

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



675

Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de 08 MAI 45 – GUELMA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie civil

Option : conception et calcul des constructions

Présenté par : DAHMANI Rafik Houssef Eddine

BENGHRAIET Amina

*Thème :*

**LES EFFETS DES ADJUVANTS SUR LES  
PROPRIETES DU BETON**

Sous la direction de :  
Mr : BENOUIS A/HALIM

*Juin 2011*

## DEDICACE

Je dédie ce modeste mémoire a :



-Mes parents

-Mon frères (chemsou) et mes deux sœurs (rima et selma )

-Mes tantes et mes oncles.

-Mes cousines et cousins.

-Mon fiancé Zaki et toute sa famille.



## DEDICACE

Je dédie ce modeste mémoire à :

Mon grand-père feu Guehdour Salah

Ma grand-mère Menoubia

Mes parents

Mes tantes et mes oncles

Mes cousines et mes cousins

Ma fiancée Mina

# REMERCIEMENTS

Dieu merci pour le pouvoir dont vous nous avez fait part pour accomplir ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au sein du département de Génie Civil de l'Université 08 Mai 1945, Guelma.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre reconnaissance à Monsieur BENOUIS A. Halim pour avoir accepté d'être notre encadreur et pour l'aide considérable qu'il nous a apportée afin de réaliser ce travail de recherche, pour ses conseils enrichissants, ses orientations constructives et sa patience.

Nous remercions également Monsieur KHROUF et tous les enseignants du département de Génie Civil.

Nous remercions aussi tous les enseignants et enseignantes qui nous ont inculqué le savoir durant nos études supérieures.

Nous remercions également tous nos amis de la promotion 2010 / 2011.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre modeste travail.

Enfin, nous remercions vivement nos familles pour leur soutien, leurs encouragements, leur patience et surtout leur compréhension dans les moments les plus difficiles que nous avons vécus durant la réalisation de ce travail.

# SOMMAIRE

Résumé.....	01
Préface.....	02
Objectif.....	03
<b>Chapitre I: Généralités sur le béton.....</b>	
I.1-Introduction .....	05
I.2-Présentation du matériau béton.....	05
I.2.1-Les constituants du béton.....	05
I.2.1.1-Le ciment.....	06
1- Constituants de base du ciment.....	06
a)- Le clinker .....	06
b)- Constituants secondaires.....	07
2- Classifications des ciments.....	09
a)- Classification suivant la composition.....	09
b)- Classification des ciments suivant les résistances à la compression.....	12
c)- Classification des ciments suivant le type d'environnement.....	12
I.2.1.2-Les granulats.....	14
a)- Le gravier.....	14
b)- Le sable.....	15
c)- Les fillers .....	15
I.2.1.3 -L'eau de gâchage.....	16
I.2.2-Propriétés des bétons:.....	17
I.2.2.1-Propriétés physiques.....	17
a)-L'ouvrabilité.....	17
b)-Le retrait.....	18
c)-La porosité.....	19
d)-La perméabilité et diffusivité.....	20
I.2.2.2-Propriétés mécaniques.....	21
1- Résistance mécanique.....	21
I.2.2.3-Durabilité.....	21

Conclusion.....	22
<b>Chapitre II: Généralités sur les adjuvants</b>	
II.1- Historique .....	25
II.2- Définition .....	25
II.3-Le rôle des adjuvants.....	26
II.3.1-Mode d'action :.....	27
II.3.2-Fonction.....	27
II.3.2.1-Fonction principale .....	28
II.3.2.2-Fonction secondaires.....	28
II.4- Classification des adjuvants .....	28
Conclusion.....	28
<b>Chapitre 3: Les différents adjuvants</b>	
III.1-Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton.....	30
III.1.1-Plastifiants réducteurs d'eau:.....	30
a)- Fonction.....	30
b)- Mode d'action.....	30
c)- Produit de base.....	31
d)- Domaine d'utilisation.....	31
e)- Propriétés et prescription.....	31
III.1.2-Super plastifiants haut réducteurs d'eau:.....	33
a)- Fonction.....	33
b)- Mode d'action.....	33
c)- Domaine d'utilisation.....	35
d)- Propriétés et prescription.....	35
III.2- Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement.....	38
III.2.1- Accélérateurs de prise:.....	38
a)- Fonction.....	38
b)-Mode d'action .....	38
c)- Produit de base .....	39
d)- Propriétés et prescription.....	40
III.2.2-Accélérateurs de durcissement:.....	40

a)- Fonction .....	40
b)- Produit de base .....	40
c)- Domaine d'utilisation.....	41
d)- Propriétés et prescription.....	41
III.2.3-Retardateurs de prise:.....	41
a)- Fonction .....	41
b)- Mode d'action .....	41
c)- Produit de base.....	43
d)- Domaine d'utilisation .....	43
e)- Propriétés et prescription.....	44
III.3- Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton.....	45
III.3.1-Hydrofuges des masses:.....	45
a)- Fonction .....	45
b)- Mode d'action .....	46
c)- Domaine d'utilisation .....	46
d)- Propriétés et prescription.....	47
III.3.2- Hydrofuges de surface.....	47
III.3.3-Entraineurs d'air:.....	47
a)- Fonction .....	47
b)- Mode d'action .....	48
c)- Domaine d'utilisation .....	48
d)- Propriétés et prescription.....	49
III.3.4-Rétenteurs d'eau.....	51
a)- Fonction.....	51
b)- Produit de base.....	51
c)- Propriétés et prescription.....	51

**Chapitre IV: Les effets sur les propriétés des bétons:**

IV.1-Introduction.....	54
IV.2-Plastifiants réducteur d'eau.....	54
IV.2.1- Effets sur le béton frais.....	54
IV.2.2- Effets sur le béton durci.....	54

IV.2.3-Exemple (SIKA) .....	55
- OXYFIV 110.....	55
IV.3- Super plastifiants haut réducteurs d'eau .....	56
IV.3.1- Effets sur le béton frais.....	56
IV.3.2- Effets sur le béton durci.....	57
IV.3.3-Exemple (SIKA) .....	57
- SIKAFUID.....	57
IV.4- Accélérateurs de prise .....	59
IV.4.1- Effets sur le béton .....	59
IV.4.2- Exemple (SIKA).....	60
- ISORAPID.....	60
IV.5- Accélérateurs de durcissement .....	61
IV.5.1- Effets sur le béton .....	62
IV.5.2- Exemple (SIKA).....	62
- SIKAPRISE SC2.....	62
IV.6-Retardateurs de prise.....	64
IV.6.1- Effets sur le béton .....	64
IV.6.2- Exemple (SIKA).....	65
- SIKA RETARDER.....	65
IV.7- d'hydrofuges de masse .....	67
IV.7.1- Effets sur le béton .....	67
IV.7.2- Exemple (SIKA).....	67
- SIKA HYDROFUGE HW.....	67
IV.8- Entraîneurs d'aire.....	69
IV.8.1- Effets sur le béton .....	69
IV.8.2- Exemple (SIKA).....	70
- SIKAAER 5.....	70
IV.9-Utilisation des adjuvants dans des bétons .....	72
IV.9.1-Béton auto plaçant (BAP).....	73
IV.9.2-Béton hautes performances (BHP).....	74
IV.9.3-Béton ultra hautes performances (BUHP).....	75

IV.9.4- Béton fibré.....	75
IV.9.5- Bétonnage par temps chaud .....	76
IV.9.6- Bétonnage par temps froid.....	77
IV.9.7- Béton lourd.....	78
IV.9.8- Béton léger.....	78
IV.9.9- Béton hydrofugé .....	79
IV.9.10- Béton immerges.....	79
IV.9.11- Béton de remblai.....	80
IV.9.12- Béton coloré.....	81
<b>Chapitre 5: Conclusion générale.....</b>	<b>82</b>

## Résumé

Les adjuvants sont des composants très importants des bétons et des mortiers modernes qui permettent de modifier certaines propriétés du mortier à l'état frais ou durci, parmi lesquelles; les temps de prise, l'amélioration de la durabilité, ouvrabilité, l'imperméabilité, le retrait.

Ils ne peuvent en aucun cas apporter une solution valable à une mauvaise formulation de mortier, ou à une mise en œuvre déficiente.

Un de ces moyens est l'utilisation des adjuvants, ces produits conçus suivant un savoir-faire chimique et technologique, sont destinés à conférer aux bétons et mortier des caractéristiques et des performances techniques supplémentaires nécessaires. Cet apport de performance se traduit également par une économie sensible sur l'emploi de certaines matières nobles comme le ciment.

Les adjuvants qui sont des substances organiques (plastifiants, plastifiant réducteurs, super plastifiant, et entraîneurs d'air) ou inorganiques (accélérateurs de prise et du durcissement) permettent de modifier la rhéologie des bétons avec des teneurs en eau nettement inférieures aux mortiers non adjuvantes. En plus, ils Permettent d'accélérer ou retarder la prise, selon les exigences ambiantes.

La disponibilité des adjuvants sur le marché a permis de faire maître une nouvelle génération de bétons plus durables, pratiquement, exemple de porosité, mais surtout de rendre les bétons et les mortiers conventionnels plus faciles à mettre en œuvre.

## ملخص

يعتبر المضاف العنصر الرابع للخرسانة و الملاط الذي يضاف الي ثلاث مكونات اساسية و هي الاسمنت و الماء و الحبيبات.

تستعمل المواد المضافة فى الحالة العامة لتحسين بعض خصائص الخرسانة مهما كان نوع المضاف سائل او جامد و من بين هذه الخصائص انقاص نسبة الماء/الاسمنت و ارتفاع قدرة المقاومة الميكانيكية. كما ان لها دور في تحسين مجالات اخرى.

كما ادى توفر المواد المساعدة في السوق الى احداث جيل جديدة من الخرسانة اكثر ديمومة و عملية ;على سبيل المثال المسامية.

ان الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى تاثير المضافات في مقاومة الخرسانة و الخصائص التى تكتسبها قبل و بعد الاضافة و الى اي حد يقوم بتحسين عملية المقاومة الميكانيكية للخرسانة.

## Abstract

Adjuvants are very important components of modern concrete and mortars that can change certain properties of fresh mortar or hardened, including the setting time, improving the durability, workability, impermeability, removal.

They may in no case make a valid solution to poor formulation of mortar, or a poor implementation.

One way is the use of additives, these products are designed according to a chemical know-how and technology, are intended to give concrete and mortar characteristics and technical performance necessary additional, this contribution to performance is also reflected in a considerable saving on the use of certain noble materials such as cement.

Adjuvants which are organic substances ( plasticizers, plasticizer reducers, super plasticizers and air entraining), or inorganic ( accelerators and curing) can alter the rheology of concrete with water contents well below the non-adjuvant mortars. In addition, they can accelerate or delay the taking, according to environmental demands.

The availability of adjuvants on the market made it possible to master a new generation of concrete more durable, practically, for example porosity, but also to make concrete and mortars conventional easier to implement.

## Préface

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci.

La qualité finale du béton dépend essentiellement des paramètres de composition et de mise en œuvre. Avec une gamme étendue d'adjuvants de haute technicité, le SYNAD propose des concepts de béton et de bétonnage pour répondre à toutes les attentes en termes de spécificités de conception et de mise en œuvre dans les ouvrages.

Le béton est devenu le grand matériau de construction moderne, surtout sans doute parce qu'il est simple d'emploi, économique et qu'il s'adapte en souplesse aux conditions les plus variés. Mais il sait aussi bien s'illustrer dans les ouvrages les plus audacieux ou prestigieux. Matériau du quotidien et, quand il le faut, matériau d'exception, l'ambition aujourd'hui est d'en faire, dans tous les cas, un matériau de qualité.

Pour organiser la qualité, au sens moderne du terme, tout en préservant ce caractère ((facile à vivre)) qui est propre au béton, il faut miser sur la formation. Or, les connaissances sur les bétons progressent rapidement et c'est là que, pensons-nous, une association technique comme la notre peut apporter sa contribution.

## Objectif

Les adjuvants sont nécessaire dans certains types des bétons et des mortiers ou de procédés qui vont aller en développant, l'utilisation des adjuvants se développera également lorsque les architectes, les maîtres d'œuvre, les ingénieurs du bâtiment... auront suffisamment été avertis des possibilités des différents produits offerts sur le marché et que des efforts auront été faits pour former le personnel des chantiers.

7 // Dans vingt ans, tous les mortiers et bétons de chantier important recevront certains adjuvants spécifiques modifiant, à la demande les propriétés de durabilité On peut penser que de nouveaux adjuvants apparaîtront sur le marché grâce aux progrès de la chimie. Ils permettront de résoudre économiquement de nombreux problèmes et favoriseront même l'utilisation de techniques nouvelles.

Le but de ce travail est d'évaluer l'influence de six types d'adjuvants fabriqués par l'entreprise Graniteux en Algérie sur les caractéristiques et les propriétés d'un mortier à base de matériaux locaux, à savoir, la perméabilité(à l'air et à l'eau), l'ouvrabilité et la résistance à la compression à une température d'ambiance et à la température 105°C.

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE I

**Tableau I-1** : Composition chimique du laitier granulé. Page(03).

**Tableau I-2** : Composition chimique moyenne des cendres de houille. Page(04)

**Tableau I-3**: teneur en laitier dans les ciments de haut fourneau. Page(07)

**Tableau I-4**: Classification normalisée des ciments. Page (07)

**Tableau I-5**: Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques. Page(08)

**Tableau I-6**: Evaluation de l'agressivité de l'agressivité de l'eau naturelle. Page(12)

## CHAPITRE III

**Tableau III-1**: Plastifiants/réducteurs d'eau (à consistance égale). Page(32)

**Tableau III-2** : Plastifiants/réducteurs d'eau/retardateurs de prise (à consistance égale). Page(32)

**Tableau III-3**: Plastifiants/réducteurs d'eau/accélérateurs de prise (à consistance égale). Page (32)

**Tableau III-4**: Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau (à consistance égale). Page(35)

**Tableau III-5**: Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau (à rapport eau/ciment égal). Page(36)

**Tableau III-6** : Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau/retardateurs prise (à consistance égale). Page(36)

**Tableau III-7** : Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau/retardateurs de prise (à rapport eau/ciment égal). Page(37)

**Tableau III-8**: Adjuvants normalisés modifiant la mise en œuvre des bétons et des mortiers. Page(37)

**Tableau III-9**: Accélérateurs de prise (à consistance égale). Page(40)

**Tableau III-10** : Accélérateurs de durcissement (à consistance égale). Page(41)

**Tableau III- 11**: Retardateurs de prise (à consistance égale). Page(44)

**Tableau III-12** : Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement. Page(45)

**Tableau III-13**: Hydrofuges de masse (à consistance égale ou à rapport égal eau/ciment).  
Page(47)

**Tableau III. 14** : Entraîneurs d'air (à consistance égale). Page(49)

**Tableau III.15** : Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton:(Modification du comportement du béton durci). Page(50)

**Tableau III-16** : Rétenteurs d'eau (à consistance égale). Page(51)

**Tableau III-17** : Action des Rétenteurs d'eau. Page(51)

# LISTES DES FIGURES

## CHAPITRE I

**Figure I-1** : Un mètre cube de béton. Page (05).

**Figure I-2** : Représentation schématiquement les constituants anhydres du clinker et des produits d'hydratation. Page(06).

**Figure I-3**: Principe de fabrication du ciment Portland. Page(10).

**Figure I-4** : fabrication de ciment. Page (13).

**Figure I-5**: Module de finesse d'un sable. Page(15).

**Figure I-6**: Lustration de l'incidence du dosage en eau. Page(17) .

**Figure I-7**: phénomène de fissuration du béton due à l'excès d'eau. Page(17).

## CHAPITRE III

**Figure III-1**: Évolution du seuil de cisaillement selon le type de l'adjuvant. Page(44).

**Figure III-2**: La création d'un réseau de microbulles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton. Page(49).

---

# **Chapitre I:**

## **Généralités sur le**

### **béton**

## I.1-Introduction :

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans la construction, il permet de réaliser des prouesses techniques telles que les barrages, ponts, immeubles, tunnels, centrales nucléaires. Son intérêt vient de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance à la compression, sa durabilité et son faible coût et d'autres qualités. C'est au XX<sup>ème</sup> siècle que l'utilisation du béton se généralise aux dépens de l'acier et de la maçonnerie. Aujourd'hui le béton doit répondre à un ensemble de spécifications très précises qui sont la rhéologie, la résistance au jeune âge, les aspects de parement, la résistance à 28 jours, la durabilité etc.....

Le durcissement du béton est le passage d'un état plastique à un état durci et ce grâce à un résultat d'un certain nombre de réactions chimiques entre l'eau de gâchage et les grains de ciment appelée réaction d'hydratation du ciment portland [3].



Figure I-1 : Un mètre cube de béton [2].

## I.2-Présentation du matériau béton :

### I.2.1-Les constituants des bétons :

Le béton est un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes. Il est composé essentiellement de granulats (gravier, sable et filler), de ciment, d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer ou acquérir certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange [3].

### I.2.1.1-Le ciment :

Ce liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450°C. Broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés stables.

#### 1-Constituants de base du ciment :

##### a) Le clinker :

Dans la zone de clinkérisation du four, les éléments simples ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

Les silicates tricalciques (alite): $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	[C <sub>3</sub> S]
Les silicates bis calciques (bélite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	[C <sub>2</sub> S]
Les aluminates tricalciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	[C <sub>3</sub> A]
Les alumino-ferrites tétra calciques : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	[C <sub>4</sub> AF]

Autres : (Sulfates, Alcalins, Impuretés, .....).

Les silicates de calcium C<sub>3</sub>S et C<sub>2</sub>S représentant à peu près 75% de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000cm<sup>2</sup>/g pour les ciments à forte résistance au jeune âge.

Selon la norme NA 442 [N.1], le rapport en masse ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ), ne doit pas être inférieur à 2,0. La teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5,0% en masse [4].

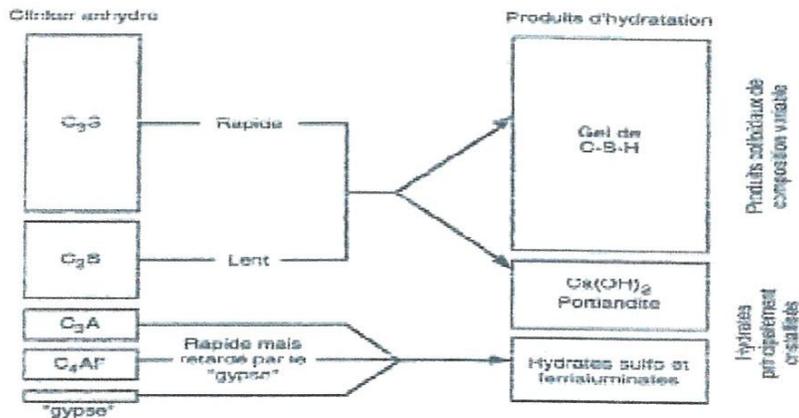


Figure I-2 : Représentation schématiquement les constituants anhydres du clinker et des produits d'hydratation [6].

**b) Constituants secondaires :****-Le laitier granulé de haut fourneau (L) :**

Le laitier est des sous-produits de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux des usines sidérurgiques. Ce sont des silico-aluminates de chaux traités de différentes façons à la sortie du haut fourneau :

- Par refroidissement brusque dans l'eau ou dans l'air : ceci empêche la cristallisation et permet son utilisation dans les ciments et les bétons comme pouzzolane,
- Par refroidissement lent à l'air : ceci donne un matériau cristallisé sans aucun pouvoir liant qui est utilisé comme granulats pour les travaux routiers et dans les bétons [6].

Obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu provenant de fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreux et présente des propriétés hydrauliques après avoir subi une activation convenable. Le rapport massique  $(CaO+MgO/SiO_2)$  doit être supérieur à 1,0 d'après la norme **NF P 18-506 [N.2]**.

Eléments	Pourcentages (%)
CaO	40 ÷ 50
SiO <sub>2</sub>	26 ÷ 32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12 ÷ 20
MgO	2 ÷ 6

**Tableau I-1** : Composition chimique du laitier granulé.

En Algérie c'est principalement l'usine sidérurgique d'El Hadjar (filiale du Groupe Indien Mittal Steel) qui fournit le laitier granulé aux cimenteries.[4]

**-Les cendres volantes (V, W) :**

Les cendres volantes utilisées dans les ciments et les bétons sont produites dans les centrales thermiques utilisant du charbon pulvérisé. Elles se présentent sous forme d'une poudre de couleur plus ou moins foncée suivant sa teneur en carbone et en impureté. Les cendres volantes sont sous forme de particules sphériques vitreuses, pleines ou creuses. La granulométrie s'échelonne de 1 à 200 µm et, en général, 50% des particules ont un diamètre inférieur à 30 µm. Leur surface spécifique Blaine varie entre 250 et 400 m<sup>2</sup>/kg (domaine analogue à celui des ciments) [6].

Produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermique on distingue deux familles de cendre volantes d'après la norme NF EN 450 [3]:

- **Cendres volantes siliceuses (v)** : Sont principalement des particules sphériques ayant des propriétés pouzzolaniques, constituées essentiellement de silice ( $\text{SiO}_2$ ) réactive et d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ainsi que d'oxyde de fer ( $\text{Al}_2\text{O}_2$ ) et autres composants. La teneur en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ )  $<10,0\%$  en masse, la teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) réactive  $>25\%$  en masse.
- **Cendres volantes calciques (w)** : Présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques, conteneur en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) réactif  $>10,0\%$  en masse, le reste étant de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) réactive, d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), d'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et d'autres composants [3].

Eléments	Pourcentages (%)
$\text{SiO}_2$	50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	8
$\text{CaO}$	2
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	5

Tableau I-2 : Composition chimique moyenne des cendres de houille [4].

### -Les pouzzolaniques :

Sont des substances naturelles ou artificielles siliceuses ou silicoalumineuses, ou une combinaison de celle-ci contenant de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et d'autres oxydes mais la teneur en ( $\text{SiO}_2$ ) réactif doit être au moins égale à 25% en masse. Lorsqu'ils sont finement broyés, ils réagissent à température ambiante en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] dissous. La norme NF EN 197-1 [N.4] distingue :

- **Pouzzolane naturelle (P)** : Matériau d'oxyde volcanique ou bien des roches sédimentaires.
- **Pouzzolane naturelle calcinée (Q)** : matériau d'oxyde volcanique, des argiles, des schistes ou des roches sédimentaires, active thermiquement.

### **-Les schistes calcinés (T) :**

Il est produit dans un four spécial à une température avoisinant les 800°C. Il est composé de silicate bi calcique et d'aluminate non calcique, outre des propriétés pouzzolaniques, il a des propriétés fortement hydrauliques [3].

### **-Les Fillers calcaire (L, LL) :**

C'est un matériau très finement broyé, il a pour rôle de remplir les vides entre le sable et le gravier, tout en présentant une certaine activité physico-chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques. La norme NF P 18-508 [N.5] spécifie le teneur :

- ❖ La teneur en calcaire ( $\text{CaCO}_3$ )  $\leq 75\%$  en masse;
- ❖ La teneur en argile  $\leq 1,20\text{g}/100\text{g}$ ;
- ❖ La teneur totale en carbone organique (TOC)  $< 0,20\%$  en masse pour (LL) et  $< 0,50\%$  en masse pour (L).

### **-Les fumées de silice (D) :**

Elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85% en masse en silice amorphe NF P 18-502 [N.6]. C'est poudre d'une extrême finesse de 15000 à 25000m<sup>2</sup>/kg ce qui lui donne la capacité de se placer dans les interstices des grains de ciments en diminuant la demande en eau du mélange (effet filler). Mais son dosage est limité à 10% de la masse du ciment pour protéger les armatures dans le béton (problème de PH).

## **2-Classifications des ciments:**

La classification des ciments est faite de deux manières : soit d'après leur composition chimique, soit d'après leur classe de résistance [4].

### **a) Classification suivant la composition:**

Selon la teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme européenne NF EN 197-1 [N.4] donnent 27 ciments, qui sont regroupés en 5 types principaux à savoir :

1. CEM I Ciment portland artificiel;
2. CEM II Ciment portland composé;
3. CEM III Ciment de haut fourneau;

4. CEM IV Ciment pouzzolanique;
5. CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres [3].

**-Ciment portland artificiel CEM I (C.P.A):**

C'est un ciment constitué de 95% à 100%de clinker et de 0 à 5%de constituants secondaires;

**-Ciment portland composé CEM II (C.P.J):**

C'est ciment contenant au moins 65%de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs de constituants secondaires suivant: laitier, pouzzolane, cendre, et filler [4].

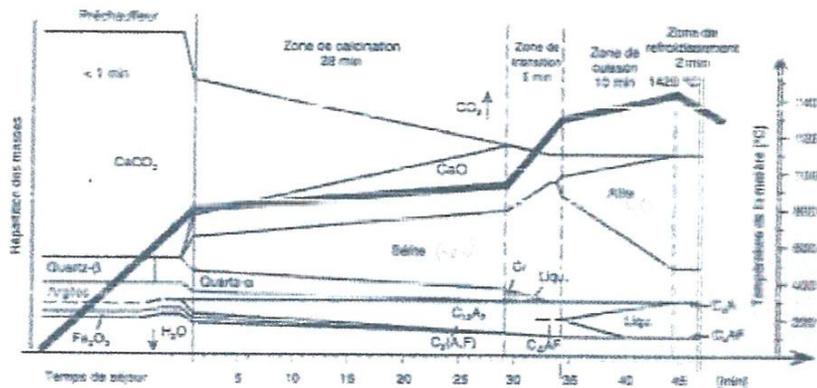


Figure I-3: Principe de fabrication du ciment Portland [6].

**-Ciment de haut fourneau CEM III (CHF):**

Les ciments de haut fourneau sont constitués d'un mélange de clinker et de laitier de haut fourneau granulé et broyé. Il existe trois classes de ciment de haut fourneau, ces classes sont nommées ciments de haut fourneau désignées par: CHF-CEM III/A, CHF-CEM III/B, et CHF-CEM III/C.

Tous ces ciments peuvent comporter jusqu'à 5% de filler, mais la différence est dans la proportion de laitier de haut fourneau granulé broyé.

Ces proportions sont les suivantes:

Classe du ciment	Pourcentage du laitier
CHF-CEM III/A	36÷65
CHF-CEM III/B	66÷80
CHF-CEM III/C	81÷95

**Tableau I-3:** Teneur en laitier dans les ciments de haut fourneau.

#### -Ciment pouzzolanique CEM IV :

Le ciment pouzzolanique présente une faible résistance à 7 jours (de l'ordre de 12MPa), et à 28 jours ( $\approx 22,5$ MPa). Mais c'est un ciment à faible chaleur d'hydratation, et présente une certaine résistance aux attaques par les sulfates et les acides.

Il existe deux classes de ciment pouzzolanique:

- **La classe CPZ-CEM IV/A:** dont le pourcentage en cendres ou pouzzolanes est compris entre 10 et 35%.
- **La classe CPZ-CEM IV/B:** dont le pourcentage en cendres ou pouzzolanes est compris entre 36 et 55%.

Les ciments courants; présentés précédemment, doivent avoir une composition minéralogique conforme aux normes indiquées dans le tableau suivant :

Désignation	Notation	Clinker (%)	Constituants Secondaires%
Ciment portland	CPA-CEM I	95-100	0-5
Ciment composé	CPJ-CEM II/A	80-94	0-5
	CPJ-CEM II/B	65-79	0-5
Ciment haut fourneau	CLH-CEM III/A	35-64	0-5
	CLH-CEM III/B	20-34	0-5
	CLK-CEM III/C	5-19	0-5
Ciment pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A	65-90	0-5
	CPZ-CEM IV/B	45-64	0-5
Ciment au laitier et cendres	CLC-CEM IV/A	40-64	0-5
	CLC-CEM V/B	20-39	0-5

**Tableau I-4:** Classification normalisée des ciments.

**b) Classification des ciments suivant les résistances à la compression:**

Norme européenne NF EN 197-1[N.4] classes les ciments courant d'après leur résistance à la comprissions (résistance normale) déterminée conformément à la norme, mesurée à 28 jours en six classes de résistance [3].

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 N	—	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	—		
42,5 N	$\geq 10,0$	—	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,0$	—		
52,5 N	$\geq 20,0$	—	$\geq 52,5$	—
52,5 R	$\geq 30,0$	—		

**Tableau I-5:** Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques.

**C) Classification des ciments suivant le type d'environnement:**

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux de type :

- **Ciment (PM) NF P 15-317 [N.7] :** Résistant à l'eau de mer, c'est un ciment possédant des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires (teneur limitée en aluminat tricalcique) qui lui donne une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement.
- **Ciment (ES) XP P 15-319 [N.8] :** Résistant aux eaux sulfatées, c'est un ciment courant présentant des teneurs limitées en aluminat tricalcique ( $C_3A$ ) afin d'avoir une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement.
- **Ciment (CP) NF P 15-318 [N.9] :** pour béton précontraint, on distingue deux types de ciments qui diffèrent par leur teneur en ions sulfure  $SO_4^{2-}$ .
  - ❖ Ciments de la classe CP2 contenant moins de 0,2% d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par pré tension.

- ❖ Ciments de la classe CP1 contenant moins de 0,7% d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par post tension.

Il existe par ailleurs des ciments spéciaux répondant à des conditions spécifiques (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques). C'est le cas du ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.

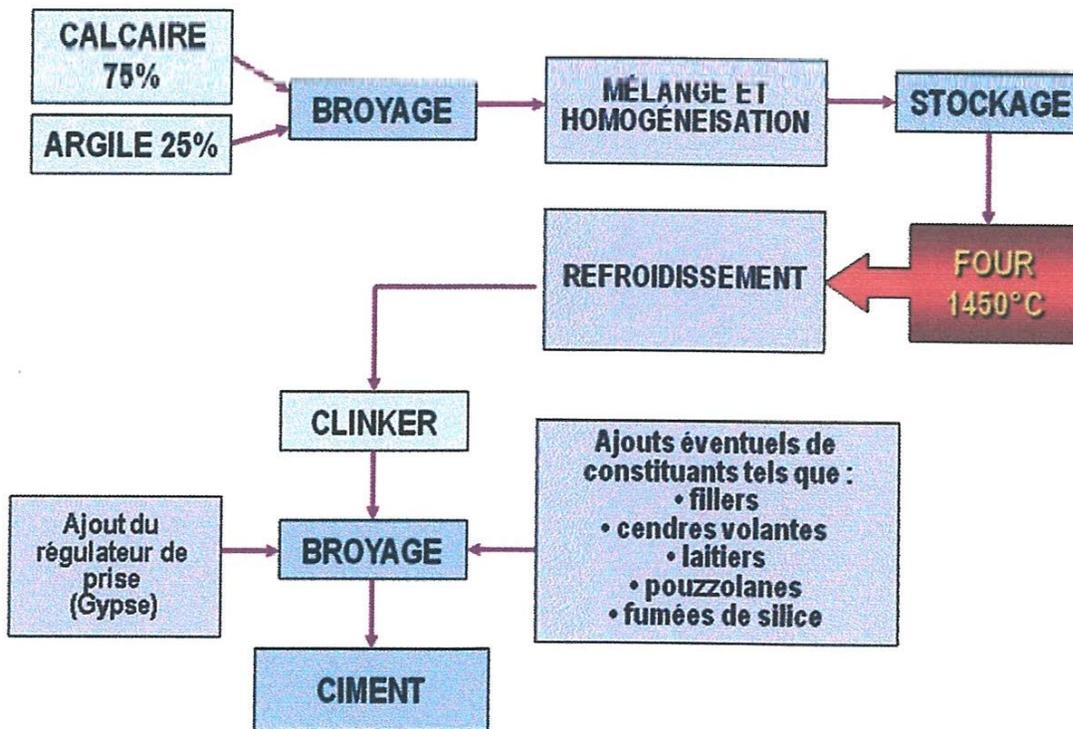
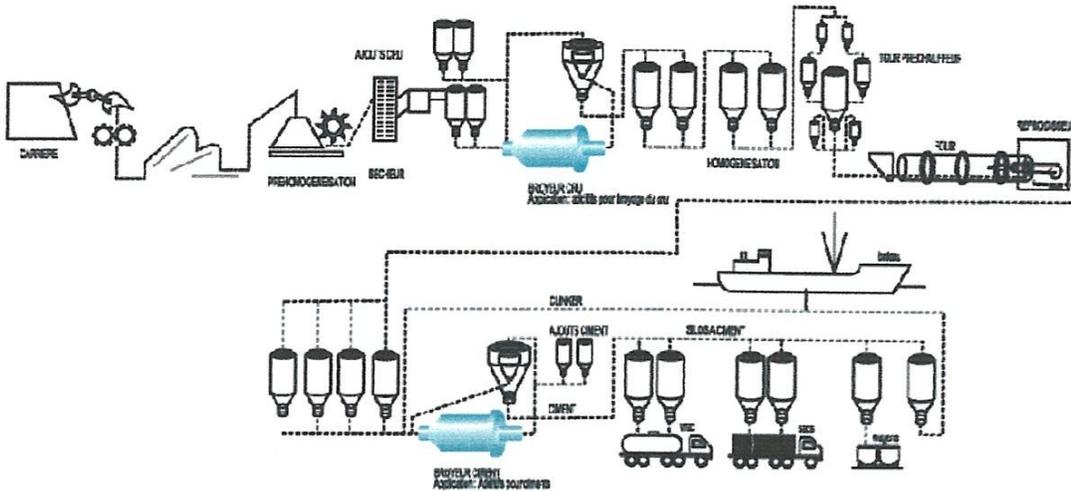


Figure I-4 : fabrication de ciment [1].

### I.2.1.2-Les granulats:

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm. Ils peuvent être d'origine naturelle (sable, et graviers de mer et rivières), artificielles (concassés) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneaux). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80% environ du volume d'un béton, ils sont inertes en principe mais peuvent favoriser certaines réaction d'hydratation de certains minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalcique  $C_3S$  en présence de filler d'origine calcaire. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité volumique par rapport au mélange ciment eau. En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulat sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais, les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme **XP P 18-540 [N.10]** sont les suivantes:

- ❖ Fillers 0/D ou  $D < 2\text{mm}$  avec au moins 70% de passant à 0,063mm;
- ❖ Sablons 0/D ou  $D \leq 1\text{mm}$  avec au moins 70% de passant à 0,063mm;
- ❖ Sables 0/D ou  $1 < D \leq 6,3\text{mm}$ ,
- ❖ Graves 0/D ou  $D > 6,3\text{mm}$ ;
- ❖ Gravillons d/D ou  $d \geq 1$  et  $D \leq 125\text{mm}$ ;
- ❖ Ballasts d/D ou  $d \geq 205\text{mm}$  et  $D \leq 50\text{mm}$ .

Les caractéristiques essentielles des granulats destinés aux bétons hydrauliques sont les suivantes pour [3] :

#### a- Le gravier :

La propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments  $< 0,5\text{mm}$ , le pourcentage de vase et argiles, éliminées lors de l'essai doit être  $\leq 1,5\%$  pour gravillons n'ayant pas subi de concassage, et  $\leq 3\%$  pour ce qui ont subi le concassage **P18-591 [N.11]**. La granularité du gravier est fixée par le diamètre D prescrit ou admissible pour le béton à préparer. La norme **NF P 18-541 [N.12]** fixe à 5% l'absorption d'eau.

**b- Le sable :**

L'essai d'équivalent de sable (ES) permet de définir la propreté des sables. Le sable ayant un(ES) compris entre 75% et 85% sont préférables, d'après la norme P 18-598 [N.13].

Le module de finesse permet de définir ( $M_f=1,8$  à  $3,2$ ); le meilleur compromis résistance maniabilité maintien de l'homogénéité se situe à  $2,5 \pm 0,35$ envyron.

Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton (norme NF P 18-541[N.12]).

**Exemple :**

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage sur les tamis [1]

Sable Fin :  $M_f = 1.8$     Sable Normal :  $M_f = 2.5$     Sable Grossier :  $M_f = 3.2$

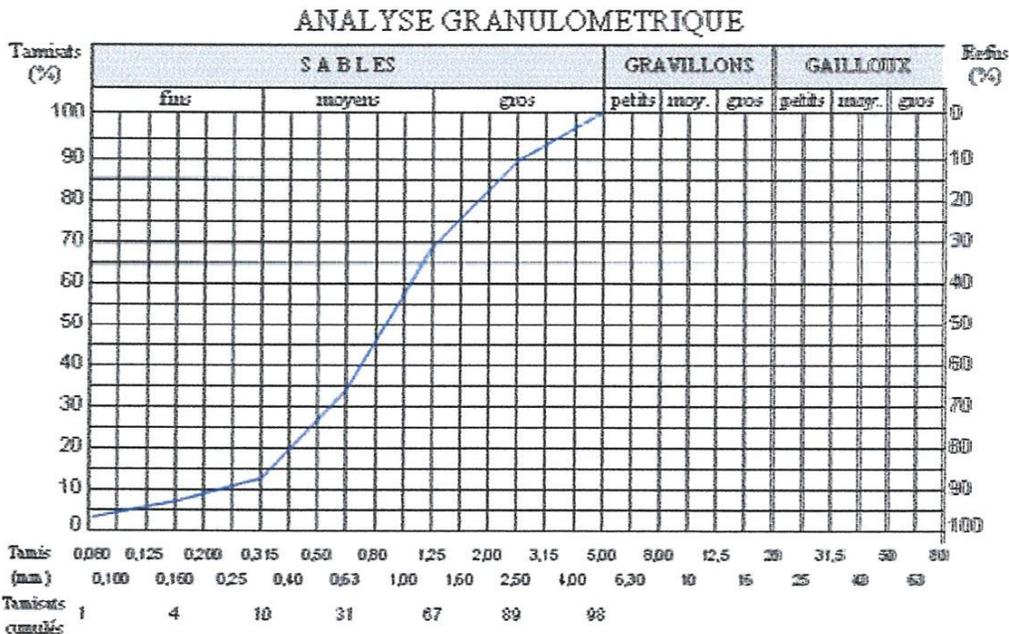


Figure I-5: Module de finesse d'un sable (Courbe granulométrique d'un sable)[1].

**c- Les fillers:**

Graine de dimension allant de 0 à D où  $D < 2\text{mm}$  avec au moins 70% de passés à 0,063mm d'après la norme XP P 18-540[N.10]. [3]

L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Les additions calcaires dans les matrices cimentaires ont déjà fait l'objet de plusieurs études, essentiellement en France et aux Etats-Unis d'Amérique [6].

Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru [6].

### I.2.1.3-L'eau de gâchage:

L'eau est un ingrédient essentiel du béton, il joue deux fonctions principales; confère au béton sa maniabilité à l'état frais et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008 [N.14], les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, eaux d'origine souterraine, eaux naturelles de surface et eaux de rejet industriel, eau de mer, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire [3].

L'agressivité d'une eau naturelle vis-à-vis du béton peut être appréciée par les valeurs limites du tableau (I-6). [4]

Examen chimique	Agressivité		
	Faible	Forte	Très forte
Valeur du PH	6,5 à 5,5	5,5 à 4,5	< 4,5
CO <sub>2</sub>	15 à 30	30 à 60	> 60
Ammonium	15 à 30	30 à 60	> 60
Magnésium	100 à 300	300 à 1500	> 1500
Sulfates	200 à 400	600 à 3000	> 3000

**Tableau I-6:** Evaluation de l'agressivité de l'agressivité de l'eau naturelle.

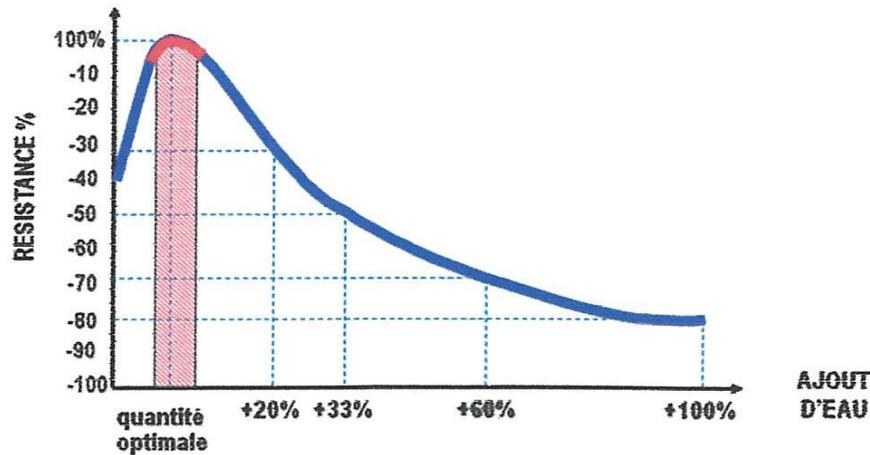


Figure I-6: Illustration de l'incidence du dosage en eau [1].

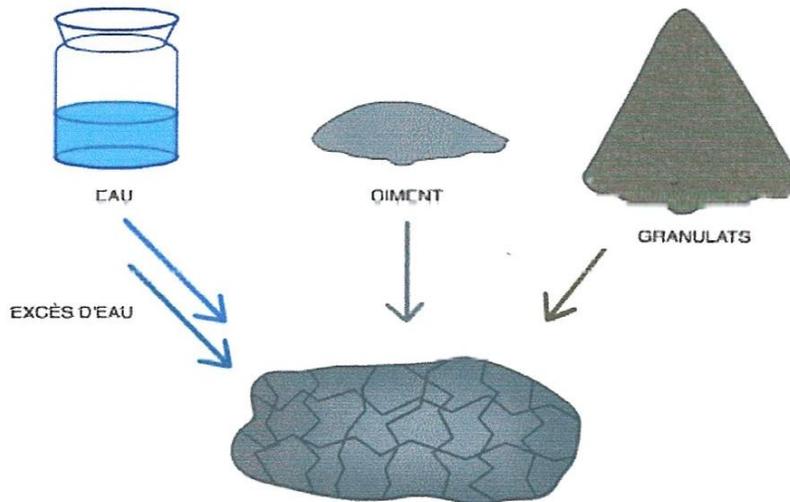


Figure I-7: phénomène de fissuration du béton due à l'excès d'eau [1].

## 1.2.2-Propriétés des bétons :

### 1.2.2.1-Propriétés physiques :

#### a- Ouvrabilité :

C'est l'aptitude d'un béton à une bonne adéquation à la méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ses caractéristiques. Elle est influencée par la granulométrie, la forme des granulats, le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abrams (norme NF P 18-451 [N.15]) et l'essai d'étalement à la table à secousses. L'essai vébé ne s'applique qu'à des bétons très fermes [3].

## **b- Le retrait:**

C'est une diminution dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, du à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment.

Selon les circonstances, peuvent se développer dans un béton cinq types : le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation.

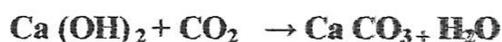
Ces retraits provoquent des contraintes internes qui se matérialisent par l'apparition de fissures micro et macroscopiques à la surface de l'élément de béton ou dans l'ensemble de sa masse. Ces fissures détériorent l'esthétique et endommagent l'élément, telle l'accélération de la corrosion du béton et des armatures en laissant pénétrer des agents agressifs.

- **Retrait plastique :** est le premier retrait de dessiccation qui se développe à la surface d'un béton encore à l'état plastique, c'est-à-dire l'eau de gâchage n'est pas en cour liée aux constituants du ciment, elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement donc elle peut s'évaporer comme elle peut être absorbée par un coffrage en bois trop-sec ou par des granulats poreux non humidifiés.

Il dépend de la vitesse de dessiccation qui dépend à son tour de la température de l'air et du béton, de l'humidité relative et de la vitesse du vent. Ce retrait est moins important pour le béton par rapport à la pâte de ciment et au mortier, car le squelette de granulats s'oppose aux contraintes. L'amplitude du retrait plastique est 5 à 10 fois plus élevée que celle du retrait observé après prise, et il est irréversible; conduit à des fissures peu profond limitées à la surface supérieure du béton. Ce type de retrait peut être limité par l'utilisation des coffrages étanches non absorbant ou en scellant les surfaces libres pour empêcher toute évaporation.

- **Retrait endogène :** endogène parce qu'inhérent aux matériaux avec absence de tout échange d'eau avec l'extérieur. L'évolution de ce retrait est directement liée à la cinétique d'hydratation des grains de ciment. Le retrait endogène peut avoir deux origines:

1. Une origine chimique due à l'hydratation de la pâte de ciment qui s'accompagne d'une diminution de volume absolu, ceci vient du fait que le volume des hydrates formés est inférieur à la somme des volumes initiaux de l'eau et du ciment c'est le phénomène de la contraction le chatelier.
  2. Une origine physique, la porosité fine créée par l'hydratation du ciment draine de l'eau des capillaires les plus grossiers ce qui assèche, le réseau des pores capillaires.
- **Retrait de séchage** : est un retrait de dessiccation qui se développe à partir de surface de l'élément de béton durci exposé à l'air ambiant, son intensité dépend de la réserve d'eau disponible dans le matériau après les réactions d'hydratation, et donc directement du rapport E/C et de l'hygrométrie ambiante.
  - **Retrait de carbonatation**: est un exemple de couplage entre vieillissement et dessiccation, se développe principalement dans les premiers centimètres du béton, le gaz carbonique de l'atmosphère réagit avec la pentlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (le  $\text{CO}_2$  réagit presque avec tous les composants de l'hydrate sauf le sulfate de calcium) pour former un carbonate de calcium, cette réaction libère l'eau:



Le retrait est occasionné par l'évaporation de cette eau libérée. Le retrait de carbonatation se traduit par des fissures peu profondes et principalement limitées aux surfaces exposées du béton.

### c-La porosité :

La porosité est une des caractéristiques physiques essentielles du béton, elle conditionne plusieurs propriétés de ce dernier telles que sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité. On distingue les pores contenus dans les granulats, leur taille et leur volume n'évoluent pas, par contre ceux se trouvant dans la pâte de ciment leur dimension diminue avec la progression d'hydratation. On distingue :

- ❖ Les pores capillaires ( $0,01\mu\text{m} \leq \varnothing \leq 0,5\mu\text{m}$ ) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores.
- ❖ Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ( $\varnothing \leq 40$  angströms) sont présents dans le gel de C-S-H. Le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C. Ces pores sont divisés en pores inter-cristallites qui se situent entre les gels et les pores inter-cristallites présents à l'intérieur du gel lui-même.

Les bulles d'air occlus ( $\varnothing > 1\text{mm}$ ) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais.

#### **d-Perméabilité et diffusivité:**

La perméabilité est l'aptitude d'un matériau à se laisser pénétrer et traverser par un fluide (eau, air, ou un autre gaz...) sous l'effet d'une pression motrice. Elle est directement liée aux caractéristiques du réseau poreux (forme, dimension, distribution, sinuosité, etc.), la perméabilité des matériaux cimentaires varie avec la progression de l'hydratation.

Elle ne dépend pas de la taille des pores mais de leur interconnexion, les mécanismes et les lois qui régissent la perméabilité et la diffusivité sont différents mais les moyens d'action les limitant sont les mêmes - à -d limiter le volume occupé par l'eau et la connectivité du réseau capillaire, car le béton est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs extérieurs.

La diffusion est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration, elle ne dépend pas de la taille des pores mais de leur interconnexion, les mécanismes et les lois qui régissent la perméabilité et la diffusivité sont différents mais les moyens d'action les limitant sont les mêmes - à -d limiter le volume occupé par l'eau et la connectivité du réseau capillaire, car le béton est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs extérieurs.

### **I.2.2.2-Propriétés mécaniques :**

#### **1-Résistance mécanique :**

La résistance est l'une des caractéristiques essentielles du béton. Le béton est employé, en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir:

- ❖ La nature et la qualité des constituants (ciments, granulats, eau, adjuvant);
- ❖ Les conditions de mise en œuvre de ces constituants;
- ❖ Les conditions thermo-hygrométriques ambiantes de conservation.

La résistance à la compression est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et en béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression  $R_{c28}$  mesurée sur des éprouvettes écrasées à 28 jours selon la norme **NF EN 12390-3 [N.16]**.

La résistance à la traction est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister à la compression, et son comportement en traction est quasi fragile. Le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points, désignée par  $F_{t28}$ .

### **I.2.2.3-Durabilité :**

Pour que l'ingénieur puisse concevoir et réaliser des constructions durables en béton. Il faut qu'il puisse intégrer toutes les données concernant la durabilité. La grandeur la plus familière à l'ingénieur constructeur, la résistance du béton à la compression peut jouer un rôle unificateur vis-à-vis des multiples performances de durabilité, à condition toutefois d'en cerner clairement les limites technologiques (importance de la cure), mécaniques (risques de fissurations précoces), chimiques (compatibilité des composants du béton entre eux ou avec le milieu), physiques (rôle de l'air entraîné dans la résistance au gel). [5]

La durabilité du béton dépend des facteurs qu'il n'est pas toujours aisé d'isoler: condition de mise en œuvre, compositions des différents constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants), âge du béton, conditions climatiques et milieu dans le quel le béton est exploité. Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux bétons comme la porosité, perméabilité et diffusivité, la fissuration, les ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de

gâchage), réactions alcalis granulats, les ions sulfates hivernales (la réplétion des cycles de gel dégel, l'action de sels de déverglaçage, formation de sels gonflants), les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies de neiges, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides, les bases ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sels ou de gaz.

Le béton est caractérisé par une basicité accentuée due à la nature de la pâte durcie qui est composé de : [3]

- ❖ 15 à 20% de portlandite : base forte;
- ❖ environ 70% de CSH : considérés comme des sels d'acide faible (silicique) et de base forte  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;
- ❖ 10 à 15 % d'aluminates et sulfoaluminates de calcium;
- ❖ une solution interstitielle, dans les pores et capillaires enrichie en alcalins ( $\text{NaOH}$  et  $\text{KOH}$ ) dont le pH varie entre 12,5 et 13,5.

Alors que le pH de l'environnement est en général inférieur à ces valeurs, ce qui donne une réaction entre le milieu extérieur et le béton pour former des sels et de l'eau sous la forme suivante :



Cette réaction peut améliorer la durabilité du béton si le sel formé possède des propriétés liantes, on peut citer l'exemple de la carbonatation superficielle du béton de ciment portland par le  $\text{CO}_2$  de l'air, mais le pH de la solution interstitielle du béton diminue jusqu'à environ une valeur de 9 ce qui entraîne la dépassivation des armatures et lessivage.

### Conclusion:

Le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est fonction des critères qui lui sont recherchés.

Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, qui elles dépendent de la porosité et de la qualité et quantité des composants du béton, auquel s'ajoute, la fissuration due au retrait de la pâte de ciment.

L'incorporation de différents types d'ajout minéraux dans les ciments permet de choisir le ciment en fonction de la résistance caractéristique garantie, et celle nécessaire au décoffrage du béton, de l'environnement de l'ouvrage. Les granulats ne doivent pas contenir d'éléments nocifs préjudiciables à la qualité du béton.

Les cinq types de retraits dans un béton, provoquent des contraintes qui se matérialisent par l'apparition de fissures à la surface de l'élément de béton ou dans l'ensemble de sa masse, ces fissures détériorent l'esthétique et endommagent l'élément, tels l'accélération de la corrosion du béton et des armatures en laissant pénétrer des agents agressifs.

Selon le type de construction à réaliser (barrages, ponts, immeubles, tunnels, centrales nucléaires), un grand choix de béton est à la disposition des constructeurs. Aujourd'hui, selon le type de construction à réaliser (barrages, ponts, immeubles avec isolation thermique, tunnels, centrales nucléaires), une grande panoplie de béton est à la disposition des constructeurs.

# **Chapitre II:**

## **Généralités sur les adjuvants**

## II.1-Historique:

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, on étudia l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre est déjà connu comme retardateur de prise et souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Ils seront suivis par les antigels et les produits de cure. Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante.

Le contrôle des adjuvants est vite devenu une nécessité. En 1964, est créée la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants du béton). Elle était chargée de l'agrément et du contrôle des adjuvants ayant une réelle efficacité et pouvant être employés en toute sécurité et d'en établir la liste officielle. Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification par la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité. La liste des adjuvants bénéficiant de la marque NF est publiée régulièrement par l'AFNOR. Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables sur les propriétés des bétons et d'étendre leur champ d'application. La création du Synad (Syndicat national des Adjuvants pour Mortiers et Bétons), en 1968, a contribué à faire connaître et à développer l'utilisation des adjuvants pour la réalisation de bâtiments et de structures de génie civil [1].

## II.2-Définition :

On appelle adjuvant tout ingrédient autre que le ciment les granulats et l'eau que l'on ajoute au mélange, les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau qui modifient principalement:

- ❖ Les solubilités;
- ❖ Les vitesses de dissolution;
- ❖ L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique [7].

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant la mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci. Généralement le béton définitif d'un ouvrage n'est pas forcément satisfaisant, même si sa composition a été déterminée suivant les règles connues fixant les proportions respectives de liant, de sable, de granulats et d'eau. Bien des facteurs interviennent au stade de sa fabrication, de son transport, de sa mise en place dans les coffrages, de sa prise et de sa montée en résistance.

Diverses solutions existent pour augmenter la possibilité d'arriver à un résultat concret, parmi lesquelles celles apportées par les adjuvants. Quel que soit l'adjuvant, les spécifications normatives visent d'abord à définir et à quantifier sa fonction, c'est-à-dire la façon dont il modifie, dans le sens recherché, les propriétés du béton, ensuite, à limiter les effets non recherchés sur les autres propriétés du béton [6].

Les adjuvants permettent, selon le cas:

- ❖ D'améliorer les conditions de mise en œuvre du béton ;
- ❖ D'améliorer les performances mécaniques;
- ❖ D'augmenter la durabilité des bétons.

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2 [N.17], un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci.

Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment [1].

### **II.3-Le rôle des adjuvants :**

La raison de l'utilisation croissante des adjuvants est qu'elle confère physiquement et économiquement au béton des avantages considérables. Ces avantages comprennent, entre autres, l'utilisation de béton dans des conditions qui présentaient auparavant des difficultés considérables, voir insurmontables. Ils permettent l'utilisation d'une grande gamme de matériaux dans le béton. Même s'ils ne sont pas toujours bon marché, les adjuvants ne représentent pas nécessairement des dépenses supplémentaires, car leur utilisation peut

engendrer des économies, par exemple sur les coûts du dosage en ciment ou encore en augmentant la durabilité des bétons sans dispositions supplémentaires ultérieures.

Les adjuvants fournissent à la formulation de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur formulation au temps froid et au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci. Il y a toutefois lieu d'insister sur le fait que, même utilisés de manière adéquate et bénéfique pour le béton, ils ne peuvent en aucun cas servir à corriger la mauvaise qualité des autres constituants ni leur dosage incorrect, ni des erreurs de manutention lors du transport, de la mise en place ou du serrage du béton [6].

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du béton que dans les limites précisées par la norme. Il ne doit pas non plus altérer les caractéristiques des armatures du béton ou des aciers de précontrainte [7].

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci [1].

L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale.

L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés. Ainsi un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise [7].

L'utilisation des adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme NF EN 206-1 [N.18] [7]

### **II.3.1-Mode d'action :**

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains de ciment. D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment.

### **II.3.2-Fonction :**

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une fonction secondaire :

### **II.3.2.1-Fonction principale :**

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale unique. Elle est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du béton à l'état frais ou durci.

Cette fonction peut varier selon le dosage de l'adjuvant et les matériaux utilisés.

### **II.3.2.2-Fonction secondaires :**

En plus de sa fonction principale, un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires (ex: plastifiant – retardataire, retardataire--plastifiant--réducteur d'eau).

Un adjuvant n'est pas palliatif. Il n'a ni pour effet ni pour mission de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage, d'une mauvaise composition ou d'une mise en œuvre défectueuse. Bien au contraire il peut avoir des effets secondaires néfastes au béton.

### **II.4-Classification des adjuvants :**

La norme NF EN 934-2 [N.17] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories des adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants- réducteurs d'eau, super plastifiants (anciennement fluidifiants) ;
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise ;
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières: entraîneurs d'air, hydrofuges de masse [1].

### **Conclusion:**

Les adjuvants sont devenus le quatrième ingrédient du béton, qui vient s'ajouter au trois constituants fondamentaux : le ciment portland, eau, les granulats. La liste complète de leur avantages est impressionnante, tant pour le producteur que pour l'utilisateur de béton.

Des adjuvants peuvent être ajoutés au béton pour améliorer certains de ces propriétés Il faut y ajouter les produits de cure, qui ne sont pas à proprement parler des adjuvants, dont la fonction est de protéger le béton pendant son durcissement.

# **Chapitre III:**

## **Les différents adjuvants**

### III.1-Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité.

La frontière entre les différents types d'adjuvants de cette famille n'est pas toujours très nette, les effets recherchés sont très proches et les différences obtenues sont souvent une question de nuances liées aux dosages préconisés [1].

On distingue deux familles :

- ❖ Plastifiant/réducteur d'eau ;
- ❖ Super plastifiant/haut réducteur d'eau.

Le but de ces deux familles est double :

- ❖ soit de diminuer la quantité d'eau superflue, tout en assurant une maniabilité permettant d'améliorer les conditions de mise en place ;
- ❖ soit, pour une quantité d'eau donnée, d'augmenter la fluidité d'un béton tout en réduisant un excès d'eau néfaste à la qualité de celui-ci ;
- ❖ soit de faire un compromis entre ces deux fonctions.

Le choix de la famille de produits est fonction des exigences de maniabilité, de résistance et de durabilité requises.

Dans le cas des bétons très fluides tels que les bétons pompés, autonivelants et autoplacants, et afin d'éviter toute ségrégation, tout ressuage et tassement, il est conseillé d'ajouter :

- ❖ Agent de cohésion

Retardateur d'eau (NF EN 934-2[N.17] tableau III-4).

#### III.1.1- Plastifiants réducteurs d'eau :

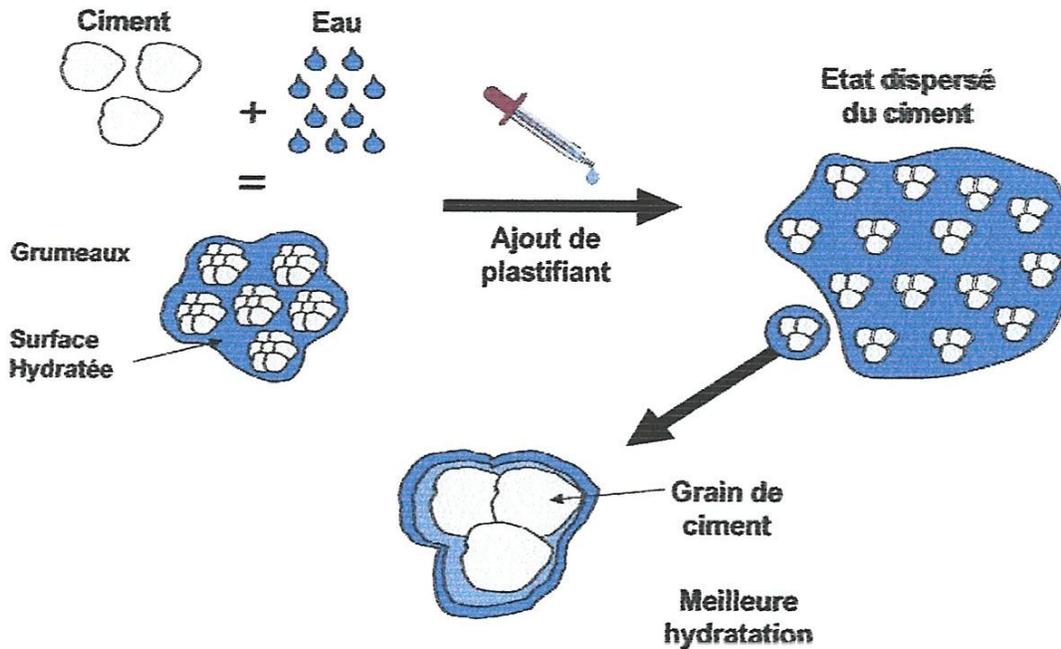
##### a) Fonction:

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis.



La diminution de la teneur en eau – de 10 à 35 l/m<sup>3</sup> de béton – entraîne une augmentation de sa compacité, par conséquent de sa durabilité. Cette amélioration des caractéristiques résulte de la diminution des vides dus à l'excès d'eau.

**c) Mode d'action :**



**b) Produits de base :**

Ils sont à base de lignosulfonates, de sels d'acides organiques, de mélamine sulfonates, de naphthalène sulfonât et dérivés de mélamine ou naphthalène.

**d) Domaine d'utilisation :**

Ces adjuvants trouvent leur emploi dans l'industrie du béton préfabriqué, qui exige des bétons fermes, pouvant être démoulés rapidement, dans les grands ouvrages de génie civil nécessitant des résistances élevées, ainsi que pour le bétonnage avec coffrages glissants.

**e) Propriétés et prescriptions [8] :**

Propriété	Prescriptions
Réduction d'eau	Pour le béton adjuvanté : $\geq 5\%$ par rapport au béton témoin.
Résistance à la compression	A 7 jours et à 28 jours : béton adjuvanté $\geq 110\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

**Tableau III-1:** Plastifiants/réducteurs d'eau (à consistance égale).

Propriété	Prescriptions
Résistance à la compression	A 28 jours : béton adjuvanté : $\geq 100\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.
Temps de début de prise	- Début de prise : pour le mortier adjuvanté $\geq$ à celui du mortier témoin + 90 min - Fin de prise : pour le mortier adjuvanté : $\leq$ à celui du mortier témoin + 360 min.
Réduction d'eau	Pour le béton adjuvanté : $\geq 5\%$ par rapport au béton témoin.

**Tableau III-2 :** Plastifiants/réducteurs d'eau/retardateurs de prise (à consistance égale).

Propriété	Prescriptions
Résistance à la compression	A 28 jours : béton adjuvanté : $\geq 100\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.
Temps de début de prise	- A 20°C : pour le mortier adjuvanté : $\geq 30$ min. - A 5°C : pour le mortier adjuvanté : $\leq 60\%$ de celui du mortier témoin.
Réduction d'eau	Pour le béton adjuvanté : $\geq 5\%$ par rapport au béton témoin.

**Tableau III-3:** Plastifiants/réducteurs d'eau/accélérateurs de prise (à consistance égale).

### III.1.2- Super plastifiants :

#### a) Fonction :

Introduits dans un béton, un mortier ou un coulis, en général peu avant sa mise en oeuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange. Leur particularité est le maintien de l'ouvrabilité durant de longues heures (selon le dosage et le type de ciment utilisé) sans avoir un effet retardataire.

Ce sont en général des produits de synthèse organique. Les plus utilisés sont les dérivés de mélamines ou de naphthalène. Ils peuvent être aussi fabriqués à partir de sous-produits de l'industrie du bois purifiés et traités (lignosulfonates). Sur le béton frais, on constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité pour une même teneur en eau. Ces effets ont une durée en fonction de la température, de la teneur en eau et du dosage en ciment [3].

Il n'y a ni ségrégation, ni ressuage si des précautions sont prises à la mise en oeuvre; la cohésion du béton reste très bonne.

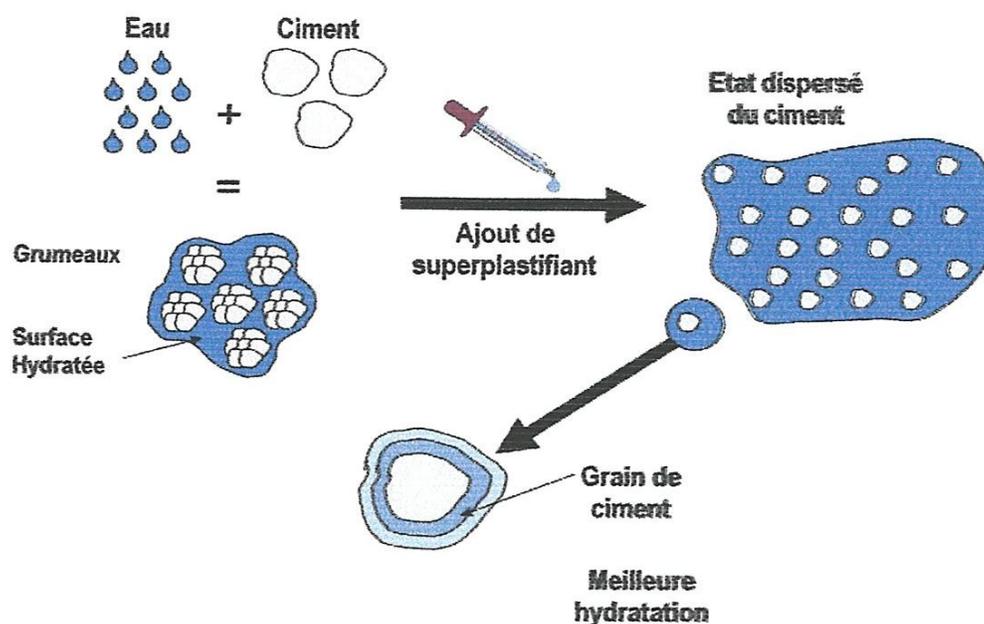
Parmi les super plastifiants -haut réducteur d'eau les plus connus on citera:

- **Les polynaphtalènes sulfonés (PNS)** : ils peuvent donner une réduction d'eau jusqu' à 25 %.
- **Les sulfonâtes de mélamine (MS)**
- **Les polymères carboxyliques d'éther (PCE)** : Ce sont les adjuvants de la nouvelle génération. Les polymères carboxyliques d'éther arrivent à réduire l'eau d'environ 30%.

#### b) Mode d'action :

L'action d'un super plastifiant passe nécessairement par son adsorption sur les particules de ciment. En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électrique.

Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entourent d'un film de ciment très mince.



**c) Domaines d'utilisation :**

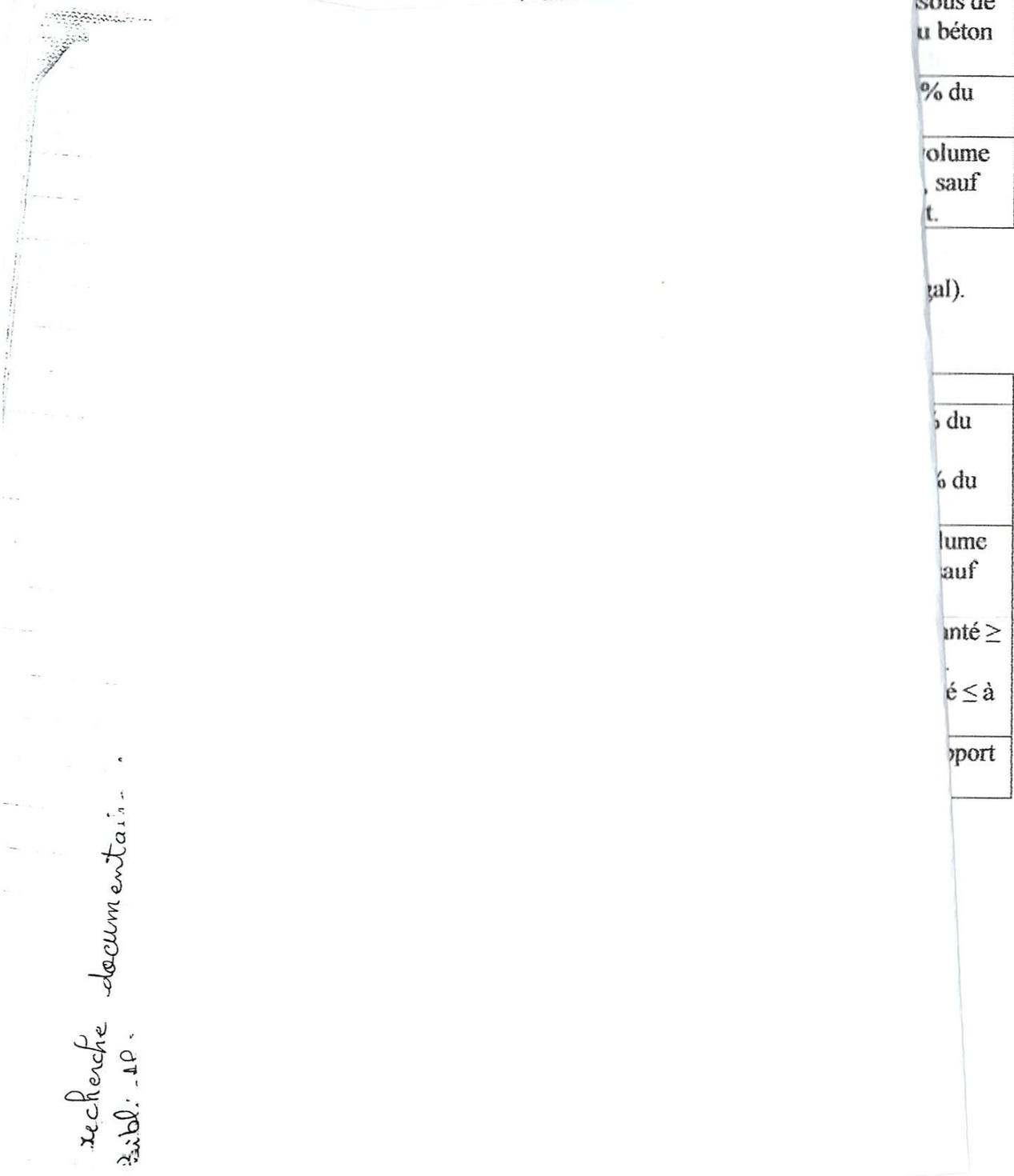
Les superplastifiants sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondations, dallages, radiers, sols industriels, etc., et pratiquement indispensables pour la confection des bétons de hautes performances. Ils sont couramment utilisés dans le béton prêt à l'emploi, surtout lorsqu'il est pompé. En 1998, de nouvelles molécules issues de l'industrie chimique, les polyacrylates et les poly carboxylates, ont considérablement amélioré les performances des superplastifiants. Ces adjuvants dits de « nouvelle génération » ont permis notamment le développement des BHP, des BUHP, des BFUP et des bétons autoplaçants.

**d) Propriétés et prescriptions [8]:**

Propriété	Prescriptions
Réduction d'eau	Pour le béton adjuvanté : $\geq 12\%$ par rapport au béton témoin.
Résistance à la compression	- A 1 jour : béton adjuvanté $\geq 140\%$ du béton témoin. - A 28 jours : béton adjuvanté $\geq 115\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

**Tableau III-4:** Superplastifiants/hauts réducteurs d'eau (à consistance égale).

Propriété	Prescriptions
Augmentation de la consistance	Étalement : $D \geq 160$ mm (différence de adj/témoin). ou affaissement : $D \geq 120$ mm.
Maintien de la consistance	30 min après l'ajout, la consistance du béton



recherche documentaire  
bibl. SP.

sous de  
u béton  
% du  
olume  
sauf  
t.  
gal).  
o du  
% du  
lume  
auf  
anté  $\geq$   
é  $\leq$  à  
oport

### **III.2- Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :**

Ces familles d'adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accéléralant ou en la retardant. Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé (figure III-1, illustre ce phénomène) [1].

Ils sont généralement couplés dans le béton avec un plastifiant/réducteur d'eau ou un superplastifiant/haut réducteur d'eau.

On distingue selon la norme (NF EN 934-2 [N.17]) deux sortes d'accéléralateurs :

- ❖ Les accéléralateurs de prise ;
- ❖ Les accéléralateurs de durcissement.

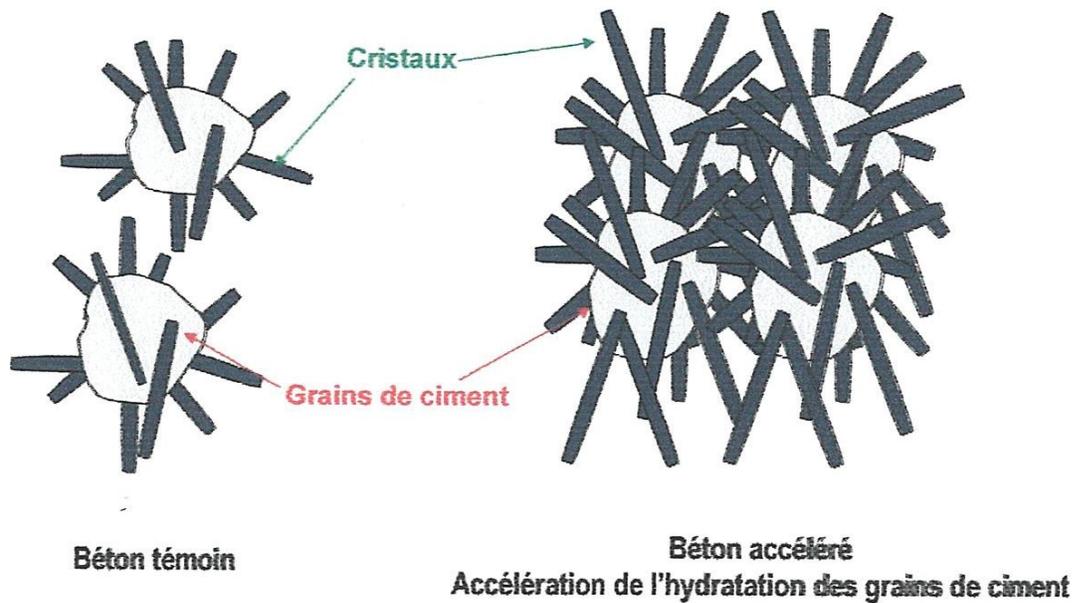
#### **III.2.1-L'accéléralateur de prise :**

##### **a) Fonction :**

Il a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment dans les bétons, les mortiers ou les coulis. C'est un adjuvant dont la fonction principale est d'accéléraler le début et la fin de prise du ciment. Mais en contre partie, l'accéléralation recherchée peut entraîner une résistance mécanique moins élevée que le témoin pendant les premières semaines.

##### **b) Mode d'action :**

Les adjuvants chimiques sont des produits solubles dans l'eau et le plus souvent d'origine minérale : acide ou base fort et leurs sels. Ils agissent en modifiant sélectivement la solubilité et la vitesse d'hydratation des liants. Certains accéléralateurs sont plus efficaces avec un ciment portland qu'avec un ciment en forte teneur en constituants secondaires.



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

### C) Produits de base :

Les Produits de base sont classés en 2 catégories :

- **Accélérateurs de prise chlorés.**

#### Exemples :

- ❖ chlorure calcium ;
- ❖ chlorure sodium ;
- ❖ mélanges de chlorure.

A noter que l'utilisation des adjuvants chlorés dépassant 1g par litre de concentration est fortement déconseillée pour les bétons armés : le chlore est un agent corrosif.

- **Accélérateurs de prise sans chlore :**

Leur fonction consiste à réduire le temps de prise, temps nécessaire pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps froid afin de limiter les effets des basses températures qui retardent naturellement la prise.

**Exemples :**

- ❖ Aluminate de soude, de potasse ;
- ❖ Silicate de soude, de potasse ;
- ❖ Nitrate de calcium.

Le silicate de soude est un adjuvant très accélérateur ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Il est surtout utilisé dans les projections de béton. C'est un raidisseur qui épaissit les interstices aqueux en accroissant le seuil de cisaillement de la pâte de ciment ; ce qui donne dès les premières minutes une formation de gel de silice. C'est également un bon hydrofuge.

**d) Propriétés et prescriptions [8] :**

Propriété	Prescriptions
Temps de début de prise	- A 20°C : pour le mortier adjuvanté : $\geq 30$ min. - A 5°C : pour le mortier adjuvanté : $\leq 60$ % de celui du mortier témoin.
Résistance à la compression	- A 28 jours : béton adjuvanté $\geq 80$ % du béton témoin. - A 90 jours : béton adjuvanté $\geq$ au béton adjuvanté à 28 jours.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2$ % en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

**Tableau III-9:** Accélérateurs de prise (à consistance égale).

**III.2.2- L'accélérateur du durcissement :**

**a) Fonction :**

Il a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, des mortiers ou des coulis pour aboutir plus rapidement au niveau de résistance exigé. Bien souvent ces deux fonctions sont liées et l'on retrouve l'une d'elle comme effet secondaire de l'autre.

**b) Produits de base :**

Les constituants sont généralement des dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque.

**c) Domaine d'utilisation:**

Les retardateurs de prise sont particulièrement recommandés pour les bétonnages par temps chaud et les bétonnages en grande masse afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise. Ils permettent aussi de faciliter les reprises de bétonnage.

Donc Les adjuvants retardateurs sont utilisés :

- ❖ Par temps chaud ;
- ❖ En cas de transport du béton sur de longues distances ;
- ❖ En cas de bétonnage partiel (reprise de bétonnage).

**d) Propriétés et prescriptions [8] :**

Propriété	Prescriptions
Résistance à la compression	- A 20°C et 24 h : béton adjuvanté $\geq$ 120 % du béton témoin. - A 20°C et 28 jours : béton adjuvanté $\geq$ 90 % du béton témoin. - A 5°C et 48 h : béton adjuvanté $\geq$ 130 % du béton témoin.
Réduction d'eau	Pour le béton adjuvanté : $\geq$ 5 % par rapport au béton témoin.

**Tableau III-10 : Accélérateurs de durcissement (à consistance égale).**

**III.2.3- Retardateurs de prise :****a) Fonction :**

Introduits dans l'eau de gâchage, ils ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise et le temps de fin de prise du ciment dans le béton, le mortier ou le coulis. Leur fonction donc consiste à augmenter le temps de prise du ciment pour éviter des « raidissements » (perte de maniabilité) précoces du béton.

**b) Mode d'action :**

Ils sont à base de lignosulfonates, d'hydrates de carbone ou d'oxydes de zinc ou de plomb. En général, les retardateurs freinent la diffusion de la chaux libérée par l'hydratation du

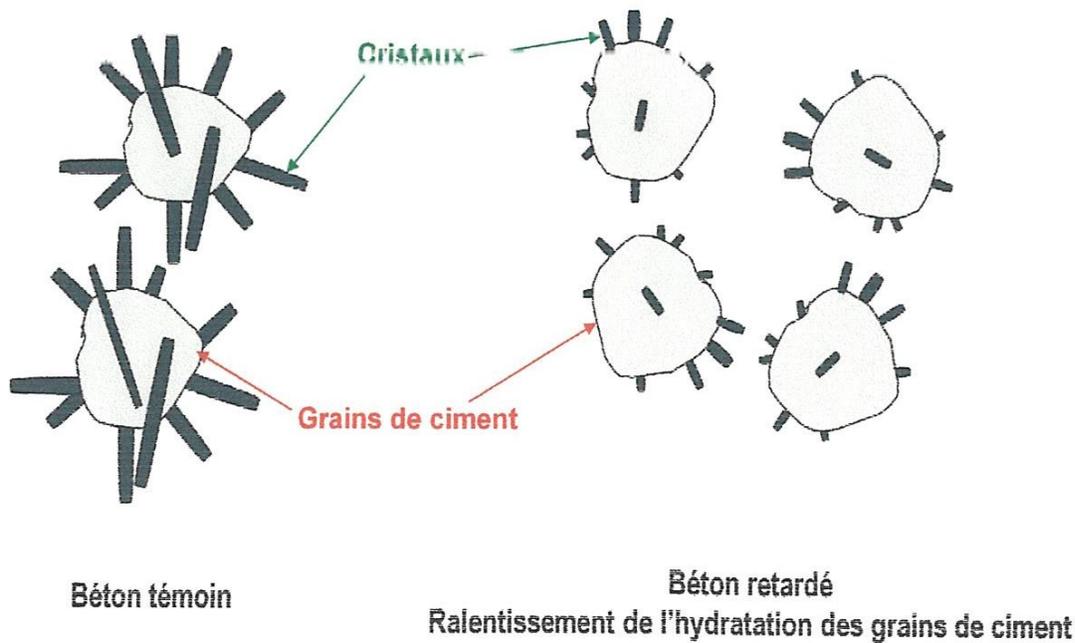
ciment et retardent de ce fait la cristallisation. Par rapport au témoin, l'augmentation du temps de début de prise est comprise entre une heure et deux heures. Au-delà de vingt-huit jours et souvent même dans un délai plus court, les résistances mécaniques sont en général augmentées par rapport au témoin [1]. Donc les retardateurs peuvent agir en diminuant la vitesse d'hydratation de certains constituants des ciments.

En se précipitant autour des grains de ciment en formant avec la chaux des précipités enrobant certaines parties des grains en hydrures ( $\text{CaSO}_4$ ), il y a donc une formation d'une enveloppe plus ou moins imperméable et d'épaisseur variable.

Le retard va dépendre alors :

- ❖ De l'épaisseur de l'enveloppe ;
- ❖ De son imperméabilité ;
- ❖ De sa composition (de l'enveloppe créée par l'adjuvant)
- ❖ De pH de milieu ;

L'action va dépendre surtout de la teneur en  $\text{C}_3\text{A}$  et  $\text{C}_3\text{S}$ , des alcalins et des sulfates dans le ciment.



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

### c) Produits de bas :

Les adjuvants retardateurs sont souvent des mélanges de :

- **Lignosulfonates** : ce sont des sous produits de la cellulose obtenus par un procédé au bisulfite dans les traitements du bois .leur taux élevé en sucre (xylose) est la raison de l'effet retardateur.
- **Gluconate de sodium** : retardateur très actif  $\text{CHOH (CHOH) 4COO Na}$ .
- **Gluconate de calcium**
- **Acide citrique**
- **Le borax**
- **Les sucres (glucose, saccharose .....)**

### d) Domaine d'utilisation :

Les retardateurs de prise sont particulièrement recommandés pour les bétonnages par temps chaud et les bétonnages en grande masse afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise. Ils permettent aussi de faciliter les reprises de bétonnage.

Donc Les adjuvants retardateurs sont utilisés :

- ❖ Par temps chaud ;
- ❖ En cas de transport du béton sur de longues distances ;

En cas de bétonnage partiel (reprise de bétonnage).

e) Propriétés et prescriptions [8] :

Propriété	Prescriptions
Temps de prise	- Début de prise : pour le mortier adjuvanté : $\geq$ à celui du mortier témoin + 90 min. - Fin de prise : pour le mortier adjuvanté : $\leq$ à celui du mortier témoin + 360 min.
Résistance à la compression	- A 7 jours : béton adjuvanté $\geq$ 80 % du béton témoin. - A 28 jours : béton adjuvanté $\geq$ 90 % du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq$ 2 % en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

Tableau III- 11: Retardateurs de prise (à consistance égale).

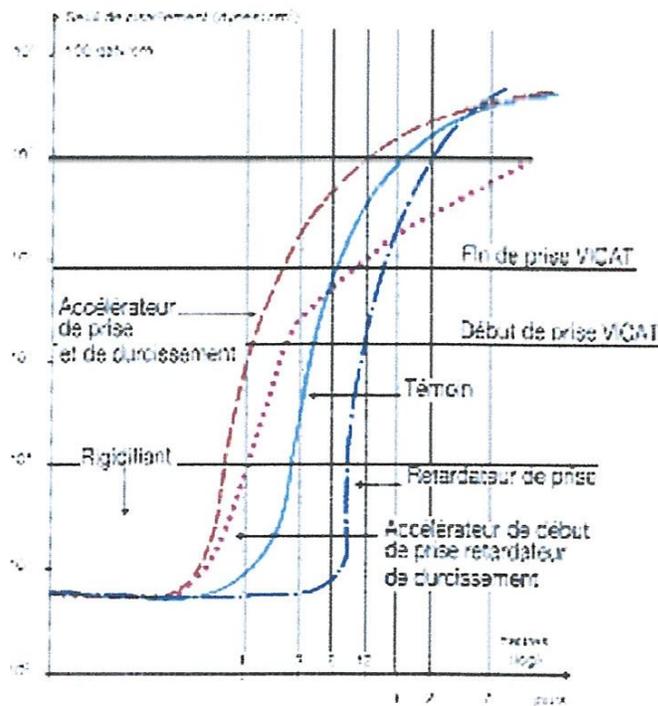


Figure III-1: Évolution du seuil de cisaillement selon le type de l'adjuvant.

<b>Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment</b>				
		<b>Accélérateurs de prise</b>	<b>Accélérateurs de durcissement</b>	<b>Retardateurs de prise</b>
<b>Dosage/masse de ciment</b>		1 à 3 %	0,2 à 3 %	0,1 à 1 %
<b>Introduction</b>		Dans l'eau de gâchage		
<b>Effets sur la prise</b>		Accélération variable suivant les types de ciments et les températures		Retards très variable suivant dosages, ciments, températures.
<b>Effets sur les résistances</b>	<b>initiales (avant 3 jours)</b>	Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.
	<b>finale (avant 28 jours)</b>	Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées	Légèrement augmentées.
<b>Effets secondaires favorables</b>		--	--	Amélioration de maniabilité avec possibilité de réduction d'eau
<b>Autres effets</b>		Possibilité d'une légère augmentation de retrait		—

**Tableau III-12 :** Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement [1].

### III.3- Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :

#### III.3.1- Hydrofuges de masse :

##### a) Fonction :

Leur fonction consiste à rendre le béton plus imperméable et moins sensible aux absorptions capillaires (béton en contact avec de l'eau).

Donc les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, des mortiers ou des coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton et protègent de l'humidité. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines (type bentonite) ainsi que des agents fluidifiants [1].

**b) Mode d'action :**

Ces produits se présentent sous forme de liquide ou poudre. Ils sont introduits directement dans la bétonnière (pendant le malaxage) ou diluer dans l'eau de gâchage, s'il s'agit d'une poudre.

Ils sont constitués de particules très fines qui, en se gonflant viennent combler les pores se trouvant dans le béton.

Ces produits ne sont efficaces que si le béton, est bien compact et homogène.

Leur action est très variable suivant leurs compositions, leurs dosages et les types de bétons auxquels ils sont incorporés. Les temps de prise peuvent être augmentés. L'efficacité dépend de la nature du ciment. Cependant, il convient de se rappeler qu'ils ne peuvent pas rendre étanche un mauvais béton, mal composé, présentant des vides importants ou des hétérogénéités.

**c) Domaine d'utilisation:**

Ils sont utilisés pour les bétons d'ouvrages hydrauliques (canaux, murs de fondation, retenues d'eau...) et les mortiers d'étanchéité (chapes, joints de maçonnerie, galeries de tunnels).

**d) Propriétés et prescriptions [8]:**

Propriété	Prescriptions
Absorption capillaire	- Essai sur 7 jours, après 7 jours de conservation : pour le mortier adjuvanté : $\leq 50\%$ en masse du mortier témoin. - Essai sur 28 jours, après 90 jours de conservation : pour le mortier adjuvanté : $\leq 60\%$ en masse du mortier témoin.
Résistance à la compression	A 28 jours : béton adjuvanté $\geq 85\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

**Tableau III-13:** Hydrofuges de masse (à consistance égale ou à rapport égal eau/ciment).

Les hydrofuges ne doivent pas employer systématiquement dans la masse du béton mais plutôt.

**III.3.2- Hydrofuges de surface:**

Ces hydrofuges s'appliquent sur le béton durci directement à la brosse, au pinceau ou aussi pulvérisé. Ils sont constitués à base résine acrylique, vinylique ou silicone. Certains produits sont aussi à base de bitume.

**III.3.3- Entraîneurs d'air :****a) Fonction :**

Leur fonction consiste à introduire un réseau de microbilles d'air calibrées dans le béton. Le diamètre de ces bulles varie entre 10 et 200  $\mu$ .

L'air dans le béton a été remarqué accidentellement pour la première fois au USA vers les années 1938.

Il a été constaté que des tronçons de routes en béton contenant des bulles d'air résistaient mieux au gel que les autres tronçons.

C'est en 1939 qu'apparurent les premiers produits entraîneur d'air au Etat Unis et après la seconde guerre mondiale en Europe.

### **b) Mode d'action :**

Les bulles d'air doivent être nombreuses suffisamment petites (60 et 100  $\mu$ ) et réparties uniformément dans la masse, pour pouvoir, plus tard, servir de «barrage» dans les réseaux de canalicule. Elles pourront éventuellement recueillir l'eau et la glace remontant par capillarité.

L'air occlus permet aussi :

- ❖ d'améliorer la maniabilité du béton,
- ❖ de diminuer le ressuage.

Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixée. Cet air (de l'ordre de 20 l/m<sup>3</sup>, soit 2 % du volume) est réparti de manière aléatoire. En revanche, l'entraîneur d'air permet d'en entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément.

La résistance au gel du béton durci, ainsi que sa résistance aux sels de déverglaçage, sont considérablement améliorées. Les microbulles qui coupent les réseaux des capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau interstitielle.

### **c) Domaine d'utilisation :**

Ces adjuvant sont surtout utilisés pour améliorés la tenue du béton durci au gel et au cycle gel-dégel.

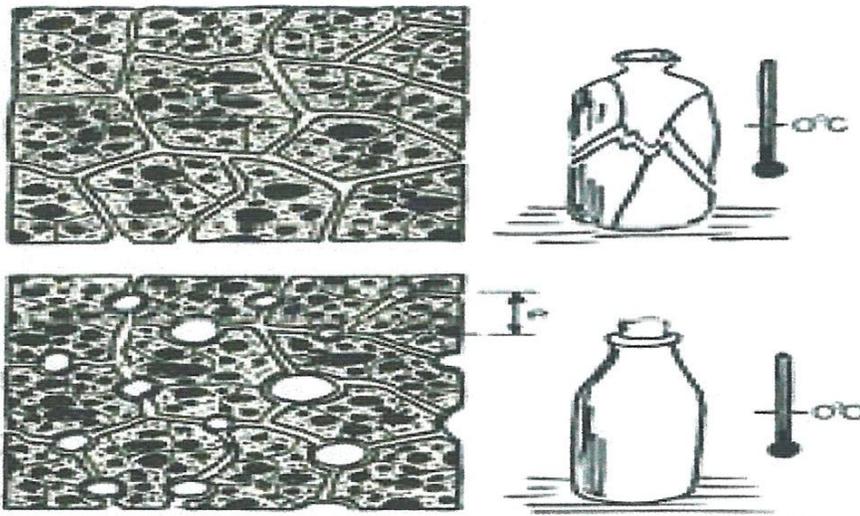
Les bulles occuperont un volume suffisant pour servir de « vase d'expansion » à l'eau continue dans le béton en période de gel. (Béton soumis à des températures très basses ou à des cycles gel/dégel réguliers.)

Donc Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, le mortier ou le coulis, de microbulles d'air uniformément réparties dans la masse. Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanolamine, que l'on mélange en fonction des propriétés à obtenir.

**d) Propriétés et prescriptions [8] :**

Propriété	Prescriptions
Teneur en air du béton frais	- Pour le béton adjuvanté : $\geq 2,5$ % en volume au-dessus du béton témoin. - Teneur en air total : 4 à 6 % en volume.
Caractéristiques des vides d'air dans le béton durci	Facteur d'espacement dans le béton adjuvanté : $\leq 0,200$ mm.
Résistance à la compression	A 28 jours : béton adjuvanté $\geq 75$ % du béton témoin.

**Tableau III. 14 :** Entraîneurs d'air (à consistance égale).



**Figure III-2:** La création d'un réseau de microbulles d'air accroît considérablement la résistance au gel du béton.

<b>Adjuvants normalisés modifiant la résistance au gel-dégel et aux milieux agressif</b>		
	<b>Entraîneurs d'air</b>	<b>Hydrofuges</b>
<b>Dosages (masse du ciment)</b>	0,01 à 0,5 %	1 à 3 %
<b>Résistances aux cycles gel-dégel</b>	Emploi recommandé Bonne amélioration	—
<b>Résistance aux agressions atmosphériques, CO<sub>2</sub>, atmosphère maritime</b>	Effet variable	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air
<b>Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eau Sulfatée, etc.) Effets secondaires</b>	Amélioration possible	Amélioration grace à la diminution de la perméabilité du béton
<b>Effets secondaires favorables</b>	Amélioration du parement	—

**Tableau III.15 :** Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton:(Modification du comportement du béton durci) [1].

### III.3.4- Les rétenteurs d'eau :

#### a) Fonction :

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi, l'homogénéité et la stabilité du mélange. Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50 %. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution du volume des fines.

La diminution des résistances à 28 jours par rapport à un béton témoin est de l'ordre de 20 %.

#### b) Produits de base :

Ces produits, qui sont, entre autres, des agents colloïdaux ou des dérivés de la cellulose sont utilisés pour l'exécution de mélanges retardés ou de mélanges à couler sous l'eau sans délavage.

#### c) Propriétés et prescriptions [8] :

Propriété	Prescriptions
Ressuage	Pour le béton adjuvanté : $\leq 50\%$ de celui du béton témoin.
Résistance à la compression	A 28 jours : béton adjuvanté $\geq 80\%$ du béton témoin.
Teneur en air du béton frais	Pour le béton adjuvanté : $\leq 2\%$ en volume au-dessus de celle du béton témoin, sauf indication contraire du fabricant.

Tableau III-16 : Rétenteurs d'eau (à consistance égale).

Action des rétenteurs d'eau	
Dosage	Généralement $< 0,5\%$ .
Effet sur la mise en œuvre du béton	Diminution du ressuage de 50 %.
Résistance à toutes les échéances	Par rapport au témoin, légère diminution possible.

Tableau III-17 : Action des Rétenteurs d'eau.

# **Chapitre IV:**

## **Les effets sur les propriétés des bétons**

## **IV.1-Introduction :**

On synthétiser dans ce chapitre les effets des différents adjuvants sur les propriétés et la rhéologie des bétons aux états frais et durci. On a aussi donné des exemples de l'action des adjuvants les plus commercialisés en Algérie (SIKA\_ALGERIE) et on a terminé par indiquer l'utilisation spécifique au type du béton (BHP, BAP, BAN, ...).

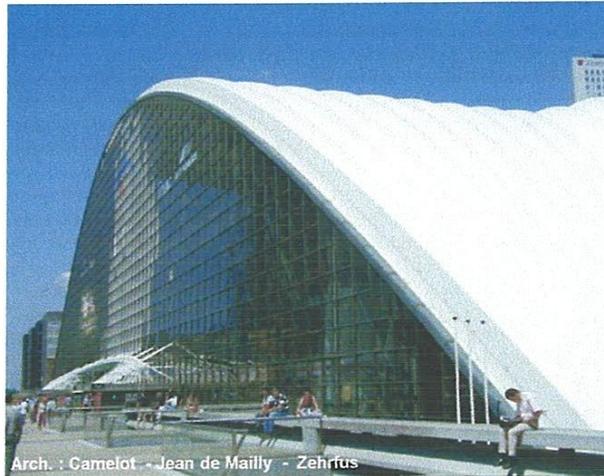
## **IV.2-Plastifiants réducteurs d'eau [1] :**

### **IV.2.1-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.

### **IV.2.2-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.



#### IV.2.3-Exemple [9] :

##### -OXYVIF 110 par SIKA :

- **Présentation :**

L'OXYVIF 110 est un adjuvant de synthèse à fonctions multiples, qui favorise l'intensité de la coloration et les caractéristiques mécaniques des bétons.

- **Caractères généraux :**

L'OXYVIF 110, grâce à ces fonctions multiples, permet :

- ❖ la suppression des efflorescences primaires ;
- ❖ la diminution des efflorescences secondaires par amoindrissement ;
- ❖ de la capillarité et de la perméabilité ;
- ❖ l'amélioration de la plasticité des bétons ;
- ❖ l'augmentation de la compacité ;
- ❖ l'accroissement des résistances mécaniques sans ;
- ❖ effet appréciable sur la prise.

- **Domaines d'utilisation**

L'OXYVIF 110 est utilisé comme activateur d'intensité de couleur.

- ❖ Usines de préfabrication : pavés, bordures ;
- ❖ Tous bétons colorés.

- **Caractéristiques physiques et chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse ;
- ❖ Densité :  $1,10 \pm 0,1$  ;
- ❖ pH :  $7 \pm 1,5$ .

- **Conditionnements :**

- ❖ Fût de 220 kg ;
- ❖ Vrac.

- **Stockage – Conservation :**

Stocké à l'abri du gel dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans.

- **Consommation :**

L'OXYVIF 110 s'utilise à raison de 1 à 3 % du poids total ciment plus colorant.

Le pourcentage de colorant ayant une incidence sur le dosage, un essai préalable est conseillé.

- **Mode d'emploi :**

L'OXYVIF 110 s'ajoute dans l'eau de gâchage, ou directement dans le malaxeur.

- **Précautions :**

Manipulation sans danger.

En cas de contact avec la peau, un simple lavage suffit.

### **IV.3- Superplastifiants Haut réducteurs d'eau [1] :**

#### **IV.3.1-Effets sur le béton frais :**

- ❖ Diminution de la teneur en eau ;
- ❖ Amélioration de l'ouvrabilité ;
- ❖ Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 – 3h00 à 20°C) ;
- ❖ Diminution du ressuage ;
- ❖ Diminution de la ségrégation ;
- ❖ Amélioration de la pompabilité des bétons ;
- ❖ Réduction du retrait hydraulique.

### IV.3.2-Effets sur le béton durci :

- ❖ Amélioration des résistances mécaniques a 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 pate de ciment ;
- ❖ Diminution du coefficient de la perméabilité.



### IV.3.3-Exemple [9] :

#### -SIKAFLUID par SIKA :

Conforme à la norme NF EN 934.2 [N.17]

- **Présentation :**

Le SIKAFUID, produit de synthèse, est un super plastifiant énergétique qui améliorent la mise en place du béton en augmentant les résistances mécaniques.

Couleur : marron foncé.

- **Caractères généraux :**

Par son action physico-chimique, le SIKAFUID permet :

➤ **Sur béton frais :**

- ❖ d'augmenter considérablement la fluidité du béton, donc de faciliter sa mise en place en diminuant les temps unitaires ;
- ❖ d'améliorer la pompabilité du béton.

➤ **Sur béton durci :**

- ❖ d'augmenter les résistances mécaniques ;
- ❖ d'accroître la compacité ;
- ❖ d'augmenter l'imperméabilité.

➤ **En béton étuvé :**

- ❖ d'économiser l'énergie (chauffage, vibration, matériel) ;
- ❖ d'améliorer la rotation des coffrages.

Le SIKAFLLUID est compatible avec tous les ciments, exception faite des liants alumineux.

• **Domaines d'utilisation :**

Le SIKAFLLUID s'utilise dans deux domaines privilégiés.

➤ **Amélioration de la maniabilité :**

A résistances égales, sans réduction d'eau.

Béton avec CPA-CEM I 52,5 R (350 kg/m <sup>3</sup> ) L/C = 0,5						
SIKAFLLUID	Eau 1/m <sup>3</sup>	Cône en cm	Résistance à la compression (MPa)		Résistance à la traction (MPa)	
			1 jour	28 jours	1 jour	28 jours
Témoin	175	7	10,0	43,0	0,8	2,6
0,5 %	175	14	10,5	44,0	0,8	2,6
0,75 %	175	16	12,0	45,0	0,9	2,7
1 %	175	18	13,0	45,5	0,9	2,7

Le SIKAFLLUID a la propriété de transformer un béton ferme ou plastique (cône 3 à 7 cm) en un béton fluide (cône supérieur à 15 cm) en conservant les résistances.

Le béton se met en place très facilement avec une légère vibration. Un piquage soigné est nécessaire si l'on ne vibre pas.

Le SIKAFLLUID est, dans ce cas, recommandé pour les bétons très ferrailés :

- ❖ **Bâtiment** : planchers, poutres, poteaux, panneaux ;
- ❖ **Génie civil** : ouvrages d'art, réservoirs.

➤ **Amélioration des résistances et de la maniabilité :**

Avec réduction d'eau partielle (5 à 10 %) pour un dosage en SIKAFUID de 0,6 à 1,25 % du poids du ciment.

Le SIKAFUID permet également d'améliorer la mise en place des bétons en augmentant en même temps leurs résistances (15 à 40 %).

Le SIKAFUID est utilisé dans ce cas pour :

- ❖ les bétons armés de toutes performances ;
- ❖ les bétons préfabriqués (étuvés ou non).

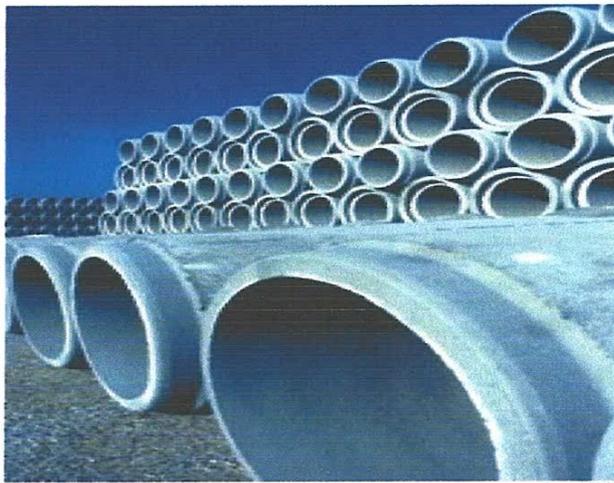
• **Caractéristiques physiques et chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse.
- ❖ Densité :  $1,20 \pm 0,02$  ;
- ❖ pH :  $7,5 \pm 1,5$  ;
- ❖ Teneur en chlorures :  $< 0,1 \%$  ;
- ❖ Teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  équivalent :  $\square 1 \%$  ;
- ❖ Extrait sec :  $40 \pm 1,5$ .

**IV.4- Accélérateurs de prise [1] :**

**IV.4.1- Effets sur le béton :**

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



#### IV.4.2-Exemples [9] :

##### - ISORAPID par SIKA :

- **Accélérateur de prise et de durcissement :**

Produit contenant du chlore dont l'emploi est autorisé dans les bétons armés ou non selon les conditions fixées par le D.T.U. 21.4 d'octobre 1977.

- **Présentation :**

L'ISORAPID est un accélérateur liquide de prise et de durcissement pour béton à base de Chlorure.

Couleur : translucide.

- **Caractères généraux :**

L'ISORAPID par l'accélération de prise qu'il procure, permet de .

- ❖ accélérer la rotation des moules ;
- ❖ réduire le délai de coffrage ;
- ❖ bétonner par temps froid.

- **Domaines d'utilisation :**

- ❖ En bétonnage traditionnel : décoffrage rapide des planchers, poteaux et banches augmentant ainsi la vitesse de rotation des coffrages ;
- ❖ En préfabrication : réduction ou suppression de l'étuvage ce qui conduit à une économie ;
- ❖ Importante d'énergie ;
- ❖ L'ISORAPID est conseillé pour le bétonnage par temps de gel jusqu'à une température de - 5°C; il accélère la prise et le durcissement du béton permettant de le mettre "hors-gel". Il faut respecter les recommandations élémentaires en matière de bétonnage par temps froid.

- **Caractéristiques physiques et chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse.
  - ❖ Densité :  $1,35 \pm 0,01$  ;
  - ❖ pH :  $7 \pm 0,5$  ;
- Teneur en chlorure : 300 g/l.

- **Conditionnement :**
  - ❖ Fût métal de 270 kg ;
  - ❖ Vrac.
- **Stockage – Conservation :**
  - ❖ Stockage sans précautions particulières ;
  - ❖ Dans son emballage d'origine intact le produit se conserve 5 ans.
- **Consommation :**
  - ❖ 1 à 3 % du poids du ciment selon les conditions d'utilisation. En règle générale, il est conseillé de procéder à un essai préalable comparé à un béton témoin ;
  - ❖ Ce dosage pourra être dépassé lorsque les conditions atmosphériques l'exigeront. On veillera cependant à rester dans les limites fixées par le **D.T.U. 21.4**.
- **Coulis, mortiers et bétons non armés :**

Dosage maxi : 4,3 % soit 3,2 litres pour 100 kg de ciment.

- **Bétons armés :**

Dosage maxi : 2,8 % soit 2,1 litres pour 100 kg de ciment.

- **Mode d'emploi :**

L'ISORAPID est un liquide prêt à l'emploi qui se mélange à l'eau de gâchage.

Il convient pour tous les ciments sauf les ciments alumineux et les ciments de laitiers à la chaux.

- **Restriction d'utilisation :**

L'ISORAPID ne doit pas être utilisé dans les bétons précontraints ou dans les bétons destinés à la fabrication de planchers chauffants.

- **Précautions :**

Manipulation non dangereuse. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Minitel 3613, code SIKASECUR.

#### **IV.5-Accélérateurs de Durcissement [1] :**

Il est rappelé qu'un accélérateur n'a pour rôle que d'activer le processus d'hydratation du clinker.

Ce processus n'est possible que si la température initiale du béton est supérieure ou égale à + 5°C. Dans ce cas, l'accélérateur active les réactions exothermiques de prise et engendre une

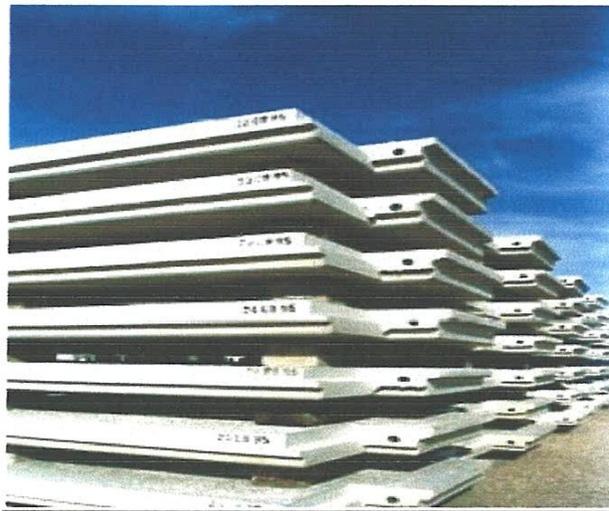
température interne suffisante pour assurer le durcissement du béton même si la température extérieure descend en dessous de 0°C. On veillera donc, entre autres, conformément aux Règles de l'Art à :

- ❖ utiliser un ciment à forte chaleur d'hydratation (classe «R»),
- ❖ utiliser un dosage en ciment le plus élevé possible,
- ❖ ne pas employer d'agrégats gelés,
- ❖ protéger le béton contre la dessiccation.

Il est recommandé de ne pas bétonner si la température extérieure est inférieure à - 10°C.

#### IV.5.1-Effets sur le béton :

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



#### IV.5.2-Exemples [9] :

##### -SIKA PRISE SC 2 par SIKA :

- **Accélérateur de durcissement sans chlore :**
- **Présentation :**

Le SIKA PRISE SC 2 est un accélérateur pour béton qui permet d'obtenir même par temps froid des résistances mécaniques élevées à court terme.

Couleur : brun.

- **Caractères généraux :**

Le SIKA PRISE SC 2 permet de réduire les délais de décoffrage et d'accélérer la rotation des moules.

Il permet de bétonner par temps de gel, sous réserve du respect des règles de l'art (voir rappel au verso).

- **Domaines d'utilisation :**

- **Béton Prêt à l'Emploi :**

Le SIKA PRISE SC 2 est conseillé pour tous les bétons, du type BCN ou autre, lorsque les conditions climatiques ne permettent plus de garantir un délai de décoffrage normal sur chantier.

- **Préfabrication :**

Le SIKA PRISE SC 2, grâce à la forte accélération de la prise qu'il provoque, doit être employé toutes les fois où l'on souhaite soit accélérer les cadences de production, soit réduire les temps d'étuvage.

Il est recommandé pour toutes les préfabriques foraines et les usines de fabrication de poteaux, de pédales, de panneaux de façades, etc, et plus généralement d'éléments en béton armé.

- **Caractéristiques physiques et chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse ;
- ❖ Densité : 1,293 à 1,333 ;
- ❖ pH :  $6 \pm 1$  ;
- ❖ Teneur en ions chlorure :  $< 0,1 \%$  ;
- ❖ Teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  équivalent :  $\leq 5,0 \%$  ;
- ❖ Extrait sec :  $43 \pm 2 \%$  ;
- ❖ Température de cristallisation :  $< - 18^\circ\text{C}$ .

- **Conditionnement :**

- ❖ Fût de 250 kg ;
- ❖ Vrac.

Il permet ainsi le coulage des bétons :

- ❖ lorsque la température est élevée ;
- ❖ lorsqu'ils sont mis en place sur de fortes épaisseurs (barrages, parois moulées, pieux...).

➤ **Reprises de bétonnage :**

Par le retard de prise qu'il induit, le SIKA RETARDER autorise les reprises de bétonnage après plusieurs heures d'interruption par simple vibration du béton.

Veiller à sa protection de la dessiccation.

➤ **Délais importants avant coulage :**

L'emploi du SIKA RETARDER permet de transporter, sans risque de prise prématurée, les bétons sur de grandes distances, même par temps chaud.

➤ **Maintien de la maniabilité**

En empêchant temporairement l'hydratation du ciment, le SIKA RETARDER permet un maintien prolongé de la maniabilité du béton. L'emploi du SIKA RETARDER est plus particulièrement recommandé en association avec un super-plastifiant type SIKAMENT ou

SIKAFLUID, pour la confection de bétons fluides pendant au moins une heure et à hautes résistances initiales.

• **Caractéristiques physiques et chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse ;
- ❖ Densité : 1,195 à 1,215 ;
- ❖ pH :  $6,5 \pm 1$  ;
- ❖ Teneur en chlorures :  $< 0,1 \%$  ;
- ❖ Teneur en Na<sub>2</sub>O équivalent :  $\leq 8,0 \%$  ;
- ❖ Extrait sec : 26,1 à 28,9 %.

• **Conditionnement :**

Fût de 250 kg - Conteneur perdu de 1000 litres - Vrac.

• **Stockage – Conservation :**

Le SIKA RETARDER gèle à  $- 2^{\circ}\text{C}$  environ mais, une fois dégelé lentement et homogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.

En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.

Délai de conservation : 3 ans.

- **Dosage :**

- **Plage d'utilisation recommandée :**

0,2 % à 2 % du poids du ciment selon la température et l'effet recherché.

Le SIKA RETARDER est introduit dans l'eau de gâchage avant introduction dans le malaxeur.

- **Précautions d'emploi :**

En cas de contact avec la peau, laver à l'eau.

#### **IV.7-Hydrofuges de masse [1] :**

##### **IV.7.1-Effets sur le béton :**

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



##### **IV.7.2-Exemples [9] :**

###### **-SIKAHYDROFUGE HW par SIKA :**

Hydrofuge liquide pour mortiers et bétons.

- **Présentation :**

Le SIKA HYDROFUGE HW est un hydrofuge qui s'ajoute dans l'eau de gâchage des bétons et mortiers.

Couleur : blanc.

- **Caractères généraux :**

Le SIKA HYDROFUGE HW obstrue les capillaires du mortier et du béton, les rendant étanches à l'eau.

Le SIKA HYDROFUGE HW est garanti sans chlore.

- **Domaines d'utilisation :**

- ❖ Bétons étanches dans la masse : fondations, radiers, réservoirs ;
- ❖ Bétons résistant à l'agression des eaux séléniteuses, des eaux de mer, des eaux industrielles ou des eaux pures ;
- ❖ Mortiers : chapes, enduits.

- **Caractéristiques physico-chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse ;
- ❖ Densité à 20°C :  $1,025 \pm 0,015$  ;
- ❖ pH à 20°C :  $12 \pm 1,0$  ;
- ❖ Extrait sec :  $43 \pm 2$  % ;
- ❖ Teneur en ions chlorure :  $< 0,1$  % ;
- ❖ Teneur en Na<sub>2</sub>O équivalent :  $< 1$  % ;
- ❖ Température de cristallisation : 0,5°C.

- **Conditionnement**

- ❖ Fût de 210 kg ;
- ❖ Conteneur de 1000 litres ;
- ❖ Vrac.

- **Stockage – Conservation :**

- ❖ Le SIKA HYDROFUGE HW doit être stocké à l'abri du gel et à une température inférieure à 30°C ;
- ❖ En cas de gel, le produit ne peut pas être réutilisé ;
- ❖ Pour que le produit conserve toute sa fluidité et pour faciliter ainsi la mise en œuvre par doseur, éviter l'exposition directe des emballages au soleil ;

- ❖ Comme la plupart des hydrofuges liquides, le produit peut être sujet à une dessiccation au contact de l'air et risque alors de former des grumeaux. Veiller à bien refermer les fûts après utilisation et à rincer régulièrement le matériel de dosage.

Délai de conservation : 1 an.

- **Dosage :**

- ❖ Plage d'utilisation recommandée : 0,5 à 1,5 % du poids du ciment ;
- ❖ Dosage usuel : 0,7 % du poids du ciment.

- **Mode d'emploi :**

Le SIKA HYDROFUGE HW s'ajoute dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage.

Lorsque le SIKA HYDROFUGE HW est employé avec un autre adjuvant, ils ne doivent pas être introduits conjointement dans la bascule à adjuvants. Ils peuvent être introduits séparément dans la bascule à eau.

- **Précautions d'emploi :**

- ❖ Manipulation non dangereuse ;
- ❖ En cas de contact avec la peau, un simple lavage suffit.

#### **IV.8-Entraîneurs d'air [1] :**

##### **IV.8.1-Effets sur le béton :**

- ❖ Protection contre les cycles de gel/dégel, sel de Déverglacée ;
- ❖ 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.



#### IV.8.2-Exemples [9] :

##### -SIKA AER 5 par SIKA:

- **Entraîneur d'air :**

Conforme à la norme NF EN 934.2.

- **Présentation :**

Le SIKA AER 5 est un entraîneur d'air à haute efficacité qui permet d'augmenter la quantité d'air dans le béton sous forme de fines bulles d'air très stables et de taille régulière, Uniformément réparties dans le béton.

Couleur : il se présente sous forme liquide, brun foncé.

- **Caractère généraux :**

- ❖ Augmentation de l'ouvrabilité du béton ;
- ❖ Meilleur aspect du béton au démoulage ;
- ❖ Accroissement de la cohésion en réduisant le risque de ségrégation ;
- ❖ Diminue la capillarité du béton ;
- ❖ Augmente la durabilité du béton soumis aux cycles gel-dégel et sa résistance aux sels de déverglaçée.

- **Domaines d'utilisation :**

- **Bétons soumis au gel-dégel :**

- ❖ Bétons mis en œuvre en montagne ;
- ❖ Ouvrages d'art ;

- ❖ Bétons routiers ;
- ❖ Barrages ;
- ❖ Pistes ;
- ❖ Dignes et réservoirs ;
- ❖ Structures en béton de masse.

➤ **Bétons à faible teneur en éléments fins :**

L'addition de SIKA AER 5, agissant comme un correcteur granulométrique, rend le béton plus maniable et facilite sa mise en œuvre par un effet «roulement à billes» des bulles d'air.

➤ **Bétons extrudés :**

Le SIKA AER 5 augmente la thixotropie du béton et permet la réalisation de bétonnage en continu : glissières de sécurité, caniveaux...

• **Caractéristiques physico-chimiques :**

- ❖ Solution aqueuse ;
- ❖ Densité :  $1,03 \pm 0,01$  ;
- ❖ pH : 10,5 à 12 ;
- ❖ Teneur en ions chlorure :  $< 0,1 \%$  ;
- ❖ Teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  équivalent :  $\approx 4 \%$  ;
- ❖ Température de cristallisation ;
- ❖ Extrait sec : 8,8 à 9,8 % ;
- ❖ Entraîneur d'air.

Conforme à la norme NF EN 934.2 [N.17].

• **Conditionnements :**

Fût de 205 kg, conteneur perdu de 1000 l, vrac.

• **Stockage - Conservation**

- ❖ Le SIKA AER 5 doit être stocké à l'abri du soleil et du gel, à des températures comprises entre  $+ 1^\circ\text{C}$  et  $+ 35^\circ\text{C}$  ;
- ❖ Dans son emballage d'origine intact et fermé, il se conserve 12 mois.

• **Dosage :**

➤ **Plage d'utilisation recommandée :**

0,03 à 0,5 % du poids du ciment.

- ❖ La quantité d'air entraîné est fonction du dosage de SIKA AER 5 mais dépend également de la composition du béton (nature et quantité d'éléments fins), de sa plasticité, du temps de malaxage, de la propreté des granulats, du type de ciment ou de liant et de sa finesse de mouture ainsi que de la température du béton ;
- ❖ Dosage habituel du SIKA AER 5 : 0,15 % du poids du ciment. Il est nécessaire de procéder à un contrôle régulier sur chantier de la régularité du pourcentage d'air occlus.

- **Mode d'emploi :**

Introduire le SIKA AER 5 dans l'eau de gâchage avant vidange dans le malaxeur ou en même temps que l'eau de gâchage.

- **Restriction d'utilisation :**

Le gâchage du béton avec des eaux de recyclage chargées en éléments fins conduit à limiter l'effet de l'air entraîné.

Les additions de type cendres volantes silicoalumineuses peuvent avoir un effet négatif à l'égard de l'entraînement d'air.

Des essais préalables sont nécessaires.

- **Précautions :**

- ❖ Manipulation non dangereuse ;
- ❖ En cas de contact avec la peau savonner et rincer à l'eau ;
- ❖ En cas d'éclaboussure dans les yeux ou sur les muqueuses rincer abondamment à l'eau tiède.

#### **IV.9-Utilisations :**

- ❖ BAP ;
- ❖ BHP ;
- ❖ BUHP ;
- ❖ Béton fibré ;
- ❖ Bétonnage par temps chaud ;
- ❖ Bétonnage par temps froid ;
- ❖ Béton lourd ;
- ❖ Béton léger ;
- ❖ Béton hydrofugé ;

#### **IV.9.2-Béton hautes performances (BHP):**

Béton caractérisé par une résistance en compression supérieure à 60 MPa et par une faible porosité de leur matrice, ce qui augmente fortement la durabilité.

Béton hyper fluide à l'état frais, il permet une grande facilité de mise en œuvre et une amélioration des performances structurelles, dues notamment à la présence de fumées de silice.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Superplastifiants nouvelle génération.

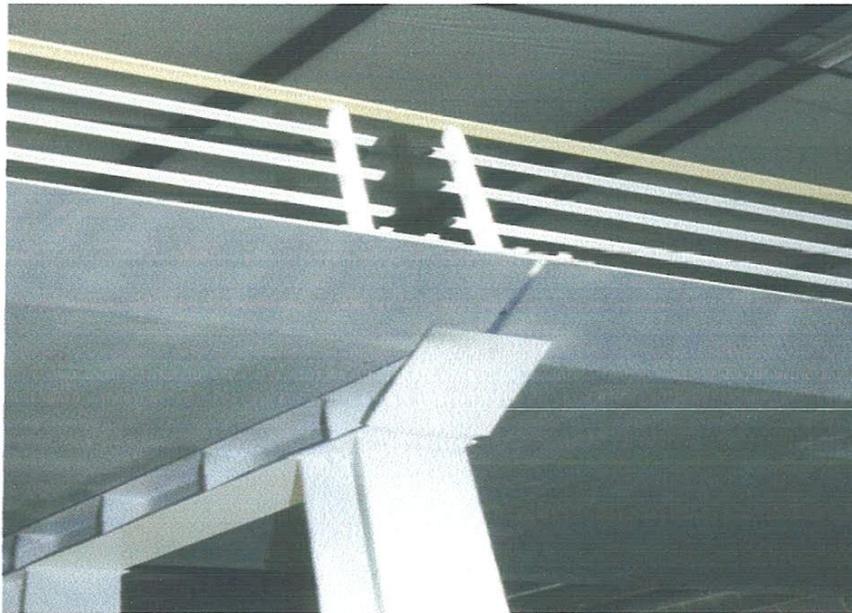


#### **IV.9.3-Bétons à ultra hautes performances (BUHP) :**

Il se caractérise par des résistances élevées, allant en compression de 130 à 200 MPa et en flexion de 30 à 45 MPa (si ajout de fibres métalliques), et par sa ductilité. L'obtention de ces résistances est liée à une réduction très importante de la porosité. Ce béton a une consistance hyper fluide qui permet un remplissage aisé des coffrages. Il a des propriétés de durabilité exceptionnelles en matière de résistance au gel et au dégel, aux sels de déverglaçage, à la carbonatation et à l'abrasion.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Superplastifiants nouvelle génération.



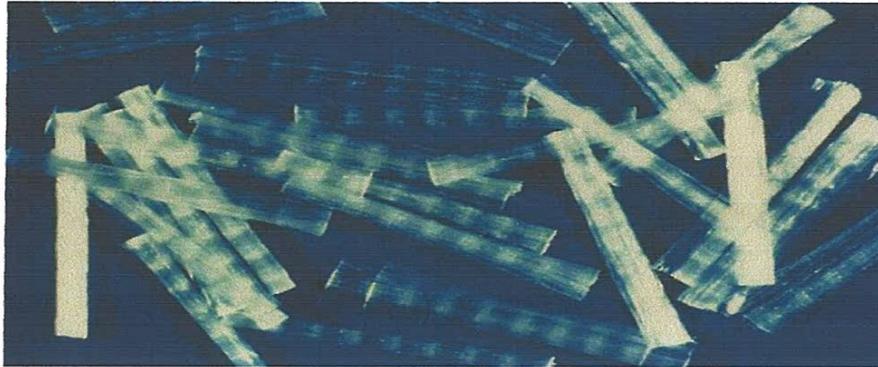
#### **IV.9.4-Béton fibré :**

Béton à base de fibres (métalliques et/ou synthétiques) qui permet de limiter la fissuration des ouvrages et d'améliorer la tenue au feu des bétons. Il est particulièrement utilisé dans les dallages industriels et dans les éléments préfabriqués.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Superplastifiants – Haut réducteurs d'eau.

Entraîneurs d'air.



#### **IV.9.5-Bétonnage par temps chaud :**

On parle de bétonnage par temps chaud lorsque la température de l'air est comprise entre 20°C et 35°C environ

Le bétonnage en ambiance chaude nécessite un choix correct des matériaux ainsi qu'une protection des ouvrages par des produits de cure (surtout aux tout premiers âges) et des contrôles renforcés.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Retardateurs de prise.

Superplastifiants – Haut réducteurs d'eau.



#### **IV.9.6-Bétonnage par temps froid:**

On parle de mise en place de béton par temps froid lorsque la température du béton descend en dessous d'un seuil critique (entre 5°C et 8°C selon les classes de ciments).

Le bétonnage en ambiance froide nécessite un choix correct des matériaux ainsi que des contrôles renforcés

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Accélérateurs de prise.

Accélérateurs de durcissement.

Réducteurs d'eau (plastifiants et Superplastifiants).

Entraîneurs d'air.



#### **IV.9.7-Béton lourd:**

Béton dont la masse spécifique des granulats est supérieure à celle des granulats couramment utilisés (soit  $> 2,6 \text{ kg/dm}^3$ ). Parmi les plus utilisés : barytes, hématites, ...

Il est particulièrement utilisé là où la densité du béton est prépondérante ( $> 3,5$ ), par exemple en cas de protection au rayonnement.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Superplastifiants – Haut réducteurs d'eau.



#### **IV.9.8-Béton léger :**

Béton dont la masse spécifique des granulats est inférieure à celle des granulats couramment utilisés (soit entre 1 et  $1,2 \text{ kg/dm}^3$ ). Parmi les plus utilisés : polystyrène, mousse, bois, vermiculite, ...

Il est particulièrement utilisé à des fins d'isolation ou d'allègement des structures lors de rénovations.

#### **Adjuvants les plus utilisés :**

Agents moussants.

Agents de cohésion.

Entraîneurs d'air.

Superplastifiants – Haut réducteurs d'eau.

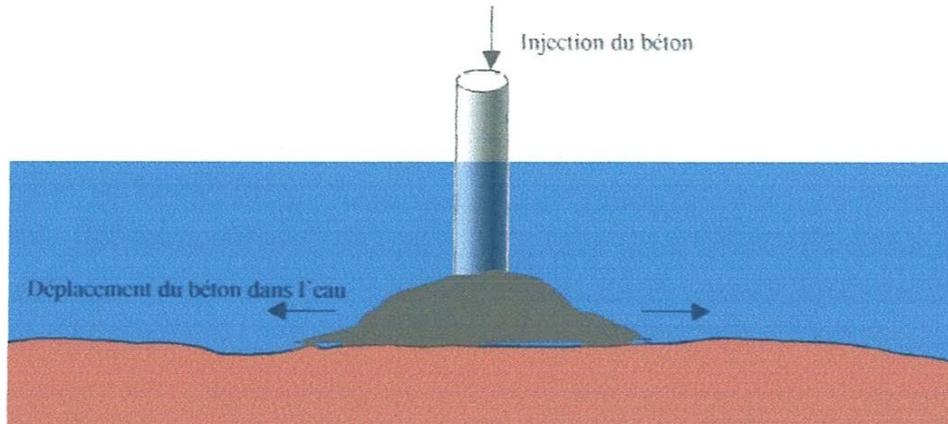
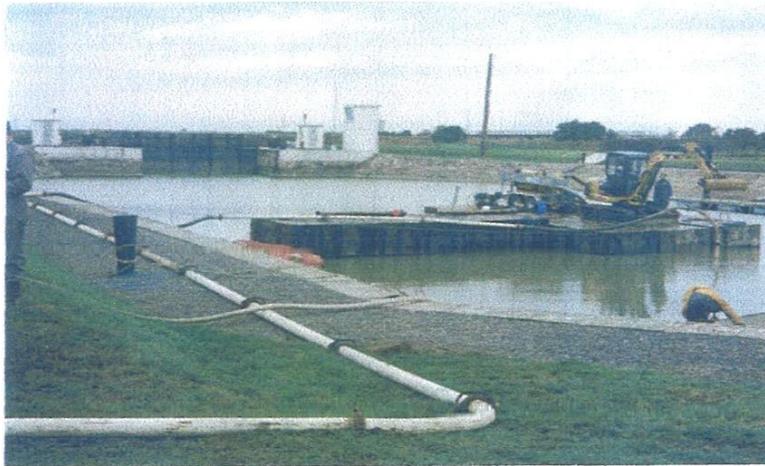
La composition doit être étudiée en utilisant en particulier des agents de cohésion, répulsifs à l'eau, accroissant les forces d'attraction entre particules, améliorant ainsi l'homogénéité du béton et évitant son délavage.

**Adjuvants les plus utilisés :**

Agents de cohésion.

Plastifiants – Réducteurs d'eau.

Superplastifiants – Haut réducteurs d'eau.



**IV.9.11-Béton de remblais :**

Béton particulièrement destiné aux travaux de remplissage de tranchées et de comblement de cavités, cuves de carburant abandonnées, marnières, canalisations, etc., et aux stabilisations de chaussées. Grâce à sa fluidité il est facile à mettre en œuvre : il peut être directement déversé de la toupie dans la cavité ou pompé si l'accès est difficile.

## Conclusion générale :

Les adjuvants sont devenus le quatrième ingrédient du béton, qui vient s'ajouter aux trois constituants fondamentaux : le ciment portland, l'eau, les granulats. La liste complète de leurs avantages est impressionnante, tant pour le producteur que pour l'utilisateur de béton.

Toutes fois ces avantages sont subordonnés à la bonne utilisation, à la connaissance des effets secondaires et d'autres risques. Un adjuvant ne peut compenser pour un matériau de qualité inférieure ou un travail mal exécuté.

Les adjuvants sont généralement utilisés pour une fonction principale mais peuvent avoir des fonctions secondaires non recherchées. Toutefois des effets secondaires non souhaités peuvent se produire (par exemple une réduction de la résistance lors de l'utilisation des rétenteurs d'eau). Mais ces effets non souhaités sont limités par les textes normatifs.

Les effets des adjuvants sur les résistances sont évalués pour des maniabilités constantes ou pour des rapports eau/ciment constants.

La propriété de la plus part des adjuvants chimiques réduisant l'eau est recherchée pour deux raisons. En abaissant la quantité d'eau de gâchage nécessaire, ils augmentent la résistance à la compression pour une teneur en ciment et un affaissement donnés. Ceci permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés. Cette dernière caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]-SYNAD, *Les constituants des bétons et des mortiers : adjuvant pour béton et mortiers*, Paris.
- [2]-Béton, PP.1-20, *Article l'internet*, 2001. // ?
- [3]-Boutiba.Aldjia, *Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci*, Mémoire de magister, Université M'Hamed Bougarra Boumerdes, 2010.
- [4]-Cherait.Yacine ; Nafa.Zahredinne, *Eléments de construction et essais*, Direction de la publication, Universitaire de Guelma, 2007.
- [5]-Jacques.Baron ; Pierre.Ollivier, *La durabilité des bétons*, Passes de l'école des ponts et chaussées, 1992. *Thèse de dolt.*
- [6]-Amouri.Chahinez, *Contribution à l'étude de l'influent ajout sur les propriétés des matrices cimentaires (caractérisation, performances, durabilité)*, Doctorat en science en génie civil, 2009. *Constr.*
- [7]-Maanser Abdelkrim, *Etude de l'effet des adjuvants sur les propriétés des mortiers*, Mémoire de magister, Université de Guelma, 2011.
- [8]-Altavilla N ; *Adjuvants pour bétons, Mortiers et coulis-Produits de cure*, France, 1998.
- [9]-Fiche Technique, *SIKA Conforme à la norme NF EN 934-2*, France, 2010.

## REFERENCES NORMATIVES

- [N.1]-NA 442, Portant sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments, (juil. 2003).
- [N.2]-NF P 18-506, Additions pour béton hydraulique –Laitier vitrifié moulu de haut fourneau, (mar.1992).
- [N.3]-NF EN 450, Cendres volantes pour béton –Définitions, exigences et contrôle de qualité (indice de classement P 18-050), (oct.1995).
- [N.4]-NF EN 197-1, Ciment –Composition, spécifications de conformité des ciments (indice de classement P 15-101-1), (fév.2001).
- [N.5]-NF P 18-508, Additions pour béton hydraulique –Additions calcaires –Spécification et critères de qualité, (oct.1994).
- [N.6]-NF P 18-502, Additions pour béton hydraulique – fumées de silice, (mai.1992).
- [N.7]-NP 15-317, Liants hydraulique –Ciments pour travaux en travaux à haute teneur en sulfates, (sept.1995).
- [N.8]-XP P 15-319, Liants hydraulique – Ciments pour travaux à haute teneur en sulfates, (sep.1995).
- [N.9]-NF P 15-318, Liants hydraulique –Ciments, (sept.1995).
- [N.10]-XP P 18-540, Granulats –Définitions, conformité, spécifications (indice de classement P 18-540), (oct.1997).
- [N.11]-P 18-591, Granulats –Détermination de la propreté superficielle, (sept.1990).
- [N.12]-NF P 18-541, Granulats –Granulats pour bétons hydraulique –Spécification, (aout.1994).
- [N.13]-P 18-598, Granulats –Equivalent de sable, (oct.1991).

**[N.14]-NF EN 1008**, Eau de gâchage pour bétons –Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'aptitude du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton (indice de classement P 18-211), (juil.2003).

**[N.15]-NF P 18-451**, Bétons –Essai d'affaissement, (déc.1981).

**[N.16]-NF EN 12390-3**, Essai pour béton durci –Résistance à la compression des éprouvettes (indice de classement P 18-455), (fév.2003).

**[17]-NF EN 934-2**, Adjuvants pour béton, mortier et coulis –Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage (indice de classement P 18-342), (sept.2002).

**[18]-NF EN 206-1**, Béton –Spécification, performances, production et conformité (indice de classement P 18-325), (fév.2002) .