



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Telidji- Laghouat**

**FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE  
DEPARTEMENT GENIE CIVIL**

### **MEMOIRE DE MASTER**

*Présenté par : ANANE Fadhila*

**DOMAINE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**Filière Génie Civil**

*Option : Matériaux de Génie Civil*

### **Thème**

**ETUDE COMPARATIVE DE L'INTERACTION  
DES DIFFERENTS TYPES D'ADJUVANTS AVEC  
LES CIMENTS**

#### **Jurys de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr. AZZOUZ Lakhdar	Pr.	Président
Mr. BOUKHELKHAL Aboubakeur	M.A.A	Examineur
Mr. LAKHDARI Mohamed Fateh	M.A.A	Rapporteur

**Promotion : Juin - 2018**

**ملخص:** ركزت الدراسة على ظاهرة التفاعل بين الزوج الإسمنت/المدنات في الملاط، تستعمل المدنات لتحسين بعض خصائص المواد الإسمنتية في الحالة السائلة أو الصلبة. لكن إذا كانت دراسة اختيار الزوج (الإسمنت/المدن) غير صحيحة، يكون المفعول المحصل عليه عكس الذي نريده عامة في الورشة عندما نصادف مشكلة التوافق بين الاسمنت و المدن، نقوم بتغيير الاسمنت أو الملدن أو الاثنين معاً، دون أن نعلم الأسباب التي أدت إلى عدم التوافق. العمل المطروح مقتبس عن الطريقة المعمول بها في جامعة شاربروك المسماة «طريقة المونة» التي تخص دراسة التوافق بين الاسمنت و الملدن.

لدراسة التفاعل استعملنا ثلاث أنواع من الاسمنت  $CEM II A-L 52,5$ ،  $CEM II/B-L 32,5$ ،  $CEM I 42.55CR$  و ثلاث أنواع من المدنات  $Tempo 12$ ،  $Tempo 544$ ،  $Sika VISCOCRETE 665$ ، لمعرفة مدى تأثير التوافق بين الاسمنت و المدن المتفوق تطرقنا إلى دراسة المرونة و بعض الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لملاط متكون من رمل كثباني ( $SD$ ) و رمل الوادي ( $SA$ ) مثل: مقاومة الضغط و امتصاص الماء.

الملاحظة الأساسية التي لفتت انتباهنا هو تأثير فعل الملدن المتفوق بنوعية الاسمنت و المعامل ( $m$ ) لدرجة تغيير دوره كمخفض لنسبة ماء المزج إلى دور سريع الأخذ أو مؤخر الأخذ، مثل ما حدث خلال التجارب بين  $Tempo 544$  الذي مع  $CEM II 52,5$  قام بدور المسرع لمعامل  $m=0.35$  بينما مع معامل  $m=0.40$  و نفس النوع من الاسمنت كان فعله مؤخراً، و مسرراً مع  $CEM I 42,5CRS$ ،  $CEM II 32,5R$ .

على ضوء النتائج المتحصل عليها وجدنا أن الملدن المتفوق لا يعمل فقط على تخفيض نسبة ماء المزج بل له دور لا يستهان به في تحسين الخصائص الفيزيو-ميكانيكية بأفضل مرونة ، تخفيض نسبة ماء المزج 33% ، انخفاض في امتصاص الماء 82% و ارتفاع في مقاومة الضغط 20%.

كلمات مفتاحية: الاسمنت، الملدن، تفاعل، توافق، المونة، الملاط، الملدن المتفوق، المرونة.

## Titre du mémoire : Etude comparative de l'interaction Des différents types adjuvant avec les ciments.

Nom: Anane

Prénom: Fadhila

Encadreur: Lakhdari med alfatah

**Résumé :** Les travaux de recherche de ce mémoire ont porté sur le phénomène d'interaction du couple Ciment/Adjuvant dans les mortiers. Les adjuvants sont utilisés pour améliorer certaines propriétés du matériau cimentaires soit à l'état frais soit à l'état durci, mais si l'étude du choix du couple (ciment, adjuvant) est mal faite, l'effet obtenu peut être opposé à celui que l'on recherche, généralement, lorsqu'un problème de compatibilité ciment/adjuvant se pose sur chantier, il se règle en remplaçant l'adjuvant ou le ciment ou même parfois les deux, sans connaître vraiment les causes de cette incompatibilité. Le travail proprement dit s'inspire de la méthode utilisée par l'université de Sherbrooke dite «méthode du coulis» et qui consiste à rechercher la compatibilité entre le ciment et superplastifiant en utilisant une procédure détaillée dans le corps du texte.

Nous avons étudié l'interaction entre trois types de ciments à savoir  $CEM II A-L 52,5R$ , le  $CEM II/B-L 32,5 R$ , et le  $CEM I 42.55CRS$  et trois type d'adjuvants  $TEMPO 12$ ,  $TEMPO 544$ ,  $Sika VISCOCRETE 665$ . Afin d'évaluer l'efficacité du résultat de notre investigation; nous avons étudié les performances d'un mortier à base de sable dunaire ( $SD$ ) et de sable alluvionnaire ( $SA$ ) adjuvanté avec un produit jugé compatible selon les critères de la méthode.

La principale observation que nous avons pu effectuer est que le mode d'action des adjuvants est profondément affecté par le type de ciment et par le rapport  $E/C$  à un point tel que de superplastifiant par exemple il devient un accélérateur de prise ou retardateur de prise. Tel est le cas du produit  $Tempo 544$  qui avec le ciment  $CEM II 52,5 R$  a fait l'effet d'un accélérateur pour un rapport  $E/C=0,35$ , pendant que pour  $E/C=0,40$  il fait l'effet d'un retardateur. L'interaction avec le type de ciment est illustré par l'exemple du même produit qui pour  $E/C=0,40$  retarde la prise avec le ciment  $CEM II 52,5 R$  et accélère la prise pour le ciment  $CEM II 32,5R$  et  $CEM I 42,5CRS$ . Effectivement les résultats obtenus soulignent à la fois une amélioration des caractéristiques physiques par une meilleure maniabilité avec une réduction d'eau de 33% allié à une réduction notable de l'absorption d'eau de 82% et une augmentation de la résistance à la compression de 20%.

Mots clés : Ciment, Adjuvant, Interaction, Compatibilité, Coulis, Mortier, Hydratation, Superplastifiant, Maniabilité.

# Remerciement

*Je remercie Dieu qui nous a guidés tout le long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.*

*Au terme de ce mémoire j'exprime toute mes reconnaissances à l'égard de Mr LAKHDARI MOHAMMED FATTAH de m'avoir confié ce mémoire et de l'avoir encadrée. Ses orientations précieuses, ses conseils scientifiques, son suivi m'ont permis de mener à bien ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères pour la confiance qu'il m'a témoignée.*

*Je suis gré à Monsieur AZZOUC Lakhdar, Professeur à l'Université de Laghouat, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de ma thèse.*

*Je remercie Monsieur BOUKHELKHAL Aboubakeur, Maitre assistant A d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Ce travail s'est déroulé dans le Laboratoire de recherche de Génie Civil, Université de Laghouat. Toute ma gratitude à Madame DADA el hadja pour son aide appréciable. Ainsi qu'au personnel du laboratoire.*

*Je suis très reconnaissante à Monsieur Bouammer Nacer, qui m'a énormément aidé dans les essais expérimentaux. Je lui témoigne ici toute ma gratitude.*

*Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à toute ma famille pour son soutien Indéfectible durant cette année.*

*Mon mari, ma sœur Imane, mon frère Abed el Ghani, Nassima, Amina et mes enfants.*

## Liste des Figures

### Chapitre I

Figure 1-1 : Principe de fabrication du ciment portland.....	5
Figure I- 2 : Composants de clinker .....	5
Figure I- 3 : La fabrication du ciment portland .....	9
Figure I-4 : Représentation schématique des constituants anhydres du clinker du ciment portland et leurs produits d'hydratation. L'aire des cases donne le volume approximatif des phases.....	12
Figure I- 5: Cinétique d'hydratation du $C_3S$ . .....	13
Figure I- 6: Cinétique d'hydratation du $C_3A$ .....	14
Figure I- 7 :Solubilité de différentes formes de sulfate de calcium dans l'eau distillée à 20 °C.	17
Figure I-8 : Influence du rapport aluminat/sulfate dans la solution interstitielle sur la prise des pâtes de ciment Portland. ....	17
Figure I- 9 : Adjuvants liquides.....	20
Figure I -10 : Des charges opposées sur la surface des grains de ciment provoquent la floculation. ....	24
Figure I-11 : Les superplastifiants empêchent la floculation .....	24
Figure I - 12: Les réducteurs d'eau les plus connus. ....	25
Figure I- 13 : Structure schématique d'un superplastifiant de type polycarboxylate, polymère de type « peigne ». ....	26
Figure I-14 : Compatibilité ciment/superplastifiant/sulfate de calcium .....	28
Chapitre II	
Figure II- 1 : Courbes granulométriques des sables étudiés.....	34
Figure II- 2 : Détermination de la masse volumique absolue.....	36
Figure II- 3: Cône de Marsh .....	36
Figure II- 4: Séquence de malaxage du mortier .....	38
Figure II- 5: Appareil d'écrasement. ....	39
Figure II- 6: Dispositif de rupture en compression. ....	40
Chapitre III	
Figure III- 1: Résultats de la résistance à la compression à 28 jours .....	49
Figure III- 2: L'absorption d'eau en fonction de type de mortiers.....	49

## Liste des Tableaux

### Chapitre I

Tableau I- 1 : Composition minéralogique de clinker.....	6
Tableau I- 2: Classe des ciments selon la norme NA 442: 2000.....	10
Tableau I- 3: Les valeurs maximales de la résistance normale à 28 jours. ....	11
Tableau I- 4: Utilisations des adjuvants. ....	22

### Chapitre II

Tableau II- 1 : Caractéristiques physiques et chimiques des superplastifiants. ....	33
Tableau II- 2 : Caractéristiques des sables utilisés.....	34
Tableau II- 3 : Composition minéralogique du ciment CEM I -42,5- CRS .....	39
Tableau II- 4: Composition physico-mécanique du ciment CEM I -42 ,5- SR5 CRS .....	39

### Chapitre III

Tableau III- 1 Valeurs des masses volumiques absolues des ciments étudiés. ....	43
Tableau III- 2 : Essai du cône de Marsh avec E/C =0.40.....	44
Tableau III- 3: Essais cône de Marsh avec e/c =0,35.....	46
Tableau III- 4: Résultats de l'essai de maniabilité. ....	48

## Liste des Symboles

$C_3S$ : Silicate tricalcique.

$C_2S$ : Silicate bicalcique.

$C_3A$  : Aluminate tricalcique.

$C_4AF$ : Aluminoferrite de calcium.

$\rho_s$ : Masse volumique absolue ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

$R_c$  : Résistance à la compression (MPa).

E/C : Rapport eau/Ciment.

SA : Sable de Alluvionnaire.

MAA: Mortier avec adjuvant.

MSA : Mortier sans adjuvant.

R : Résistance.

---

# **Table des matières**

---

# Table des matières

Liste des Figures.....	i
Liste des Tableaux.....	ii
Liste des Symboles.....	iii
Liste les matières.....	iv
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Recherche Bibliographique.....	
I.2.Ciment.....	4
I.2.1. Constituants de base des ciments.....	4
I.2.2. Le clinker.....	4
I.2.3. Sulfate de calcium.....	7
I.2.4. Les composés mineurs.....	7
I.3Fabrication du ciment.....	7
I.3.2.Concassage.....	7
I.3.3. Préparation du cru.....	8
I.3.4. Cuisson.....	8
I.3.5. Refroidissement.....	8
I.3.6. Broyage.....	9
I.3.7. Stockage, ensachage et expédition.....	9
I.4.Les types de ciments courants de base.....	10
I.5.Les valeurs maximales de la résistance normale à 28 jours des classes de résistance du ciment.....	11
I.6. Hydratation du ciment Portland.....	11
I.6.1. Hydratation du silicate tricalcique $C_3S$ .....	12
I.6.1.1 période pré-dormante.....	12
I.6.1.2. période dormante.....	13
I.6.1.3. période de prise.....	13
I.6.1.4. période de durcissement.....	13
I.6.2. Hydratation du silicate bicalcique $\beta C_2S$ .....	13
I.6.3. Hydratation de l'aluminate tricalcique $C_3A$ .....	14
I.6.3.1. Phase initiale.....	15
I.6.3.2. Phase dormante:.....	15
I.6.3.3. Epuisement du gypse:.....	15
I.6.3.4. Phase finale:.....	15
I.6.4. Hydratation de l'aluminoferrite de calcium $C_4AF$ .....	15
I.7. Le rôle du sulfate de calcium.....	15
I.8.Les adjuvants.....	19

I.8.1. Historique.....	19
I.8.2. Définition .....	19
I.8.3. Mode d'action :.....	20
I.8.4.Fonctions :.....	20
I.8.4.1. Fonction principale : .....	20
I.8.4.2. Fonctions secondaires : .....	21
I.8.5. Classification: .....	21
I.8.6.Les superplastifiant .....	23
a. Définition.....	23
b. Découverte des superplastifiants .....	23
c. Mode d'action.....	23
d. Classification.....	25
e. Avantages .....	26
I.9. Comportement du couple ciment-superplastifiant .....	27
Conclusion.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes d'essais .....	
II.1 Introduction .....	32
II.2 Caractérisation des matériaux utilisés .....	33
II.2.a. Les ciments .....	33
II.2.b. Les superplastifiants .....	33
II.2.c Eau de gâchage .....	33
II.2.d le sable .....	33
a. Caractéristique physique.....	34
II.3. Phase 1 :Tests sur coulis .....	34
II.3.1.Détermination de la masse volumique absolue.....	34
a. Objectif de l'essai .....	34
b. Equipement nécessaire .....	35
c. Mode opératoire.....	35
II.3.2. Essai utilisant le cône Marsh .....	36
a. Les mesures des essais au cône de Marsh .....	36
b. Procédure de malaxage des coulis.....	37
II.4. Phase 2 Essais sur mortiers .....	37
II.4.1.à l'état frais .....	37
II.4.2. à l'état durci .....	39
Chapitre III Présentation et interprétation des résultats .....	43
III.2. Phase 1 : Tests sur coulis .....	43

III.2.1. Masses volumiques absolues des ciments étudiés .....	43
III.2.2. Essai de compatibilité au cône de Marsh .....	43
III.3. Phase 2: Essais sur mortier .....	47
III.3.1. à l'état frais.....	48
III.3.2. à l'état durci .....	48
Conclusions générales .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Recommandations et perspectives .....	52
Annexes.....	55

---

# **Introduction générale**

---

## **Introduction générale**

L'Algérie connaît depuis une décennie un développement intense et soutenu des secteurs du bâtiment et de la construction, que ce soit pour les grands projets de l'état (1 million de logement Sociaux, équipement socio-éducatif, administratifs,...) ou les grands projets immobiliers (résidentiels, tertiaires) et touristiques initiés par les promoteurs privés et publics.

Afin de répondre aux exigences d'une construction moderne et durable notre pays doit obligatoirement utiliser les technologies innovantes dans le domaine d'élaboration des matériaux.

Les exigences et normes internationales en matière de performance des matériaux de construction n'est pas encore suffisamment intégrées aux processus de conception et de construction dans notre pays.

Les exemples sont nombreux, celui du béton ou du mortier est plus édifiant. Il est en effet bien connu qu'il existe plusieurs problèmes tant ; au niveau formulation que fabrication ou mise en œuvre. A ce titre, l'utilisation des adjuvants procède plus par une démarche traditionnelle qu'une démarche reposant sur une étude scientifique, le travail que nous présentons trouve ainsi sa pleine opportunité car il traite le problème de la compatibilité entre les ciments et les adjuvants utilisés localement.

Il est bien établi que les adjuvants sont utilisés pour améliorer certaines propriétés du matériau cimentaires soit à l'état frais soit à l'état durci, mais si l'étude du choix du couple (ciment, adjuvant) est mal faite, l'effet obtenu peut être opposé à celui que l'on recherche, généralement, lorsqu'un problème de compatibilité ciment/adjuvant se pose sur chantier, il se règle en remplaçant l'adjuvant ou le ciment ou même parfois les deux, sans connaître vraiment les causes de cette incompatibilité.

Le principal effort à fournir pour pallier à cette difficulté est de choisir le couple ciment/adjuvant le plus efficace permettant d'obtenir des propriétés rhéologiques et mécaniques satisfaisantes. Pour notre part et compte tenu des produits disponibles nous avons axé notre travail sur les superplastifiants.

Un superplastifiant est un adjuvant qui, introduit dans un béton, mortier ou coulis en général, a pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange, car ces types d'adjuvant sont essentiellement des dispersants, parmi ces adjuvants, on compte les réducteurs d'eau et les superplastifiants, la seule différence entre ces deux types est que les superplastifiants ont un plus grand pouvoir dispersant de ces derniers.

On utilise principalement les adjuvants dispersants pour réduire la quantité d'eau de gâchage des bétons, mortiers, ou coulis tout en assurant une maniabilité suffisante qui facilitera sa mise en place.

Toutefois, il est bien connu que l'hydratation, la prise ou le durcissement des matériaux peuvent être affectés par l'ajout d'adjuvants dispersants qui peut se traduire parfois par des phénomènes indésirables tels que la perte de maniabilité, un retard de prise élevé ou un raidissement prématuré de la pâte. Lorsqu'une telle situation se produit dans la pratique, on se limite souvent à dire qu'il s'agit d'un problème de compatibilité ciment/adjuvant sans pour autant connaître la cause réelle qui a conduit à cette situation.

Ce mémoire comporte trois chapitres. Le premier chapitre présente une étude bibliographique générale sur les ciments, l'hydratation des ciments, les adjuvants et la compatibilité ciment adjuvant le deuxième chapitre décrira la composition et la provenance des matériaux pour la réalisation de ce travail et résume les essais réalisés durant notre étude, le dernier chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus. Une conclusion générale et des recommandations pour de futurs travaux dans le même thème clôturent le manuscrit.

---

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique**

---

## **I.1 Introduction**

Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide.

Le ciment est une matière de base fait l'objet de plusieurs études et recherches sont encore en cours sur divers aspects physiques, chimique ; économique, et environnemental.

## **I.2.Ciment**

Le ciment est un liant hydraulique en poudre. Mélangée avec de l'eau, la poudre fait prise et durcisse dans le temps, ce durcissement est engendré par l'hydratation de certain composé minéraux. Notamment les silicates et les aluminates de calcium [1].

Ce produit miraculeux est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, il est décrit, définis, classés et spécifié dans la norme NF EN 197-1[2].

### **I.2.1. Constituants de base des ciments**

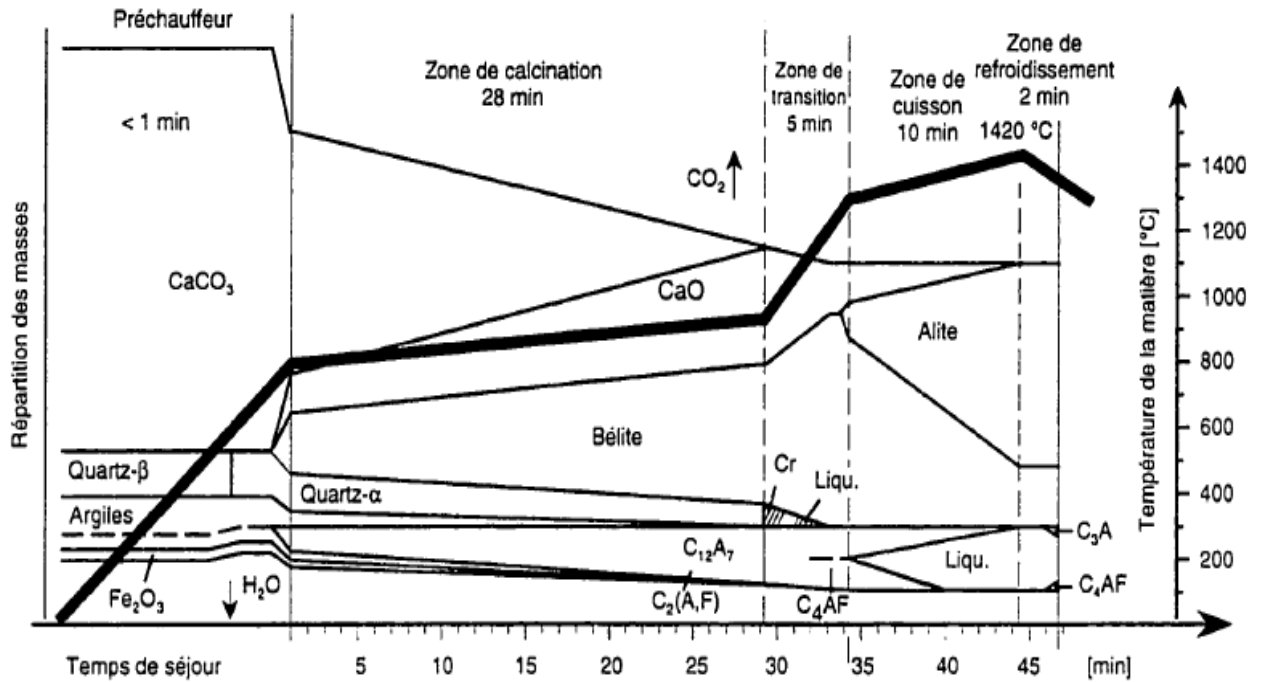
Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- les additions peu réactives : fillers, additions calcaires, additions siliceuses ;
- les additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent : cendres volantes, fumées de silice, laitiers de haut fourneau.

### **I.2.2. Le clinker**

Le clinker résulte de la réaction chimique qui se produisent à haute température (1450°C) et qui transforment la matière première constituée essentiellement de calcaire, d'argile et de fer en silicate et en aluminat de calcium.

Les silicates et les aluminates de calcium proviennent de la combinaison de la chaux(CaO) avec la silice ( $SiO_2$ ), L'alumine ( $Al_2O_3$ ) et l'oxyde de fer ( $Fe_2O_3$ ). Le calcaire ( $CaCO_3$ ) Apporte essentiellement le CaO et l'argile comble le manque en oxyde ( $SiO_2$ ), ( $Al_2O_3$ ), tandis que le ( $Fe_2O_3$ ) manquant est apporté par le fer [3]. Les différentes phases de la réaction de transformation de la matière première en clinker sont présentées à la figure I.1.



Puisque les matières premières utilisés pour fabriquer le clinker ne sont pas pures et ne subissent aucun traitement visant à améliorer leur qualités, elles contiennent invariablement des impuretés (autres que les quatre oxides de base) telles que les alcalins, les sulfates, les chlorures alcalins et de la chaux vive dont l'influence se manifeste sur la qualité du ciment [3].

.On peut dire que le clinker est un minéral constitué de quatre phases principales  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$  et de quelques composés mineurs.

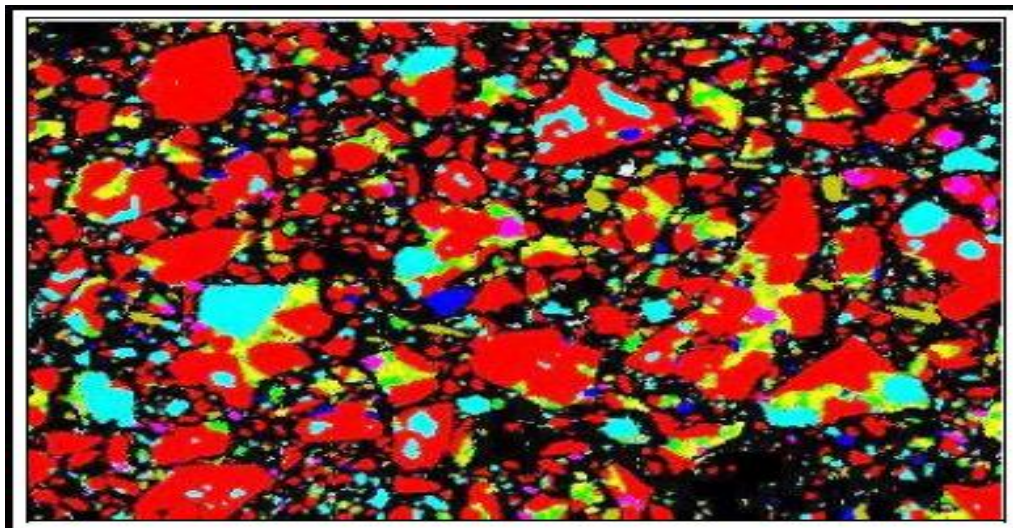


Figure I- 2 : Composants de clinker, (les zones en noir représente la porosité)[4]

Les caractéristiques des principaux composants du ciment portland sont présentées dans le tableau01 en tenant compte de leurs couleurs présentés sur la figure I-2

Lors du broyage de clinker, une petite quantité de sulfate de calcium est ajoutée (3 à 5%) sous forme de gypse ( $CaSO_4 + 2H_2O$ ), d'hémihydrate ( $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$ ) ou d'anhydrite ( $CaSO_4$ ) afin de contrôler la prise du ciment.

Tableau I- 1 : Composition minéralogique de clinker [3]

Constituants	Formule abrégé	Composition et abréviation	Nom	(%)	Réactivité avec l'eau	Contribution A la résistance	
						Jeune âge	Long terme
Silicate tricalcique (rouge)	$C_3S$	$3CaO \cdot SiO_2$ (C3S)	Alite	50-70	Rapide	Bonne	Bonne
Silicate bicalcique (bleu clair)	$C_2S$	$2CaO \cdot SiO_2$ (C2S)	Bélite	5-25	Lente	Faible	Excellente
Aluminate tricalcique (vert)	$C_3A$	$3CaO \cdot Al_2O_3$ (C3A)	Célite	2-12	Rapide	Bonne	Moyenne
Alumino-férite tétracalcique (orange)	$C_4AF$	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$		0-15	moyenne	bonne	moyenne

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes Phases cristallines suivante [1]:

➤ **Silicate tricalcique  $C_3S$**

Le  $C_3S$  libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine de double de libérée par le  $C_2S$ , donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges.

➤ **Silicate bicalcique  $C_2S$**

Permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène de prise est plus faible [1].

➤ **Aluminate tricalcique  $C_3A$**

Le  $C_3A$  est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées, c'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique, de ce fait elle contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'elle contribue peu à la résistance finale, elle est d'ailleurs facilement attaquée par les sulfates [1].

➤ **Aluminoférite tétracalcique  $C_4AF$**

Le  $C_4AF$  représente entre (0 à 15%) de la composition du ciment portland. Il forme une solution solide de  $C_2A$  et  $C_2F$  réagit moins vite que  $C_3A$ ; son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment. Les formes  $C_6A_2F$  et  $C_4AF$  sont les plus couramment rencontrés dans le ciment. La réactivité de l'aluminoférite tétracalcique dans l'eau est modérée et elle augmente avec la teneur en alumine [1].

Les phases  $C_3A$  et  $C_4AF$  sont liquides à la température de formation du clinker et elles constituent au cours de refroidissement une phase interstitielle qui cristallise entre les cristaux de  $C_3S$  et  $C_2S$ .

### **I.2.3. Sulfate de calcium**

Le sulfate de calcium, généralement du gypse, doit être ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, en vue de régulariser la prise [1, 3].

### **I.2.4. Les composés mineurs**

Comme il a été dit précédemment aucune des phases principales du clinker ne se trouve à l'état pur. La présence d'impuretés dans le clinker (la chaux libre ( $CaO$ ), la magnésie libre ( $MgO$ ) et les oxydes alcalins ( $K_2O, Na_2O$ ) joue un rôle important sur les propriétés hydrauliques du ciment. Ces composés mineurs proviennent généralement des matières premières du combustible et parfois des réfractaires ou des équipements.

- ❖ La magnésie hydratée  $Mg(OH)_2$  peut causer des dommages très insidieux.
- ❖ Les alcalins solubles passants en solution sont dangereux pour les raisons suivantes :
  - Augmentent le retrait hydraulique ;
  - Accélèrent la prise du liant ;
  - Peuvent réagir avec certains granulats siliceux et provoquer des gonflements importants; ce phénomène est appelé l'alcali-réaction ou réaction alcali-silice.

L'association entre les sulfates présents dans les matières premières et Les oxydes alcalins vont former des sulfates alcalins.

## **I.3. Fabrication du ciment**

### **I.3.1. Extraction**

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif. dans des carrières généralement à ciel ouvert. de façon à la fragmenter en blocs chargés ensuite dans des dumpers pour alimenter les concasseurs, alors que l'argile, beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roues-pelles avant d'être transportée par camions [1].

### **I.3.2. Concassage**

Les matériaux extraits des carrières présentant des granulométries grossières allant jusqu'à  $m^3$ , le concassage effectué le plus souvent sur les lieux mêmes de l'extraction a pour but d'en limiter la granulométrie à 50, voire 100 mm au maximum. Les matériels utilisés à cette fin peuvent être mobiles, ou fixes.

### **I.3.3. Préparation du cru**

La préparation du cru au même temps de réalisé le mélange homogène du calcaire et de l'argile dans des proportions définies en fonction de leurs compositions chimiques particulières, mais toujours proches du rapport 80 % de calcaire pour 20 % d'argile, peut se faire suivant différents procédés, le résultat final devant permettre l'obtention d'un clinker.

La préparation du cru, représentée dans la figure I-3, peut être réalisée suivant quatre procédés différents :

- La voie sèche, pour but de réalise un mélange préliminaire, consiste à déposer les matériaux constitutions du cru en couches successives, de faible épaisseur, formant le « tas de préhomogénéisation » ;
- La voie semi-sèche, qui consiste à humidifier la poudre obtenue après broyage et séchage pour l'agglomérer sous forme de granules qui sont ensuite cuits sur une grille mobile ;
- La voie semi-humide qui consiste à filtration, à en faire des boudins qui sont ensuite cuits sur une grille [3].

### **I.3.4. Cuisson**

Réalisée dans des fours rotatifs dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre de 5 m de diamètre et de 80 à 100 m de longueur dans le procédé par voie sèche (de 150m dans le procédé par voie humide) à une température comprise entre 1400 et 1500 °c, la cuisson permet la transformation du cru en clinker. Le cycle du traitement comportant les phases suivantes :

- Le préchauffage qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four les gaz chauds provenant du four y brassent la farine à contre –courant ;
- changeur de chaleur situé à l'amont du four les gaz chauds provenant du four y brassent la farine à contre –courant ;
- La décomposition des argiles qui se situe au-dessus de 500° ;
- La décarbonatation des calcaires qui s'effectuent à 950 °c dans la partie médiane du four dont les températures sont comprises entre 550 et 1000 °c ;
- La formation du clinker ou clinkérisation à 1450 °c qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur.

### **I.3.5. Refroidissement**

Le but de Cette opération est d'abaisser la température du clinker qui est de l'ordre de 1200 à 1450 °c à la sortie du four à environ 500/250 °c suivant les types de refroidisseur. Cette

opération également une incidence sur la qualité du ciment. Un refroidissement trop lent pouvant amener la libération de chaux libre et la transformation du C<sub>3</sub>S qui entraîne une baisse des résistances.

### I.3.6. Broyage

Objectif du broyage a pour est d'une part de réduire les granules de clinker en poudre et d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise). Ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (laitier, cendres ...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciment normalisés.

### I.3.7. Stockage, ensachage et expédition

À la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac, L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne représente qu'environ 30 % de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure. La livraison en vrac est assurée par camion, wagons ou péniches. Les différentes étapes de fabrication de ciment sont présentées à la figure I-3.

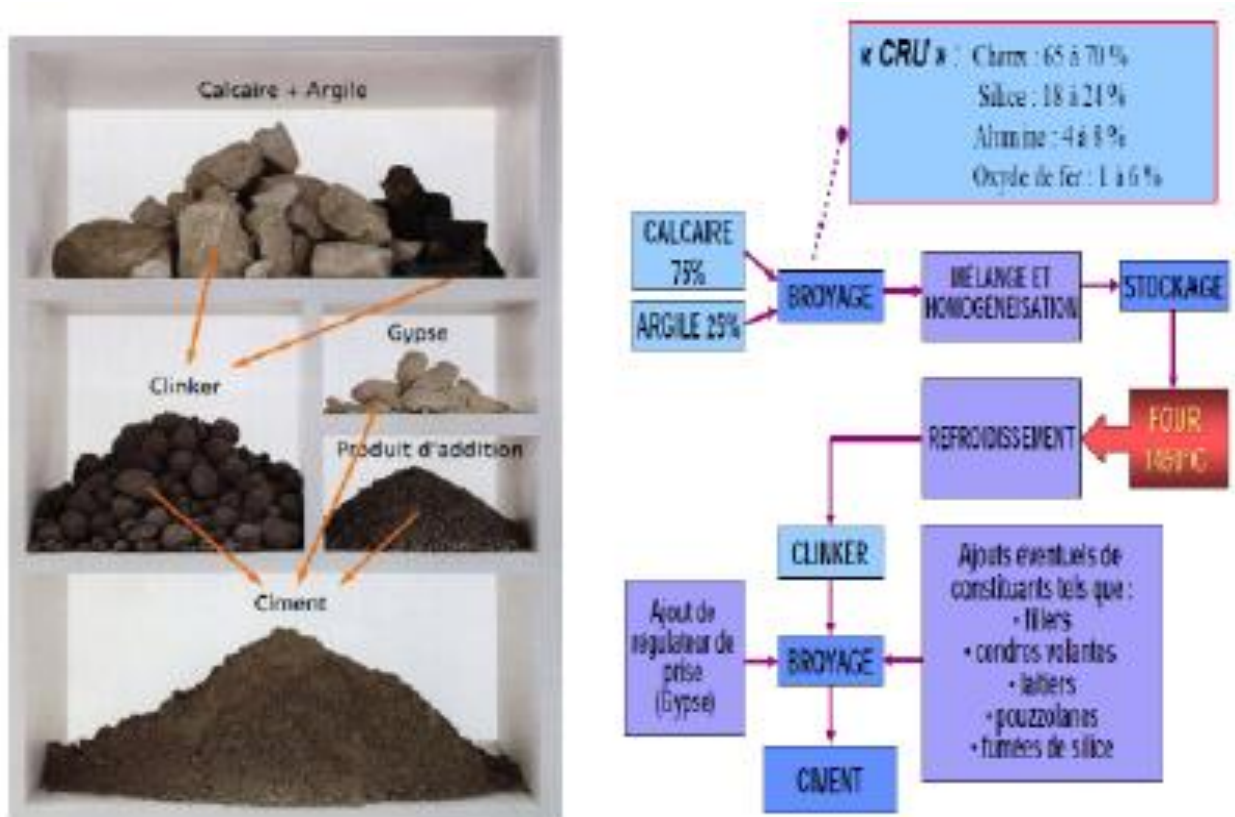


Figure I- 3 : La fabrication du ciment portland [5]

### I.4. Les types de ciments courants de base

Le tableau suivant présente la liste des différents types de ciments courants normalisés :

Tableau I- 2: Classe des ciments selon la norme NA 442: 2000 [1].

Désignation	Types De ciment	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constitutions suivant : laitier – pouzzolanes – cendres – calcaires- schistes – fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA- CEM I	Ciment Portland	95 à 100%	-----	0 à 5 %
CPJ-CEM II/A	Ciment Portland composés	80 à 94 %	- De 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% (*).	0 à 5%
CPJ-CEM II /B		95 à 79 %	- De 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus (*).	0 à 5%
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	36 à 65 % de laitier de haut- fourneau	0 à 5%
CHF-CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier de haut- fourneau	0 à 5%
CLK-CEM III/C		5 à 19%	81 à 95 % de laitier de haut- fourneau	0 à 5%
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendre siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %.	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/B		45 à 64 %	36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/A	Ciment composés	40 à 64%	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5%
CLC-CEM V/B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%

(\*) Le pourcentage des fillers est limité à 5%

- 1) Les valeurs indiquées se réfèrent au noyau du ciment, à l'exclusion des sulfates de calcium et des additifs. À la somme des constituants principaux et secondaires.
- 2) Les constituants secondaires peuvent être du filler ou bien un ou plus des constituants principaux, sauf lorsque ceux-ci sont incorporés en tant que constituants principaux du ciment.
- 3) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 % dans tous les ciments.
- 4) La proportion de filler est limitée à 5 %.
- 5) Le fabricant est tenu à une déclaration de composition stipulant les constituants utilisés et la proportion de chacun deux; il s'engage à ne pas faire varier ces proportions au delà à une fourchette de  $\pm 5$  points [1].

### I.5. Les valeurs maximales de la résistance normale à 28 jours des classes de résistance du ciment

Le tableau suivant présente la liste des valeurs maximales de la résistance du ciment.

Tableau I- 3: Les valeurs maximales de la résistance normale à 28 jours [5].

Résistance à la compression (en MPa)				
Désignation de la classe de résistance	Résistance à court terme		Résistance courante à 28 jours	
	A 2 jours	A 7 jours		
32.5 N	-	≥16	≥32.5	≤52.5
32.5 R	≥10	-		
42.5 N	≥10	-	≥42.5	≤62.5
42.5 R	≥20	-		
52.5 N	≥20	-	≥52.5	-
52.5 R	≥30	-		

Pour chaque classe de résistance courante, deux classes de résistance à court terme sont définies, une classe avec résistance à court terme ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec résistance à court terme élevée (indiquée par la lettre R).

### I.6. Hydratation du ciment Portland

Il suffit, de mélanger un peu de poudre de ciment avec de l'eau ; du sable, pour obtenir, a température ambiante et en quelque heures un matériau dur.

On s'intéressera essentiellement à l'aspect chimique des transformations, c'est ce qu'on appelle d'une manière générale l'hydratation qui correspond à un ensemble de processus physico-chimiques qui obéissent aux lois générales de la thermodynamique et de la cinétique. La complexité de l'hydratation provient de la complexité de la pâte de ciment :

- Le ciment est lui-même un matériau polyphasé, chacune des phases constitutives réagissant d'une manière différente ;
- Les réactions font intervenir une solution dont le volume faible et confiné ;
- Les phases hydratées formées sont souvent difficiles à caractériser du fait de leur caractère amorphe ou nanocristallin ;
- L'hydratation de chaque phase modifie la solution dans laquelle réagissent les autres.

Donc, pour simplifier l'approche, on adopte souvent la démarche d'étudier [6].

Comme le clinker est un mélange de différents constituants anhydres, il est nécessaire, dans un premier temps, de considérer séparément les processus d'hydratation de chacun des composants du clinker. L'accent sera mis sur les processus d'hydratation du  $C_3S$  et du  $C_3A$  qui sont les phases les plus réactives, donc les plus susceptibles d'influencer la rhéologie des pâtes de ciment. La figure suivante présente schématiquement les constituants anhydres du clinker du ciment Portland et leurs produits d'hydratation [7].

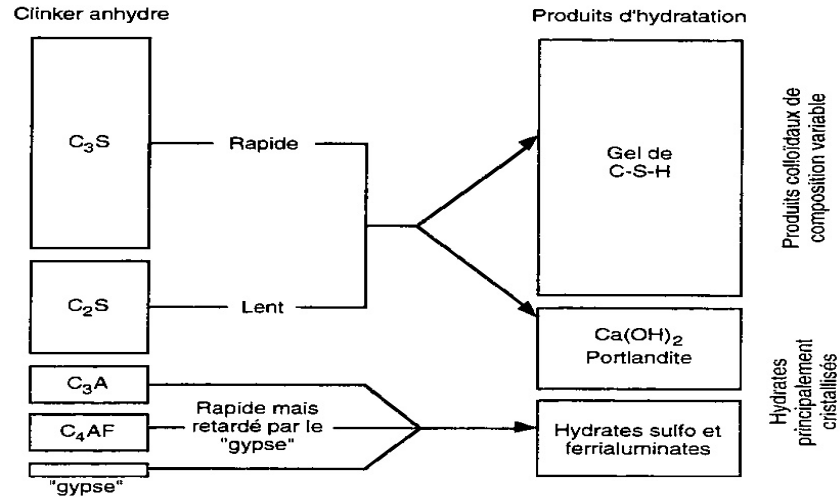
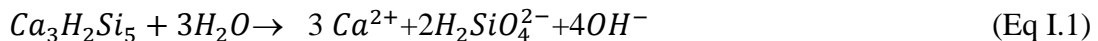


Figure I-4 : Représentation schématique des constituants anhydres du clinker du ciment portland et leurs produits d'hydratation. L'aire des cases donne le volume approximatif des phases. [6].

Figure I.4 : Représentation schématique des constituants anhydres du clinker du ciment portland et leurs produits d'hydratation. L'aire des cases donne le volume approximatif des phases. [6].

### I.6.1. Hydratation du silicate tricalcique $C_3S$

Quand l'eau contact le silicate tricalcique, il se dissout superficiellement en libérant des ions silicates  $H_2SiO_4^{2-}$ , Des hydroxides  $OH^-$  et des ions calcium  $Ca^{2+}$  dans la solution [3].



Le processus d'hydratation du  $C_3S$  passe par quatre phases successives qui sont illustrées a la figure I-5.

#### I.6.1.1 période pré-dormante

Le silicate tricalcique  $C_3S$  ( $Ca_3SiO_5$ ) est la principale phase constituant le clinker de ciment portland [6]. La solution est sursaturée par rapport aux C-S-H et la teneur en ions silicate atteint son maximum après quelque secondes de la réaction du  $C_3S$  avec l'eau. On assiste à une compétition entre les germinations des C-S-H et du  $Ca(OH)_2$ . Tant que la teneur en ions silicate de la solution dépasse une certaine valeur limite, la germination des C-S-H l'emporte.

### I.6.1.2. période dormante

Les réactions précédentes se poursuivent pendant quelques heures à vitesse décroissante par suite du pH élevé et de la forte concentration en calcium. La quantité des C-S-H formés est très faible de même que la consommation en eau. Lorsque la solution est saturée en portlandite, celle-ci précipite et il se produit alors un effet de «pompe à calcium» à la surface des grains qui accélère leur dissolution. La «gâchette chimique» selon les termes de Christian Vernet, que constitue le début de la précipitation de la portlandite déclenche une nouvelle formation rapide des C-S-H, caractérisée par une diminution des ions  $Ca^{2+}$  et  $OH^-$  ainsi que par l'augmentation du flux thermique. Ces phénomènes marquent la fin de la période dormante.

### I.6.1.3. période de prise

Pendant cette période, l'essentiel des propriétés du ciment durci (stabilité de volume, durabilité) se forme. L'atteinte de ces propriétés est due à la formation d'une grande quantité de C-S-H en un réseau rigide. Les fibres de C-S-H et les cristaux de portlandite s'enchevêtrent et remplissent les pores. Le matériau se densifie et devient solide.

### I.6.1.4. période de durcissement

Tant que l'eau subsiste dans les pores capillaires de la pâte durcie, la réaction d'hydratation du  $C_3S$  se poursuit lentement. La couche d'hydrates qui enrobe les grains de silicate anhydre atteint une épaisseur suffisante pour ralentir la diffusion des ions et de l'eau. L'hydratation totale du  $C_3S$  peut prendre entre plusieurs mois et plusieurs années.

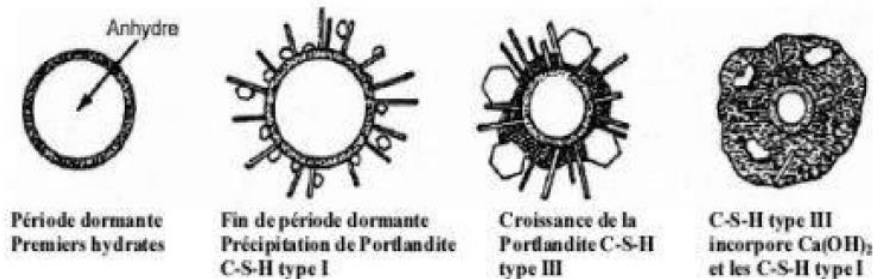


Figure I- 5: Cinétique d'hydratation du  $C_3S$  [4].

## I.6.2.

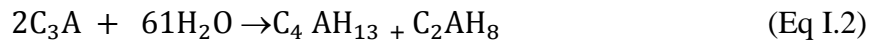
### Hydratation du silicate bicalcique $\beta C_2S$

Le silicate bicalcique se comporte comme le silicate tricalcique en donnant des C-S-H semblables avec une certaine différence dans la microstructure. Cependant, les principales différences résident dans l'absence d'une sursaturation marquée en portlandite et dans un flux de libération de chaleur plus faible.

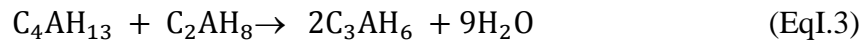
**I.6.3. Hydratation de l'aluminate tricalcique C<sub>3</sub>A**

L'hydratation du C<sub>3</sub>A à une grande influence sur le comportement rhéologique initial du ciment. Contrairement aux phases silicatées, le gypse joue un rôle crucial sur l'hydratation du C<sub>3</sub>A et les hydrates formés sont différents (morphologie, structure, composition) selon que le processus d'hydratation a lieu en absence ou en présence de «gypse».

En absence de «gypse», une réaction accélérée se produit et conduit à la formation d'aluminates hydratés hexagonaux suivant la réaction :



Ces hydrates hexagonaux ne sont pas stables et se transforment au cours du temps sous l'action de la chaleur d'hydratation du C<sub>3</sub>A en hydrate cubique C<sub>2</sub>AH<sub>6</sub>, plus stable, suivant la réaction :



Ces réactions sont la cause principale de la prise rapide des ciments Portland lorsque la quantité de «gypse» présente dans le ciment est insuffisante. Pour prévenir ce phénomène et contrôler la prise, le «gypse» est broyé avec le clinker pour donner le ciment Portland. Au lieu d'une réaction accélérée, il se produit une réaction lente à cinétique variable, similaire à celle du C<sub>3</sub>S, mais avec une durée plus longue. Pliskin distingue les phases suivantes durant le déroulement de l'hydratation de l'aluminate tricalcique en présence de sulfate de calcium sur la (Figure I-6)

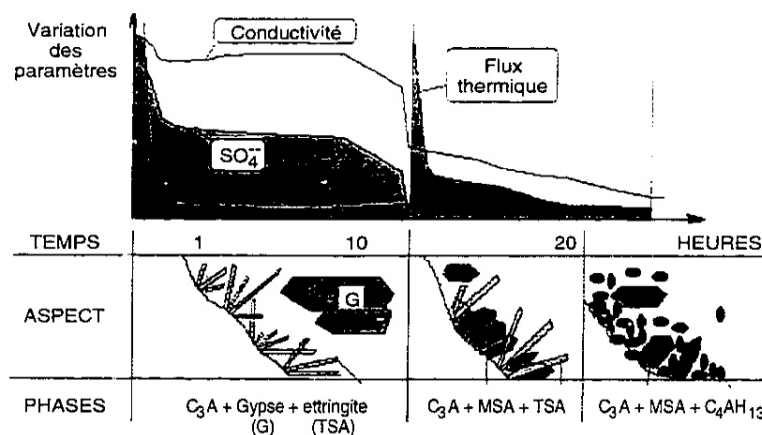
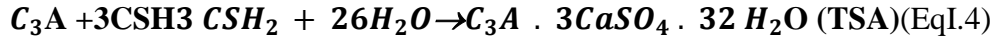


Figure I- 6: Cinétique d'hydratation du C<sub>3</sub>A [7].

### I.6.3.1. Phase initiale

Le  $C_3A$  et le gypse se dissolvent rapidement et cette réaction fortement exothermique rend la solution sursaturée en ions ( $Ca^{2+}$ ,  $AlO_2^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $OH^-$ ) qui se combinent quasi instantanément en formant des cristaux d'ettringite(TSA) suivant la réaction:



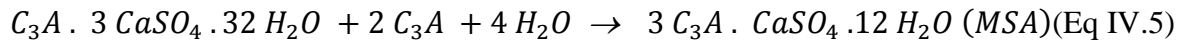
L'ettringite forme une barrière efficace contre toute hydratation rapide. Ce composé apparaît généralement sous la forme de longues aiguilles hexagonales enchevêtrées disposées en «oursins» dont la morphologie aciculaire ou fibreuse permet aisément son identification.

### I.6.3.2. Phase dormante:

Dans les ciments riches en  $C_3A$ , l'enchevêtrement des aiguilles d'ettringite amène un raidissement de la pâte qui ne doit pas être confondu avec le phénomène de prise constaté avec le  $C_3S$ .

### I.6.3.3. Epuisement du gypse:

Des que le «gypse» est totalement consommé, généralement 10 à 24 heures après le gâchage, l'ettringite se dissout et devient une nouvelle source d'ions sulfate pour former avec les aluminates excédentaires du monosulfoaluminate de calcium hydraté (MSA):

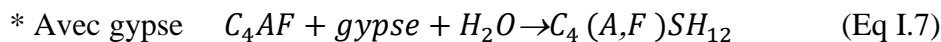
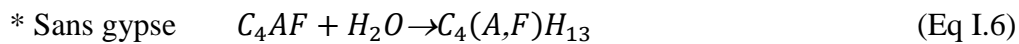


### I.6.3.4. Phase finale:

La proportion initiale d'aluminate et de «gypse» influe sur Cette phase. Après quelques semaines, l'ettringite est totalement transformée en monosulfoaluminate et le produit final de l'hydratation du  $C_3A$  est une solution solide de MSA- $C_4AH_{13}$ .

## I.6.4. Hydratation de l'aluminoferrite de calcium $C_4AF$

Le  $C_4AF$  réagit moins vite que le  $C_3A$ . Son hydratation n'est toujours pas totalement élucidée et est souvent ignorée dans les publications portant sur l'hydratation des ciments. Les réactions mises en jeu lors de l'hydratation sont les suivantes:



## I.7. Le rôle du sulfate de calcium

Le sulfate de calcium permet de contrôler la prise du clinker broyé. En effet, en présence d'eau et de sulfate de calcium, le  $C_3A$  se recouvre d'une fine couche plus ou moins perméable d'ettringite empêchant ainsi la poursuite de l'hydratation du  $C_3A$  qui, autrement, conduirait à la prise éclair en formant des hydrates hexagonaux. D'un point de vue pratique, cette réaction permet de bénéficier d'une pause, la période dormante, pour transporter et mettre en place le matériau. Le calcul de la quantité d'ions  $SO_4^{2-}$  nécessaire pour former l'ettringite n'est pas facile.

Une partie des sulfates nécessaire aux réactions initiales est souvent dans le clinker sous forme de sulfates alcalins (l'arcanite:  $K_2SO_4$ , l'aphthalite:  $3K_2SO_4, Na_2SO_4$  et la langbeinite de calcium:  $CaSO_4 \cdot K_2SO_4$ ) [8]. L'autre partie est apportée par le sulfate de calcium qui peut provenir des origines suivantes [6]:

- Du gypse  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  ;
- De l'hémihydrate  $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ;
- De l'anhydrite soluble  $CaSO_4$ ;
- De l'anhydrite naturelle (ou insoluble)  $CaSO_4$ .

Dans le clinker ou dans le ciment, la solubilité de tous les sulfates présents varie beaucoup. On peut cependant dire qu'en règle générale les sulfates alcalins se solubilisent plus rapidement que certaines formes de sulfate de calcium. Parmi les sulfates de calcium, l'hémihydrate est celui qui se solubilise le plus rapidement, alors que l'anhydrite naturelle se solubilise le moins rapidement. La figure 4 montre la solubilité à 20°C dans le temps de différentes formes de sulfate de calcium [7].

Les recherches de Locher et coll expliquent les différentes possibilités de réaction du système  $C_3A$  /sulfate et leurs conséquences sur le comportement rhéologique du béton en tenant compte de la réactivité du  $C_3A$  et de la disponibilité des ions sulfate (Figure I-7). Ces recherches montrent que la quantité de  $C_3A$  qui réagit dès les premiers instants, en absence ou en présence d'ions sulfate, reste constante pendant la période dormante. Odler et Wonneman. Confirment ces résultats et précisent que seul le temps de prise change. Quant à Regourd, Constate que le taux d'hydratation mesuré par diffraction des rayons X du  $C_3A$  qui réagit avant la prise est faible. Ainsi, le sulfate n'agit donc pas seulement comme retardateur de l'hydratation du  $C_3A$ , comme on peut le penser, mais aussi comme modificateur du type d'hydrate formé [7].

Figure I-7: Solubilité de différentes formes de sulfate de calcium dans l'eau distillée à 20 °C [3].

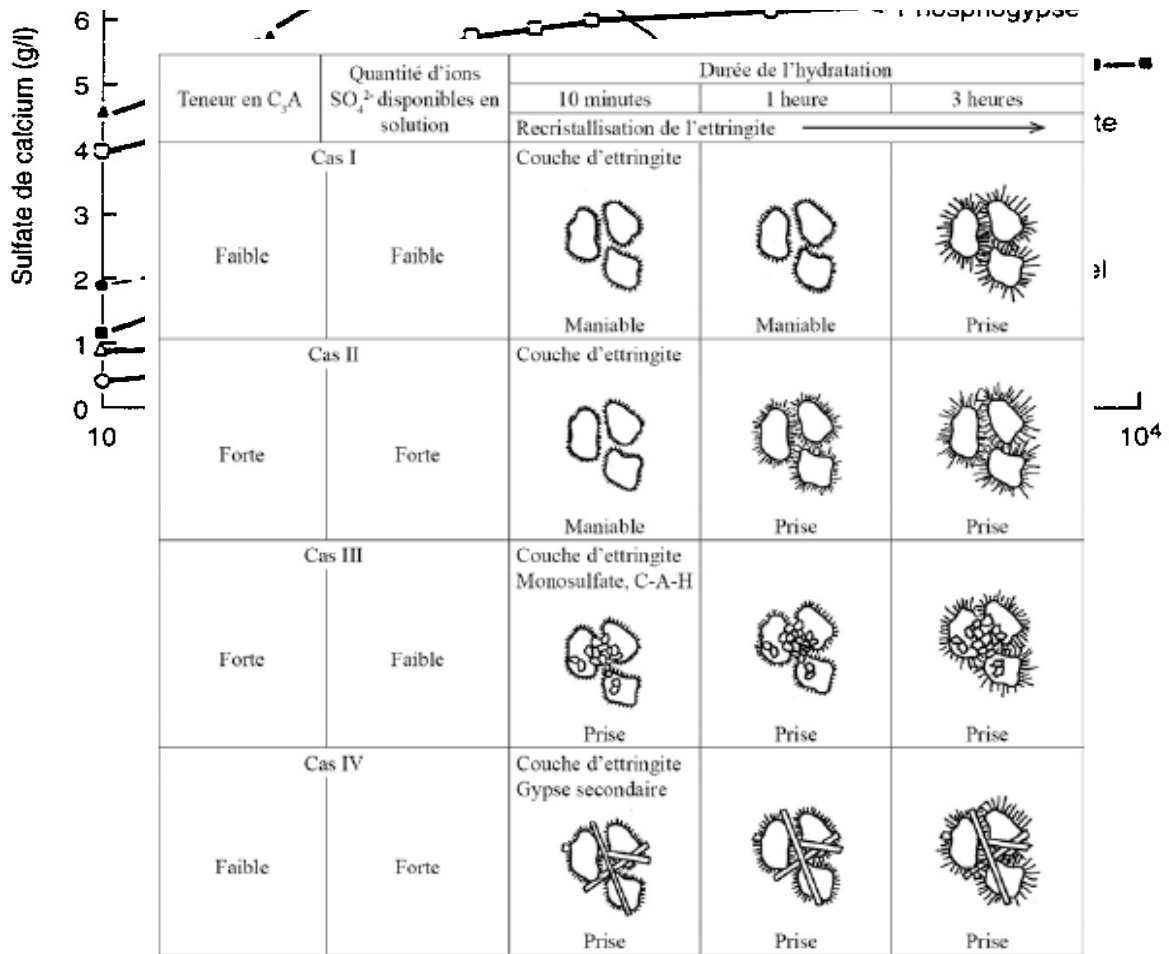


Figure I-8 : Influence du rapport aluminat/sulfate dans la solution interstitielle sur la prise des pâtes de ciment Portland [8].

Quatre situations différentes sont possibles :

❖ **1<sup>er</sup> cas -Teneur en C<sub>3</sub>A et quantité de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en solution faibles.**

Dans le cas où le ciment à une teneur en C<sub>3</sub>A modérée et si la quantité d'ions sulfate en solution n'est pas trop élevée, l'ettringite est exclusivement formée. Celle-ci apparaît d'abord finement cristallisée et est alors appelée ettringite de gâchage .Elle permet une bonne maniabilité de la pâte et ne modifie pas la fluidité de la pâte. Cette ettringite recristallise par la suite en aiguille et participe à la cohésion du matériau. Ce cas décrit la prise normale d'un ciment.

**❖ 2<sup>ème</sup> Cas: Teneur en  $C_3A$  et quantité de  $SO_4^{2-}$  en solution élevées.**

Dans ce cas l'ettringite de gâchage finement cristallisée est formée, mais en plus grande quantité que dans le 1<sup>er</sup> cas. L'ettringite recristallise plus rapidement en ettringite de repos. Cette ettringite consomme beaucoup d'eau et diminue la plasticité du mélange. La pâte de ciment reste maniable tant que les hydrates ne sont pas suffisamment grands pour connecter les grains entre eux. La prise est alors plus rapide dans cette situation que dans la précédente.

**❖ 3<sup>ème</sup> Cas: Teneur élevée en  $C_3A$  et faible quantité de  $SO_4^{2-}$  en solution.**

Dans ce cas, une petite quantité d'ettringite se forme au tout début de l'hydratation jusqu'à épuisement des ions  $SO_4^{2-}$ . Ensuite, les hydrates formés sont le monosulfoaluminate et des aluminates de calcium hydratés C-A-H. Ces composés cristallisent sous la forme de plaquettes hexagonales, lesquelles ont une influence néfaste sur la fluidité du mélange. Ce cas correspond au phénomène de « prise flash » du ciment.

**❖ Cas 4 : Faible teneur en  $C_3A$  et forte quantité de  $SO_4^{2-}$  en solution.**

Si la teneur en  $C_3A$  en solution est trop faible par rapport à la quantité d'ions  $SO_4^{2-}$ , la précipitation du gypse secondaire est observée parallèlement à la formation d'ettringite. Ces cristaux ont la forme de longues et fines baguettes, les quelles diminuent la plasticité de la pâte. Le raidissement provoqué est connu sous le nom de fausse prise.

Il ressort de ces différents cas de figure un manque ou un excès d'ions sulfate conduit systématiquement à une perte de fluidité de la pâte, donc la quantité d'ions  $SO_4^{2-}$  dissouts dans l'eau interstitielle doit être en adéquation avec la teneur en  $C_3A$  du ciment [8].

## **I.8. Les adjuvants**

### **I.8.1. Historique**

D'après certaines recherches, l'existence des adjuvants date de l'époque romaine. Les adjuvants à cette époque auraient été du jaune d'œuf ou du sang ajoutés aux bétons de chaux et de pouzzolanes.

Entre les années 1875 et 1890, on ajoute au ciment portland du gypse ou du chlorure de calcium pour régulariser la prise.

En 1888, CANDLOT [9] montra que l'addition du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) permettait d'accélérer ou retarder la prise du ciment.

A côté des accélérateurs, des hydrofuges pour l'étanchéité des réservoirs ont été utilisés.

L'ajout de la chaux grasse en 1895 par CANDLOT [9] (France) pour améliorer la plasticité et en 1906 à l'USA pour la construction de réservoirs. C'est également au début du siècle qu'on essaya du silicate de soude pour améliorer l'imperméabilité.

En 1909 [9] le sucre a été utilisé comme retardateur de prise. Les entraîneurs d'air apparaissent en 1939 aux USA puis en 1947 en Europe.

C'est après 1960 que les adjuvants se sont développés et que des recherches sont effectuées un peu partout dans le monde, plus particulièrement au Japon depuis 1970.

### **I.8.2. Définition**

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 des modifications des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci. Des adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934 -2[10]

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou à l'état durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des autres composants. 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.

Lors de la formulation du matériau pour une application donnée, le couple ciment/adjuvant doit donc être optimisé pour éviter d'éventuels problèmes de rhéologie et de maniabilité.

Dans le cas d'emploi de plusieurs adjuvants, il faut aussi vérifier la compatibilité des adjuvants entre eux. Il est donc indispensable, lors de l'utilisation d'un adjuvant, de s'assurer,

par des essais préalables représentatifs des conditions de réalisation du chantier, de son efficacité et de vérifier l'étendue des effets secondaires.

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 ;
- Agent anti-lessivage ;
- Réducteur de retrait, réducteur d'eau, agent moussant ;
- Inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air.



Figure I- 9 : Adjuvants liquides [11]

De nos jours, il existe encore de nombreux problèmes inexplicables liés à l'action réductrice d'eau et à l'amélioration de la fluidité grâce à ces agents organiques.

### **I.8.3. Mode d'action :**

D'une manière générale, les adjuvants agissent en enrobant le grain de ciment pendant hydratation.

### **I.8.4.Fonctions :**

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une fonction secondaire :

#### **I.8.4.1. 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 matériau à l'état frais ou durci.

**I.8.4.2. Fonctions secondaires :**

En plus de sa fonction principale, un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires (ex : plastifiant-retardateur, retardateur 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. «Ce n'est pas un produit miracle» [12].

**I.8.5. Classification:**

On peut classer les adjuvants selon leur fonction dans les catégories suivantes :

- a. Retardateurs ;
- b. Accélérateurs ;
- c. Hydrofuges.

On peut également citer d'autres adjuvants tels que :

- d. Produits de cure ;
- e. Entraîneurs d'air ;
- f. Ajouts cimentaires ;
- g. Superplastifiants.

**Quelques utilisations des principaux adjuvants :**

Le tableau suivant présente les différents types d'adjuvant et leurs utilisations.

Tableau I- 4: Utilisations des adjuvants [12].

ADJUVANTS	UTILISATION
<b>Accélérateur</b>	Décoffrage rapide ; Temps froid ; Préfabrication ; Travaux d'étanchement, cachetage, travaux à la mer, Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes, scellements.
<b>Retardateur</b>	Temps chaud ; Injection à grande profondeur ; Voile d'étanchéité ; Transport de béton sur grande distance ; Reprise de bétonnage - confection de béton avec granulats apparents ; Parois moulées dans le sol.
<b>Plastifiant</b>	Transports pneumatiques du béton (béton pompé) ; Béton coulé sous l'eau ; Béton maigre ; Sables manquant de fines ; Béton très ferrailé ; Injection.
<b>Antigel</b>	Bétonnage jusqu'à 10° C (temps très froid) sous réserve de précautions particulières.
<b>Hydrofuge</b>	Mortiers d'enduit, Enduit et chapes d'étanchéité pour cuvelage - Citernes -Réservoirs- Piscines - Galeries - Tunnels - Travaux souterrains (murs de cave, fondations) et maritimes. Toitures, terrasses.
<b>Fluidifiant</b>	Nécessite d'une bonne ouvrabilité ; Préfabrication ; Bétons à haute résistance.
<b>Entraîneurs d'air antigelifs</b>	Routes, barrage, ponts –travaux maritimes. Ouvrages exposés au gel, à l'action des eaux agressives.

Dans le cadre de cette étude, nous intéresserons seulement aux adjuvants superplastifiant (produit sika viscocrete) puisque cette catégorie d'adjuvants a servi de base aux présents travaux.

Dans cette catégorie d'adjuvants, il existe deux familles bien distinctes, la première est celle des réducteurs d'eau ordinaires et la seconde celle des superplastifiants. On les différencie, d'une part, par la nature chimique des molécules qui les composent, et d'autre part, par leur pouvoir réducteur d'eau.

**I.8.6. Les superplastifiants****a. Définition**

Les superplastifiants sont des polymères solubles dans l'eau, lesquels possèdent de nombreuses applications dans l'industrie de la construction. Ces matériaux sont également appelés réducteurs d'eau de haut rang. Ils font partie des adjuvants pour béton, lesquels sont définis, selon la norme EN 934-2 [13], comme des matériaux qui sont ajoutés aux matériaux pendant le processus de malaxage, dans des quantités inférieures à 5% de la masse de ciment, afin de modifier ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

Il existe différents types de superplastifiant communément utilisés dans les matériaux de construction. Ils se différencient principalement par la nature des groupements anioniques portés par le polymère et par la façon dont ils engendrent une force répulsive entre les grains de ciment. Toutefois, quelle que soit leur nature, les superplastifiants apportent sans conteste des améliorations technologiques aux matériaux qui les incorporent dans leur formulation.

**b. Découverte des superplastifiants**

Les plastifiants sont connus depuis les années 30 et plus particulièrement, de superplastifiants très puissants dans les années 1970 a constitué un véritable tournant. L'effet de ces adjuvants est de rendre le matériau nettement plus liquide, sans ajouter d'eau.

**c. Mode d'action**

La surface de chaque grain de ciment contient des charges électriques libres. Les charges opposées s'attirent mutuellement. Au contact de l'eau, les grains s'agglomèrent alors en flocculats. L'eau de gâchage qui se trouve entre ces flocculats sera toutefois emprisonnée (figure I.10). A partir de ce moment, elle ne contribuera plus à la fluidité de la pâte de ciment. L'ajout d'une quantité supplémentaire d'eau de gâchage sera nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité souhaitée.

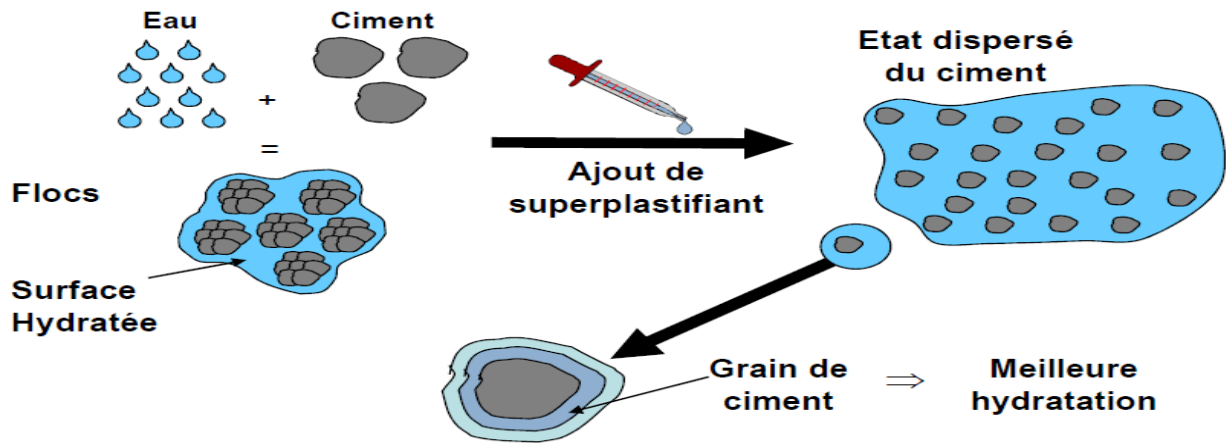


Figure I -10 : Des charges opposées sur la surface des grains de ciment provoquent la floculation [14].

Les superplastifiants empêchent la formation néfaste des congglomérats (figure I.10). Les molécules du superplastifiant se fixent par adsorption sur l'interface entre le grain de ciment et l'eau de gâchage. Une fois adsorbé, le superplastifiant forme une charge négative autour de chaque grain de ciment. Ce faisant, les grains se repoussent les uns des autres. La dispersion qui en résulte réduit la viscosité de la pâte de ciment et augmente l'ouvrabilité. La structure moléculaire du superplastifiant sous la forme de longues chaînes renforce également cet effet.

Les molécules fixées les unes aux autres pour former des spirales avec des ramifications dans différentes directions s'enroulent entre les grains de ciment et empêchent de la sorte leur rapprochement réciproque figure I-11. Grâce aux structures de polymères modernes en forme de peigne, il est possible de réduire le rapport eau-ciment à moins de 0,3. Le pouvoir fluidifiant des superplastifiants s'exerce par une combinaison de phénomènes physiques se produisant instantanément (à  $t = 0$ ) [8]. Ces processus sont l'adsorption des superplastifiants, la répulsion électrostatique et l'encombrement stérique.

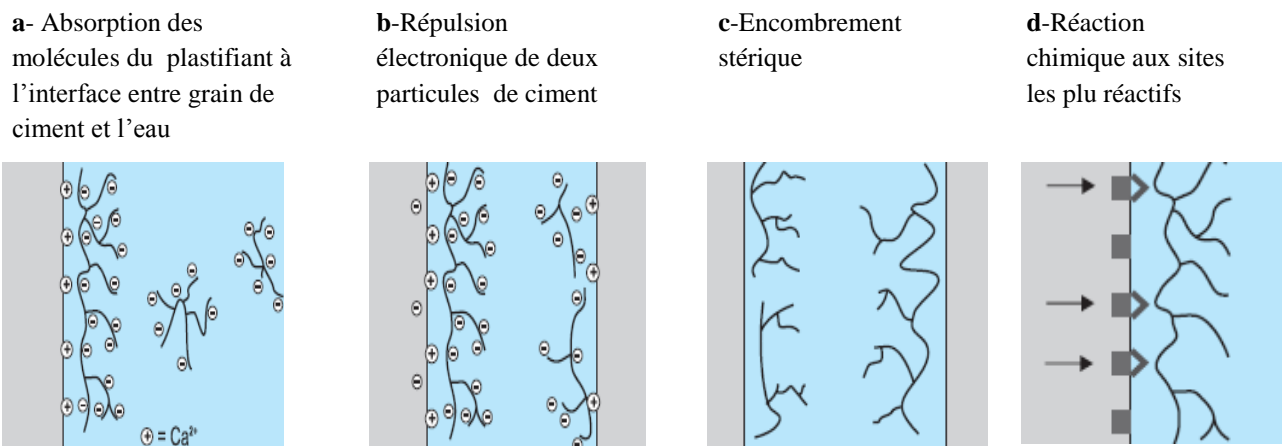


Figure I-11 : Les superplastifiants empêchent la floculation [10]

## d. Classification

### d.1. Les plastifiants -réducteurs d'eau

Ce sont essentiellement des adjuvants fabriqués à base de lignosulfonates modifiés et éventuellement certains gluconates. Ils provoquent une défloculation des grains de ciment et une lubrification de la pâte.

### d.2. Les superplastifiants -haut réducteur d'eau

Leurs actions sont plus importantes que celles des plastifiants- réducteurs d'eau. Ils permettent à teneur égale en eau, d'augmenter considérablement l'ouvrabilité. On ne pourrait obtenir les mêmes effets avec les plastifiants réducteurs d'eau même en augmentant considérablement ces dosages en raison des effets secondaires : retard de prise, excès d'air occlus. Les superplastifiants sont classés en deux catégories selon la nature du groupement anionique. La première est composée des polymères contenant des fonctions sulfonate  $SO_3^-$  et la deuxième des polymères munis de fonctions carboxylate  $COO^-$  :

#### a- Superplastifiants à base de sulfonates

Ces matériaux sont des polymères anioniques avec des groupes sulfonates  $SO_3^-$  à intervalles réguliers. Il existe trois principaux types de superplastifiant à base de sulfonates figure I-12:

Les lignosulfonates modifiés, les polynaphtalènes sulfonates et les polymélamines sulfonates.

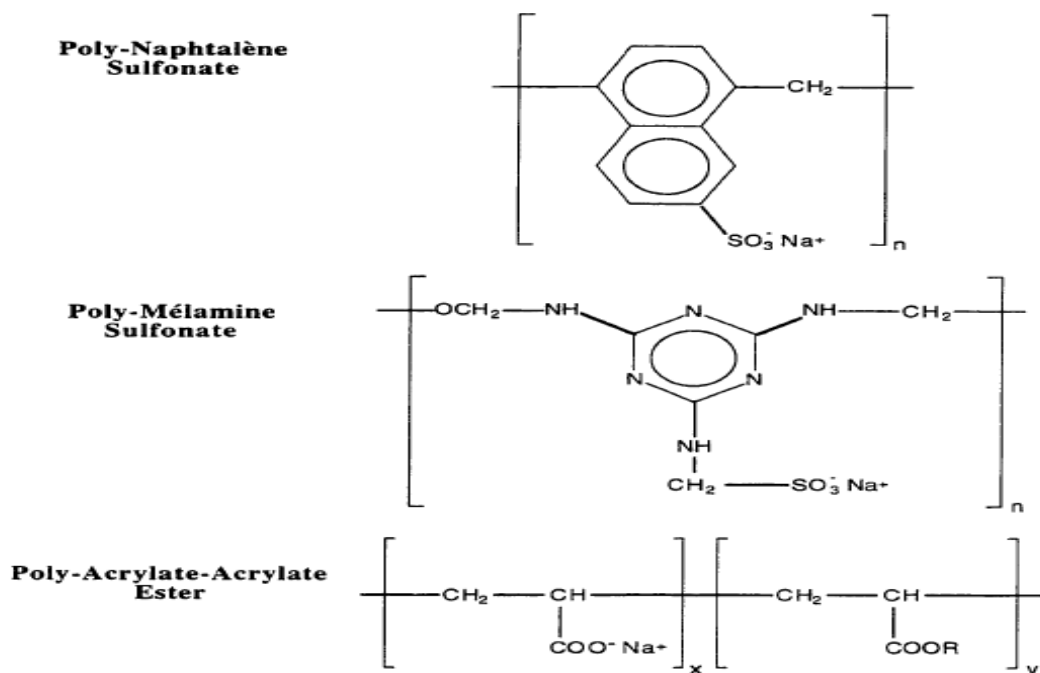
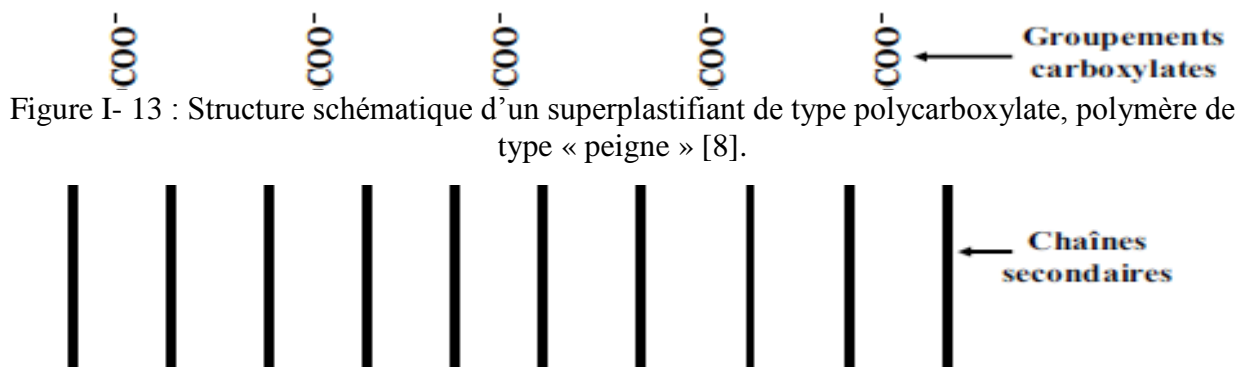


Figure I - 12: Les réducteurs d'eau les plus connus [7].

### b-Superplastifiants à base de carboxylates

Les superplastifiants à base de polycarboxylates ont été mis au point après les polysulfonates et sont pour cette raison communément appelés superplastifiants de nouvelle génération. La molécule d'un superplastifiant de type polycarboxylate est composée d'une chaîne principale, qui porte les fonctions carboxylates  $COO^-$  et sur laquelle sont greffées de nombreuses chaînes secondaires. Elle est représentée schématiquement à la figure I-13.

Cette structure spécifique des polycarboxylates rappelle la forme d'un peigne, c'est pour quoi ces superplastifiants sont souvent qualifiés de polymères de type « peigne ». Les polycarboxylates présentent une structure chimique modulable par rapport aux polycondensats précédemment définis, ce qui conduit à une large variété de nouveaux produits avec des propriétés très variables. Différentes générations de polycarboxylates sont donc apparues au cours des ans. Ces matériaux peuvent être synthétisés pour des applications précises. Cette propriété a contribué à l'importance acquise par ces produits aux cours des dernières années.



### e. Avantages

#### e.1 Avantages économiques

La propriété de la plupart des adjuvants chimiques de réduire 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 des matériaux. Il ne faut toute fois pas pousser trop loin l'économie de ciment, cela pourrait nuire à la qualité du matériau, par exemple, quant à l'absorption, la perméabilité et la durabilité. [8].

#### e.2 Avantages écologiques

Les superplastifiants peuvent réduire la porosité du matériau en rendant le béton maniable avec moins d'eau. Cela accroît considérablement la durabilité du béton, qui prolonge la durée de vie de l'infrastructure dans laquelle il est utilisé, réduisant ainsi l'impact écologique du secteur de la construction [8].

### **I.9. Comportement du couple ciment-superplastifiant**

Ce comportement est fonction de la réactivité du ciment d'une part, et de l'efficacité du superplastifiant d'autre part.

Les différents paramètres qui conditionnent la rhéologie des bétons, des mortiers ou des coulis en présence de superplastifiant peuvent être [15] :

- Les teneurs en  $C_3A$  et en  $K_2O$  ou alcalins en général ;
- La finesse du ciment ;
- La forme du sulfate de calcium (gypse, hémihydrate ou anhydrite) et de son dosage (paragraphe I.7) ;
- La nature chimique du superplastifiant (polycondensat de naphthalène sulfoné et de formaldéhyde ; polycondensat de mélamine sulfonée et de formaldéhyde, etc.) et surtout sa masse moléculaire;
- Les dosages en superplastifiant et le mode de son incorporation.

L'hydratation dépendra surtout de la teneur en  $C_3A$ , en gypse, en alcalins. Un superplastifiant, fortement adsorbé sur le  $C_3A$  et sur le grain de gypse aura une influence notable sur les vitesses de dissolution, donc sur la prise. Une hydratation accélérée du  $C_3A$  provoquant une prise rapide proviendrait :

- D'un manque de gypse (ou d'une quantité trop faible) ;
- De l'adsorption massive d'un superplastifiant sur le gypse pouvant l'empêcher de jouer son rôle de retardateur. Le remède à ce type de raidissement rencontré en présence de superplastifiants consisterait à rajouter du gypse ou de l'hémihydrate [15].

La figure I-14 schématise la complexité de l'interaction entre les trois systèmes multiphasiques (clinker, sulfate de calcium et le superplastifiant).

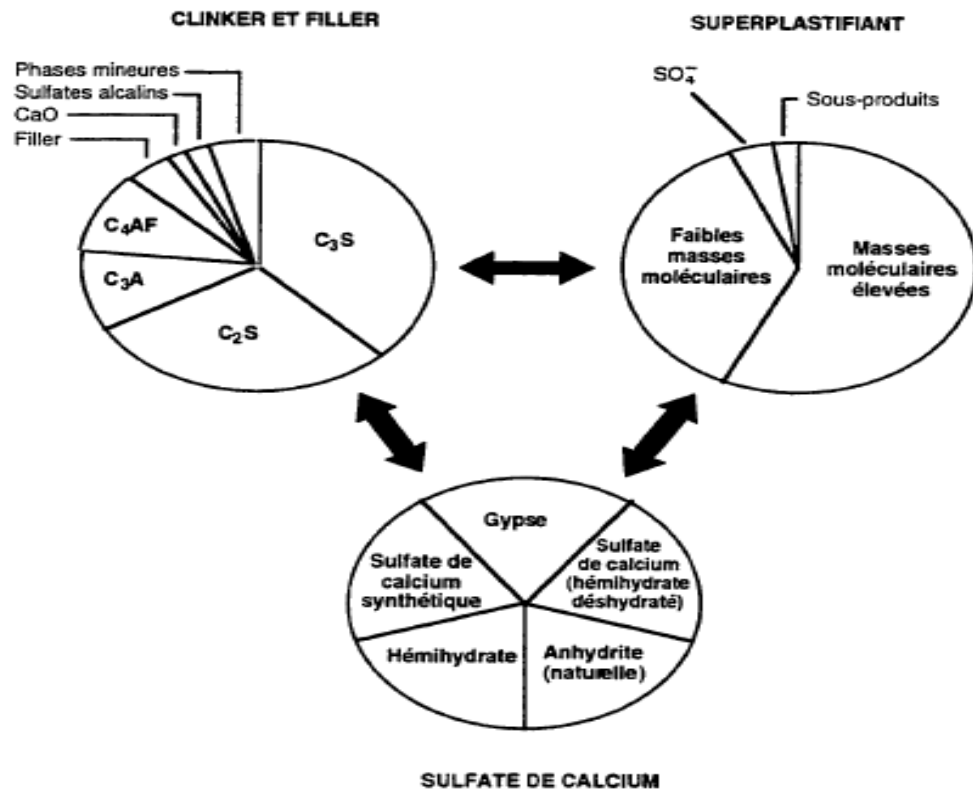


Figure I-14: Compatibilité ciment/superplastifiant/sulfate de calcium [7]

En changeant le rapport sulfate/aluminate (paragraphe I.7), on peut modifier la cinétique d'hydratation des aluminates et les produits d'hydratation qui en découlent. En fait, en plus de leur action dispersante, les molécules de réducteur d'eau ou de superplastifiant peuvent réagir avec le  $C_3A$  et bloquer la formation d'ettringite et même, retarder ou bloquer plus ou moins la mise en solution de la plupart des formes de sulfate de calcium que l'on retrouve dans le ciment.

### 1.9. a. Influence du mode d'introduction de l'adjuvant dispersant

Le mode d'introduction de l'adjuvant dispersant durant le malaxage initial du béton est un facteur déterminant. Des études ont montrés que l'ajout différé du réducteur d'eau ou du superplastifiant influence les caractéristiques rhéologiques du matériau. Lorsque l'adjuvant est ajouté en différé, soit vers le début de la période dormante, on obtient, d'une part, une meilleure maniabilité et cette dernière se maintient mieux dans le temps et, d'autre part, on observe une augmentation des temps de prise initiale et finale. Pour les réducteurs d'eau ordinaires et les superplastifiants à base de polynaphtalène et de polymélamine, on explique ces effets de la façon suivante :

- Lorsque l'adjuvant est introduit avec l'eau de gâchage, il peut s'adsorber rapidement sur les phases aluminates. La formation de l'ettringite est retardée et même l'adjuvant participe à la formation de produits d'hydratation atypiques en se combinant avec certains hydrates du

ciment. Ainsi, la solution s'appauvrit rapidement en adjuvant, ce qui explique la perte de maniabilité du matériau.

- Lorsque l'adjuvant est introduit en différé, c'est-à-dire de 3 à 5 minutes après le premier contact eau-ciment, les sulfates ont eu le temps de contrôler la réaction des aluminates sans qu'il y ait une interaction avec l'adjuvant ; lorsqu'on l'introduit plus tard, le superplastifiant demeure disponible dans la solution et sa présence assure au béton une bonne maniabilité.
- En mode différé, une partie de l'adjuvant qui demeure dans la solution peut s'adsorber sur le  $C_3S$  et ainsi retarder la prise du matériau [7].

## Synthèse

La revue bibliographique, que nous venons d'exposer permet de souligner les points suivants :

Le ciment Portland matériau inorganique et polyphasique est principalement composé des quatre phases minérales du clinker ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  et  $C_4AF$  et de Sulfates de calcium (dihydrate, hémihydrate et anhydre) incorporé à de faibles teneurs à la fin du processus de fabrication. Des composés mineurs peuvent également être présents, en particulier des alcalins qui sont soit sous la forme de sulfates soit insérés dans le réseau cristallin des phases du clinker.

Les superplastifiants sont des matériaux organiques multi composés. Les molécules de superplastifiant sont des polymères avec des groupements anioniques de type sulfonate  $SO_3^-$  pour les superplastifiants polysulfonates et de type carboxylate  $COO^-$  pour les Superplastifiants polycarboxylates. Cette dernière catégorie d'adjuvant consiste en un polymère de type « peigne » composé d'une chaîne carbonée principale (copolymère d'acide acrylique) portant les groupements anioniques et sur laquelle sont greffées des chaînes secondaires (oxyde de polyéthylène).

Dans une pâte de ciment, le liant inorganique réagit avec l'eau. La réaction d'hydratation consiste en une succession de périodes caractéristiques du ciment. Le début de l'hydratation est délimité par la période de pré-dormante, au cours de laquelle le ciment réagit vivement avec la phase aqueuse, et la période dormante, pendant laquelle le système est dans une phase de latence. Le produit d'hydratation principalement formé pendant cet intervalle de temps est l'ettringite, produit de la réaction du  $C_3A$  avec l'eau en présence desulfate de calcium. Cet hydrate forme une couche protectrice à la surface des grains de ciment, laquelle isole les produits anhydres de l'eau interstitielle et modère les processus d'hydratation.

Les superplastifiants sont utilisés pour améliorer les propriétés rhéologiques des systèmes cimentaires. Ces polymères anioniques s'adsorbent à la surface des grains de ciment et

engendrent une dispersion des particules soit par une répulsion électrostatique pour les polysulfonates soit par un encombrement stérique pour les polycarboxylates. Une amélioration de la fluidité est ainsi obtenue par la défloculation des grains de ciment et la libération de l'eau retenue dans les flocculats.

L'utilisation des adjuvants constitue une réponse possible au souci constant d'amélioration des performances physico-mécaniques des mortiers et bétons. Cependant et afin de garantir les résultats il est nécessaire de porter une attention particulière au choix du couple ciment-adjuvants. En effet plusieurs problèmes ont été rencontrés du fait que l'adjuvant n'est pas adapté au résultat recherché par suite de son incompatibilité avec le ciment utilisé.

---

**Chapitre II**  
**Matériaux utilisés**  
**et**  
**méthodes d'essais**

---

## **II.1 Introduction**

Il est bien connu que l'hydratation, la prise et le durcissement des ciments sont affectés par l'ajout d'adjuvants organiques tels que les réducteurs d'eau ordinaires et les superplastifiants. Ces adjuvants dispersants sont principalement utilisés pour réduire la quantité d'eau de gâchage des bétons, mortier et coulis, tout en leur assurant une maniabilité suffisante.

L'utilisation de ces produits, est portée à diminuer de plus en plus le rapport E/C pour gagner en performance. Mais aussi ils peuvent intervenir dans les processus chimiques de l'hydratation et affectent indûment certaines propriétés du matériau, telles que la maniabilité, le temps de prise ou la teneur en air ou la perte d'affaissement, qui mènent au problème de compatibilité ciment/adjuvant.

Les travaux ont porté sur le phénomène d'interaction du couple Ciment/Adjuvant. Pour des raisons liées à la disponibilité et au temps nous sommes limités à l'utilisation de superplastifiants réducteur d'eau.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux de notre étude et les techniques expérimentales utilisées. Nous présentons en première phase, les différents essais effectués pour trouver le couple ciment/adjuvant compatible parmi ceux choisis.

Dans une deuxième phase nous exploiterons le résultat obtenu pour évaluer certaines performances physico-mécaniques d'un mortier à base de sable dunaire (SD) et de sable alluvionnaire (SA) ayant subi une cure à l'air à 20°C. Ce mortier a été formulé dans de précédents travaux [16]. Le travail proprement dit consiste à :

### **Phase 1 : Essais sur coulis**

1.1 Des essais d'identification de ciment utilisés ;

1.2. Des essais de compatibilité au cône de Marsh.

C'est la partie essentielle du programme de travail qui nous permettra de conclure quant à l'effet de l'interaction entre le ciment et l'adjuvant.

### **Phase 2 : Essais sur mortier**

Cette partie qui n'était pas prévue dans le programme initial du travail est une application pratique des résultats obtenus. Elle se compose de deux parties :

2.1 à l'état frais

Essai de maniabilité.

2.2 à l'état durci

Compression, Absorption.

## II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisés pour réaliser la caractérisation des matériaux de construction tels que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'interprétation ne pourraient être possible que si les différents constituants sont bien caractérisés.

Nous procéderons successivement à l'identification des matériaux utilisés, à la présentation d'essais et à la caractérisation des mortiers élaborés.

### II.2.a. Les ciments

Les ciments utilisés sont des ciments portland CEM II A-L 52,5R, CEM II B/L- 32,5- R, CEM I 42,5 (CRS) provenant de l'usine BISKRIA- Algérie.

### II.2.b. Les superplastifiants

Les superplastifiants utilisés dans ce travail sont des produits disponibles dans le commerce algérien, ils sont des superplastifiants/haut réducteur d'eau polyvalent pour béton prêt à l'emploi nommés Sika viscocrete, toutes les caractéristiques physico-chimiques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II- 1 : Caractéristiques physiques et chimiques des superplastifiants.

Type	Nature chimique	Densité	PH	Extrait sec	Cl <sup>-</sup> (g/l)	Na <sub>2</sub> O(g/l)
Sika viscocrete 665	Copolymère acrylique	1.085 ±0.015	5±1.0	33±1.1%	≤1%	≤1%
TEMPO12	Copolymère acrylique	1.06± 0.01	6 ± 1	30±1.3	≤ 0.1%	≤ 1%
TEMPO 544	polycarboxylates	1.07±0.01	5±1	32±1.2	≤ 0.1%	≤ 1%

Les fiches techniques de chaque adjuvant sont présentées en annexe A.

### II.2.c Eau de gâchage

L'eau utilisée pour gâcher notre mortier est l'eau potable de robinet, nous avons pris la précaution de constater sa propreté et son odeur, visuellement, elle apparaissait bonne pour être utilisé.

### II.2.d le sable

Nous utilisons dans notre travail un sable dunaire SD et un sable alluvionnaire SA qui ont été préalablement caractérisés [16].

### a. Caractéristique physique

#### a.1. Analyse granulométrique

Les courbes granulométriques des sables étudiés sont regroupées dans la figure (II.1)

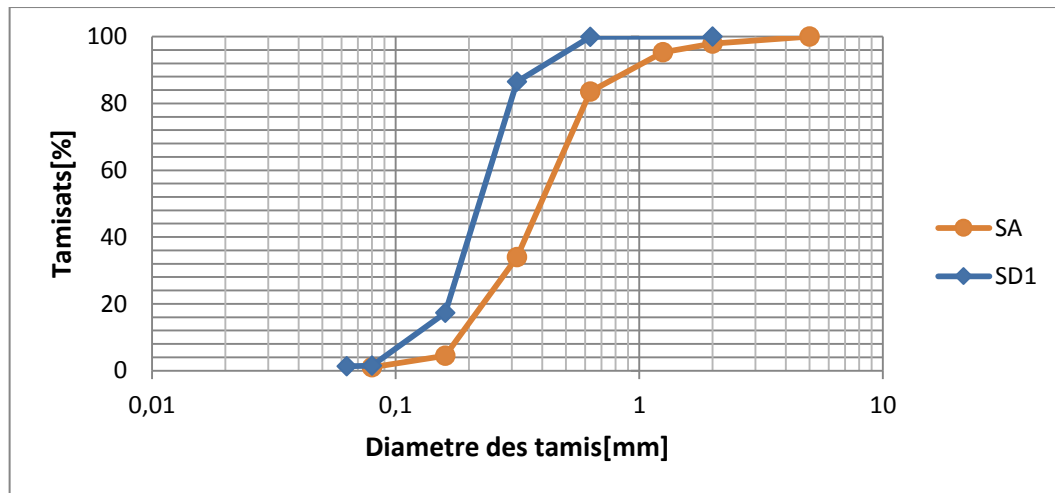


Figure II- 1 : Courbes granulométriques des sables étudiés [16].

L'analyse granulométrique des sables a été effectuée selon la norme NF P18-560 [16]

Le tableau suivant présente les Caractéristiques des sables.

Tableau II- 2 : Caractéristiques des sables utilisés [16].

Caractéristiques	Unité	SD	SA
Masse volumique apparente	(kg /m <sup>3</sup> )	1550	1556.9
Masse volumique absolue	(kg /m <sup>3</sup> )	2760	2600
Module de finesse	/	0,96	2,19
Compacité C <sub>p</sub>	(%)	56	60
Porosité P	(%)	44	40
Equivalent de sable .ES (avec piston)	(%)	76	87
Equivalent de sable .ES (visuel)	(%)	83	84

### II.3. Phase 1: Tests sur des coulis

Dans cette phase qui peut-être considérée comme recherche de la compatibilité du couple ciment-SP nous avons effectué une trentaine de tests sur des coulis .Au préalable nous avons déterminé la masse volumique de chaque type de ciment.

#### II.3.1Détermination de la masse volumique absolue NF EN 197-1[2].

##### a. Objectif de l'essai

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue de différent type de ciment anhydre qui varie en fonction de la composition de chaque ciment.

Nous opérons en comparant la masse ( $m_c$ ) d'un volume connu de ciment ( $V_c$ ) à la masse ( $m_t$ ) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique ( $\rho_t$ ) est connue. La masse volumique du ciment ( $\rho_c$ ) s'en déduit en écrivant :

$$\rho_c = \rho_t \left( \frac{m_c}{m_t} \right) \quad (\text{Eq II. 1})$$

**b. Equipement nécessaire**

- Un volumétre ou (densitometre) le Chatelier ;
- Un liquide inerte vis-à-vis du ciment (alcool à brûler, toluène ou du benzène, ou le pétrole) ;
- Une balance ;
- Un entonnoir ;
- Une tige métallique ;
- Une spatule.

**c. Mode opératoire**

- 1) Remplir le volumétre de l'éthanol à l'aide de l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau du liquide parvienne entre les graduations 0 et 1 ; soit  $V_1$  ;
- 2) -Peser le tout, soit  $M_1$  ;
- 3) -Introduire à l'aide de la spatule environ 64 g de ciment, en évitant de laisser le ciment se déposer sur les parois ;
- 4) -Une fois la totalité du ciment introduite, boucher le volumétre et l'incliner à  $45^\circ$  par rapport au plan de travail et faire rouler le volumétre par un mouvement de va-et-vient pour chasser l'air ;
- 5) -Laisser reposer verticalement et noter le niveau volume, soit  $V_2$  ;
- 6) -Peser le tout ; soit  $M_2$  ;
- 7) -En calcul la masse volumique absolue avec la relation suivant:

$$M_v \text{ abs} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \quad (\text{Eq II. 2})$$



Figure II- 2 : Détermination de la masse volumique absolue

### II.3.2. Essai utilisant le cône Marsh

#### a. Les mesures des essais au cône de Marsh

La méthode utilisée s'inspire de la méthode proposée par l'université de Sherbrooke dans le cadre plus général du choix de l'adjuvant pour les BHP [3]. Son principe consiste à étudier dans une première étape la maniabilité d'un coulis déterminé du ciment et de l'adjuvant étudiés par l'intermédiaire du cône de Marsh.



Figure II- 3: Cône de Marsh

Le cône utilisé est un cône de plastique normalisé. il est adapté aux besoins des études portant sur la compatibilité entre les ciments et les superplastifiants. La compatibilité est considéré comme acquise lorsque le temps d'écoulement à travers le cône de Marsh est compris entre  $60 \text{ s} < t < 90 \text{ s}$  [3].

Dans une deuxième phase on recherche le seuil de saturation, Il faut préciser que la méthode découle de l'observation expérimentale. A cause de la contrainte du temps et du nombre de type de ciment nous nous sommes contentés de la première phase. Ensuite nous avons utilisé le résultat pour voir l'effet sur les caractéristiques du mortier.

L'essai de cône de Marsh consiste à verser 1,5 litre de coulis préparé selon la méthode précédemment exposé dans l'entonnoir du cône de Marsh (Figure II.3) et à mesurer le temps que mettent pour s'écouler sous leur propre poids les 500 premiers ml de coulis à travers l'orifice inférieur qui a un diamètre de 7 mm. Plus le temps d'écoulement est long, plus le coulis est visqueux.

### **b. Procédure de malaxage des coulis**

Les pâtes sont fabriquées avec un malaxeur habituellement utilisés pour malaxer les coulis. Pour chacune des compositions, on malaxe l'équivalent de 1.5 litre de pâte. La procédure de malaxage est la suivante :

- 1) Introduire le ciment dans le bol du malaxeur, et démarrer le malaxeur pendant 30s à sec ;
- 2) Introduire 70% de la quantité d'eau de gâchage dans un délai de 30 secondes tout en malaxant à la vitesse 1 ;
- 3) Introduire l'adjuvant dilué dans 30% d'eau de gâchage restante et continuer à malaxer jusqu'à 1.45minutes ;
- 4) Laisser reposer pendant 15 secondes. Durant le repos, racler les parois ainsi que le fond du bol à l'aide d'une spatule ;
- 5) Redémarrer le malaxeur à la vitesse 2 jusqu'à  $t=5$  min.

## **II.4. Phase 2: Essais sur mortiers**

### **II.4.1.à l'état frais**

#### **Confection des mortiers**

Ce mortier a été formulé dans de précédents travaux [16].C/S = 1/3 ; SD =60% ; SA= 40%. La séquence de malaxage du mortier est mentionnée sur la figure II.4

- 1) La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier,
- 2) Malaxer à sec le ciment et le sable pendant environ une (1) minute afin d'homogénéiser le mélange (on a utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité) ;
- 3) Malaxer pendant une (1) minute avec la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) ;

- 4) Malaxer pendant une (1) minute avec le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) mélangé avec le superplastifiant Sika viscocrete 665 ;
- 5) Malaxer le mélange pendant 3 minutes.

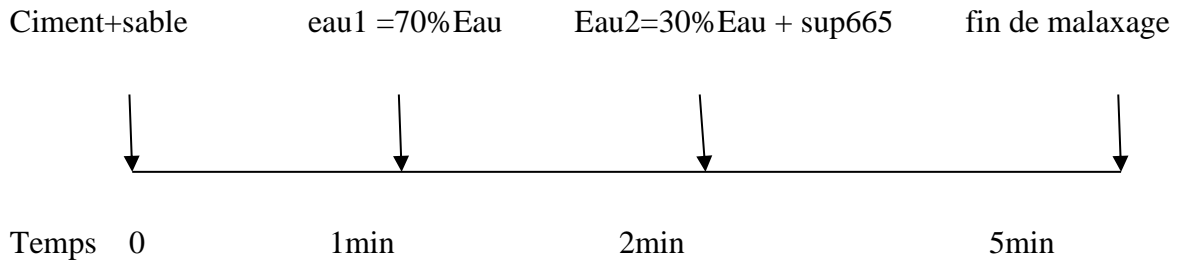


Figure II- 4: Séquence de malaxage du mortier

#### **a. Essai de maniabilité**

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du mortier, elle se définit comme la facilité offerte à sa mise en place. L'essai adopté pour déterminer l'ouvrabilité de notre mortier est l'essai mesurant le temps d'écoulement, par le maniabilimètre, conformément à la norme (NFP 18-452) [17].

L'essai a pour but de classer les mortiers d'après leur aptitude à être mis en œuvre dans des conditions données. L'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un mortier par l'intermédiaire du maniabilimètre et qui doit être compris entre  $8s < t < 12s$ .

Dans notre cas, et d'après les résultats obtenus de l'essai de cône de Marsh, on adopte le couple CEM I - 42.5- SR5 CRS et le superplastifiant 665 qui a le temps d'écoulement le plus court 78s comme modèle pour la confection des deux mortiers.

Les compositions minéralogiques et physico-mécaniques sont présentées dans les deux tableaux qui suivent.

Tableau II- 3 : Composition minéralogique du ciment CEM I -42,5- SR5 CRS

constituant	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	$SO_3$	Cl	P.A.F
Teneur %	62	13	1,5	17	2,30	0,028	2,040

Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	Début de prise (min)	Surface spécifique ( $Cm^2/g$ )	Consistance (%)
49	180	3420	5,7

**II.4.2. Etat durci :**

Durant notre étude nous avons comparé les résultats obtenus pour un mortier avec adjuvant (MAA) par ceux obtenus par mortier de référence (MSA), cette abréviation sera donnée aux deux mortiers le long de cette étude.

**a. Essai de rupture par compression**

L'essai de rupture par compression est régi par la norme EN 196-1[2]. Il est utilisé pour caractériser les mortiers aux différents âges :

Cet essai est exécuté par une machine désignée pour les tests de compression (figure II.5) sur les éprouvettes de mortier  $4x4x16cm^3$ .

La capacité maximale de cette machine est de 100 KN.



Figure II- 5: Appareil d'écrasement.



**b. Absorption**

Absorption d'eau par immersion totale (Essai de porosité) La mesure de la capacité d'absorption massique permet de mesurer la porosité ouverte. L'essai de la porosité accessible à l'eau a été réalisé selon le mode opératoire recommandé par AFREM [9].

La méthode consiste à sécher préalablement des éprouvettes prismatiques à l'étuve à  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  pendant 72 heures. Les éprouvettes sont ensuite retirées et laissées refroidir, puis sont pesées soit  $M_0$ . Par la suite, les éprouvettes sont immergées totalement dans l'eau à  $20^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures. Après cette période, les éprouvettes sont retirées, et après avoir étoffé leurs faces à l'aide d'une serviette, sont pesées de nouveau soit  $M_1$ . Le taux d'absorption est calculé comme suit :

$$A_{bi} = \frac{(M_1 - M_0)}{M_0} \times 100 \quad (\text{Eq II.4})$$

Avec : taux d'absorption en % ;

$M_0$  : masse de l'éprouvette à l'état sec en kg ;

$M_1$  : masse de l'éprouvette à l'état saturé en kg.

L'essai est effectuée sur six éprouvettes  $4\times 4\times 16$ , trois éprouvettes MAA et deux autres MSA.

---

**Chapitre III**

**Présentation et**

**interprétations des résultats**

---

**III.1 Introduction**

Après chaque essais réalisé, des résultats et des constats sont tirés et exploités afin d'obtenir des réponses à plusieurs de nos questions.

Dans cette étude expérimentale on s'intéresse à étudier les caractéristiques physique des matériaux et d'autant plus aux comportements mécaniques (compression, absorption)deus mortiers sont confectionné. Les résultats sont illustrés à travers des histogrammes montrant la variance des résistances durant la période de 28 jours et l'absorption.

Nous présentons dans ce qui suit les résultats obtenus au terme d'essais que nous avons effectué au cours des phases de travail précédemment décrites.

**III.2. Phase 1 :****III.2.1. Masses volumiques absolues des ciments étudiés**

Tableau III- 1 Valeurs des masses volumiques absolues des ciments étudiés.

Type de ciment	Masse volumique absolue (kg/m3)
CEM II A-L 52,5 R	3030,30
CEM I -42,5-SR5 CRS)	3092,78
CEM II/B-L 32,5 R	3030,30

**III.2.2. Essai de compatibilité au cône de Marsh.**

Le but principal de ces tests est de trouver le couple compatible parmi les ciments et les superplastifiants sélectionnés pour effectuer cette étude. Tous les résultats sont présentés dans les tableaux III-2 et III-3 suivants.

Tableau III- 2 : Essai du cône de Marsh avec E/C =0.40.

<b>TYPE DE CIMENT</b>	<b>adjuvant</b>	<b>Extrait sec</b>	<b>Formulation Pour la confection de 1.5l de coulis(kg)</b>	<b>E/C</b>	<b>Temps d'écoulement(s) (60s – 90s)</b>	<b>Remarques</b>
<b>CEM II A-L 52.5 R</b>	SIKA viscocrete665	33±1.1	C : 2.055 Eau : 0.815 Adj. : 0.021	<b>0.40</b>	39 s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C : 2.055 Eau : 0.816 Adj : 0.021	<b>0.40</b>	136s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.055 Eau :0.815 Adj :0.021	<b>0.40</b>	153 s	<b>Le couple est incompatible</b>
<b>CEM I -42.5-SR5 (CRS)</b>	Sika viscocrete 665	33±1.1	C : 2.074 Eau : 0.823 Adj : 0.021	<b>0.40</b>	37 s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C : 2.074 Eau : 0.823 Adj : 0.021	<b>0.40</b>	45 s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.074 Eau :0.823 Adj :0.021	<b>0.40</b>	41 s	<b>Le couple est incompatible</b>
<b>CEM II/B-L 32.5R</b>	Sika viscocrete665	33±1.1	C : 2.055 Eau : 0.815 Adj : 0.021	<b>0.40</b>	51 s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C : 2.055 Eau : 0.816 Adj : 0.021	<b>0.40</b>	48 s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.055 Eau :0.815 Adj :0.021	<b>0.40</b>	50 s	<b>Le couple est incompatible</b>

Nous remarquons que sous le rapport E/C =0.40 aucun des coulis ne donne la compatibilité.

Le détail par type de ciment est le suivant :

- CEM II A-L 52,5 R avec le réducteur d'eau Sika viscocrete 665, le coulis est très fluide car le temps d'écoulement est très faible.

CEM II A-L 52,5 R avec le tempo 12 et tempo 544, les coulis sont par contre raides compte tenu du temps. Ce résultat indique que le mode d'action avec le type de ciment considéré de tempo 12 et tempo 544 est fondamentalement différent de celui de Sika viscocrete 665.

- CEM II/B-L 32,5R et CEM I -42.5-SR5 (CRS) tous les coulis sont excessivement fluides, mais contrairement au cas précédent on relève que cette fois les modes d'action des adjuvants avec les deux types de ciment sont similaires. Donc ce fait souligne le rôle primordial des constituants des ciments. En conclusion il est possible de voir que le rapport  $E/C=0.40$  ne donne dans aucun cas la compatibilité.

**Récapitulation :**


D'après les résultats que nous avons obtenu, nous constatons qu'avec un rapport  $E/C=0.40$ , l'adjuvant Sika viscocrete 665 donne des coulis très fluides ( $t < 60s$ ) pour les trois types de ciments.

Dans cette situation, il est clair que l'adjuvant testé ne convient pas avec les types de ciment et que manifestement il s'est comporté comme un retardateur de prise.

Pour ce qui est des autres adjuvants tempo 12 et le tempo 544 il y'a lieu de distinguer entre les types de ciments car:

Comme on l'a déjà signalé avec le CEM II A-L 52,5R on a enregistré une perte de plasticité qui est le signe apparent d'une vitesse d'hydratation anormalement élevé (fausse prise ou prise éclair). Et comme nous ne disposons pas de la fiche technique de ce type de ciment ; ce qui rend difficile toute interprétation sur le mécanisme d'hydratation mais il est probable que l'adjuvant à fait une action d'accélérateur au lieu d'action de réducteur d'eau car nous avons constaté une augmentation rapide de la consistance de la pate au cours du test.

Tableau III- 3: Essais cône de Marsh avec E/C =0,35.

Type de ciment	Adjuvants	Extrait sec	Formulation Des coulis(kg)	E/C	Temps d'écoulement(s) (60s – 90s)	Remarques
<b>CEM II A-L 52.5 R</b>	Sika visocrete 665	33±1.1	C : 2.206 Eau : 0.765 Adj. : 0.022	0.35	178s	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C : 2.206 Eau : 0.765 Adj. : 0.022	0.35	150s	<b>Le couple est incompatibles</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.206 Eau :0.765 Adj :0.022	0.35		<b>Phénomène de raidissement de la patte</b>
<b>CEM I -42.5-SR5 (CRS)</b>	Sika visocrete 665	33±1.1	C :2.228 Eau : 0.772 Adj :0.022	0.35	<b>78 S</b>	<b>Le couple est compatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C :2.228 Eau :0.773 Adj :0.022	0.35	92 S	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.228 Eau :0.772 Adj :0.022	0.35	<b>80 S</b>	<b>Le couple est compatible</b>
<b>CEM II/B-L 32.5R</b>	Sika visocrete 665	33±1.1	C : 2.206 Eau : 0.765 Adj. : 0.022	0.35	96 S	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 12	30.2±1.3	C : 2.206 Eau : 0.765 Adj : 0.022	0.35	115 S	<b>Le couple est incompatible</b>
	Tempo 544	32±1.2	C :2.206 Eau :0.765 Adj :0.022	0.35	<b>83 S</b>	<b>Le couple est compatible</b>

Pour un rapport E/C =0,35

- CEM II A-L 52,5 R avec le réducteur d'eau 665 et le tempo 12, les coulis sont peu fluides.  
  
CEM II A-L 52,5 R avec le tempo 544 phénomène de raidissement à tel point qu'il n'y a pas eu d'écoulement. Donc le CEM 52,5 n'est compatible avec aucun des adjuvants testés.
- CEM I -42,5-SR5 (CRS) avec Sika viscocrete 665 et le tempo 544 nous remarquons que le temps d'écoulement est intercalé dans l'intervalle de temps prescrits par la méthode ce qui permet de conclure que le ciment est compatible avec les deux types d'adjuvant testés.  
  
CEM I – 42,5-SR5 (CRS) avec le tempo 12 c'est un cas limite dans la mesure où le temps d'écoulement de 92 s ne dépasse que faiblement le seuil prescrit de 90s.
- CEM II/B–L 32,5R avec Sika viscocrete 665 et le tempo 12, donne des valeurs distinctes mais dépassant toutes deux le seuil ce qui ne donne pas de compatibilité.  
  
CEM II/B–L 32,5R avec le tempo 544 donne un temps de 83s soulignant ainsi la compatibilité.

#### **Récapitulation :**

Avec E/C=0,35 Les résultats obtenus par rapport aux temps d'écoulement ( $t > 90s$ ) confirme que le CEM II A-L 52,5 R est incompatible avec trois types d'adjuvants testés.

- La diminution du rapport E/C a influé positivement sur le temps d'écoulement de tous les coulis composés avec CEM I -42,5-SR5 (CRS) et les trois types d'adjuvant. Cette influence se traduit par une compatibilité.
- La nature du superplastifiant joue un rôle déterminant dans le comportement des coulis avec CEM II/B–L 32,5R.

#### **III.3. Phase 2 : Essais sur mortier**

Afin d'évaluer la validité des résultats obtenus dans la phase 1 et de les exploiter, nous nous proposons de tester l'effet du couple ciment- adjuvant donnant la compatibilité en l'appliquant sur une formule prédéterminée d'un mortier.

**III.3.1. à l'état frais**

**a. Essai de maniabilité**

Le tableau suivant présente les résultats obtenus de l'essai de maniabilité.

Tableau III- 4: Résultats de l'essai de maniabilité.

Type de mortier	Ciment (g)	E/C	sable AL 40%(g)	Sable dunaire 60%(g)	Eau (g)	Sika viscocrete 665 1.9%	Temps d'écoulement 8-12(s)
<b>MSA</b>	450	0.65	540	810	292.5	/	4
	450	0.62	540	810	279	/	6
	450	0.6	540	810	270	/	9
<b>MAA</b>	450	0.35	540	810	157.5	8.6	1.5
	450	0.45	540	810	202.5	8.6	3
	450	0.41	540	810	184.5	8.6	10

Nous remarquons que le résultat de maniabilité confirme le résultat obtenu au cours de l'essai de compatibilité avec une réduction d'eau de 33%.donc nous allons pousser notre étude pour voir l'effet de l'adjuvant et faire une comparaison entre un mortier sans adjuvant (MSA) et un mortier avec adjuvant (MAA).

**III.3.2. à l'état durci**

**a. Résistance en compression**

Les résultats de la résistance à la compression à 28 jours, des éprouvettes retenues sont présentés dans la figure suivante :

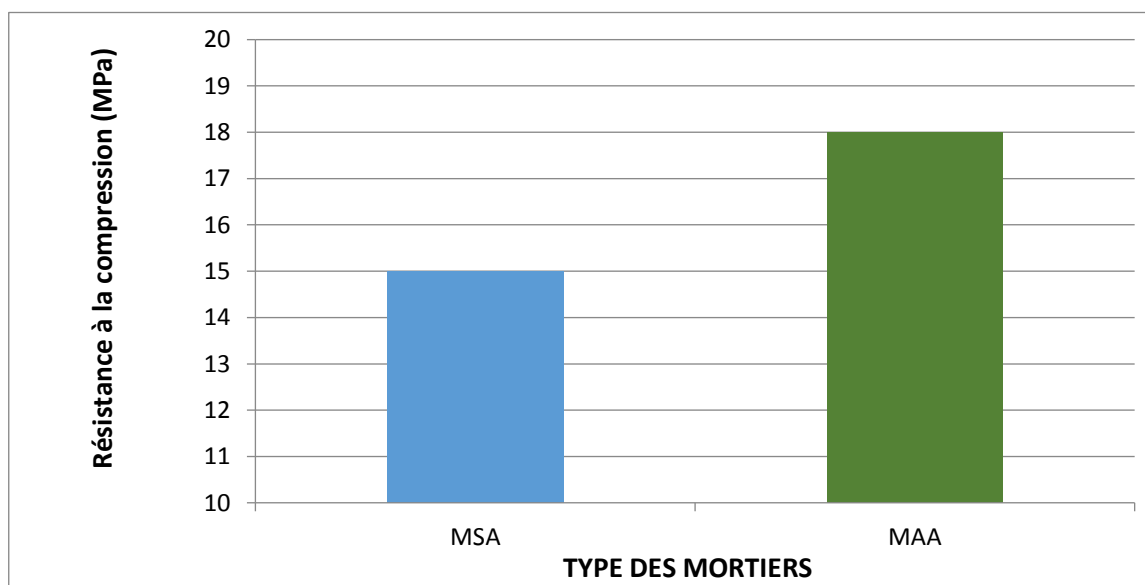


Figure III- 1: Résultats de la résistance à la compression à 28 jours.

D'après la figure III-1 nous voyons qu'à 28 jours nous constatons que l'adjuvant a donné une augmentation de la résistance par rapport à celle du mortier sans adjuvant de 20%.

### b. Essai d'absorption

Les résultats sont récapitulés dans la figure suivante :

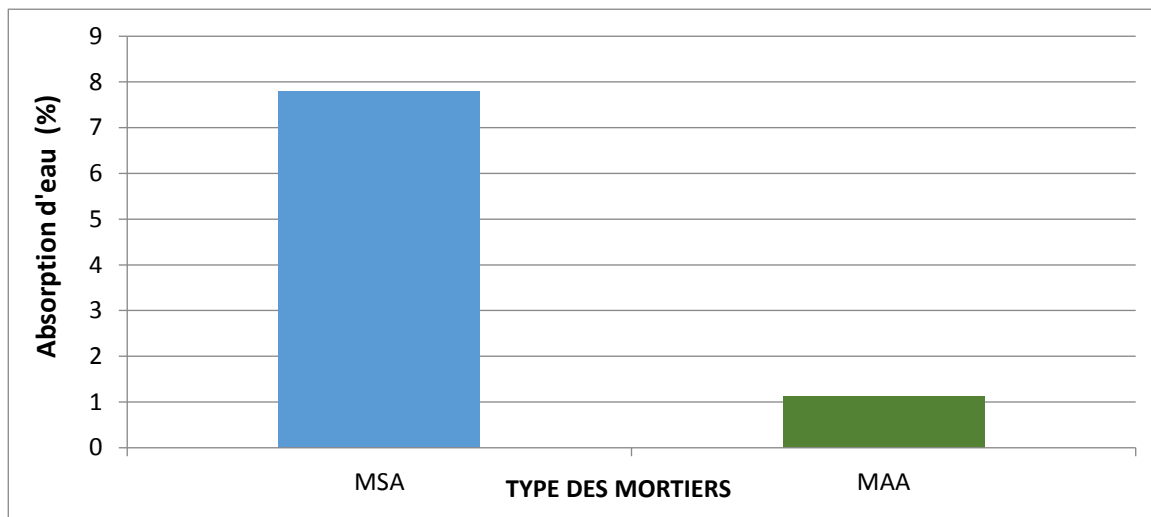


Figure III- 2: L'absorption d'eau en fonction de type de mortiers

D'après la figure III-2, nous constatons que le superplastifiant a permis de réduire l'absorption de 82%, ce qui peut s'expliquer par l'amélioration de la structure interne du mortier, c'est-à-dire une diminution notable de la porosité.

### Interprétation :

Les résultats obtenus permettent de conclure à priori que l'adjuvant semble améliorer les caractéristiques du mortier. Ce fait souligne l'opportunité du thème que nous traitons compte tenu de tous les impacts qu'ils soient purement technique ou plus généralement économique.

Le mortier adjuvanté exhibe la meilleure maniabilité et l'absorption la plus faible. La résistance est pour sa part améliorée comparativement à celle du mortier sans adjuvant. Ces observations permettent de considérer que le mortier MAA possède une faible porosité alliée à une bonne microstructure procurée par une hydratation bien entretenue. Ce résultat illustre l'importance du choix de l'adjuvant en fonction de la qualité recherchée.

---

# **Conclusion Générale**

---

## **Conclusions générales**

Le travail que nous avons effectué sur l'étude du phénomène d'interaction du couple Ciment/Adjuvant en utilisant la méthode de l'université de Scherbrooke dite méthode du coulis et de sa validation nous permet de dresser le bilan suivant :

Le rapport E/C conditionne la fluidité des coulis pour l'ensemble des types de ciment. Ainsi pour E/C=0,40 à l'exception du CEM II A-L 52,5 R avec Tempo 12 et Tempo 544 pour lequel nous avons enregistré un raidissement, tous les coulis étaient anormalement fluides ce qui indique un manque de compatibilité.

Pour un rapport E/C =0,35 :

Les résultats obtenus par rapport aux temps d'écoulement ( $t > 90s$ ) confirment que la diminution de la valeur du rapport n'a pas amélioré la réponse du ciment CEM II A-L 52,5 R qui montre systématiquement une raideur avec les trois adjuvants signe qu'il est incompatible dans tous les cas testés.

Par contre la réduction du rapport E/C s'est traduite par une compatibilité pour les deux autres types de ciment. Parmi les trois couples ciment-adjuvant ayant exhibé la compatibilité nous avons testé celui qui a donné le temps d'écoulement le plus court sur un mortier de sable dunaire et alluvionnaire.

Le mortier adjuvant exhibe la meilleure maniabilité et l'absorption la plus faible. La résistance est pour sa part améliorée comparativement à celle du mortier sans adjuvant. Ces observations permettent de considérer que le mortier MAA possède une faible porosité alliée à une bonne microstructure procurée par une hydratation bien entretenue. Ce résultat illustre l'importance du choix de l'adjuvant en fonction de la qualité recherchée.

Les résultats obtenus permettent de conclure à priori que l'adjuvant semble améliorer les caractéristiques du mortier. Ce fait souligne l'opportunité du thème que nous traitons compte tenu de tous les impacts qu'ils soient purement techniques ou plus généralement économiques.

A la fin nous insistons sur le fait que nous n'avons pu traiter qu'une infime partie de ce thème important qui conditionne la relance du secteur de la construction donc de l'économie. En effet l'utilisation inconsidérée et basée sur une démarche empirique des adjuvants ne saurait être tolérée continuellement si on souhaite réhabiliter le domaine.

## **Recommandations et perspectives**

Cette étude a été consacrée à la recherche de la compatibilité entre les ciments et les superplastifiants disponibles sur le marché national,

Les résultats que nous avons obtenus au terme de notre travail nous permettent d'insister sur l'importance de la compatibilité ciment-adjuvants car c'est elle qui déterminera la qualité du produit final. En effet il est de première importance de s'assurer que l'action de l'adjuvant est assurément conforme à l'objectif recherché faute de quoi le risque de s'exposer à des déboires peut se concrétiser par des catastrophes imprévisibles. L'importance de faire des essais de convenance dans tous les chantiers s'impose comme un impératif à satisfaire dans tous les cas.

Elle passe par la mise à la disposition de tous les opérateurs d'une base de données cataloguant tous les produits circulant à l'échelle nationale ce qui passe nécessairement par de vastes programmes de recherche.

## Références Bibliographique

- [1] G. DREUX. Nouveau guide de béton et de ses constituants ; Eyrolles, paris, 1998.
- [2] NF EN 197-1Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants (avril 2012)
- [3] AÏTCIN P.C, Béton de haute performance, Eyroll, 2001.
- [4] Ahmed Sofiane BENOSMAN Thèse de doctorat (Performance Mécanique et durabilité des matériaux cimentaires modifié par ajout de polymère (PET)) université d'Oran 2011.
- [5] Collection Technique CimBéton (Des bétons courant vert les bétons aux nouvelles performances Edition 2006.
- [6] Azzouz Hocine (Etude des bétons à base des sables de dune) université Med Kheider Biskra, 2009
- [7] Moussa Baalbaki (Influence des interactions du couple ciment/adjuvant sur les propriétés du béton) université de Sherbrooke, 1998.
- [8] Edwing N. (compatibilité et incompatibilité liants cimentaires/superplastifiant) thèse de doctorat de l'Université du Luxembourg. juin 2010.
- [9] Adjuvants. Les adjuvants définitions et opportunités d'utilisation 2004.  
197.14.51.10 :81/pmb/cours/tutorial/genie/civil/et/construction/adjuvant.pdf
- [10] EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments - Partie 1: détermination des résistances mécaniques .Indice de classement : P 15-471. Statut : Norme homologuée.
- [11] Béton à hautes performance /40 juillet 2007/www.Fabelcem.be/File admin/ user upload /dossiers-ciment -94/40 fr 01
- [12] A/Meziane S, Seghir C mémoire de master (Etude du Comportement mécanique d'un béton à haute performance à base des cendres volantes) 2016.université de Tiaret
- [13]NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Partie 2 Définition, exigences, conformité, Marquage et étiquetage (indice de classement P 18.342).
- [14] Guide pour l'emploi des adjuvants en 43 fiches pratiques SYNAD (syndicat National des Adjuvants pour bétons et mortier) édition le moniteur com.
- [15] Hieu Thao HUYNH, La compatibilité ciment-superplastifiant dans les bétons à hautes performances.  
LCPC, paris, Bulletin des LCPC, 206, Nov-dec1996.
- [16] AMMI HAMOU.H Et TALLIM « Amélioration de la capacité portante de poutres en béton arme endommagées et réparées par des mortiers cimentaires légers» mémoire de master 2014/2015, université de Laghouat.

- [17] NFP 18-452 Bétons - Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres.
- [18] AFPC-AFREM, Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons », sous la direction de J.P. Ollivier, Toulouse, 1997.

---

# **Annexes**

---

## Annexe1 : Fiches techniques des adjuvants.

Construction

### SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

**Présentation** SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

**Domaines d'application**

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

**Caractères généraux** SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.



**Agréments, essais de laboratoire** ■ PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

#### Caractéristiques

**Aspect** Liquide brun clair

**Conditionnement**

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

**Stockage** Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

**Conservation** 1 an en emballage intact

#### Données techniques

**densité** 1,05 ± 0,01

**pH** 6 ± 1

**Teneur en Na<sub>2</sub>O Eq.** ≤ 1 %

**Extrait seo** 30,2 ± 1,3 %



## Sikasil® WS-655

High performance non-staining & non-streaking sealant with reduced dirt pick-up

### Technical Product Data

Chemical base	1-C silicone
Colour (CQP <sup>1</sup> 001-1)	See product overview
Cure mechanism	Moisture-curing
Cure type	Neutral
Density (uncured) (CQP 006-4)	1.4 kg/l approx.
Non-sag properties (CQP 051-4 / ISO 7390)	<2 mm approx.
Application temperature	5 - 40°C (40 - 105°F)
Skin time <sup>2</sup> (CQP 019-2)	15 min approx.
Curing speed (CQP 049-1)	See diagram 1
Shore A-hardness (CQP 023-1 / ISO 868)	27 approx.
Tensile strength (CQP 036-1 / ISO 37)	1.2 N/mm <sup>2</sup> approx.
Elongation at break (CQP 036-1 / ISO 37)	560% approx.
Tear propagation resistance (CQP 045-1 / ISO 34)	5.0 N/mm approx.
100% modulus (CQP 036-1 / ISO 37)	0.5 N/mm <sup>2</sup> approx.
Movement accommodation capability (ASTM C 719)	±25%
Thermal resistance (CQP 513-1)	180°C (355°F) approx.
Short term	4 hours 1 hour
	200°C (390°F) approx. 220°C (430°F) approx.
Service temperature	-40 - 150°C approx. (-40 - 300°F)
Shelf life (storage below 25°C) (CQP 016-1)	12 months

<sup>1</sup> CQP = Corporate Quality Procedure

<sup>2</sup> 23°C (73°F) / 50% r.h.

### Description

Sikasil® WS-655 is a durable, neutral-curing silicone sealant with a high movement capability and excellent adhesion to porous and non-porous substrates.

Sikasil® WS-655 is manufactured in accordance with ISO 9001 quality assurance system and the responsible care program.

### Product Benefits

- Outstanding UV and weathering resistance
- Excellent adhesion to glass, coated glass, metals and plastics
- Short tack free time
- Meets requirements of ASTM C 1248
- Meets ASTM C 920, Type S, Grade NS, Class 25, Use NT, G and A
- Meets ISO 11600 F & G 20 LM

### Area of Application

Sikasil® WS-655 is a medium-modulus silicone sealant designed for weatherproofing sensitive stone, metal and glass substrates to reduce residue rundown, streaking and staining.

It is especially suitable as a weather seal in contact with gas-filled insulating glass units using Sikasil® IG-25 HM Plus as secondary edge sealant.

This product is suitable for professional experienced users only. Tests with actual substrates and conditions have to be performed to ensure adhesion and material compatibility.

## Annexe 2 : Matériaux.



### Superplastifiant



Compression du béton



Malaxeur



Ciment



Phénomène de raidissement



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

### RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

**DOMAINE :..... SCIENCES ET TECHNOLOGIES.....**

**Filière :.....Génie Civil.....**

**Option :..... Matériaux de Génie Civil.....**

**Thème...ETUDE COMPARATIVE DE L'ITERACTION .....**

**DES DIFFERENTS TYPES D'ADJUVANTS AVEC LES CIMENTS**

**Présenté par :.....ANANE Fadhila.....**

**Encadré par :.....M<sup>r</sup> LAKHDARI M.F.....**

#### **Résumé :**

*Les travaux de recherche de ce mémoire ont porté sur le phénomène d'interaction du couple Ciment/Adjuvant dans les mortiers. Les adjuvants sont utilisés pour améliorer certaines propriétés du matériau cimentaires soit à l'état frais soit à l'état durci, mais si l'étude du choix du couple (ciment, adjuvant) est mal faite, l'effet obtenu peut être opposé à celui que l'on recherche, généralement, lorsqu'un problème de compatibilité ciment/adjuvant se pose sur chantier, il se règle en remplaçant l'adjuvant ou le ciment ou même parfois les deux, sans connaître vraiment les causes de cette incompatibilité. Le travail proprement dit s'inspire de la méthode utilisée par l'université de Sherbrooke dite «méthode du coulis» et qui consiste à rechercher la compatibilité entre le ciment et superplastifiant en utilisant une procédure détaillée dans le corps du texte.*

*Nous avons étudié l'interaction entre trois types de ciments à savoir CEM II A-L 52,5R, le CEM II/B-L 32,5 R, et le CEM I 42,55CRS et trois type d'adjuvants TEMPO 12, TEMPO 544, Sika VISCOCRETE 665. Afin d'évaluer l'efficacité du résultat de notre investigation; nous avons étudié les performances d'un mortier à base de sable dunaire (SD) et de sable alluvionnaire (SA) adjuvanté avec un produit jugé compatible selon les critères de la méthode.*

*La principale observation que nous avons pu effectuer est que le mode d'action des adjuvants est profondément affecté par le type de ciment et par le rapport E/C à un point tel que de superplastifiant par exemple il devient un accélérateur de prise ou retardateur de prise. Tel est le cas du produit Tempo 544 qui avec le ciment CEM II 52,5 R a fait l'effet d'un accélérateur pour un rapport E/C=0,35, pendant que pour E/C=0,40 il fait l'effet d'un retardateur. L'interaction avec le type de ciment est illustré par l'exemple du même produit qui pour E/C=0,40 retarde la prise avec le ciment CEM II 52,5 R et accélère la prise pour le ciment CEM II 32,5R et CEM I 42,5CRS. Effectivement les résultats obtenus soulignent à la fois une amélioration des caractéristiques physiques par une meilleure maniabilité avec une réduction d'eau de 33% allié à une réduction notable de l'absorption d'eau de 82% et une augmentation de la résistance à la compression de 20%.*

*Mots clés : Ciment, Adjuvant, Interaction, Compatibilité, Coulis, Mortier, Hydratation, Superplastifiant, Maniabilité.*