

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

# **SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION**

Responsable: Pr. GHOMARI Fouad

ANNEE UNIVERSITAIRE 2011 - 2012

# LES ADJUVANTS

## Introduction

Les Romains utilisaient du sang d'animal et le blanc d'œuf comme plastifiants dans leur béton de chaux et de pouzzolane. Dès le début de la fabrication du béton de ciment Portland (1850), on a ajouté certains produits pour modifier la prise (plâtre, chlorure de calcium, sucre) ou l'étanchéité (filler, etc.).

La commercialisation de ces ajouts a commencé plus tard vers 1910 ÷ 1920; il s'agissait surtout d'hydrofuges et d'accélérateurs. Les plastifiants furent commercialisés vers 1935, les entraîneurs d'air après la guerre en Europe. Récemment, sont apparus les antigels et les produits de cure.

Depuis 1960, les adjuvants se sont diversifiés et multipliés; leur qualité et sa constance ne cessent de s'améliorer.

## Définition

On définit les adjuvants de la façon suivante :

Produits qui, ajoutés à moins de 5% du poids du liant, au moment des malaxages des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont encore frais, améliorent certaines de leurs propriétés.

Cette définition ne considère pas comme adjuvants des produits ajoutés au moment du broyage du clinker. Les adjuvants ne sont pas des panacées permettant de transformer un béton médiocre en bon béton. Mais, dans de nombreux cas, ces produits permettent l'exécution des travaux que les moyens classiques ne permettent pas de réaliser.

## Classification

Le critère essentiel permettant de classer les adjuvants est le **résultat de leur action**; ainsi on distingue :

1. adjuvants modifiant la rhéologie et la teneur en air :  
plastifiants, plastifiants-réducteurs d'eau, rétenteurs d'eau  
et entraîneurs d'air,
2. adjuvants modifiant la prise et le durcissement :  
accélérateurs et retardateurs,
3. adjuvants modifiant la résistance aux actions aux  
physiques et chimiques : antigels et antigelifs, hydrofuges  
et produits de cure,
4. adjuvants pour coulis d'injection,

## 1- Adjuvants modifiant la rhéologie et la teneur en air :

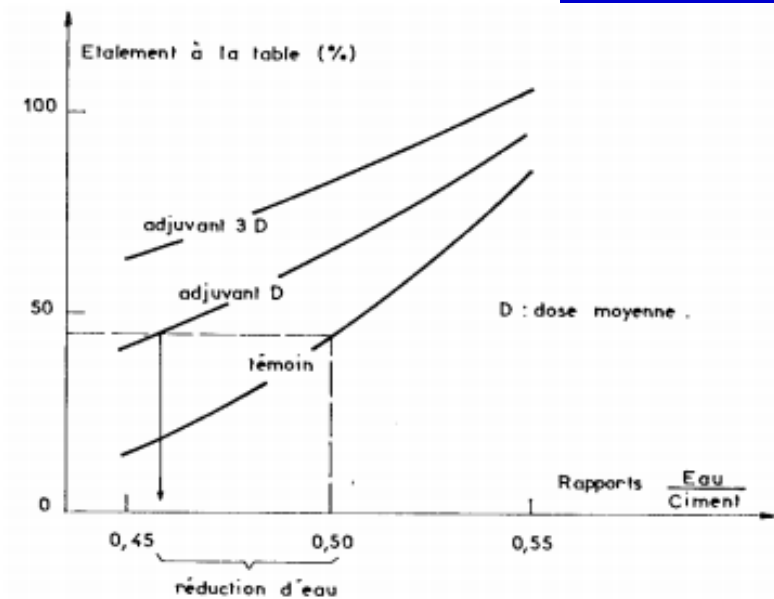
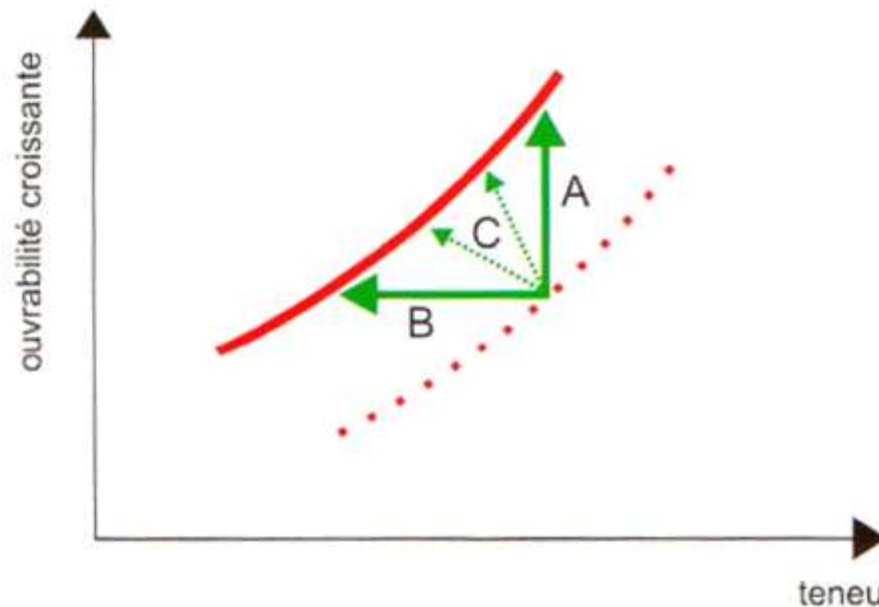
**plastifiants - réducteurs d'eau** : ils permettent

- soit une réduction de la teneur en eau pour une même ouvrabilité
- soit une augmentation de l'ouvrabilité pour une même teneur en eau.

Ces adjuvants améliorent l'aptitude à la déformation des mortiers et bétons frais sous l'effet d'un moyen de serrage donné. Ce sont souvent des produits organiques capables de lubrifier les grains de ciment qui se trouvent défloculés et individualisés; cette dispersion facilite le mouillage. On recommande souvent de les ajouter, après un premier malaxage du béton (se conformer aux notices du fabricant).

i., effet sur le béton frais : l'ouvrabilité est améliorée pour une même teneur en eau. Cette propriété est mise à profit dans le cas de bétonnage de pièces minces ou fortement ferrillées et dans le cas d'utilisation de granulats concassés. Mais, en principe l'utilisation d'un produit à action fluidifiante doit être associée à une diminution effective de la teneur en eau (l'excès d'eau est le plus grand ennemi du béton).

permettent d'augmenter l'ouvrabilité d'un mélange de béton donné sans ajouter de l'eau (A)  
 ou: de réduire fortement la teneur en eau sans modifier l'ouvrabilité d'un mélange de béton donné (B)  
 ou encore: de réduire la teneur en eau tout en augmentant l'ouvrabilité (C)



ii., effet sur le béton durci : pour les bétons courants et en première approximation, une diminution de 1% du dosage en eau augmente les résistances mécaniques de 1%. La diminution de la teneur en eau a pour conséquence la diminution de l'absorption capillaire donc une augmentation de la pérennité du béton.

iii., applications et utilisations : les doses à prendre varient de 0,2 ÷ 0,5% du poids du ciment, on les utilise pour :

- des bétons à haute performance,
- des bétons de forte densité d'armatures,
- des bétons manufacturés,
- les centrales de béton prêt à l'emploi,
- les grands travaux de B.T.P. (autoroutes, travaux maritimes, barrages),
- certains travaux spéciaux : injection, béton projeté, etc.
- le béton brut de décoffrage.

iv., produits de base : lignosulfates, détergents synthétiques, résine de mélanine et formaldéhyde.

**plastifiants-rétenteurs d'eau** : ils améliorent la stabilité : le ressuage est diminué et la cohésion plus forte. Ces adjuvants comportent souvent des produits très fins dont la majorité des grains est inférieure à 10  $\mu$ .

i., effets : ces produits fins augmentent la viscosité du béton frais et sa cohésion, la ségrégation est très diminuée. Les bétons durcis sont plus ou moins étanches. En revanche, ils demandent parfois un apport d'eau supplémentaire (à plasticité égale), surtout dans le cas d'un surdosage.

 *rétenteurs d'eau*  
(permettent le bétonnage sous eau)



ii., applications et utilisations : les doses à préconiser sont assez élevées et varient de 1 ÷ 3 % du poids du ciment. Parmi les emplois possibles :

- la mise en place du béton dans des pièces minces à forte densité d'armatures,
- le bétonnage en grande masse : c'est le cas des grands barrages où la nécessité de diminuer les chaleurs dégagées oblige parfois à abaisser le dosage en ciment initialement prévu,
- améliorer le décoffrage ainsi que l'aspect du béton brut de décoffrage (moins de fuites d'eau possible au travers des joints de coffrages),
- le béton transporté sur une longue distance (réduire la ségrégation), c'est le cas du B.P.E.,
- le béton pompé (qui exige une granularité convenable avec suffisamment d'eau),
- en injection (coulis d'injection dans les sols fissurés).

iii., produits de base : bentonite (argile colloïdale), Kieselguhr (terre fossile d'algues silicifiées), chaux grasse, calcaire broyé, acétate de polyvinyle et stéarates.

	Plastifiants	Réducteurs d'eau-plastifiants	Superplastifiants
Dosages	Généralement < 0,5 %.	Généralement < 0,5 %.	Généralement 0,5 % à 3 %.
Introduction	Dans l'eau de gâchage.	Dans l'eau de gâchage.	Dans le béton avant sa mise en œuvre.
Effets sur la mise en œuvre du béton	A rapport eau/ciment constant, amélioration de la maniabilité.	A maniabilité constante, réduction d'eau > 6,5 %.	A rapport eau/ciment constant, grande fluidification du béton : gain d'affaissement d'au moins 8 cm.
Résistances à toutes échéances	Maintien des résistances du témoin ou légère augmentation du fait de la meilleure mise en place.	Supérieures à celles du témoin. Augmentation minimum 10 %.	Par rapport au témoin, légère diminution possible.
Effets secondaires favorables	Possibilité d'accélération du durcissement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation de compacité, diminution de la perméabilité.</li> <li>• Possibilité d'améliorer la résistance du béton aux agents chimiques agressifs.</li> </ul>	L'emploi de ces adjuvants peut permettre de réaliser des bétons à hautes performances en utilisant de faibles rapports eau/ciment.
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation du retrait.		
Adjuvants normalisés modifiant la mise en œuvre des bétons et mortiers. (Extrait du guide SYNAD.)			

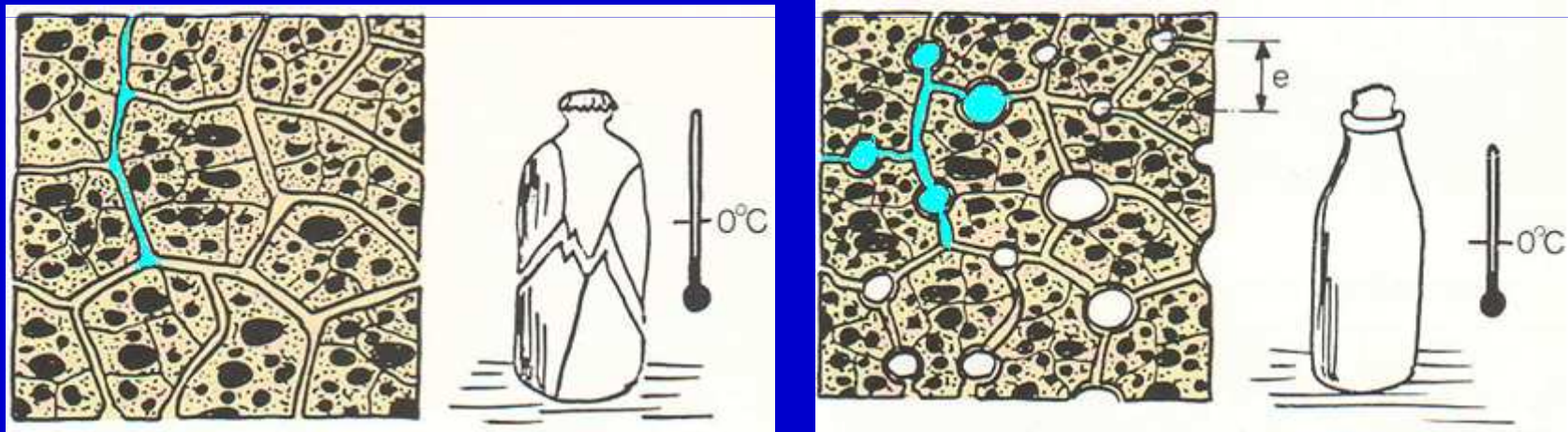
**entraîneur d'air** : leur rôle est de créer dans le béton des bulles d'air arrondies dont le diamètre varie entre 10 à 1000  $\mu\text{m}$ . La plus grande partie est généralement comprise entre 25 et 250  $\mu\text{m}$ . Ces bulles possèdent une courbe granulométrique continue dans le domaine recouvre celui des ciments et des sables les plus fins des mortiers et des bétons. La distance entre bulles est variable entre 100 et 200  $\mu\text{m}$  (nombre de bulles  $\approx$  100000 à 500000 par  $\text{cm}^3$  de béton).

i., effet sur béton frais : les bulles d'air jouent le rôle d'un fluide; en remplaçant une partie de l'eau de gâchage, et d'un inerte, les bulles remplaçant par leur granulométrie une partie du sable fin (1 ÷ 2 mm)

	Entraîneurs d'air
Dosages	0,01 à 0,1 %
Résistances aux cycles gel/dégel.	Emploi obligatoire. Bonne amélioration.
Résistance aux agressions atmosphériques, $\text{CO}_2$ , atmosphère maritime...	Effet variable.
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau sulfatée...).	Amélioration possible.
Effets secondaires favorables.	Amélioration du pavement.



ii., effet sur béton durci : les bulles changent la structure du matériau et coupent le réseau des canicules (figure). Cela explique pourquoi l'air occlus améliore beaucoup la tenue au gel, aux sels de dégel ainsi qu'aux eaux agressives. Les bulles améliorent l'imperméabilité des bétons en limitant les remontées par capillarité. Lors du gel, elles jouent le rôle de vase d'expansion pour l'eau poussé par la glace ou par la glace elle même.

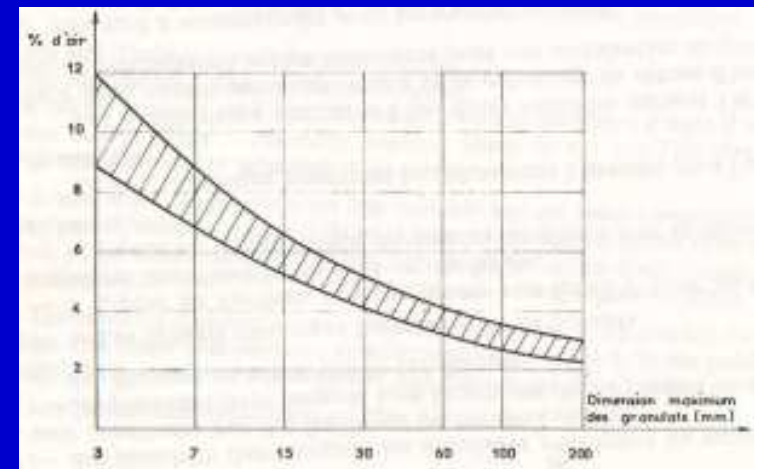
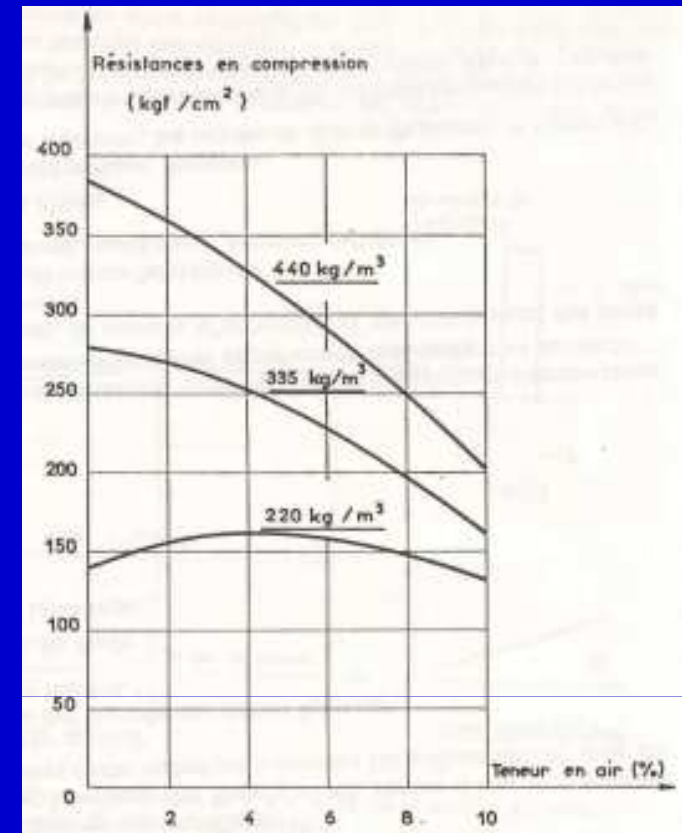


- *entraîneurs d'air*  
(*augmentent la résistance au gel*)



S'accompagnent d'une réduction des résistances...

Les entraîneurs d'air permettent une diminution de l'eau de gâchage et réduisent ainsi la ségrégation et le ressuage. Ils améliorent très souvent l'aspect du béton au démoulage. Ils peuvent en très grande quantité, provoquer des baisses de résistances mécaniques. Comme un certain nombre de facteurs interviennent sur la teneur en air, il est indispensable d'effectuer sur le chantier des essais de contrôle sur le béton frais. L'air occlus améliore et d'une façon spectaculaire la résistance au gel du béton durci. Le pourcentage d'air nécessaire décroît avec le diamètre maximal des granulats.



iii., applications et utilisations : les entraîneurs agissent à très faible dose. Cependant, ils sont vendus dilués dans le commerce; ils se présentent sous la forme de liquide brun ou incolore à ajouter à raison de  $0,5 \div 2\%$  du poids du ciment. Les entraîneurs d'air sont utilisés pour la confection de béton classique armé ou non et aussi pour certains bétons spéciaux (bétons lourds et bétons légers afin de limiter la ségrégation). On les emploie souvent dans les centrales à béton, pour les bétons transportés sur de longues distances et pour certains mortiers et bétons projetés. Ils sont pratiquement obligatoires, dans les pays froids, pour les routes, autoroutes et pistes d'aérodromes ainsi que pour les barrages.

iv., produits de base : lignosulfates, sulfonates d'alcool gras, savons alcalins d'acides gras, etc.

## 2- Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout la vitesse de dissolution de ces constituants. Quelques remarques préalables peuvent être faites :

- il faut en général des doses assez élevées d'adjuvant pour accélérer la prise et le durcissement, des doses extrêmement faibles pour les retarder,
- un produit peut agir comme retardateur ou accélérateur suivant la dose du produit et la nature du ciment,
- les résistances finales sont souvent augmentées avec les retardateurs et diminuées avec les accélérateurs, et dans ce cas d'autant plus que le produit est plus accélérateur.

**accélérateurs** : ces produits sont employés à des doses comprises entre 2 ÷ 5 % du poids du ciment; certains sont vendus pour agir sur les ciments à forte teneur en clinker, d'autres sur des ciments à forte teneur en laitier. Les accélérateurs s'utilisent à des doses variables suivant l'effet recherché. A très forte dose, dans le cas de scellement et de colmatage de venues d'eau (utilisation de pâte pure ou de mortier); à plus faible dose pour une accélération de prise modérée du béton.


i., utilisations : ils sont à recommander pour les travaux suivants :


- décoffrage rapide,
- bétonnage par temps froid,
- préfabrication (démoulage rapide),



- réduction des périodes de cure et de protection des travaux rapides (dallages industriels, réparation d'ouvrages la nuit devant être mis en service dans la journée),
- scellement (étanchement et bouchage des fissures et venues d'eau),
- colmatage des voies d'eau à bord de navires (mélange alumineux + C.P.A.),
- travaux en galeries ou dans les tunnels à parois humides,
- travaux sous l'eau.

ii., produits de base : chlorures de calcium, de sodium et aluminium; bases alcalines (soude, potasse, ammoniac); sels (carbonates, aluminates, borates de soude et de potasse); nitrates et nitrites et également des formates de calcium.


 *accélérateurs de prise*  
(CaCl<sub>2</sub>, et autres - sans chlorures)

 Les ions Cl<sup>-</sup> sont agressifs pour l'acier !

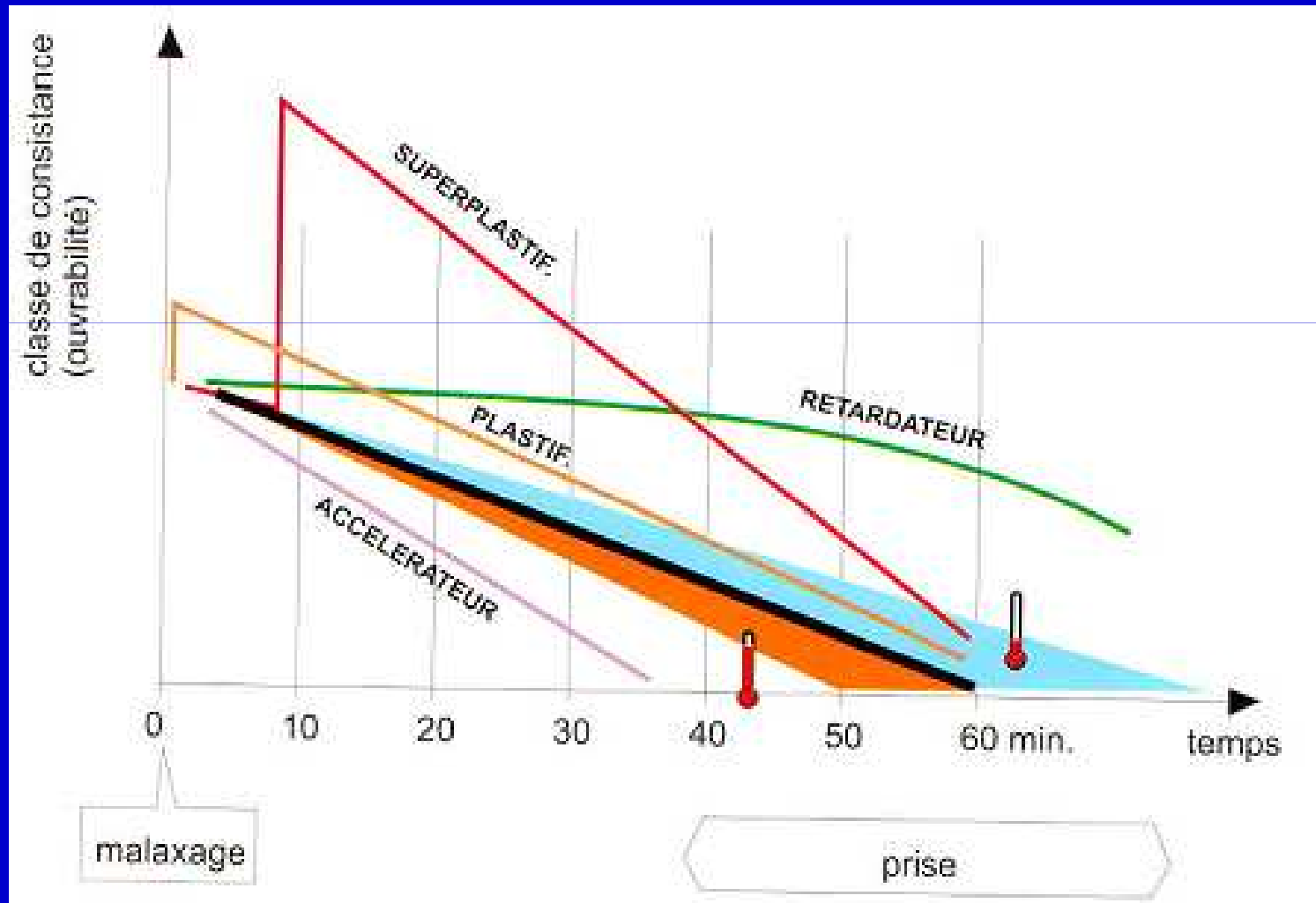
**retardateurs** : ils agissent chimiquement comme les accélérateurs. Ils donneraient naissance à des produits colloïdaux enveloppant les grains de ciment et retarderaient ainsi la progression de l'hydratation pendant un certain temps. Les doses des produits purs à utiliser sont extrêmement faibles. Il faut se méfier des excès de dosage qui risquent de retarder considérablement les temps de prise. Les retardateurs sont généralement efficaces à 20 °C comme à des températures plus élevées (40 °C par exemple). Des essais préalables sont toujours indispensables sur le chantier.

i., utilisations : ils sont à recommander pour les travaux suivants :

- bétonnage par temps chaud,
- pour supprimer les reprises de bétonnage,
- pour le transport sur une longue distance,
- préparé en centrale,
- béton pompé, mortier d'enduit projeté, travaux d'injection.<sup>17</sup>

 *retardateurs de prise  
(sucres et dérivés,  
dans la masse ou en surface)*

ii., produits de base : lignosulfates, sucres, phosphates et fluorures, oxydes de zinc et plomb, acides humiques et phosphoriques.



		Accélérateurs de prise	Accélérateurs de durcissement	Retardateurs de prise
Dosage		1 à 3 %	0,2 à 3 %	0,1 à 0,5 %
Introduction		Dans l'eau de gâchage		
Effets sur la prise		Accélération très variable suivant les dosages, les ciments et la température.		Retard très variable suivant dosages, ciment, température.
Effets sur les résistances	initiales (avant 3 jours)	Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.
	finales (après 28 jours)	Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées.	Légèrement augmentées.
Effets secondaires favorables				Amélioration de la maniabilité avec possibilité de réduction d'eau.
Autres effets		Possibilité d'une légère augmentation du retrait.		
Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment. (Extrait du guide SYNAD.)				

### 3- Adjuvants modifiant la résistance aux actions physiques et chimiques :

**antigels et antigelifs** : les adjuvants commerciaux vendus comme antigels sont des produits chimiques solubles analogues aux accélérateurs et qui activent l'hydratation du ciment. Le béton peut ainsi durcir avant que survienne le gel; on les appelle le plus souvent des pare-gels.

Les antigelifs protègent du gel le béton durci : ce sont surtout des entraîneurs d'air. Les doses à utiliser seront d'autant plus élevées que la température sera plus basse; elles varient entre 1 et 3% de la quantité de ciment.

i., utilisations :

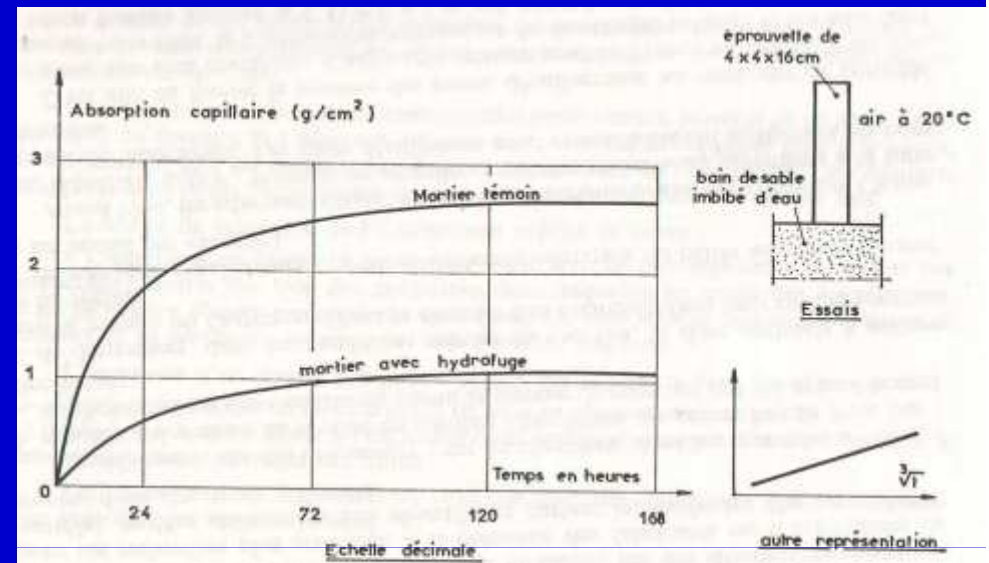
- bétonnage par temps froid,
- protection du béton durci du gel,
- préfabrication, béton manufacturé,
- béton prêt à l'emploi (centrale à béton),
- tous travaux de béton armé de construction traditionnelle.

ii., produits de base : les mêmes que ceux utilisés dans le cas des accélérateurs.

**hydrofuges** : ils améliorent l'étanchéité à l'eau sous pression des bétons et les protègent de l'humidité en arrêtant l'absorption capillaire. Ils agissent surtout physiquement en bouchant les pores et canicules grâce soit aux particules très fines qu'ils contiennent soit aux produits précipitables ou gonflants.



Mais les hydrofuges ne peuvent boucher les pores que si ceux-ci sont relativement petits (figure). Ils ne peuvent pas rendre étanche un mauvais béton, mal composé présentant des vides importants ou des hétérogénéités.



L'action de ces produits est très variable suivant leur composition, leur dosage et les et les types de bétons auxquels ils sont incorporés. Ils sont souvent aussi efficaces pour les CPA qu'avec les CHF, CLK et CLC. Les produits commerciaux se présentent sous forme de poudres ou de liquides. Les précautions à prendre sont les mêmes que dans les cas des plastifiants.

i., utilisations :

- *Bétons d'ouvrages hydrauliques* : bassins, canaux, murs de fondations, piscines, réservoirs, silos, retenues d'eau, etc.,

- *mortiers d'étanchéité* : chapes (balcons, caves, garages, ponts, sols industriels, terrasses), enduits de façades, joints de maçonnerie, revêtements de conduite d'égouts et de galerie de tunnels.

ii., produits de base : matières fines (bentonite, kieselguhr, chaux grasse), sels d'acides gras (stéarates, oléarates, ...), fluidifiants (lignosulfates, ...), sulfate d'alumine, colloïdes gonflantes à base d'algues marines, etc.

	Hydrofuges
Dosages	1 à 3 %
Résistances aux cycles gel/dégel.	
Résistance aux agressions atmosphériques, CO <sub>2</sub> , atmosphère maritime...	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air.
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau sulfatée...).	Amélioration grâce à la diminution de la perméabilité du béton.
Effets secondaires favorables.	



## Caractéristiques du béton susceptibles d'être modifiées par classe d'adjuvants

		Réducteurs d'eau	Plastifiants	Super-plastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masse
Ouvrabilité.			+	+					
Temps de prise.						-	+		
Résistances.	Court terme (3 j)	+		+	+	+	-		
	Long terme (> 28 j)	+				=	+		
Air occlus.								+	
Perméabilité sous pression hydraulique.				-					-
Résistance au gel du béton durci.								+	
Compacité.		+	+	+					
État de surface.			+					+	

**produits de cure** : on sait que le béton frais doit être protégé un certain temps après le gâchage afin d'éviter un départ trop important de l'eau qu'il contient. La dessiccation des mortiers et des bétons a pour conséquence un abaissement des résistances mécaniques, un poudroïement en surface ainsi que la formation de fissures profondes de retrait avant prise. Il est nécessaire de maintenir humide le béton. Un procédé moderne, simple et pratique consiste à pulvériser sur le béton frais, un produit de cure formant après application un film continu imperméable s'éliminant après quelques semaines sans laisser de traces.

Les produits de cure sont incolores et peuvent recevoir des colorants afin de faciliter le contrôle de leur application. Récemment, on leur a rajouté des pigments blancs (poudre d'aluminium) puisqu'ils puissent réfléchir les rayons solaires et éviter l'échauffement de la surface du béton.

# protection contre la dessiccation

sinon...

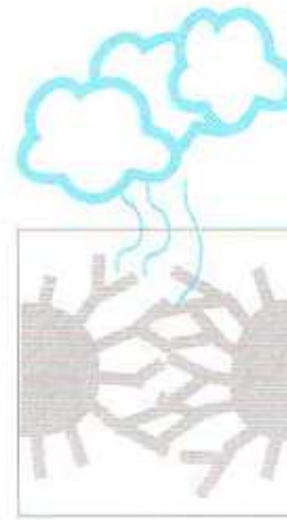
surface  
"grillée"



grain de ciment

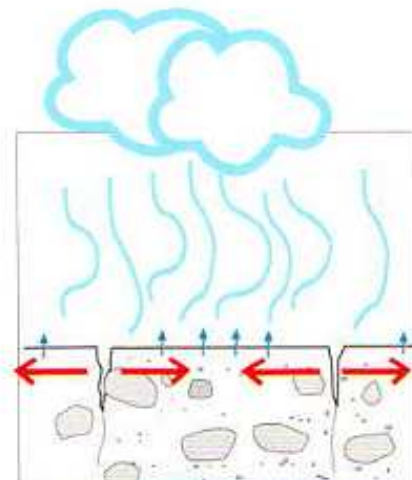


hydrates de ciment

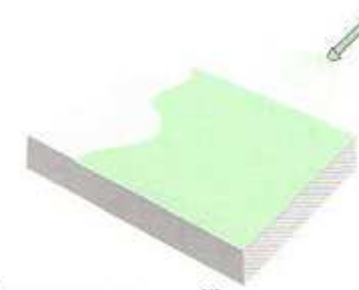


hydratation interrompue  
(= irrécupérable, même  
après réhumidification !)

"retrait plastique"



efforts de traction  
élevés  
⇒ fissuration



"curing compound"

Ils se présentent sous la forme d'un liquide qui doit être appliqué par pulvérisation sur la surface du béton frais presque immédiatement après le coulage. La consommation est souvent comprise entre  $120 \div 150$  g/m<sup>2</sup>. Après pulvérisation, l'eau de l'émulsion ou du solvant s'évapore laissant à la surface une mince couche continue de produit qui empêche l'évaporation de l'eau interne contenue dans le béton. Cette couche peut même protéger la surface du béton contre pluie. Il est déconseillé d'utiliser un produit de cure si le béton doit recevoir une chape ou une peinture, ou s'il s'agit d'une reprise de bétonnage.

i., utilisations :

- les revêtements de la route, d'autoroutes, de pistes d'envol, de ponts, ...
- protection de dalles, planchers, terrasses, ...

- revêtements des berges de canaux,
- les tunnels et voûtes,
- les parements divers et réservoirs,
- les enduits et les chapes.

ii., produits de base : cires ou paraffines en émulsions aqueuses ou dissoutes dans les solvants pétroliers ; caoutchouc chloré.

#### **4- Adjuvants pour coulis d'injection :**

On sait que les ouvrages de bétons armé utilisant le système de câbles situés dans les gaines souples et étanches, celles-ci sont injectées d'un coulis de ciments. L'injection est effectuée après la tension des câbles dès que le ciment peut supporter sans risques les contraintes appliquées. L'injection est une bonne opération nécessaire mais délicate qui a pour but d'enrober les câbles, de les lier au béton et de les protéger contre la corrosion.



Le coulis doit entièrement remplir les vides et doit être fluide et stable et ayant un temps de prise correcte (> 190 min). Un certain nombre d'adjuvants peuvent être ajoutés au coulis afin d'en améliorer les qualités :

- retardateurs de prise (si la durée prévue d'injection est longue),
- entraîneur d'air (léger gonflement et protection du gel),
- expansif (afin de remplir complètement la gaine).

## **5- Contrôle et stockage des adjuvants :**


La réception d'un produit à utiliser comme adjuvant doit comporter un contrôle au laboratoire relatif à sa nature chimique, à son comportement vis-à-vis du liant, des granulats, etc. ; mais ce contrôle ne donnera aucun renseignement sur la durabilité du produit.

Le technicien devra exiger que les adjuvants soient accompagnés d'un certificat d'origine indiquant la date de fabrication et la date limite d'emploi au cas où le produit n'a pas une stabilité durable. Pour ces raisons multiples, une étiquette parfaitement lisible est exigé quelque soit le mode d'emballage. La plupart des adjuvants se présentent en fûts hermétiques stockable sur le chantier à pied d'œuvre.

La présentation en sachet dose ou en sac de poudre plus ou moins hygroscopiques peut nécessiter l'entrepôt à l'abri des intempéries. Il faut dans tous les cas suivre les instructions des fabricants qui en général, sont en mesure d'assister le technicien-utilisateur dans la mise en œuvre du produit.

## Exemple d'étiquette devant figurer sur les emballages des adjuvants

Ces indications sont inscrites dans un cadre remplissant entièrement l'espace défini à l'article 3.1.1 conformément à l'exemple ci-après et de manière inaltérable.

Réducteur d'eau — Plastifiant DUPONTE — PLASTOU		
Produit par DUPONT, 34 route de X... — 02 (Ville)		
Distribué par SMITH, 27 th St London, SW2, GB		
<b>FONCTION PRINCIPALE</b> Réducteur d'eau — Plastifiant		Norme NF P 18-336
<b>FONCTION SECONDAIRE</b> Retardateur de prise		Marque NF 
<b>EFFET SECONDAIRE</b> Hydrofuge		
<b>DOSAGE</b> : Plage d'efficacité sans effets nocifs 0,3 % à 0,6 %		Teneur en ions-chlore < 1 g/l
Liquide	brun foncé	Masse volumique : 1,1 kg/dm <sup>3</sup>
<b>MODE D'EMPLOI</b> : à diluer dans l'eau de gâchage		
<b>PRÉCAUTIONS DE STOCKAGE</b> : craint le gel		
<b>PRÉCAUTIONS ET LIMITES D'EMPLOI</b> Voir notice d'emploi : — pour temps de fin de prise — pour incompatibilité avec certains ciments		
<b>PRÉCAUTIONS DE MANIPULATION</b> : avec des gants		
Références de fabrication : 82-045		Année limite d'emploi : 1987

### Indications facultatives

Le fabricant a en outre la faculté de compléter les indications normalisées par toutes autres indications qu'il juge utile à la bonne utilisation du produit.

Ces indications ne doivent pas risquer de provoquer des confusions avec les indications normalisées.