

جامعة الحسن الأول  
UNIVERSITÉ HASSAN 1<sup>ER</sup>



# *Les Principes de formulation du Béton*

LICENCE PROFESSIONNELLE  
Option : Génie Civil

Professeur **OUHAMI Youssef**



# Les Principes de formulation du Béton

## I – Généralités sur le béton

Le béton est le matériau composite le plus utilisé pour la construction dans le monde !

**Environ 50 Milliard de tonnes en 2015**  
**environ 1584 tonnes par seconde soit 648 m<sup>3</sup> par seconde**

- Façonnable à volonté
- Façonnable à température ambiante
- Ne nécessite pas de cuisson
- Accessible à tous
- Il peut être coulé sur place ou pré-façonné (préfabrication en éléments)

Les matériaux de construction misent sur le marché doivent être conçus à des niveaux de performances à la hauteur des ouvrages dans lesquels ils sont incorporés à fin de répondre aux 6 exigences essentielles:

- 1 – La stabilité et la résistance mécanique (charges permanentes et charges d'exploitations),
- 2 – La résistance aux contraintes externes (pluie, neige, chocs, attaques chimiques, séismes, volcans, ...),
- 3 – L'hygiène, la santé et l'environnement,
- 4 – La sécurité (lors de la construction et surtout pendant l'exploitation),
- 5 – La protection contre le bruit ([isolation acoustique](#)),
- 6 – L'économie d'énergie et l'isolation thermique.

## Qu'est ce qui peut influencer la formulation d'un béton ?

- 1 – Le liant (ciment, bitume, résine, argile) quantité et qualité
- 2 – Granulat (disponibilité, granulométrie, densité, nature ...)
- 3 – L'eau de gâchage (nature, quantité relative, ...)
- 4 – la mise en œuvre et la mise en place :



C'est sur qu'il y'a une différence entre malaxer un béton manuellement ou à l'aide d'une bétonnière ou dans une centrale à béton; puis même le temps du malaxage joue, (mois de temps qu'il en faut ou plus de temps peut influencer sur la qualité du béton).



### Béton non vibré

### Béton vibré



Le temps de transport et le moyen aussi peuvent influencer sur le béton

Un béton compacté est mieux qu'un autre, le béton vibré est encore mieux, tandis qu'un béton auto-plaçant donne des résultats incomparables.

5 – le climat (température, humidité, cycle de gel)

6 – La nature chimique des produits en contact permanent

7 - ... etc.

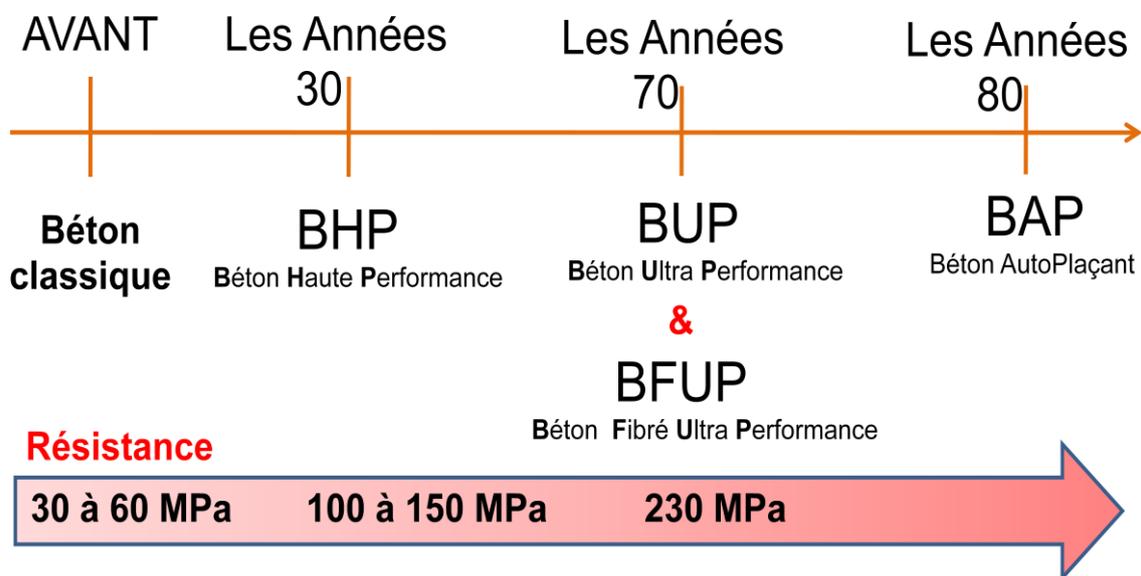
Les propriétés rhéologiques du béton à l'état frais peuvent permettre de distinguer différents types de béton :

- **béton vibré** : nécessite une vibration (aiguille vibrante, banche vibrante ...) pour une bonne mise en place dans le coffrage ;
- **béton compacté au rouleau** : béton très raide qui est mis en place à l'aide d'un rouleau compresseur (utilisé principalement pour les chaussées, les pistes d'atterrissage ou les barrages);
- **béton projeté** : béton raide mis en place par projection sur une surface verticale ou en surplomb (il existe deux techniques : la projection par voie humide et la projection par voie sèche) ;
- **béton pompé** : béton fluide qui peut être acheminé sur plusieurs centaines de mètres à l'aide d'une pompe à béton ;
- **béton auto-plaçant** et **béton auto-nivelant** : bétons très fluides qui ne nécessitent pas de vibration, la compaction s'effectuant par le seul effet gravitaire.

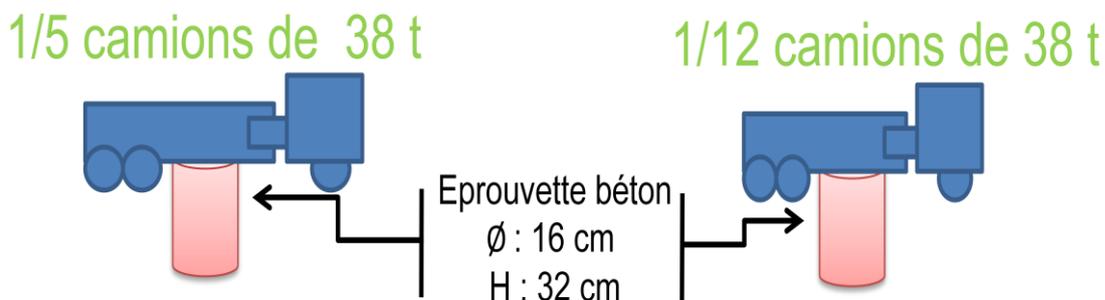


## II L'évolution des bétons

Le béton, comme tout autre matériau et technique, a connu une évolution très remarquable ces dernières années, l'illustration suivante montre comment la résistance à la compression du béton a pu passer de 30 à plus de 230 MPa :



ainsi, grâce aux recherches scientifiques (nous faisons allusions aux différentes techniques de formulation du béton) et à la naissance des centrales à béton, le contrôle des livraison se fait de moins en moins, pour passer d'un camion sur cinq à un camion sur douze.





### **III - Principes de formulation du Béton**

Le Béton, matériau de construction le plus utilisé, est Constitué d'au moins 4 composants :

- 1) Le liant (**sur ce chapitre nous n'allons étudier que le ciment**)
- 2) Les Granulats
- 3) L'Eau de gâchage
- 4) L'Air
- 5) éventuellement un ou plusieurs adjuvants.

## Le Ciment

( voir le chapitre Ciment )



# Granulats

On appelle granulats les matériaux d'origine minérale, (gravillons, sables, sablons et fillers) ou artificiel (Polystyrène, copeaux d'acier, copeaux ou sciure de bois...) qui entrent dans la composition des bétons.

## I - Différents types de granulats

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels.

### 1. Les granulats naturels

En roche meuble (sédimentaire) :

- Silice
- Silico-calcaire
- Calcaire massif

En roche éruptive (volcanique) :

- Basalte
- Granite
- Porphyre
- Diorite

En roche métamorphique :

- Quartzite
- Schistes
- Marbre et Gneiss

La masse volumique réelle de ces granulats est comprise entre 2,5 et 2,9 g/cm<sup>3</sup>.



## Granulats roulés et granulats de carrières

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories:

1. Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et cribléton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.
2. Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donnent des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage ... . La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur échantillon.

## 2. Les granulats artificiels

### Sous-produits industriels, concassés ou non

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m<sup>3</sup> pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m<sup>3</sup> pour le granulé.

Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.



## **Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement**

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires.

## **Granulats allégés par expansion ou frittage**

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme la Russie ou les Etats- Unis, n'ont pas eu en Europe le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes.

Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique.

Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

## **Les granulats très légers**

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (sciure de bois, polystyrène expansé, pierre ponce, argile expansé ...).

Très légers - 20 à 100 kg/m<sup>3</sup> - ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m<sup>3</sup> c.à.d une densité inférieure à celle de l'eau.

On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers: blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

### 3. Autres granulats

- Légers : Argile expansée, pouzzolane, Polystyrène, sciure de bois, billes de verre.
- Lourds : Barytes, hématites, copeaux d'acier, laitiers.
- Matériaux de recyclage : Granulats à base de matériaux recyclés (bétons, briques, ...).

La masse volumique réelle de ces granulats est comprise entre 0,15 et 7,9 g/cm<sup>3</sup>.

## II - Classification des granulats

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d, des grains et le deuxième le diamètre maximum D.

Il existe quatre classes granulaires principales caractérisées par les dimensions des granulats rencontrées (Norme NFP18-101):

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| <b>Fillers</b>    | → | $D < 2 \text{ mm}$<br>avec <b>plus</b> de 70% $\geq 0,063 \text{ mm}$     |
| <b>Sablons</b>    | → | $D \leq 1 \text{ mm}$<br>avec <b>moins</b> de 70% $\geq 0,063 \text{ mm}$ |
| <b>Sables</b>     | → | $1 \text{ mm} < D \leq 5 \text{ mm}$                                      |
| <b>Gravillons</b> | → | $1 \text{ mm} \leq D \leq 150 \text{ mm}$ naturel – 125 mm Artificiel     |

Il peut être utile dans certains cas d'écrire la classification suivante:

### Classes granulaires des granulats

| APPELLATION                 |        | Maille des tamis (mm) |
|-----------------------------|--------|-----------------------|
| Pierres cassées et cailloux | Gros   | 50 à 80               |
|                             | Moyens | 31,5 à 50             |
|                             | Petits | 20 à 31,5             |
| Gravillons                  | Gros   | 12,5 à 20             |
|                             | Moyens | 8 à 12,5              |
|                             | Petits | 5 à 8                 |
| Sable                       | Gros   | 1,25 à 5              |
|                             | Moyens | 0,31 à 1,25           |
|                             | Petits | 0,08 à 0,31           |
| Fines, Farines et Fillers   |        | < à 0,08              |





**N.B : La coupure entre le sable et le gravillon se fait à 5mm.**

**(G = % de gravillons > 5mm et S = % de sable ≤ 5mm).**

Dans la formulation du béton le rapport  $\frac{\text{Gravillon}}{\text{Sable}}$  influence sur :

**Compacité** : légèrement plus élevée pour  $\frac{G}{S}$  supérieur à 1,2.

**Résistance à la compression** : meilleure pour  $\frac{G}{S}$  supérieur à 1,2.

**Ouvrabilité** : un peu moins bonne pour  $\frac{G}{S}$  supérieur à 1,2.

Pour les bétons courants il convient de ne pas dépasser un **G/S** supérieur à 1,2.

**Compacité** : Qualité témoignant du rapport entre le volume théorique absolu, c'est-à-dire sans vide, d'un corps sec et son volume apparent. Une compacité de 0,95 indique que 5 % de vides subsistent dans le matériau considéré.

**Résistance à la compression** : Capacité d'un béton à résister à des sollicitations de compression à l'état frais et surtout après durcissement.

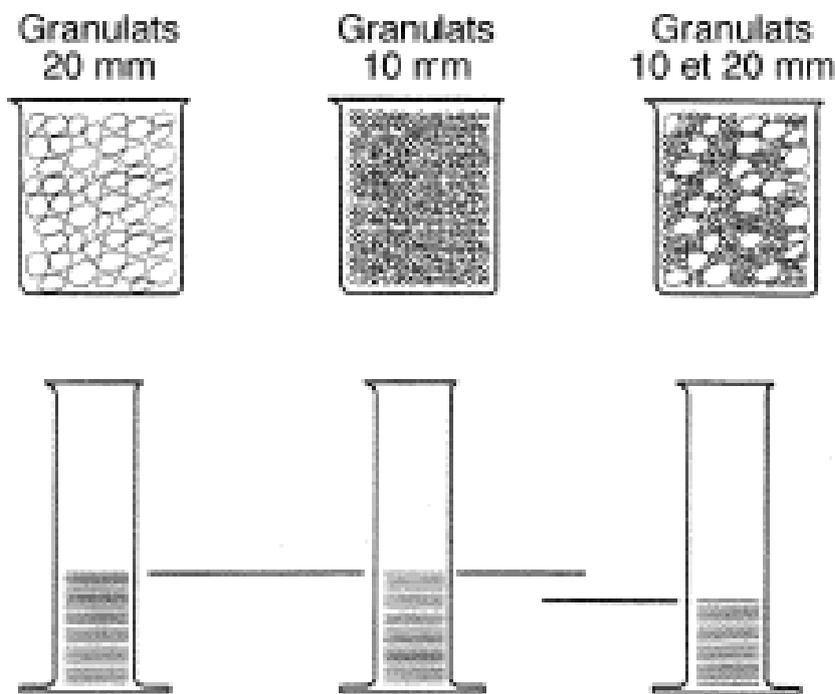
**Ouvrabilité** : Qualification de l'aptitude d'un béton à être mis en oeuvre, par exemple à être coulé dans un coffrage.

Les granulats sont ajoutés au mélange; ils sont liés par la pâte et donnent une résistance au béton, que le ciment seul ne peut pas assurer. Les granulats constituent une proportion de 60 % à 75 % du mélange ; et se divisent en deux groupes :

- des granulats fins comprennent les sables naturels ou manufacturés, dont le diamètre peut atteindre 5 mm;
- des gros granulats auront habituellement des diamètres de 10 mm, 14 mm ou 20 mm.



Les granulats, qu'ils soient gros ou petits, doivent être présents dans une proportion adéquate pour obtenir un mélange de béton économique. Il est aisé de concevoir que, si les proportions sont exactes, les petits granulats occuperont l'espace laissé par les gros et que la pâte de ciment occupera celui laissé par les petits granulats, formant ainsi un bon béton (figure suivante).



Le niveau de liquide dans les vases gradués, qui représente les vides, est constant pour des volumes absolus égaux de granulats de grosseur uniforme mais différentes. Le volume des vides diminue quand on combine des grosseurs différentes. L'illustration n'est pas à l'échelle.

### Propreté des granulats et de l'eau

Les granulats doivent être propres de façon à obtenir une bonne adhésion entre la pâte et ceux-ci. Ils devront être aussi résistants que la pâte, une fois celle-ci durcie. N.B : l'utilisation d'une eau malpropre diminue les qualités du béton.



# L'EAU DE GÂCHAGE

Seule l'eau potable peut être reconnue pour la fabrication du béton; L'eau de mer est interdite pour les bétons armés et précontraints.

Toutes les eaux usées, de rejets industriels, de ruissellements doivent faire l'objet d'un contrôle selon la norme en vigueur.

La teneur en chlorure dans l'eau ne doit jamais excéder 500mg/litre.

L'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur.

**Pour hydrater 100 Kg de Ciment, entre 25 et 50 litres d'eau sont nécessaires selon le but recherché.**

## Le Rôle de l'Eau

- l'eau permet l'hydratation de la pâte de ciment.
- elle mouille la surface des granulats pour que la pâte de ciment puisse y adhérer.
- elle favorise la maniabilité du béton (la mise en œuvre et la mise en place)

## Rapport important dans la formulation du béton

La quantité d'eau relative à la quantité du ciment a des impacts sur le béton à l'état frais et après durcissement.

$\frac{\text{Eau}}{\text{Ciment}}$

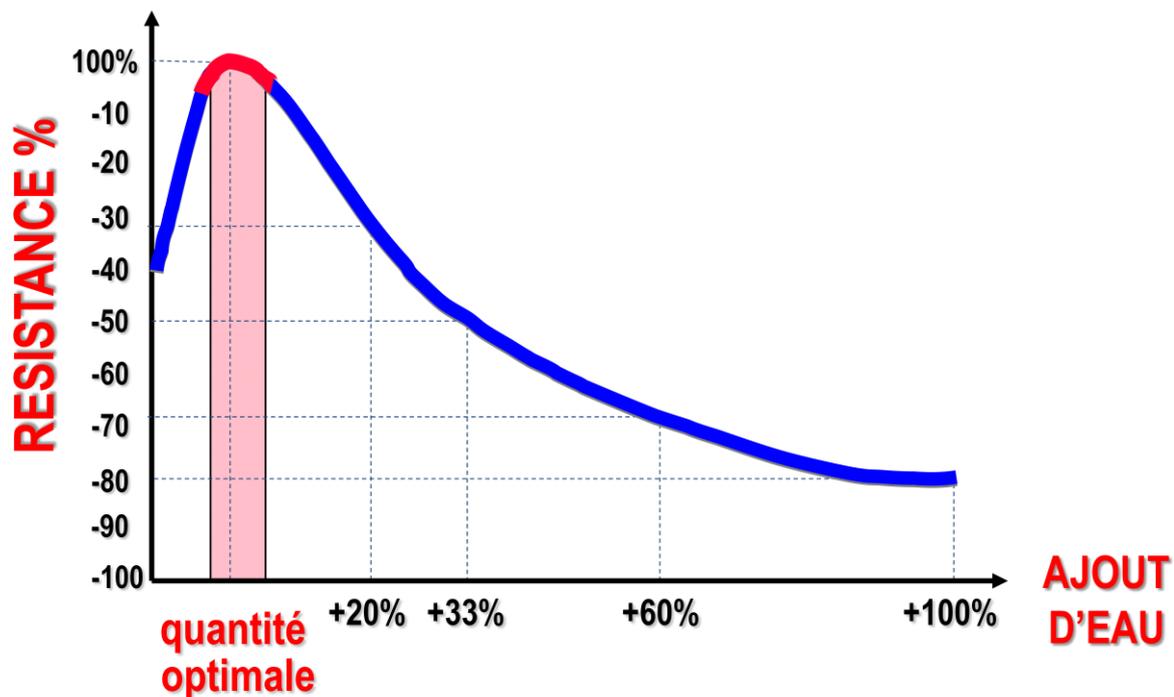
influence sur :

- la résistance mécanique
- la porosité
- le retrait hydraulique

Exemple de  $\frac{G}{S}$  :

- = 0,3 pour les bétons BHP & BUHP
- = 0,5 pour les bétons courants
- > 0,6 à éviter

Une modification du dosage en eau par rapport à la quantité optimale entraîne une incidence importante sur les résistances mécaniques



## **IV - Principes fondamentaux**

En vue de satisfaire aux objectifs :

- de résistance mécanique,
- de durabilité,
- d'esthétique,
- d'étanchéité,
- ...

formuler un béton consiste à intégrer des paramètres essentiels tels que :

- la qualité des matériaux disponibles,
- la nature du projet à réaliser,
- les moyens de mise en œuvre disponibles sur le site,
- la qualité de l'environnement dans lequel va "vivre" l'ouvrage à réaliser,
- les conditions de mise en place (pompage, vibration, compactage, ...),
- les délais de décoffrage et de réalisation.
- ...

### **Désignation de la norme**

La norme **EN 206-1** définit trois types de bétons :

- les Bétons à Propriétés Spécifiées : **BPS**
- les Bétons à Composition Prescrite : **BCP**
- les Bétons à Composition Prescrite dans une Norme : **BCPN**



### Les BPS :

Il s'agit de béton pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées au producteur qui est responsable de fournir un béton satisfaisant à ces exigences.

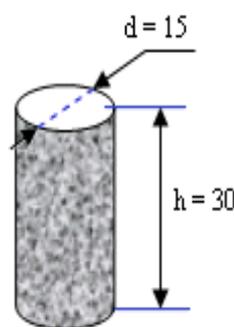
### **Les spécifications de base conforment à la norme NF EN 206-1 sont les suivantes:**

- 1) Classe de résistance en compression.
- 2) Classe de consistance.
- 3) Classe de teneur en chlorures.
- 4) Dimension maximale des granulats.
- 5) Classe d'exposition.

### **La teneur en ciment pour les BPS découle du choix de la classe d'exposition.**

#### **1) Classe de résistance en compression.**

La classe de résistance à la compression des bétons à 28 jours est désignée par la lettre C de "Concrète" suivi de deux nombres correspondant aux résistances mesurées  $\pm 5\%$  (en MPa) respectivement sur une éprouvettes cylindriques (généralement de  $h=300\text{mm}$  et  $\varnothing=150\text{mm}$ ) et une autre cubiques (généralement du côté  $c=150\text{mm}$ ) (par exemple C20/25 ; C30/37).



La dimension de l'éprouvette pour mesurer la résistance en compression

2 faces planes,  
perpendiculaires aux  
généatrices



Le surfacage au soufre de l'éprouvette pour l'essai sous presse



La résistance d'un béton est une notion toute relative et elle dépend de la méthode d'essai utilisée (comprenant la forme des éprouvettes) la classe de ciment, dès le choix de la qualité des granulats, la chaîne de bétonnage etc.

Le béton de l'ouvrage a des résistances différentes de celles du même béton essayé sur éprouvettes d'essai normalisé (il y a l'effet de masse et une hydratation différente du fait des évolutions des températures elles-mêmes différentes).

N.B : - La norme XP P18-305 admettait 10% de résultats en dessous de la résistance caractéristique spécifiée jusqu'à 30MPa et 5% au-dessus de 30MPa.

- La norme NF EN 206-1 impose donc des spécifications plus sévères et gage de plus grande qualité.

| pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds |                                     |           |
|---|-------------------------------------|-----------|
| Classe de résistance à la compression                           | Résistance caractéristique minimale |           |
|   | sur cylindres                       | sur cubes |
| C16/20  | 16                                  | 20        |
| C20/25  | 20                                  | 25        |
| C25/30  | 25                                  | 30        |
| C30/37  | 30                                  | 37        |
| C35/45  | 35                                  | 45        |
| C40/50  | 40                                  | 50        |
| C45/55  | 45                                  | 55        |
| C50/60  | 50                                  | 60        |
| C55/67  | 55                                  | 67        |
| C60/75  | 60                                  | 75        |
| C70/85  | 70                                  | 85        |
| C80/95  | 80                                  | 95        |
| C90/105   | 90                                  | 105       |
| C100/115  | 100                                 | 115       |



## 2) Classe de consistance

La consistance d'un béton est l'état de sa fermeté et de sa compacité avant le début de sa prise.

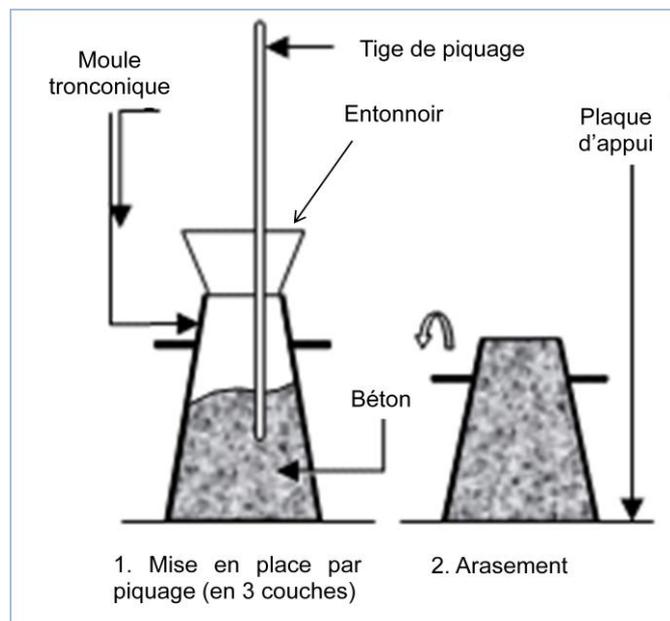
La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci.

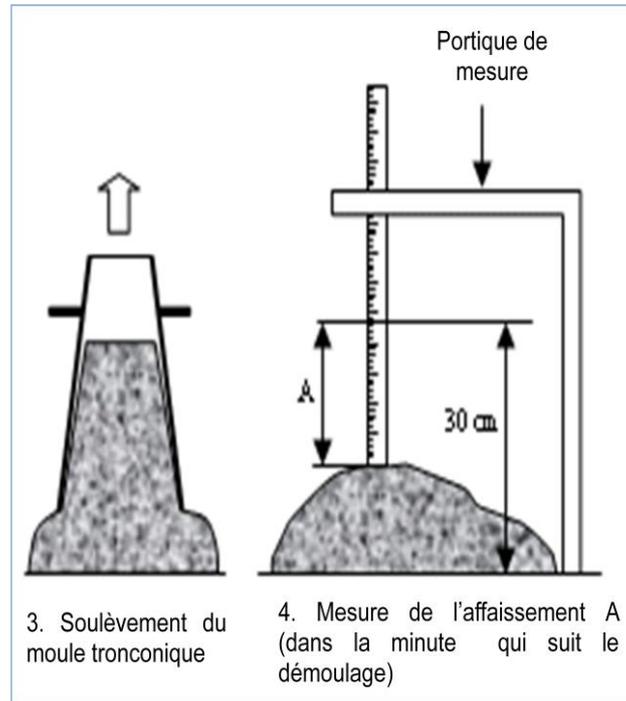
Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré.

### Affaissement au cône d'Abrams.

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration.





Les classes d'affaissement au cône d'Abrams sont les suivantes :

**BPS  
NF EN 206-1**

**S1**  
**S2**  
**S3**  
**S4**  
**S5 (nouvelle classe)**

|                    | S1             | S2              | S3                   | S4           | S5                 |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------|--------------------|
| Affaissement en mm | 10-40          | 50-90           | 100-150              | 160-210      | >220               |
|                    | béton extrudés | béton plastique | béton très plastique | béton fluide | béton auto plaçant |



### 3) Classe de teneur en chlorure

Selon la norme **NF EN 206-1** cette classe est définie par le rapport (masse total des chlorures présent dans le béton) / (masse de ciment)

Ainsi la classe de teneur en chlorure est désignée comme suit :

**CL 0,20 Béton précontraint** avec 0,20% de chlorure

**CL 0,40 Béton armé** avec 0,40% de chlorure

**CL 0,65 Béton armé CEM III** avec 0,65% de chlorure

**CL 1,00 Béton non armé** avec 1,00% de chlorure

CEM III amène des chlorures non nocifs consommés par le laitier

### 4) Dimension maximale des granulats

La dimension maximale du gros granulat que l'on peut utiliser dépend à la fois de

- la forme et des dimensions des éléments de béton,
- la quantité et la disposition des aciers d'armature.

Généralement la grosseur maximale des granulats ne doit pas dépasser soit :

- 1/5 de la plus faible dimension de l'élément de béton,
- ou le 3/4 de l'espacement des aciers d'armature ou de leur distance aux coffrages.
- Dans le cas des dalles non armées reposant sur le sol, la grosseur maximale des gros granulats ne doit pas dépasser 1/3 de l'épaisseur de la dalle. On pourra utiliser des grosseurs plus petites de façon à tenir compte de la disponibilité et de l'économie des approvisionnements en granulats (ACCP).



## 5) Classe d'exposition

Selon la Norme **NF EN 1992-1-1** Section 4 Article 4.2 : Actions physiques et chimiques auxquelles la structure est exposée en plus des actions mécaniques :

Prescrire un béton durable nécessite d'apprécier, dès sa conception, l'ensemble des contraintes environnementales, agressions et attaques potentielles qu'il aura à subir pendant toute sa durée d'utilisation.

### **Le Choix de la classe d'exposition est la Responsabilité du donneur d'ordre**

La norme définit **SIX CLASSES D'EXPOSITION**, -sous formes de deux grandes familles, la 1<sup>ère</sup> se converge vers les expositions courantes et la 2<sup>ème</sup> vers les expositions particulières- en fonction des actions dues à l'environnement.

L'application du nouveau contexte normatif conduit à poser en amont les questions associées à la durabilité attendue. Il faut anticiper les conditions d'environnement et d'exploitation de l'ouvrage, ce qui peut entraîner des itérations et des choix du meilleur compromis entre alternatives.

Les deux grandes familles des expositions d'expositions :

### **Les expositions courantes**

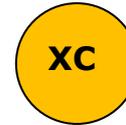
- X0 aucun risque de corrosion ni attaque (**béton non armé**)
- XC corrosion induite par carbonatation (**béton armé**)
- XF risques d'attaque due aux cycles gel/dégel

### **les expositions particulières**

- XS corrosion induite par des chlorures d'origine marin
- XD corrosion induite par des chlorures non marin
- XA attaques chimiques



## Risque de corrosion par carbonatation



Béton armé ou précontraint

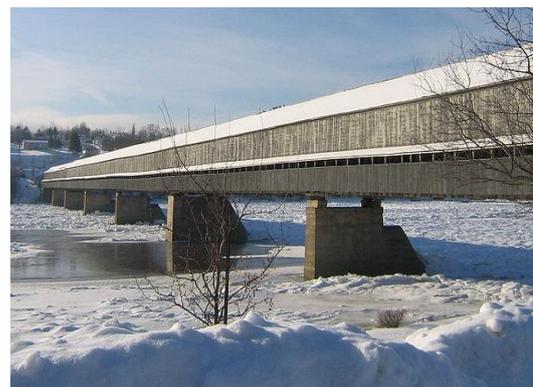
| CLASSE D'EXPOSITION | DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT      |
|---------------------|-------------------------------------|
| XC1                 | Sec ou Humide en permanence         |
| XC2                 | Humide, rarement sec                |
| XC3                 | Humidité modérée                    |
| XC4                 | Alternance d'humidité et sécheresse |



## Risque de gel dégel



| Gel              |  |     |
|------------------|---|-----|
| Faible<br>Modéré | XF1   | XF2 |
| Sévère           | XF3   | XF4 |





## Corrosions des armatures par les chlorures

**XD ou XS**

### Béton armé ou précontraint

| CLASSE D'EXPOSITION | DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT   |
|---------------------|--|
| XS1                 | Exposé à l'air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l'eau de mer |
| XS2                 | Immergé en permanence  |
| XS3                 | Zones de marnage, zone soumises à des projections ou à des embruns                   |
| XD1                 | Humidité modérée   |
| XD2                 | Humide, rarement sec   |
| XD3                 | Alternance d'humidité et de séchage  |

**Avec existence du sel non marin**

## Attaques chimiques

**XA**

Eaux de surface et souterraines :

|                     | XA1           | XA2             | XA3             |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Sulfate mg/l        | >200 et <600  | >600 et < 3000  | >3000 et < 6000 |
| Ph                  | <6.5 et >5.5  | <5.5 et >4.5    | <4.5 et >4.0    |
| Ammoniac mg/l       | >15 et <30    | >30 et < 60     | >60 et < 100    |
| Gaz carbonique mg/l | >15 et <40    | >40 et < 100    | > 100           |
| Magnésium mg/l      | >300 et <1000 | >1000 et < 3000 | >3000           |

Sol :

|               |                |                  |                   |
|---------------|----------------|------------------|-------------------|
| Sulfate mg/kg | >2000 et <3000 | >3000 et < 12000 | >12000 et < 24000 |
|---------------|----------------|------------------|-------------------|



## Comparaison entre les classes d'expositions

|                               | Aucun risque de corrosion ou d'attaque | Corrosion induite par carbonatation |           |           |           |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                               | X0                                     | XC1                                 | XC2       | XC3       | XC4       |
| Rapport E/C maximal           | -                                      | 0,60                                | 0,60      | 0,60      | 0,60      |
| Classe de Résistance minimale | -                                      | C 20 - 25                           | C 20 - 25 | C 25 - 30 | C 25 - 30 |
| Qté minimal de Ciment (kg/m3) | 150                                    | 260                                 | 260       | 280,00    | 280,00    |
| Teneur minimale en air (%)    | -                                      | -                                   | -         | -         | -         |
| Cendres volantes (*)          | 0,30                                   | 0,30                                | 0,30      | 0,30      | 0,30      |
| Fumées de silice (*)          | 0,10                                   | 0,10                                | 0,10      | 0,10      | 0,10      |
| Laitier moulu (*)             | 0,30                                   | 0,30                                | 0,30      | 0,30      | 0,30      |
| Addition calcaire (*)         | 0,25                                   | 0,25                                | 0,25      | 0,25      | 0,25      |
| Addition siliceuse (*)        | 0,20                                   | 0,20                                | 0,20      | 0,20      | 0,20      |
| Ciment au Label               | -                                      | -                                   | -         | -         | -         |

(\*) Rapport maximal A/A+C  
E = eau efficace & C = liant équivalent

|                               | Attaque gel / dégel |           |           |           |
|-------------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
|                               | XF1                 | XF2       | XF3       | XF4       |
| Rapport E/C maximal           | 0,60                | 0,55      | 0,55      | 0,45      |
| Classe de Résistance minimale | C 25 - 30           | C 25 - 30 | C 30 - 37 | C 30 - 37 |
| Qté minimal de Ciment (kg/m3) | 280                 | 300       | 315       | 340       |
| Teneur minimale en air (%)    | -                   | 4         | 4         | 4         |
| Cendres volantes (*)          | 0,30                | 0,30      | 0,30      | 0,15      |
| Fumées de silice (*)          | 0,10                | 0,10      | 0,10      | 0,10      |
| Laitier moulu (*)             | 0,30                | 0,30      | 0,30      | 0,15      |
| Addition calcaire (*)         | 0,25                | 0,25      | 0,25      | 0,05      |
| Addition siliceuse (*)        | 0,20                | 0,20      | 0,20      | 0,05      |
| Ciment au Label               | -                   | PM        | -         | PM - ES   |

(\*) Rapport maximal A/A+C  
E = eau efficace & C = liant équivalent



|  | Corrosion induite par les chlorures |           |           |                               |           |           |
|--|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|
|  | Eau de mer                          |           |           | Chlorures d'origine non marin |           |           |
|  | XS1                                 | XS2       | XS3       | XD1                           | XD2       | XD3       |
| Rapport E/C maximal                        | 0,55                                | 0,55      | 0,50      | 0,60                          | 0,55      | 0,5       |
| Classe de Résistance minimale              | C 30 - 37                           | C 30 - 37 | C 35 - 45 | C 25 - 30                     | C 30 - 37 | C 35 - 45 |
| Qté minimal de Ciment (kg/m <sup>3</sup> ) | 330                                 | 330       | 350       | 280                           | 330       | 350       |
| Teneur minimale en air (%)                 | -                                   | -         | -         | -                             | -         |           |
| Cendres volantes (*)                       | 0,15                                | 0,15      | 0,15      | 0,30                          | 0,15      | 0,15      |
| Fumées de silice (*)                       | 0,10                                | 0,10      | 0,10      | 0,10                          | 0,10      | 0,10      |
| Laitier moulu (*)                          | 0,15                                | 0,15      | 0,15      | 0,30                          | 0,15      | 0,15      |
| Addition calcaire (*)                      | 0,05                                | 0,05      | 0,05      | 0,25                          | 0,05      | 0,05      |
| Addition siliceuse (*)                     | 0,15                                | 0,15      | 0,15      | 0,20                          | 0,15      | 0,15      |
| Ciment au Label                            | PM                                  | PM        | PM        | PM                            | PM        | PM        |

(\*) Rapport maximal A/A+C  
E = eau efficace & C = liant équivalent

|  | Environnements chimiquement agressifs |           |           |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|
|  | XA1                                   | XA2       | XA3       |
| Rapport E/C maximal                        | 0,55                                  | 0,50      | 0,45      |
| Classe de Résistance minimale              | C 30 - 37                             | C 35 - 45 | C 40 - 50 |
| Qté minimal de Ciment (kg/m <sup>3</sup> ) | 330                                   | 350       | 385       |
| Teneur minimale en air (%)                 | -                                     | -         | -         |
| Cendres volantes (*)                       | 0,30                                  | 0,30      | 0,00      |
| Fumées de silice (*)                       | 0,10                                  | 0,10      | 0,10      |
| Laitier moulu (*)                          | 0,30                                  | 0,30      | 0,00      |
| Addition calcaire (*)                      | 0,00                                  | 0,00      | 0,00      |
| Addition siliceuse (*)                     | 0,00                                  | 0,00      | 0,00      |
| Ciment au Label                            | PM - CP                               | ES        | ES        |

(\*) Rapport maximal A/A+C  
E = eau efficace & C = liant équivalent



### Les BCP :

Il s'agit de béton pour lequel la composition et les constituants à utiliser sont spécifiés au producteur par le prescripteur.

la responsabilité du producteur se limite au respect de la composition prescrite.

**Les spécifications de base conforment à la norme NF EN 206-1 sont les suivantes:**

- 1) Dosage en ciment.
- 2) Classe de résistance à la compression.
- 3) Rapport **Eau** efficace / **Liant** équivalent ou consistance.
- 4) Dimension maximale des granulats.
- 5) Type et catégorie des granulats.
- 6) Type et quantité des adjuvants ou additions.

**La teneur en ciment pour les BPS découle du choix de la classe d'exposition.**

### Les BCP dans une Norme :

Ce type de béton est réservé à certains ouvrages simples de bâtiment, cas d'ouvrage d'Art. (chantier de catégorie A, tel que défini dans la norme NF P 18-201 article 6.5)

# EXEMPLE DE DÉNOMINATION DE BETON

**BPS - NF EN 206-1 C30/37 XC2/XF1/XA1 D<sub>max</sub> 22,5 S3 CL 0,40**

BPS : Béton à propriété spécifique  
BCP : Béton à composition prescrite  
BCPN : Béton à composition prescrite  
dans une norme

Spécification de la norme de conformité

Classe de résistance à la compression  
Ou résistance caractéristique demandée  
lors du teste à l'écrasement après 28 jours  
1<sup>ère</sup> valeur : résultat demandé pour le  
cylindre normalisée.  
2<sup>ème</sup> valeur : résultat demandé pour le  
cube normalisé.

Classes d'exposition courantes et particulières

Dimension maximale des granulats

Classes de consistance du béton,  
S1 : affaissement à la cône d'Abrams entre 10 et 40mm  
S2 : affaissement à la cône d'Abrams entre 50 et 90mm  
S3 : affaissement à la cône d'Abrams entre 100 et 150mm  
S4 : affaissement à la cône d'Abrams entre 160 et 210mm  
S5 : affaissement à la cône d'Abrams > supérieur à 220mm

Classe de teneur en Chlorure :

|         |                         |                     |
|---------|-------------------------|---------------------|
| CL 0,20 | Béton précontraint      | ≤ 0,20% de chlorure |
| CL 0,40 | Béton armé              | ≤ 0,40% de chlorure |
| CL 0,65 | Béton armé avec CEM III | ≤ 0,65% de chlorure |
| CL 1,00 | Béton non armé          | ≤ 1,00% de chlorure |



# LES ADJUVANTS DU BÉTON

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % de masse du ciment dans béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule.

Un adjuvant peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires.

## Selon la Norme NF EN 934 - 2

Les Adjuvants pour béton, mortier et coulis sont classés selon 3 grandes catégories :

- **ADJUVANTS MODIFIANT L'OUVRABILITE ET LA RHEOLOGIE DU BETON**
  - Plastifiant / Réducteur d'eau
  - Superplastifiant / Haut réducteur d'eau
  
- **ADJUVANTS MODIFIANT LA PRISE ET LE DURCISSEMENT**
  - Accélérateur de prise
  - Accélérateur de durcissement
  - Retardateur de pris
  
- **ADJUVANTS MODIFIANT DES PROPRIETES PARTICULIERES**
  - Entraîneur d'air
  - Hydrofuges de masse
  - Rétenteur d'eau



**Attention les dosages indiqués sur ce cours sont à titre indicatifs, il faut toujours respecter les dosages marqués sur les fiches techniques de chaque produit utilisé.**

## Plastifiants Réducteurs d'eau

Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, augmentent l'affaissement / l'étalement, ou qui produisent les deux effets à la fois.

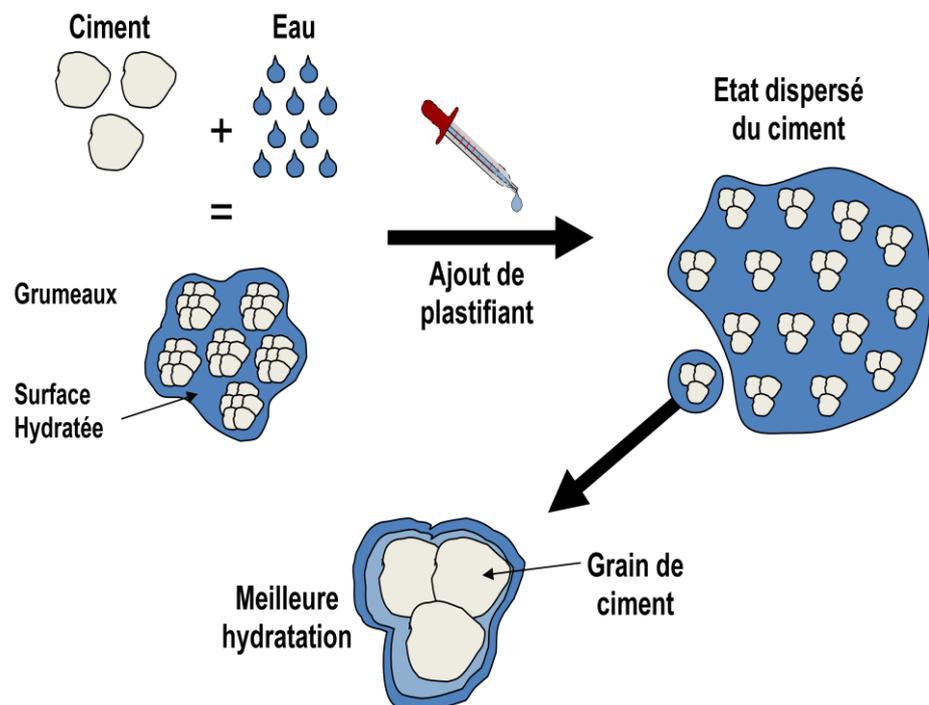
### Mode d'Emploi

Produits introduits dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : 0,15 à 0,4% selon le but recherché.  
0,6 à 1,2% pour les «multi-dosages».

**Effets secondaires** : dosage > à 0,4% : retard et / ou air entraîné.

### Mode d'Action





### **Effets sur le Béton frais**

- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien dans le temps.
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique.

### **Effets sur le Béton durci**

- Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme.
- Diminution de la porosité.
- Augmentation de la durabilité.
- Amélioration de la cohésion ciment/granulats.
- Amélioration de l'adhérence acier/béton.

### **Domaines d'Applications**

- Tous les bétons courants jusqu'à 30 MPa (gris, blancs, colorés).
- Le béton prêt à l'emploi.
- Le béton de préfabrication légère (blocs, pavés, dalles, ...).
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de voiries.
- Les bétons routiers.
- Les bétons de Génie Civil.
- Les bétons agricoles.

## Superplastifiants Haut réducteurs d'eau

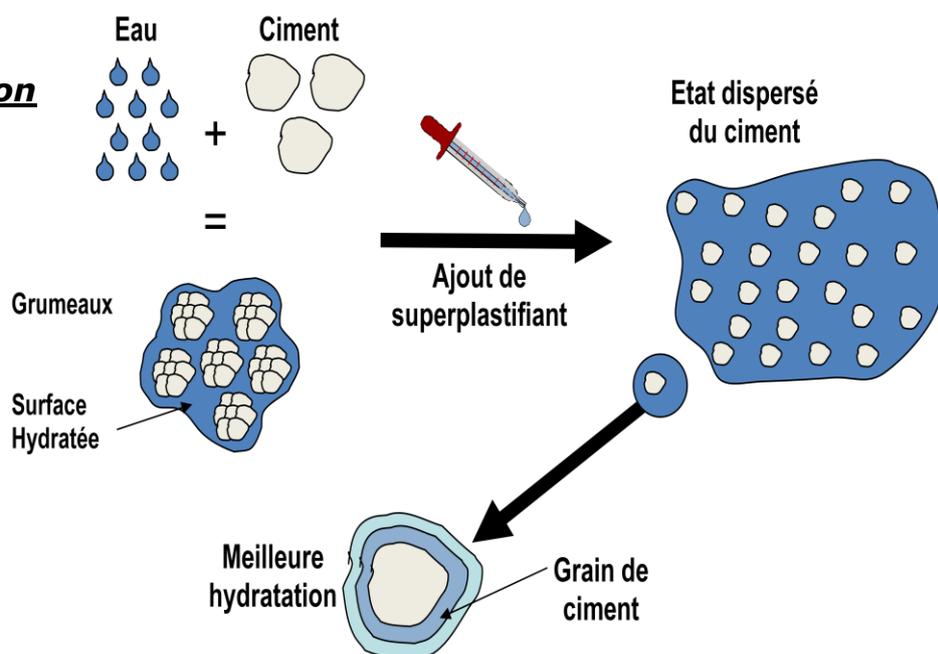
Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, fait augmenter considérablement l'affaissement ou l'étalement, ou les deux effets à la fois.

### Mode d'emploi

Produits introduits soit dans l'eau de gâchage, soit en cours de malaxage.

Dosage indicatif : 0,6 à 5 % selon le but recherché.

### Mode d'action





### **Effets sur le béton frais**

- Diminution de la teneur en eau.
- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 3h00 à 20°C).
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique.

### **Effets sur Béton durci**

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
- Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment).
- Amélioration de la compacité.
- Amélioration de la liaison béton / acier.
- Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
- Diminution du coefficient de la perméabilité.

### **Domaines d'applications**

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.



- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferraillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

### **Accélérateurs de prise**

Adjuvants qui diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

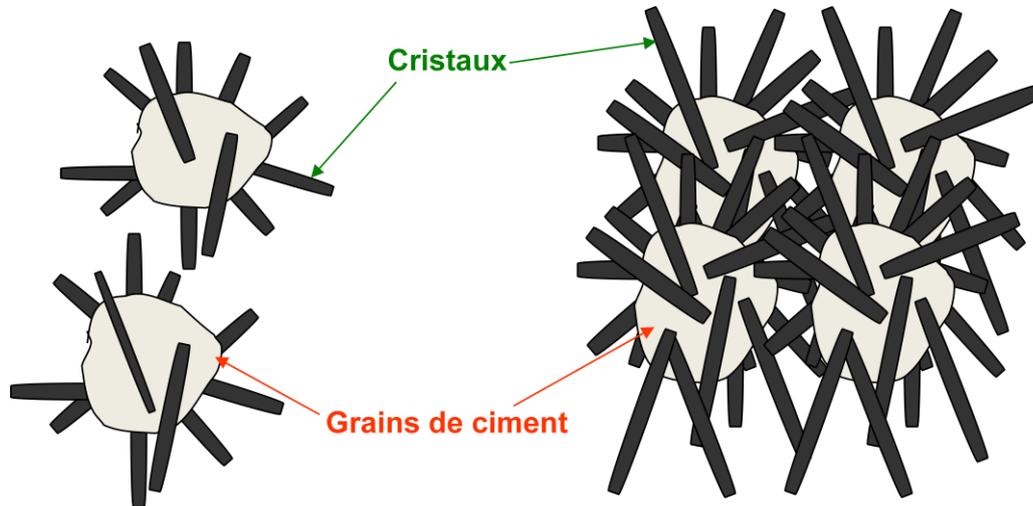
### **Mode d'emploi**

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 1 à 3 % du poids du ciment.

Possibilité de l'employer sur site après transport moyennant une homogénéisation soignée du béton.

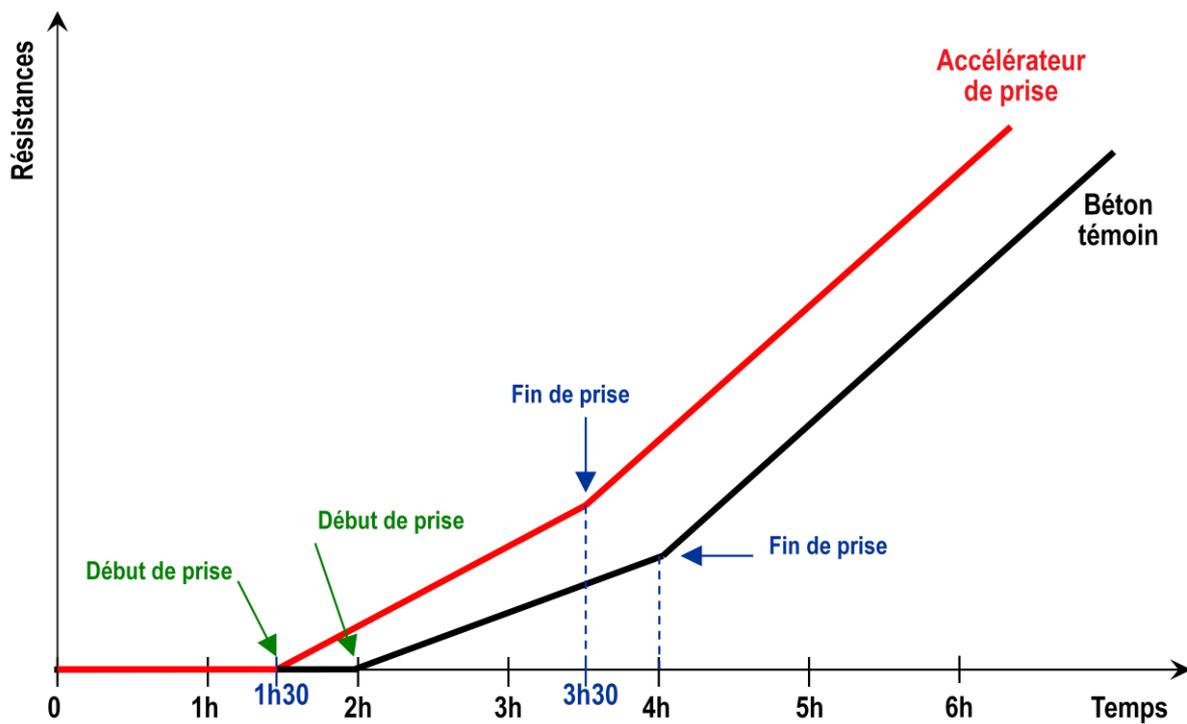
**Mode d'action** État de l'hydratation après 3 heures à 20 °C



Béton témoin

Accélération de la cristallisation des grains de ciment

**Résultats observés**





### **Effets sur le béton**

- Accélération de la prise du béton.
- Amélioration des résistances à court terme.
- Augmentation de la chaleur d'hydratation.

### **Mode d'action**

- Le bétonnage par temps froid.
- Le béton manufacturé (préfabrication).
- Le béton prêt à l'emploi (augmentation des cadences de production sur chantier).
- Le béton à hautes résistances initiales.
- Le béton pour travaux en zones de marnage (cycle des marées).
- ...

### **Accélérateurs de durcissement**

Adjuvants qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.

### **Mode d'emploi**

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

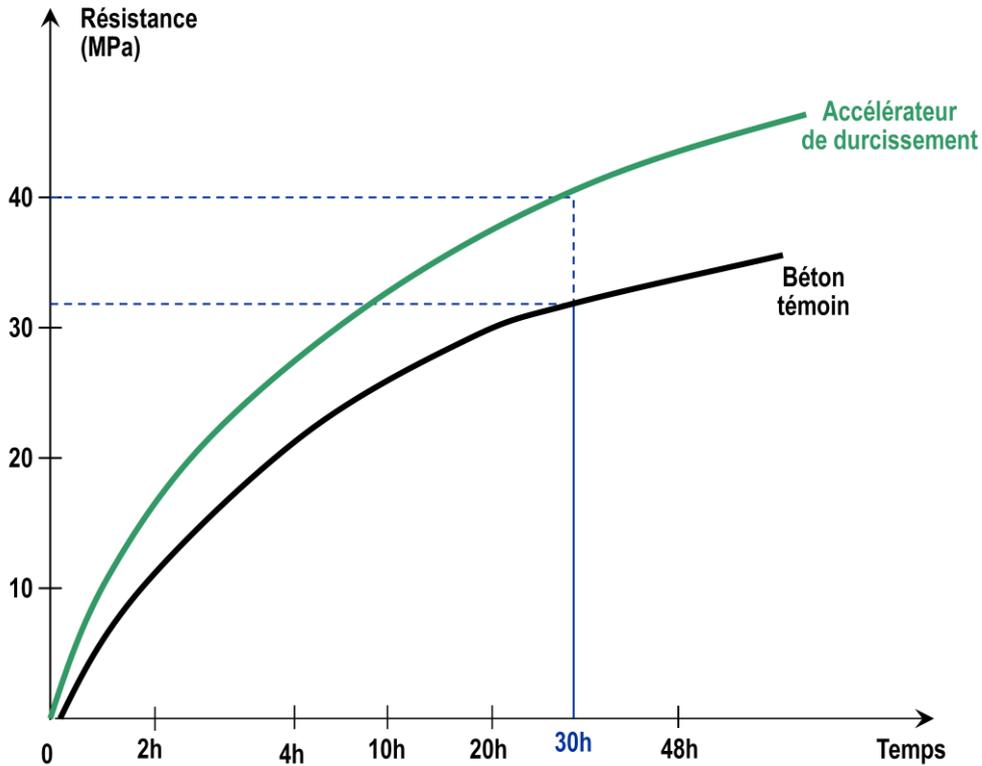
Dosage indicatif : de 0,8 à 2 % du poids du ciment.

### **Effets sur le béton**

- Accroissement de la vitesse de montée en résistance du béton.
- Amélioration des résistances à court terme.



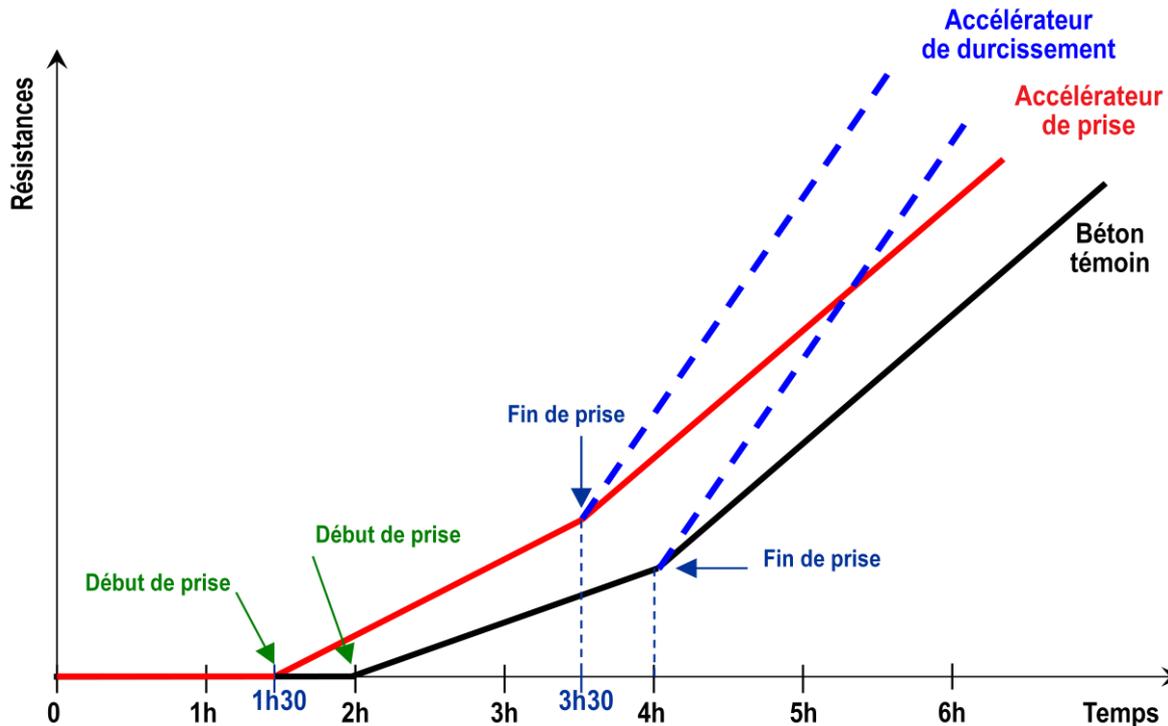
## Résultats observés



## Domaines d'applications

- Tous les bétons nécessitant une résistance à court terme.
- Les bétons pour décoffrages rapides.
- Les bétons précontraints.
- ...

## Accélérateurs de prise et/ou durcissement ?



## Retardateurs de prise

Adjuvants qui augmentent le temps depuis le début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

Ils régulent le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

Le retard de prise favorise le transport du béton sur de longues distances et la reprise de bétonnage.

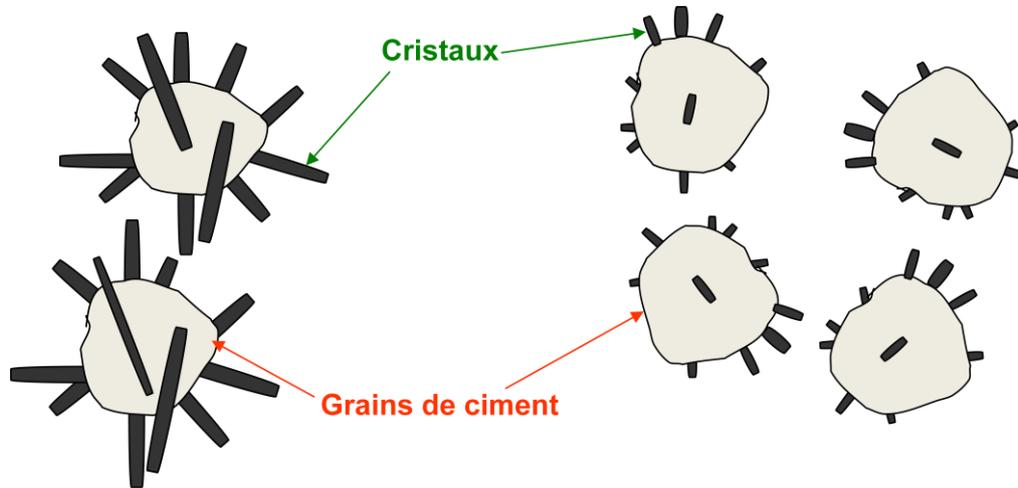
La diminution de la chaleur d'hydratation favorise le bétonnage en grande masse.

## Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 0,2 à 0,5 % du poids du ciment

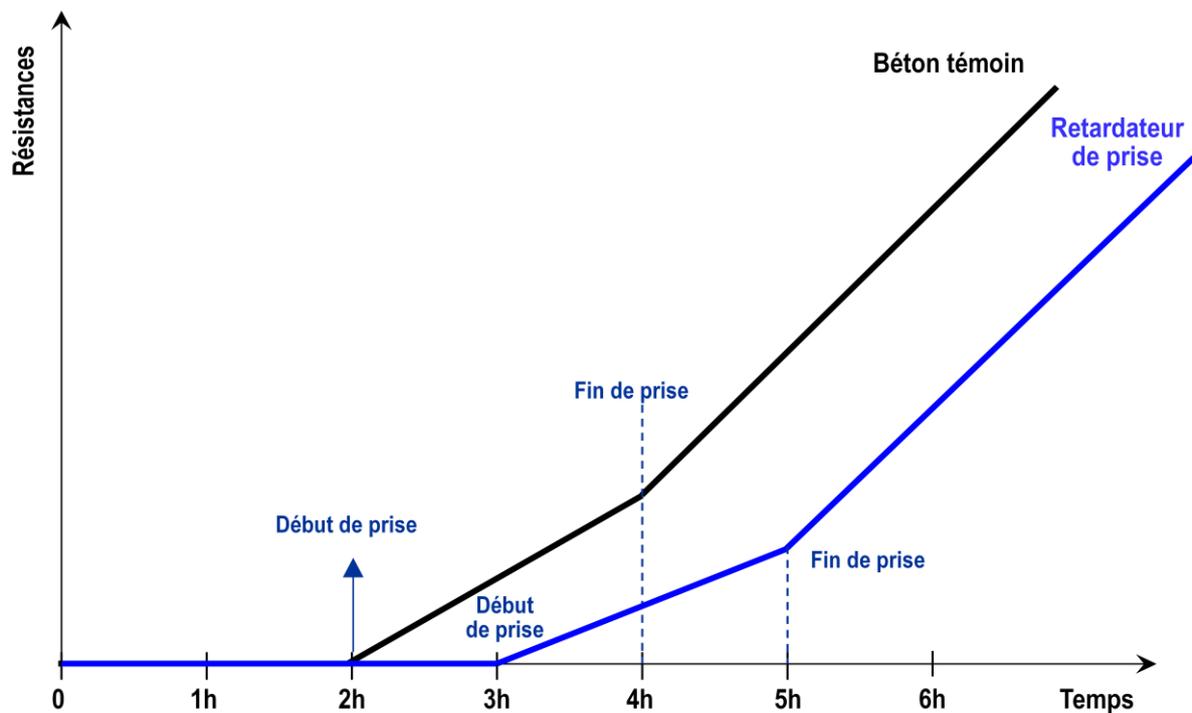
**Mode d'action** État de l'hydratation pendant 3 heures à 20 °C



Béton témoin

Béton retardé  
Ralentissement de la cristallisation des grains de ciment

**Résultats observés**





### **Effets sur le béton**

- Augmentation du temps de début et fin de prise.
- Maintien de l'ouvrabilité du béton.
- Régulation de la chaleur d'hydratation.
- Amélioration des résistances à long terme.

### **Domaine d'applications**

- Le bétonnage par temps chaud.
- Le transport sur longues distances.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour ouvrages de masse.
- Le coulage du béton en continu.
- ...

### **Hydrofuges de masse**

Adjuvants qui permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques.

### **Mode d'emploi**

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 0,5 à 2 % du poids du ciment.



## **Résultats Observés**

### **Sans Hydrofuge**



### **Avec Hydrofuge**



## **Effets sur le béton**

- Obturation du réseau capillaire du béton.
- Limitation de la pénétration de l'eau.
- Augmentation de la durabilité.

## **Domaines d'applications**

- Les bétons de fondation.
- Les bétons de radier.
- Les bétons de réservoir.
- Les bétons manufacturés : bordures, pavés.
- ...



## **Entraîneurs d'Air**

Adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement.

### **Mode d'emploi**

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Possibilité de le verser sur le sable humide à l'entrée du malaxeur.

Dosage indicatif : de 0,05 à 0,2 % du poids du ciment.

Pour les bétons devant résister aux cycles de gel / dégel, la teneur en air entraîné doit se situer entre 4 et 6 %.

Leur utilisation doit être contrôlée régulièrement à l'aide d'un aéromètre et l'espacement entre les bulles doit être régulier et faible.

### **Effets sur le Béton**

- Protection contre les cycles de gel/dégel, sel de déverglaçage.
- Les bulles d'air améliorent l'ouvrabilité.
- Diminution de la ségrégation (moins de ressuage).
- Mise en place facilitée.
- Amélioration de l'aspect du béton au décoffrage.
- Amélioration de la cohésion du béton.

### **Domaines d'applications**

- Les bétons d'ouvrages d'art exposés aux cycles gel/dégel (de préférence associés à un superplastifiant).
- Les bétons extrudés.
- Les bétons routiers.
- Les matériaux autocompactants (tranchées).
- Les bétons manufacturés exposés au gel (dalles, pavés).
- ...