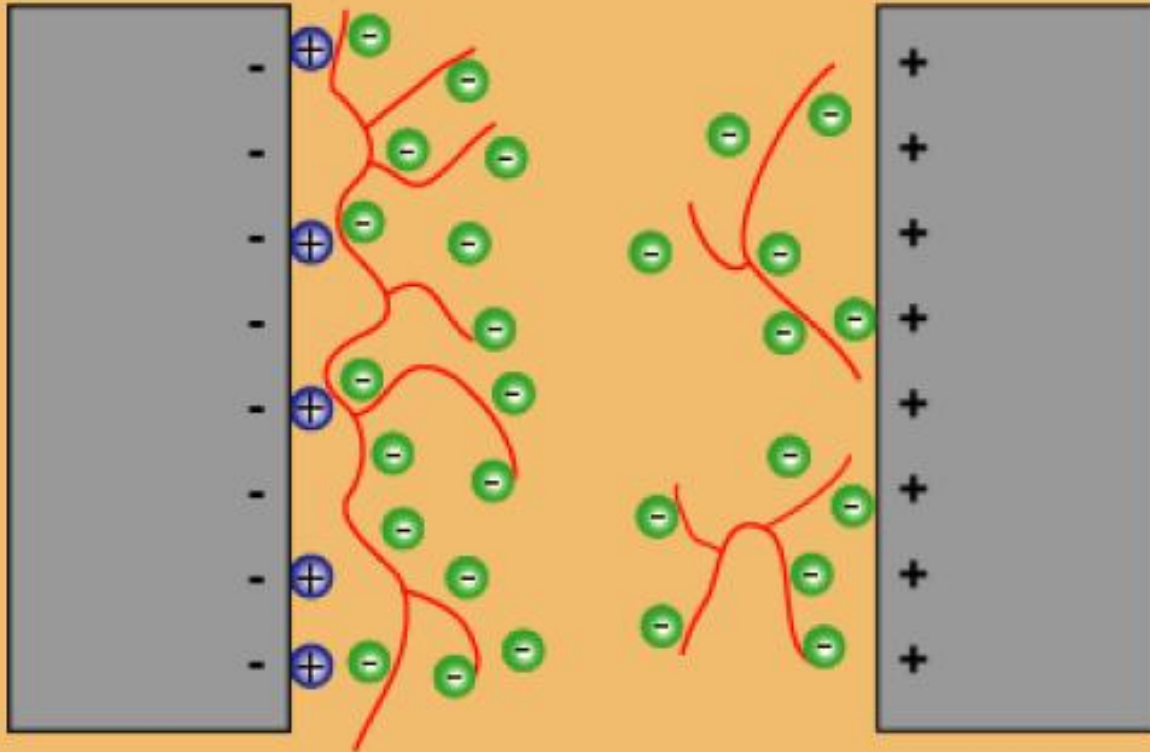


Surface Adsorption



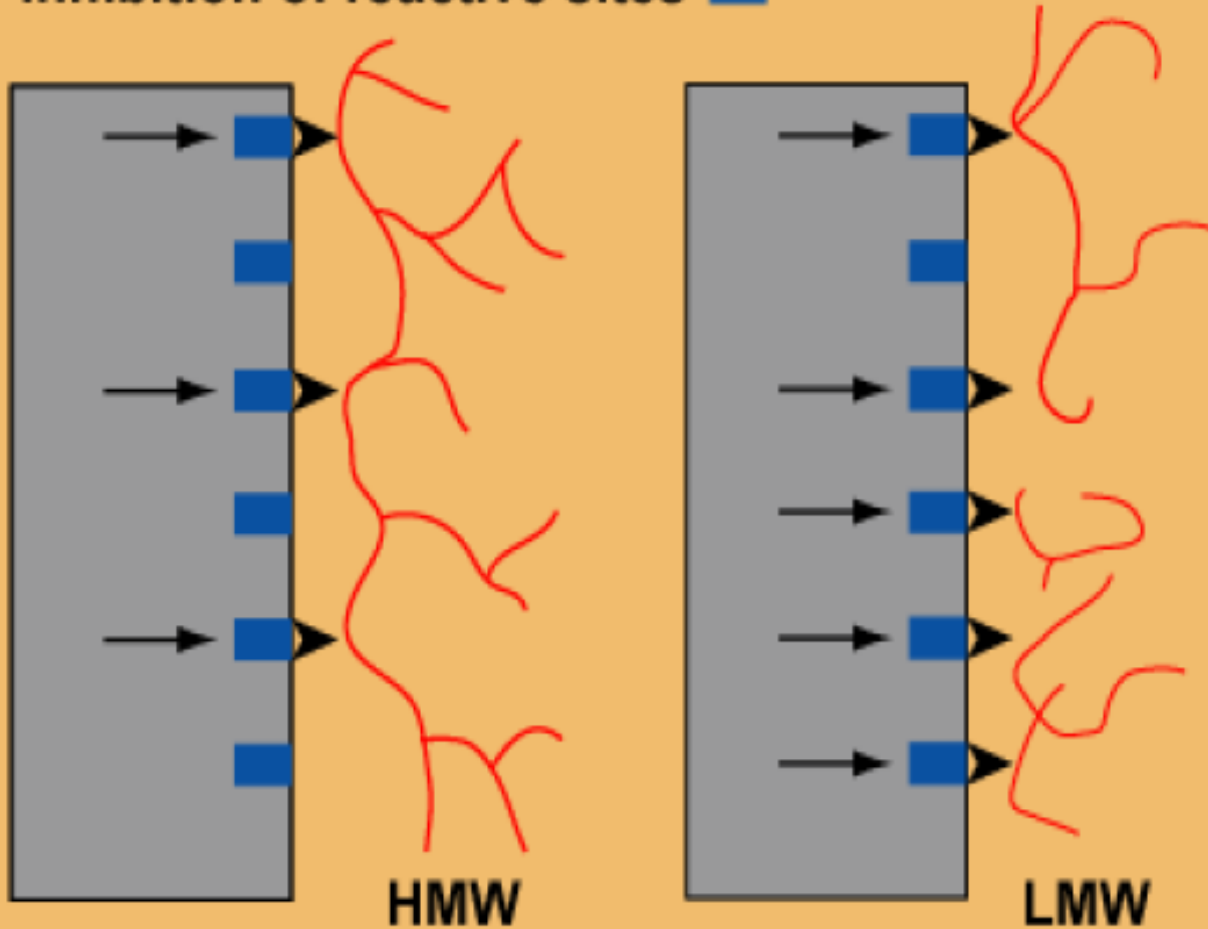
P.K. Mehta and P.J.M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*

Electrostatic Repulsion

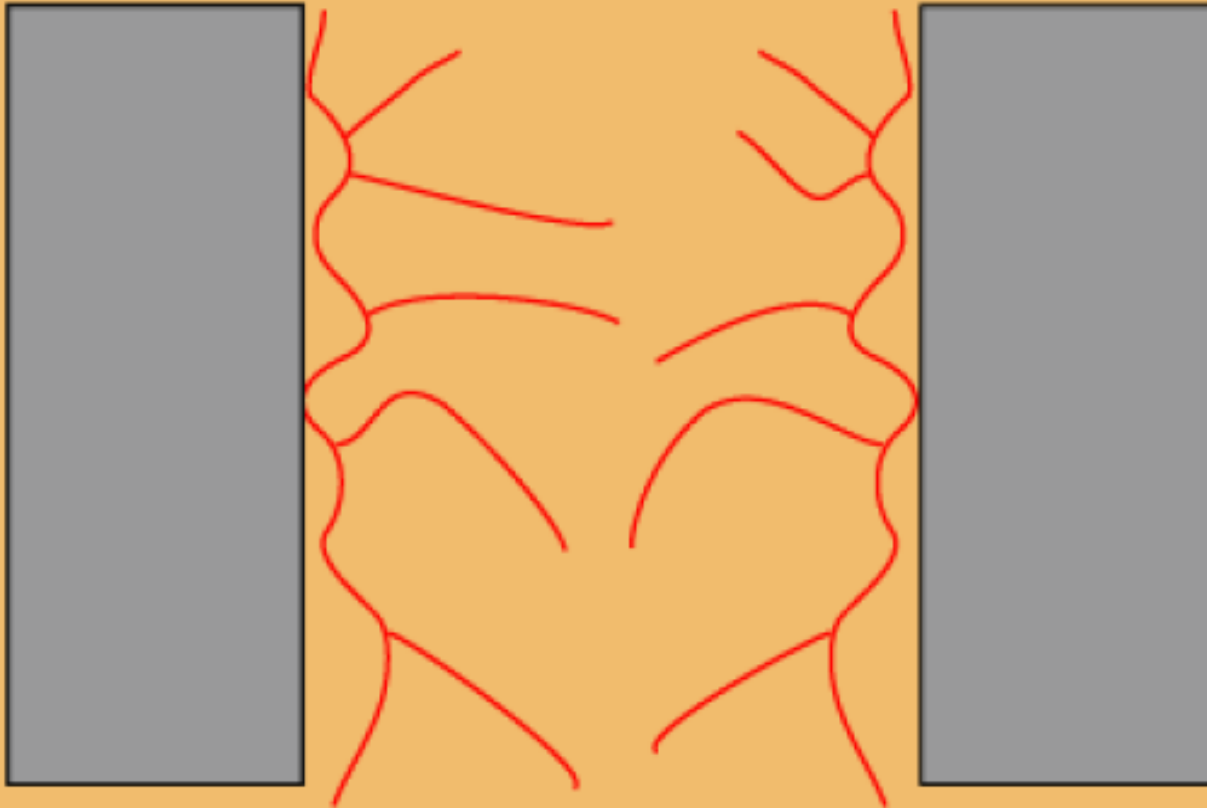


P.K. Mehta and P.J.M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*

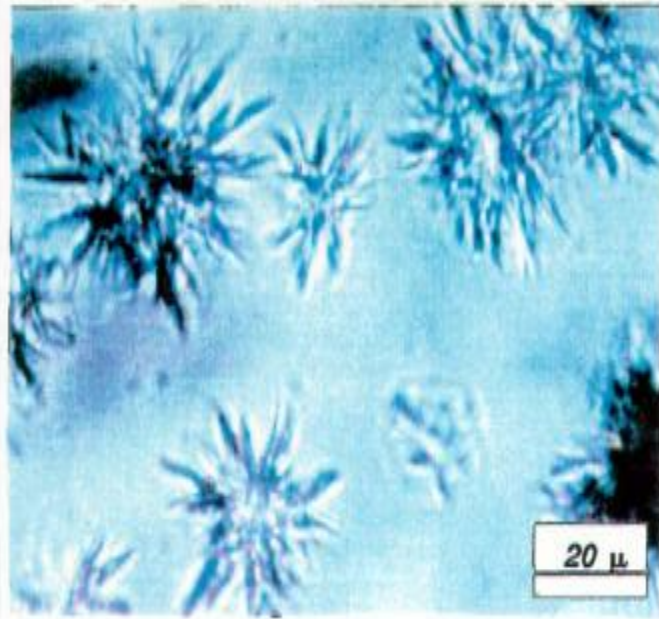
Inhibition of reactive sites ■



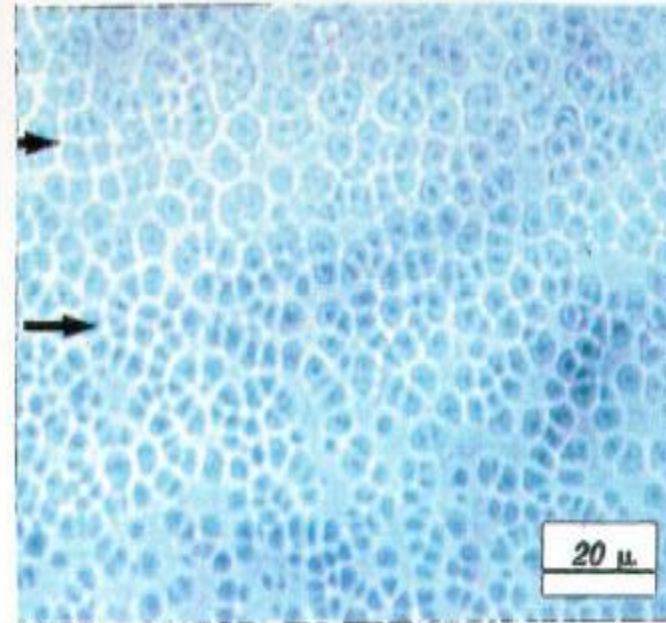
Steric Repulsion



Without PNS



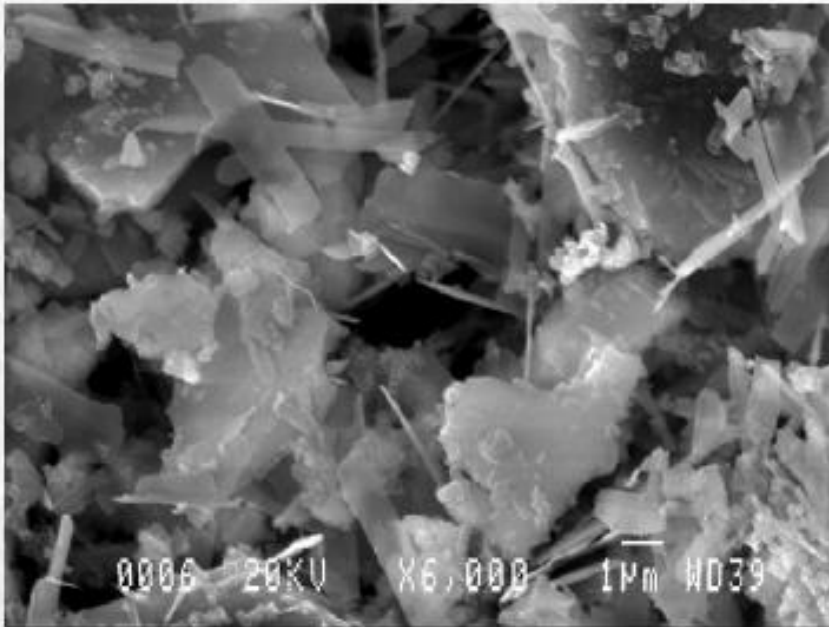
With PNS



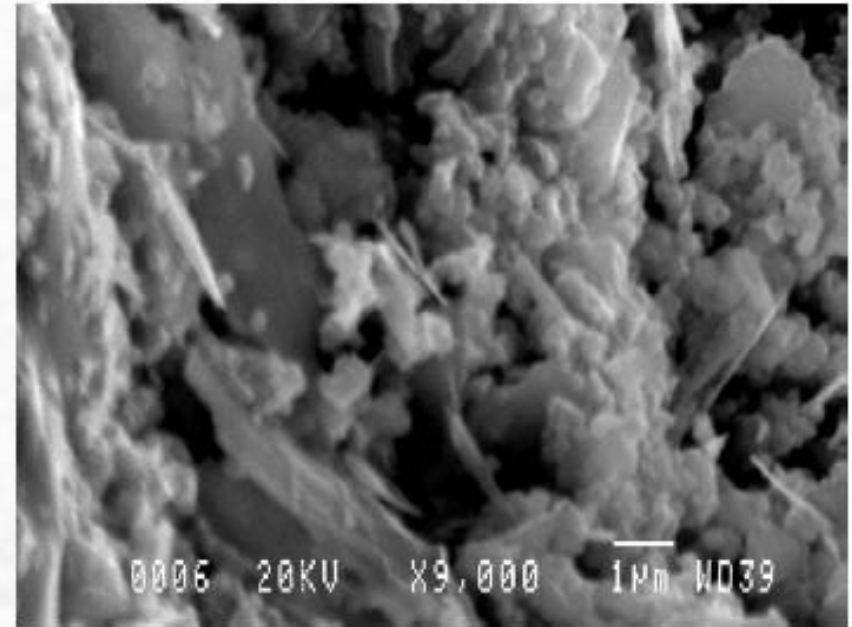
Courtesy from Carmel JOLICOEUR

Courtesy from Carmel JOLICOEUR

SEM micrographs of a high alkali cement paste



0% PNS; 30 min hydr.



4% PNS; 30 min hydr.

P.K. Mehta and P.J.M. Monteiro, Concrete: Microstructure, Properties, and Materials

Avantages:

- Meilleure ouvrabilité, facilité de mise en place, consolidation et finition, moins de risque de ségrégation et de ressuage (moins de laitance -- abrasion, moins d'eau accumulée sous les barres d'armature, etc. – E, flexion, f'_c , etc.
- Les Rd peuvent entrainer de l'air (2 à 6% surtout les grosses bulles qui ne sont pas stables!!) – limiter les dosages

Agent entraîneur d'air

Les AEA commerciaux sont:

- Les acides abietique et pimerique
- Les sels des acides gras
- Les sulfonates d'alkyl-aryl
- les sulfates alkyl
- Les ethoxylates phénol

Énergie de surface:

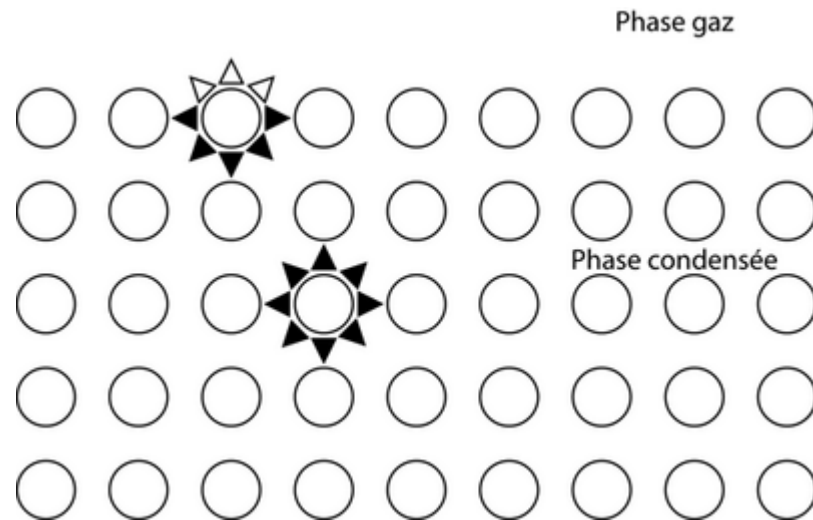
- L'énergie de surface (E_s) est la différence entre l'énergie des molécules à la surface et leurs énergies si ces molécules sont à l'intérieur d'un corps donné.

$$E_s = \alpha S,$$

S = aire de l'interface et
 α = la tension de surface

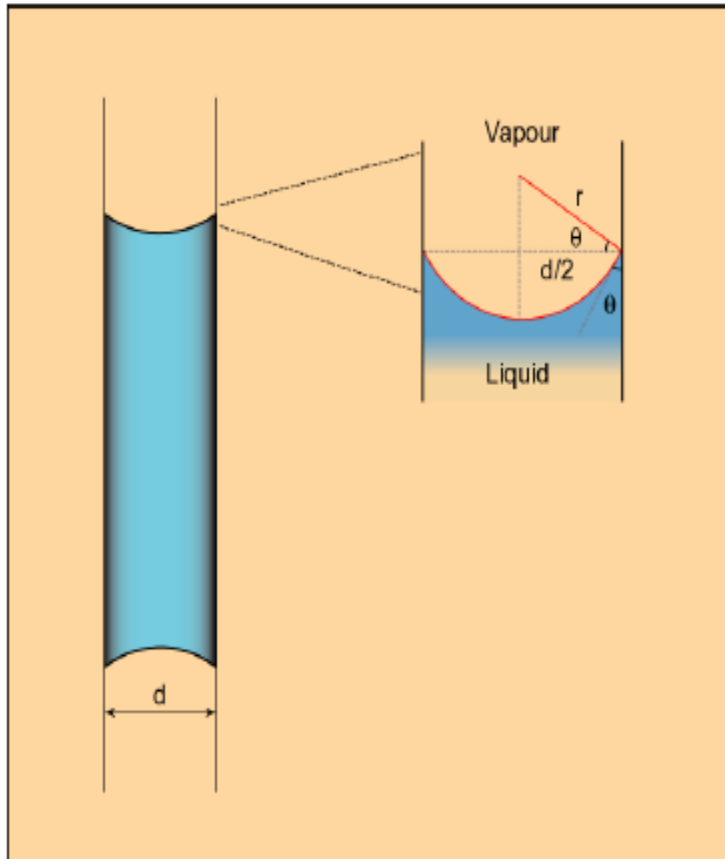


L'énergie de surface trouve son origine dans la perte d'interactions cohésives entre constituants au niveau de la rupture du volume.



- **La nature mène un corps à son min d'énergie**
- **Les gouttes de liquides and bulles de gaz sont des de la minimisation de surface**
- **La réduction de surface induit une contraction de la goutte, ce qui augmente sa pression interne (> à la pression externe)**
- **Équilibre d'énergie nécessite une réduction de l'énergie de surface (αdS) égale au travail fait par les forces de surface pour réduire la surface**

$$\alpha dS = P_{surf}.dV$$

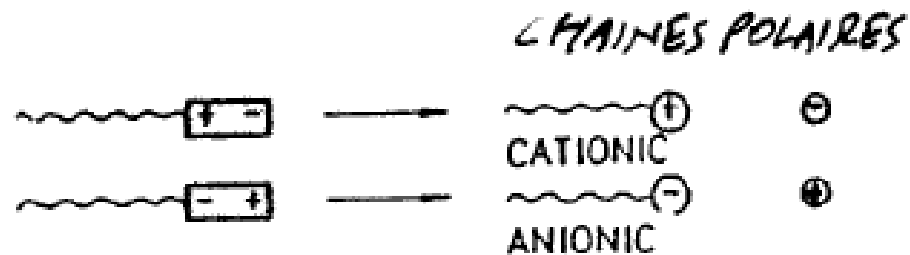


$$P_{\text{surf}} = \frac{\alpha}{r} = \frac{2 \alpha \cos \theta}{d}$$

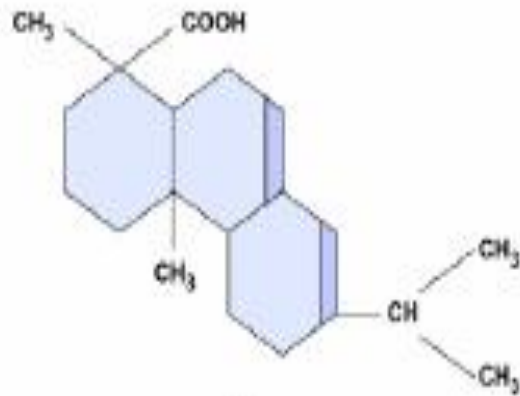
- **Les AEA ne créent pas de bulles d'air!!, mais stabilise les bulles piégés pendant la malaxage, transport, la vibration (surtout quand les coffrages ne sont pas étanches) – maintenir les bulles sous formes de petites bulles et les répartir!**
- **AEA sont des molécules tensioactives – surfactants = réduisent la tension superficielle entre l'eau et l'air**
- **Comme cette tension superficielle est plus faible – plus facile de créer de nouvelles interfaces. Alors pour une énergie de malaxage donnée, on pourra avoir plus de petites bulles**

Surfactants

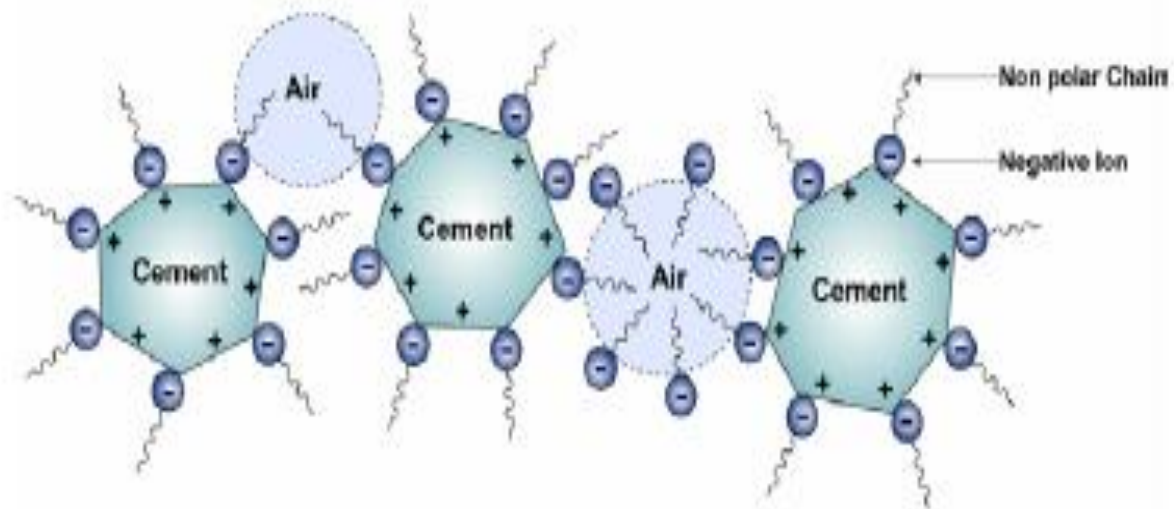
- Molécules à longues chaînes – une extrémité hydrophobe (repousse l'eau) et une autre extrémité hydrophile (aime l'eau)
- Le pole hydrophile contient un ou plusieurs groupes, tels que $-\text{COO}^-$ - SO_3^- ou $-\text{NH}_3^+$



Abietic Acid



(b)



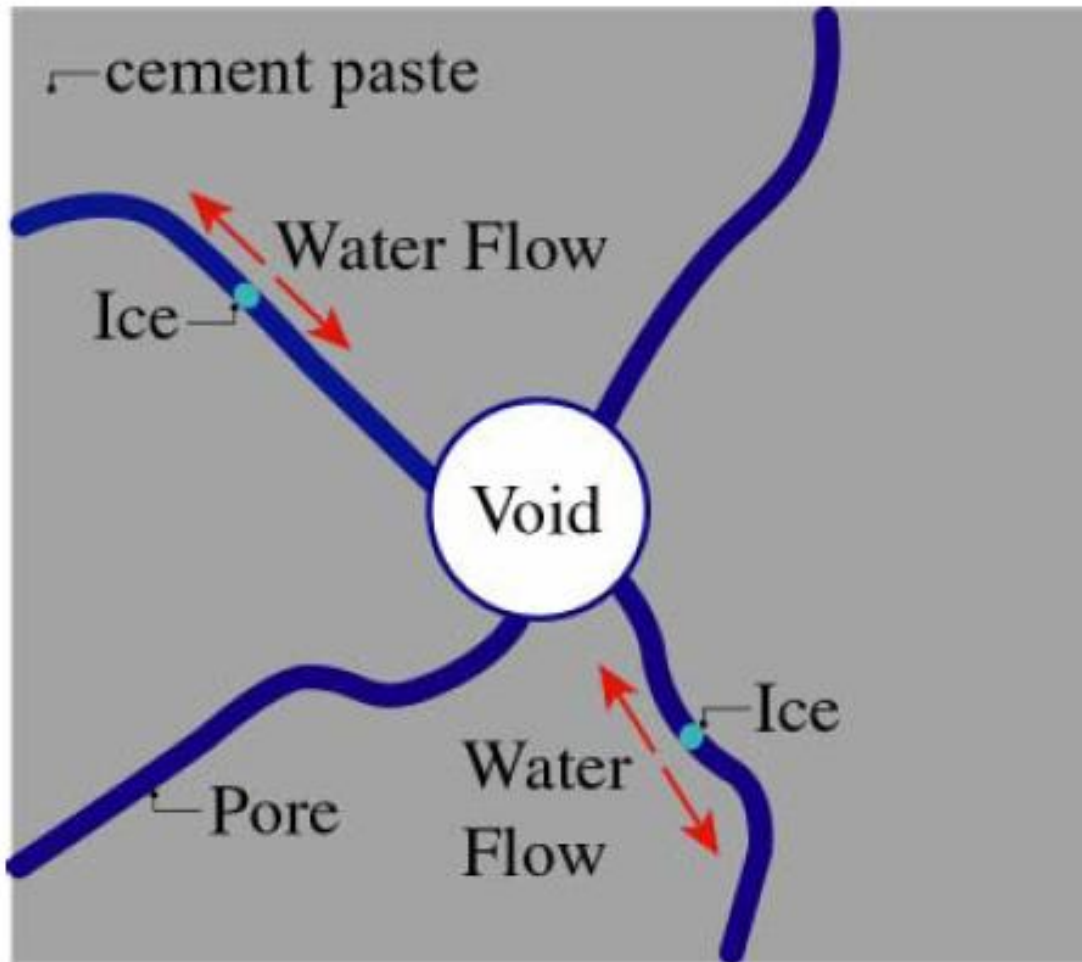
(b)

- **Les petites bulles sont plus stables dans le mortier que les grandes bulles – car il y a moins de fusion qui peuvent monter plus facilement en surface pour éclater!!**
- **Si les molécules AEA (surfactants) sont électriquement chargées -- forces répulsives entre les bulles qui les empêche de fusionner, donc bulles plus stables!**

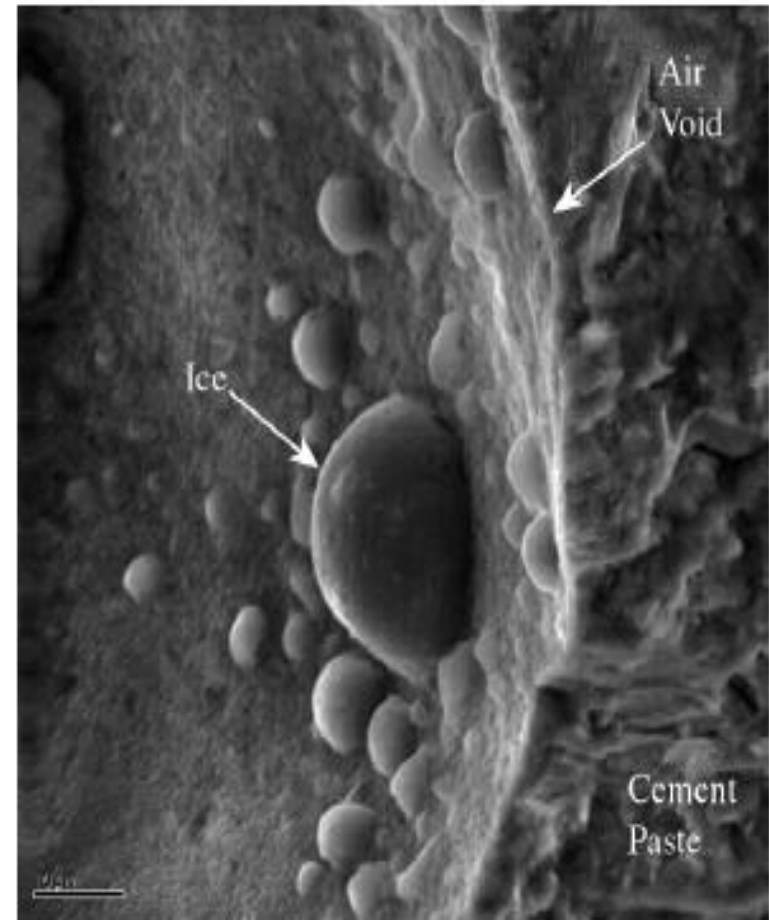
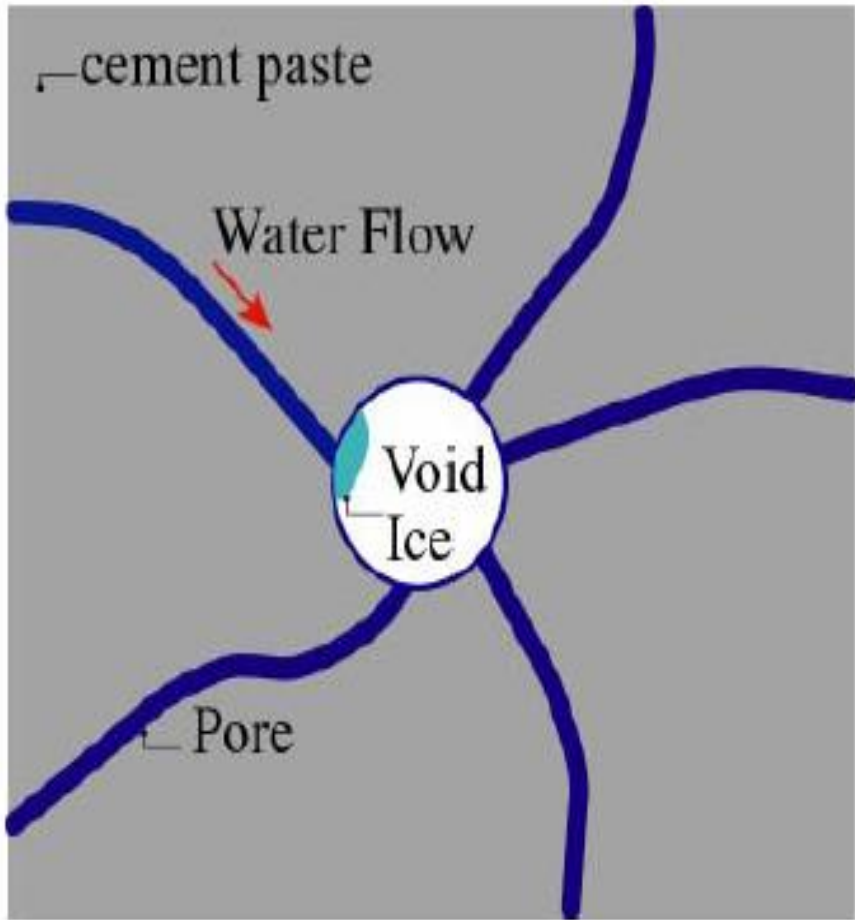
- **Les petites bulles sont plus stables dans le mortier que les grandes bulles – car il y a moins de fusion qui peuvent monter plus facilement en surface pour éclater!!**
- **Si les molécules AEA (surfactants) sont électriquement chargées -- forces répulsives entre les bulles qui les empêche de fusionner, donc bulles plus stables!**

Pourquoi de l'air dans le béton?

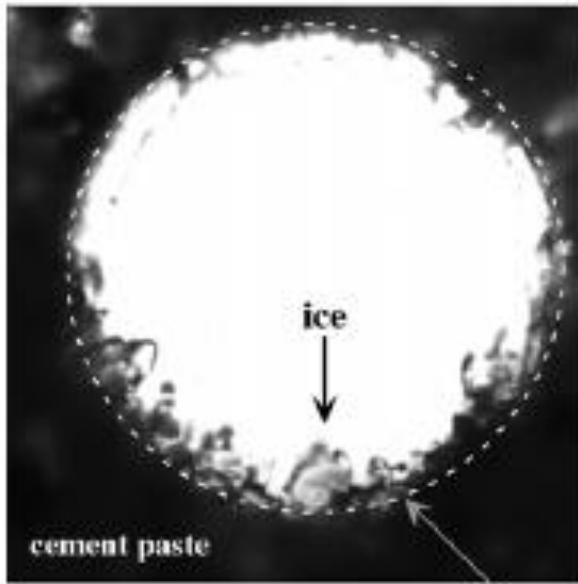
- Améliore la résistance aux cycles de gel-dégel
- Améliore la maniabilité
- Réduit la risque de sédimentation et ressuage



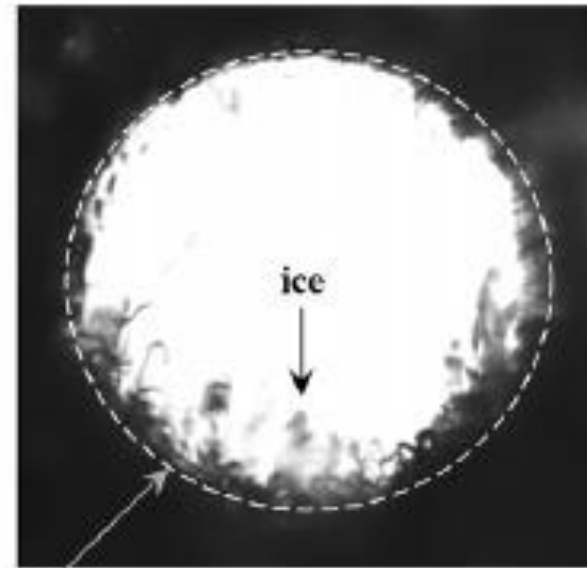
Monteiro



Monteiro



(a) 5 minutes



(b) 15 minutes

average cross section of the air void
during the freezing process

Monteiro

MAIS!!

- **Réduit la résistance (pour chaque 1% d'air – une réduction de 5% de résistance)**
- **Augmente la perméabilité**
- **En cas de surdosage: retarde la prise et le durcissement**

ETUDE DE CAS – volume d'air variable!!

Sur un chantier de construction, nous avons constaté une grande variation du volume d'air. Le mélange du béton contient 250 kg/m³ de ciment et Un granulats de 20 mm. La teneur en air visée est entre 5 et 7%. Cependant, le volume d'air était très variable (élevé et faible!!).

Discuter les cause probables de ce problème?

- **Augmentation de la finesse du sable?**
 - **Peut réduire le volume d'air**
 - **présence des matières organiques dans le sable (agir comme AEA!**
- **Surdosages de l'AEA ou une réduction de la teneur en ciment: augmenter l'air**
- **Changement du type de ciment (lot de ciment!)**
- **Séquence d'introduction des adjuvants!!**
- **malaxage!**
- **temps de malaxage**
- **Température**