

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER II EN GENIE DES PROCEDES

Option : GENIE CHIMIQUE

Intitulé du mémoire

**Impact du Superplastifiant sur les propriétés
physico-mécaniques du Ciment**

Réalisé par :

- OUARGLA Ichrak
- AZAZI Nesrine

Encadré par :

Dr. BRAHIM Meriem

Année universitaire 2022/2023



Remerciements

Au terme de ce mémoire, nous tenons à remercier tout naturellement en premier lieu le Dieu tout puissant, qui nous a donné la force, le courage et la patience de bien mener ce travail.

Nous remercions notre faculté corps administratif et professeurs qui nous ont suivis pendant notre cycle de formation.

*Notre promotrice madame **BRAHIM**, Maitre de conférences à l'université BLIDA 1, pour son aide, ses précieux conseils et suggestions.*

*A l'issue de notre stage à la cimenterie de Meftah , nous tenons à remercier en premier lieu messieurs **T.FENNICH**, Chef service control qualité ; il nous a guidé dans notre travaille et nous a aidé à trouver des solution pour avancer ,et toute les pressons qui ont contribué de prés ou de lion au bon acheminement de cette formation particulièrement **H.DERRADJI** ,**Farid** , **Ali** ,**Abd el nour** et **Yaakoub** .*

Sans oublier tous les personnes qui nous ont aidé même avec un mot d'encouragement, merci du fond du cœur.

DEDICACES

Aux obstacles qui m'ont poussé à continuer mes études.

A mes parents et mes sœurs Hanane, Nada et mon frère Abd el hak.

A toute ma famille.

OUARGLA Ichrak

DEDICACES

Je profite l'occasion qui a été donnée à travers ce mémoire pour exprimer mes dédicaces :

A mes chers parents Moussa et Aicha, qui n'ont jamais cessé de m'encourager .Merci PAPA,
Merci MAMA.

A mes frères Tarek, Anis et Nadim et mes sœurs Sabrina, Hanane , Wissam ,chahra zed et
douaa .Que dieu vous protège et vous offre le paradis.

A mon fiancé Riad qui était mon soutien dans mes moments les plus difficiles.

Ainsi, les professeurs qui m'ont enseigné durant mes études.

AZAZI Nesrine

ملخص :

تتطلب الخرسانة وكذا الملاط في المواقف و الظروف المختلفة درجات مختلفة من قابلية التشغيل , يتم استخدام المدنات الخرسانية المعروفة باسم مضافات تقليل المياه لتحسين قابلية التشغيل وتسهيل عملية الصب دون استخدام الماء الزائد الذي يؤدي إلى تقليل قوة الخرسانة.

يهدف البحث الحالي إلى إجراء تقييم تجريبي لتأثير إضافة المدنات الفائقة على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للاسمنت, حيث تم إضافة نسب مختلفة من ملدن البوليكاربوكسيلات (0.5 % 1 % 1.5 % 2 %) على عينات متماثلة الخصائص لدراسة تأثيره على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية كالتناسق , قابلية التشغيل , وقت الإعداد و مقاومة الانضغاط . ووفقا للنتائج المتحصل عليها تبين إن إضافة الملدن الفائق إلى الخلطة الإسمنتية يؤدي إلى تقليل كمية الماء المطلوبة لتشكيل الخلطة وكذا زيادة اللدونة وتعزيز مقاومة الانضغاط . يؤدي الملدن الفائق إلى تأخير وقت الإعداد والتصلب و استخدامه بنسب مختلفة يؤدي إلى اختلاف كمية الحرارة المبعوثة من الاسمنت . أما النماذج المتحصل عليها فهي تمثل تطور الخصائص بشكل جيد .

الكلمات الرئيسية : الاسمنت - الإضافات - المدنات الفائقة .

Résumé :

Le béton et le mortier dans différentes situations et conditions ont besoin de différents degrés de maniabilité. Les plastifiants pour béton connus sous le nom d'adjuvants réducteurs d'eau sont utilisés pour améliorer la maniabilité et faciliter le processus de coulée sans utiliser d'excès d'eau qui réduit la résistance du béton.

La recherche actuelle vise à effectuer une évaluation empirique de l'effet de l'ajout de superplastifiants sur les propriétés physiques et mécaniques du ciment, Différentes doses de superplastifiant à base de polycarboxylates (0.5%, 1%, 1.5 %, 2%) ont été ajoutées à des échantillons présentant des caractéristiques similaires afin d'étudier leur effet sur les propriétés physiques et mécaniques telles que la cohérence, la maniabilité, le temps de prise et la résistance à la compression. Selon les résultats obtenus, l'ajout de superplastifiant à la composition du ciment permet de réduire la quantité d'eau nécessaire pour former le mélange, d'améliorer la cohérence et d'augmenter la résistance à la compression. De plus, il a été observé que le superplastifiant retarde le temps de prise et de durcissement, et son utilisation à des proportions différentes entraîne une variation de la quantité de chaleur émise par le ciment. Et les simulations des modèles établis reflètent de manière précise l'évolution des propriétés.

Mots –clés : ciment – adjuvant – superplastifiants.

Abstract :

Concrete and mortar in different situations and conditions requires different degrees of workability. Concrete plasticizers known as water reducing admixtures are used to improve workability and facilitate the pouring process without using excess water which reduces the strength of the concrete.

The current research aims to perform an empirical evaluation of the effect of the addition of superplasticizers on the physical and mechanical properties of cement. Different doses of polycarboxylate-based superplasticizer (0.5%, 1%, 1.5 %, 2%) were added to samples with similar properties to study their effect on the physical and mechanical properties such as consistency, workability, setting time, and compressive strength. According to the obtained results, adding the superplasticizer to the cement mixture leads to a reduction in the required water content for forming the mixture, as well as an increase in consistency and enhanced compressive strength. It was also observed that the superplasticizer delays the setting and hardening time, and using it in different proportions results in variations in the amount of heat emitted by the cement. As of the obtained models, they represent the evolution of the properties well.

Keywords : cement – adjuvant –superplasticizer.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

INTRODUCTION GENERALE.....1

Chapitre I : Généralités sur le ciment

I.1. Introduction2

I.2. Présentation de l'entreprise.....2

I.3. Historique du Ciment.....3

I.4. Définition du ciment Portland.....4

I.5.Composant du ciment portland.....5

I.5.1. Clinker.....5

I.5.2. Gypse.....7

I.5.3. Ajouts minéraux.....8

I.6. Etapes de fabrication de ciment.....8

I.6.1. Première étape de la fabrication : l'élaboration du clinker.....8

I.6.2. Deuxième étape de la fabrication : le broyage du clinker.....9

I.7. Type du ciment en fonction de leur composition.....10

I.8. Hydratation du ciment.....11

I.8.1. Hydratation du C_3S et du C_2S	11
I.8.2. Hydratation du C_3A et du C_4AF	12

Chapitre II : Les adjuvants

II.1.Introduction.....	14
II.2. Définition.....	14
II.3. Types des adjuvants.....	15
II.3.1. Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier.....	15
II.3.1.1.Plastifiants et fluidifiants.....	15
II.3.2. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement.....	16
II.3.2.1.Accélérateurs de prise et durcissement.....	16
II.3.2.2.Retardateurs de prise.....	17
II.3.3. Adjuvants modifiant les propriétés physiques.....	17
II.3.3 .1. Hydrofuge de masse.....	17
II.3.3.2. Entraîneurs d'air.....	17
II.3.3.3. Rétenteurs d'eau.....	19
II.4. Superplastifiants.....	19
II.5. Différentes classes des superplastifiants.....	21
II.6. Mode d'actio.....	21
II.6.1. Adsorption sur les grains de ciment.....	22
II.6.2. Répulsion électrostatique.....	23
II.6.3. Encombrement stérique.....	24
II.6.4. Effets rhéologiques.....	25
II.7. Propriétés d'une pâte de ciment en présence de superplastifiant.....	27

II.8.Synthèse bibliographique sur l'impacte de Superplastifiant sur les propriétés physico-mécanique du Ciment.....	28
---	----

Chapitre III: Matériel et méthodes

III.1. Introduction.....	29
III.2. Matériel utilisé.....	29
III.2.1. Ciment.....	29
III.2.2. Sable normalisé.....	30
III.2.3. Eau de gâchage.....	30
III.2.4. MEDAFLOW 30.....	30
III.3 MATERIEL ET METHODES.....	31
III.3.1. Analyse Physico-chimique de ciment.....	32
a) Perte au feu (PAF).....	32
b) Chaux libre CaO.....	33
c) Finesse.....	34
d) Surface Spécifique de Blaine (SSB).....	35
e) Analyse de Ciments par Spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF).....	36
III.3.2. Analyses physico-mécaniques.....	37
III.3.2. 1. Pate de ciment.....	38
a) Consistance normalisée.....	38
b) Temps de prise.....	41
c) Expansion.....	42
III.3.2.2. Mortier.....	43
a) Résistance.....	43
b) Etalement.....	47
c) Chaleur hydratation.....	48

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	51
IV.2. Analyses Physico-chimique de ciment.....	51
IV.3. Analyses physico-mécaniques.....	52
IV.3.1. Pate de ciment.....	52
a) Consistance normale.....	52
b) Début et fin de prise.....	53
c) Expansion.....	54
IV.3.2. Mortier.....	54
a) Résistance.....	54
b) Etalement.....	56
c) Chaleur d'hydratation.....	57
IV.4. Modélisation des résultats physico-mécaniques obtenus.....	58
IV.4.1. Pate de ciment.....	58
a) Consistance normale.....	58
b) Début et fin de prise.....	58
IV.4.2. Mortier.....	60
a) Résistance.....	60
b) Etalement.....	61
c) Chaleur d'hydratation.....	62
IV.4.3. Corrélations entre les paramètres physico-mécaniques.....	63
a) Corrélation entre le début de prise et la consistance.....	63
b) Corrélation entre la résistance et l'étalement.....	64
CONCLUSION.....	66
PERSPECTIVE.....	67

Références

Annexes

Liste des figures

Figure I.1 : Organigramme représente l'hierarchie du groupe E.R.C.C.....	2
Figure I.2 : Activité de la production et l'expédition de l'entreprise en 2021.....	3
Figure I.3 : Clinker.....	6
Figure I.4 : Composants du clinker.....	7
Figure I.5 : Gypse.....	7
Figure I.6 : Composants de ciment.....	8
Figure I.7 : Stade de fabrication du ciment.....	10
Figure II.1 : Efficacité de superplastifiant.....	15
Figure II.2 : Action des superplastifiants-défloculation des grains de ciment.....	16
Figure II.3 : Action d'entraineur d'air.....	18
Figure II.4 : Ciment sans superplastifiant (Floculation des grains).....	20
Figure II.5 : Ciment avec superplastifiant (Dispersion des grains).....	20
Figure II.6 : Les différentes classes superplastifiantes.....	21
Figure II.7 : Dispersion des grains de ciment par la répulsion électrostatique.....	24
Figure II.8 : Dispersion des grains de ciment par l'encombrement stérique.....	25
Figure II.9 : Effet des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment...26	
Figure II.10 : Schéma de la structure d'une pâte de ciment.....	27
Figure III.1 : Sable normalisé.....	30
Figure III.2 : MEDAFLOW 30.....	31
Figure III.3 : Four électrique.....	33

Figure III.4 : Balance électronique.....	33
Figure III.5 : Creuset.....	33
Figure III.6 : D'éthylène glycol.....	34
Figure III.7 : Titrage.....	34
Figure III.8 : L'appareille Alpine.....	35
Figure III.9 : L'appareille de Blaine.....	36
Figure III.10 : La pastilleuse.....	37
Figure III.11 : Pastille.....	37
Figure III.12 : Appareille d'analyse XRF.....	37
Figure III.13 : Malaxeur.....	39
Figure III.14 : Appareil de Vicat.....	39
Figure III.15 : Pénétrer la sonde dans la pâte.....	40
Figure III.16 : Immerger le moule dans l'eau.....	41
Figure III.17 : Détermination de fin de prise.....	42
Figure III.18 : Moule de chatelier.....	43
Figure III.19 : Armoire et bouilloire.....	43
Figure III.20 : Moule normalisé.....	45
Figure III.21 : Appareil à chocs.....	45
Figure III.22 : Des éprouvettes préparées.....	45
Figure III.23: Des éprouvettes adjuvantés.....	46
Figure III.24: Bain des éprouvettes.....	46
Figure III.25 : Essai de résistance à la compression.....	47
Figure III.26 : Essai d'étalement pour mortier adjuvantés.....	48

Figure III.27 : Boite à mortier.....	49
Figure III.28 : Détermination de la chaleur hydratation.....	50
Figure IV.1 : Evolution de la consistance normale en fonction de pourcentage de SP.....	52
Figure IV.2 : L'évolution de début et fin de prise en fonction de pourcentage de SP.....	53
Figure IV.3 : Éprouvettes sans adjuvant.....	54
Figure IV.4 : Éprouvettes avec adjuvant.....	54
Figure IV.5 : Evolution des résistances à compression pour 2 - 7 et 28 jours en fonction de pourcentage de SP.....	55
Figure IV.6 : Evolution de l'étalement en fonction de pourcentage de SP.....	56
Figure IV.7: Influence du dosage de SP sur la chaleur d'hydratation d'un mortier.....	57
Figure IV.8 : Corrélation entre la consistance et le pourcentage de SP.....	58
Figure IV.9 : Corrélation entre le temps de prise et la dose de super plastifiant.....	59
Figure IV.10 : Corrélation entre la résistance et le dosage de SP.....	60
Figure IV.11 : Corrélation entre l'étalement et le dosage de SP.....	61
Figure IV.12 : Corrélation entre la chaleur d'hydratation de différents mortiers et le temps..	62
Figure IV.13 : Corrélation entre le début de prise et la consistance.....	63
Figure IV.14 : Corrélation entre la résistance et l'étalement.....	64

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition minéralogique du clinker.....	6
Tableau I.2 : Composition minéralogique du clinker.....	6
Tableau I.3 : Les cinq types de Ciments et leur composition.....	11
Tableau II.1 : Les utilisations des principaux adjuvants.....	18
Tableau II.2 : Action des rétenteurs d'eau.....	19
Tableau III.1 : Analyse complètes des doseurs.....	29
Tableau III.2 : Caractéristiques de MEDAFLOW 30.....	31
Tableau III.3 : Quantités du superplastifiant utilisé par rapport à ciment.....	38
Tableau III.4 : Condition de laboratoire des essais physico mécanique.....	38
Tableau III .5 : Age des éprouvettes pour les essais de résistance mécanique.....	46
Tableau IV.1 : Composition chimique de ciment.....	51
Tableau IV.2 : Caractéristiques physico-chimiques de ciment.....	51
Tableau IV.3 : Les résultats de l'essai de l'expansion (taux de gonflement).....	54
Tableau IV.4 : Masses des différentes éprouvettes.....	54

Nomenclature

symbole	signification
CaO	Chaux libre
Al ₂ O ₃	alumine
SiO ₂	silice
Fe ₂ O ₃	hématite
C ₃ S	(CaO) ₃ (SiO ₂) ou Alite
C ₂ S	(CaO) ₂ (SiO ₂) ou Bélite
C ₃ A	(CaO) ₃ (AlO ₃) ou Céliste
C ₄ AF	(CaO) ₄ (Al ₂ O ₃) (Fe ₂ O ₃) ou Féliste
CaSO ₄ 2(H ₂ O)	Gypse
CaCO ₃	Calcaire
E/C	Eau/ciment (la quantité d'eau par rapport à la quantité de ciment)
SP	superplastifiant
Mix 1	Ciment avec 0.5% de superplastifiant
Mix 2	Ciment avec 1% de superplastifiant
Mix 3	Ciment avec 1.5% de superplastifiant
Mix 4	Ciment avec 2% de superplastifiant

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours le ciment est le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau. Une maniabilité correcte donne un bon béton et bon mortier. La méthode la plus simple généralement suivie pour obtenir une maniabilité élevée consiste à utiliser de l'eau supplémentaire. Cette tendance a un effet néfaste sur la résistance et la durabilité du mortier du béton.

Les adjuvants pour mortier et béton sont utilisés pour améliorer le comportement du béton et du mortier dans différentes conditions tout en garantissant la qualité et la durabilité du béton et du mortier. Il existe plusieurs types d'adjuvants pour béton, parmi lesquels les plastifiants pour béton sont les plus courants et les plus utilisés.

Le superplastifiant est un additif couramment utilisé dans l'industrie du ciment pour améliorer les propriétés physico-mécaniques des matériaux de construction. En effet les superplastifiants sont des composés organiques synthétiques solubles dans l'eau qui réduisent la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une certaine consistance du béton ou du mortier. Ils sont ajoutés en petites quantités par rapport à la quantité de ciment, mais ils affectent de nombreuses propriétés du béton ou du mortier ainsi que du ciment.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressées à l'étude et l'évaluation expérimentale de l'effet d'un superplastifiant sur différentes caractéristiques physico-mécaniques du mortier et du ciment, et explorer des pistes pour optimiser l'utilisation du superplastifiant et améliorer les performances de ciment.

A cet égard, notre mémoire s'articule principalement autour de deux parties. Après une introduction générale, la première partie est consacrée à une recherche bibliographique comportant :

Premier chapitre : donnant un aperçu général sur le ciment (définition, composants, étapes de fabrication ...);

Deuxième chapitre : entame les adjuvants en particulier les superplastifiants (définition, types, mode action);

La deuxième partie est consacrée à une étude expérimentale composée de :

Troisième chapitre : concernant les caractéristiques des matériaux utilisés et les méthodes d'essais suivies ;

Quatrième chapitre : est dédié à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus, et ainsi modéliser ces résultats. Finalement, nous terminerons par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I :

Généralités sur le ciment

Chapitre I : Généralités sur le ciment

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les grandes lignes les plus importantes sur le ciment ; ses composants, ses types, sa processus de fabrication, et les réactions chimiques les plus importantes survenant pendant l'hydratation pour la préparation du mortier.

I.2. Présentation de l'entreprise

La société des ciments de la Mitidja (S.C.MI) est une filiale du groupe industriel des ciments de l'Algérie (G.I.C.A).

Avant 1998 la S.C.MI été une filiale de l'entreprise régionale du ciment centre (E.R.C.C). Voir Figure I.1.

En 1998 la société des ciments de la Mitidja comprend une seul unité (la cimenterie de Meftah).

En Septembre 2008 la S.C.MI entre en partenariat avec groupe Lafarge (35% Lafarge et 65% S.C.MI.) et un contrat de management de 10 ans « S.C.MI – Lafarge ».

En 2016 la S.C.MI devienne « S.C.MI – Lafarge Holcim » après la fusion. Et en 2018 la S.C.MI reprenne son management (Fin de contrat).

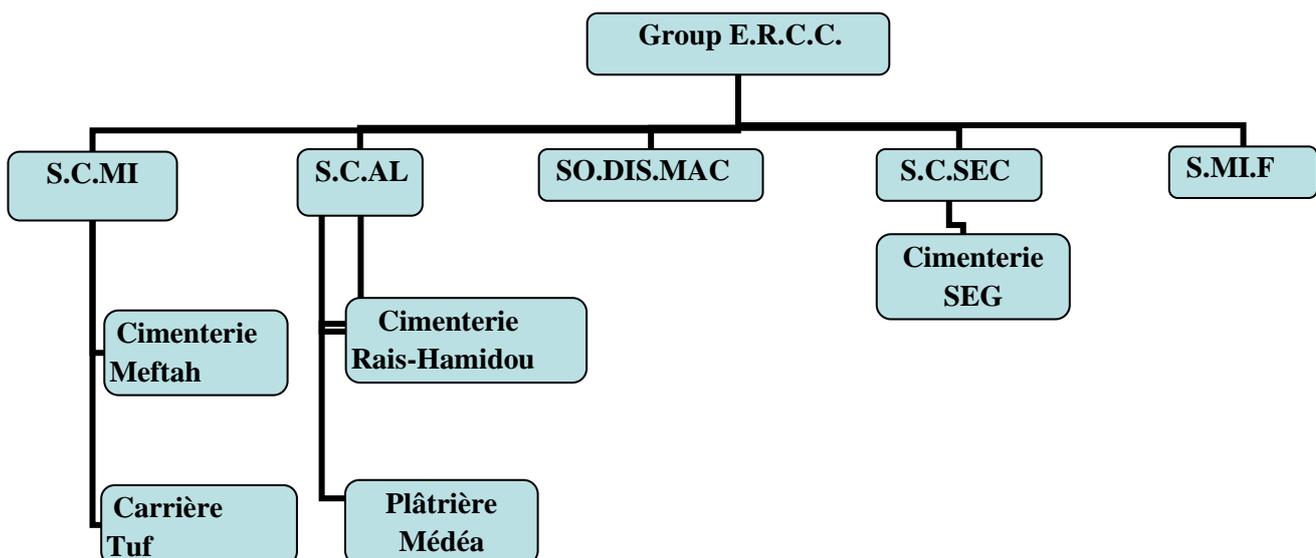


Figure I.1 : Organigramme représente l' hiérarchie du groupe E.R.C.C [1].

La cimenterie de Meftah est l'une des 14 cimenteries du Groupe (G.I.C.A), avec un capital social de 1.400.000.000 DA.

Sa principale activité est la production et la commercialisation du ciment par an avec un effectif globale de 490 salariés.

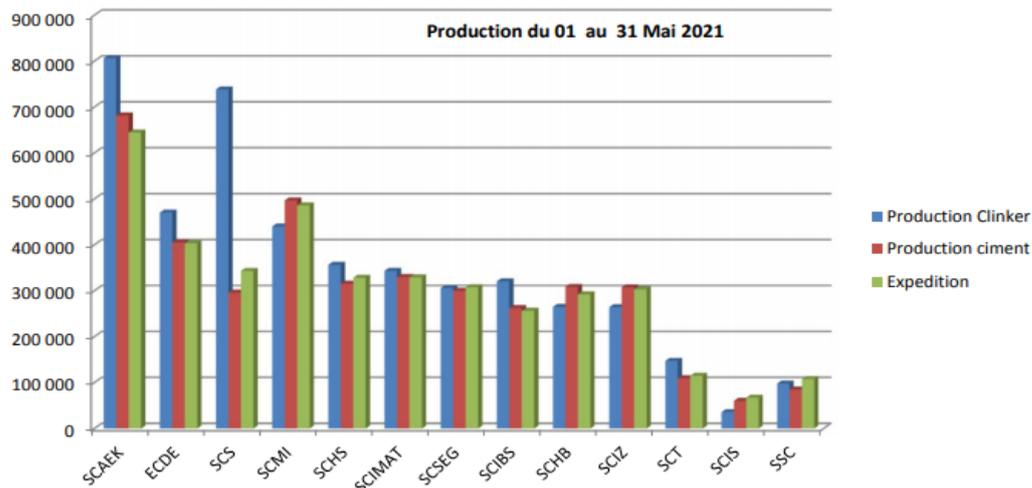


Figure I.2 : Activité de la production et l'expédition de l'entreprise en 2021 [1].

La cimenterie de Meftah est implantée dans la commune de Meftah, daïra de Meftah, wilaya de Blida, localisée à proximité de la route nationale N° 29 reliant la commune de Meftah à celle de Khmis El -Khechna à l'Est et l'Arabaa à l'Ouest. Elle est située à 27 Km d'Alger principal port l'Algérie, et 10 Km de la plus proche gare de Oued –Samar, et à une quinzaine de kilomètres de l'aéroport international d'Alger [1].

I.3. Historique du Ciment

Dans la préhistoire et au début de l'Antiquité, les maçonneries étaient soit liées à l'argile, soit réalisées sans liant, comme les murs pélasgiques de Grèce ou les murs incas. À Babylone, les maçonneries de briques étaient liées au bitume. Les Égyptiens utilisèrent pour les pyramides, notamment, un plâtre grossier produit par cuisson d'un gypse (sulfate de calcium) impur. Les Grecs furent parmi les premiers constructeurs employant la chaux obtenue par cuisson du calcaire (carbonate de chaux). Les Romains se servirent beaucoup de la chaux dans leurs constructions, mais améliorèrent ce liant dès le Ier siècle avant J.-C., en l'additionnant de pouzzolane soit naturelle comme les cendres volcaniques actives, soit artificielles comme les briques pilées. Ils obtinrent ainsi un liant hydraulique, appelé ciment romain, qui est en fait intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Celui-ci permit de construire de grands ouvrages hydrauliques, tel le pont du Gard, ou maritimes tels les ports.

Aucun progrès ne fut accompli sur les liants pendant le Moyen Âge, dont les principales constructions – cathédrales, châteaux... – doivent leur réussite surtout aux progrès réalisés dans l'art de tailler et d'assembler les pierres.

C'est seulement au XVIII^e siècle, les procédés de cuisson s'améliorant, que des chaux hydrauliques, intermédiaires entre les chaux et les ciments, furent produites.

- En 1756, l'Anglais SMEATON, en mélangeant celles-ci avec des pouzzolanes, obtient un mortier aussi dur que la pierre de Portland. Cette élaboration fut reprise par ses successeurs. Ainsi fut introduite progressivement dans le langage l'appellation de ciment Portland.
- En 1817, le Français Louis Vicat, étudiant scientifiquement et non plus empiriquement, comme ses prédécesseurs, les chaux hydrauliques, découvrit les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur.
- En 1824, l'Anglais Aspdin prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de Portland, mais celui-là comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement
- en 1845 que l'Anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit. À la fin du XIX^e siècle, en France, Le Chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments ; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'Américain Bogue au XX^e siècle.
- En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granulé ajouté au ciment, et, après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention [2].

I.4. Définition du ciment Portland

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui après durcissement, conservera la résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment conforme à la présente norme, appelé ciment CEM, mélangé avec des granulats et gâché avec de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve son ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance prescrits et aussi présenter une stabilité de volume à long terme.

Le durcissement hydraulique du ciment CEM est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tels que, par exemple les aluminates.

Dans les ciments CEM, la somme des quantités relatives d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit représenter une proportion au moins égale à 50 % en masse, lorsqu'elles sont déterminées selon le Norme Nationale 196-2. Les ciments CEM sont constitués de différents matériaux et sont de composition statistiquement homogène du fait d'une assurance qualité couvrant les processus de production et de manutention.

Le lien entre ces processus de production et de manutention et la conformité du ciment à la présente norme est défini dans le Norme Nationale 197-2 [3].

I.5.Composant du ciment portland

I.5.1. Clinker

Le clinker constituant essentiel du ciment portland; formé de silicates et d'aluminates de chaux [4]. C'est le résultat d'une cuisson à haute température 1450°C (la zone de clinkérisation) du mélange calcaire (80%) +argile (20%) [5]. les éléments simples la chaux, silice, l'alumine et oxyde de fer (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique (C₃S): 3CaO. SiO₂ (Alite).
- Silicate dicalcique (C₂S): 2CaO. SiO₂ (Bélite).
- Aluminate tricalcique (C₃A): 3CaO.Al₂O (Célite).
- Ferroaluminate calcique (C₄AF): 4CaO.4Al₂O3Fe₂O₃ (Félite).

Les silicates de calcium C₃S et C₂S représentent à peu près 75% de masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm³/g et plus pour les ciments a forte résistance au jeune âge [6].



Figure I.3 : Clinker.

Les tableaux suivant rassemblent la masse et la teneur en composés minéralogique du clinker :

Tableau I.1: Composition minéralogique du clinker [7].

Composants minéralogique	La masse en %	Teneur moyenne (%)
C_3S	40-70	60
C_2S	00-30	15
C_3A	02-15	08
C_4AF	00-15	08

Tableau I.2: Composition chimique du clinker [7].

Oxydes	La masse en %	Teneur moyenne (%)
CaO	60-69	65
SiO_2	18-24	21
Al_2O_3	04-08	06
Fe_2O_3	01-08	03
MgO	<05	02
K_2O ; Na_2O	<02	01
SO_3	<03	01

Il est clair que les quatre oxydes CaO, SiO_2 , Fe_2O_3 et Al_2O_3 représentent plus de 95% de la composition chimique du clinker. On les appelle les oxydes majeurs. Par contre les oxydes mineurs les plus importants dans le ciment sont: La magnésie (MgO) ; Les oxydes alcalins (K_2O) et le (Na_2O) ; L'anhydride sulfurique (SO_3).



Figure I.4 : Composants du clinker.

I.5.2. Gypse

Le clinker pur très fin est caractérisé par de courts délais de prise (3 à 5 min), ce qui le rend pratiquement inutilisable. Ceci est principalement dû au fait que la célite (C_3A) s'hydrate rapidement alors que ses hydrates deviennent rapidement compacts et cristallisent. Il s'ensuit que les hydroaluminates de calcium doivent être mélangés avec d'autres composés pour ralentir la prise du ciment. Ce rôle peut bien être joué par le gypse qui réagit avec l'hydroaluminate tricalcique et produit un sel insoluble l'hydrosulfoaluminate de calcium ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$) [8].



Figure I.5 : Gypse.

I.5.3. Ajouts minéraux

Selon les normes (ASTM C125, ASTM C219), les ajouts minéraux sont, par définition, « des matériaux autres que l'eau, agrégats, ciment et acier de renfort, utilisés comme ingrédient de béton ou de mortier, et ajoutés, immédiatement avant ou pendant le malaxage ». En outre, ce terme inclue des matériaux qui sont additionnés au ciment Portland, en quantités limitées et excédant 5 % de son poids, au cours de sa fabrication ou de son utilisation pour modifier les propriétés d'usage du produit fini (mortier ou béton), telles que la maniabilité à l'état frais ou la résistance mécanique et la durabilité, à l'état durci [9].

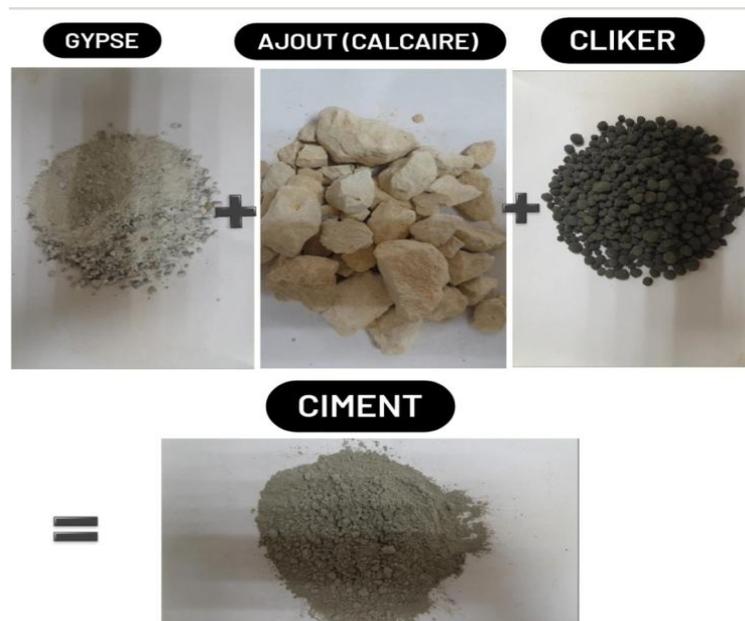


Figure I.6 : Composants de ciment.

I.6. Etapes de fabrication de ciment

Le processus de fabrication du ciment peut se diviser en deux étapes. La première concerne la fabrication du clinker. La deuxième étape consiste à broyer finement ce clinker avec d'autres constituants minéraux pour obtenir un ciment avec des propriétés bien déterminées.

I.6.1. Première étape de la fabrication : l'élaboration du clinker

Les matières premières qui apportent les oxydes nécessaires pour synthétiser le clinker sont issues de carrières. Le calcaire est la matière première principale: elle est ajoutée à raison de 75 à 80% dans le mélange cru. Il contient majoritairement de la calcite $CaCO_3$. Les autres oxydes sont en général apportés par l'argile (S, A), le sable (S) et le minerai de fer (F).

Les carrières de calcaire et d'argile sont proches de la cimenterie pour éviter des coûts de transport trop élevés. Les matières premières sont concassées afin de disposer de grains de taille inférieure à 50 mm. Un mélange de 80% de calcaire et de 20% d'argile est réalisé dans un hall de préhomogénéisation. La préhomogénéisation assure la microhomogénéité du mélange cru ainsi que sa régularité de composition chimique. Il s'agit de paramètres essentiels pour l'économie du procédé de fabrication.

La matière crue est reprise dans les tas de préhomogénéisation par des roues-pelles, puis elle est broyée et séchée. A ce stade, des ajouts peuvent être nécessaires pour ajuster la composition du mélange cru. Ainsi de l'alumine peut être apportée grâce à de la bauxite ou du Laitier de haut-fourneau. Le refus au tamis de 160 μm doit être inférieur à 1,5%. Le broyeur à cru assure également le séchage de la mouture, appelée aussi farine.

L'étape de cuisson du cru comporte deux phases: une phase de décarbonatation partielle de la poudre crue dans un précalcinateur, et une étape de cuisson dans un four rotatif.

Le préchauffeur est une succession d'échangeurs à cyclone, qui chauffent progressivement la farine arrivant par le haut, de 50°C jusqu'à 850°C. Ce sont les gaz chauds provenant du four rotatif qui assurent ce préchauffage. Cette étape assure la décarbonatation partielle du cru avant l'entrée dans le four.

Le four cylindrique, de longueur comprise entre 40 et 70 mètres, tourne à la vitesse de 1,5 à 3,5 tr/min. Grâce à la légère inclinaison du four, la matière transite pendant 30 à 60 minutes, vers la partie la plus chaude à 1450°C. Dès l'entrée dans le four à 1050°C, des réactions se produisent. La matière achève sa décarbonatation et subit plusieurs réactions à l'état solide jusqu'à 1250°C. Puis un ensemble de réactions solide-liquide, constituant la clinkérisation, mènent à la formation des minéraux constitutifs du clinker.

Le refroidisseur fige par trempe, le clinker dans l'état où il se trouve aux hautes températures de cuisson. La vitesse de refroidissement, particulièrement aux hautes températures, affecte le mode et la texture de cristallisation des composés du clinker, et par là-même, leur réactivité. Le choc thermique au cours du refroidissement provoque aussi un réseau de microfissures, qui sera utile par la suite, car il favorise le broyage du clinker.

I.6.2. Deuxième étape de la fabrication : le broyage du clinker

A la sortie du four, la granulométrie du clinker est trop grossière pour que sa réactivité soit suffisante. Le broyage du clinker développe les propriétés hydrauliques du ciment et lui

confère ses principales propriétés rhéologiques. A cette étape, différents minéraux naturels ou artificiels sont ajoutés simultanément pour ajuster la composition du mélange. Ainsi, 5% de sulfate de calcium sont ajoutés sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) ou d'hémihydrate ($\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$) ou d'un mélange des deux. Ce composé sert à réguler la prise du ciment en agissant sur la réaction d'hydratation du C_3A .

Le clinker et ses additifs sont réduits finement dans un broyeur à boulets. Celui-ci comporte un compartiment dégrossisseur et un compartiment finisseur. Un séparateur à cyclone récupère les plus fines particules afin que le broyage soit plus efficace. Une valeur de surface spécifique courante du ciment après le broyage - mesurée par la méthode de Blaine - est de $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$. Pour atteindre cette surface, appelée finesse, une énergie électrique spécifique de l'ordre de 50 kWh/T doit être fournie.

Le ciment est ensuite stocké en silos, puis conditionné pour l'expédition en sacs ou en vrac (dans des conteneurs ou dans des bateaux à cale compartimentée) [10].

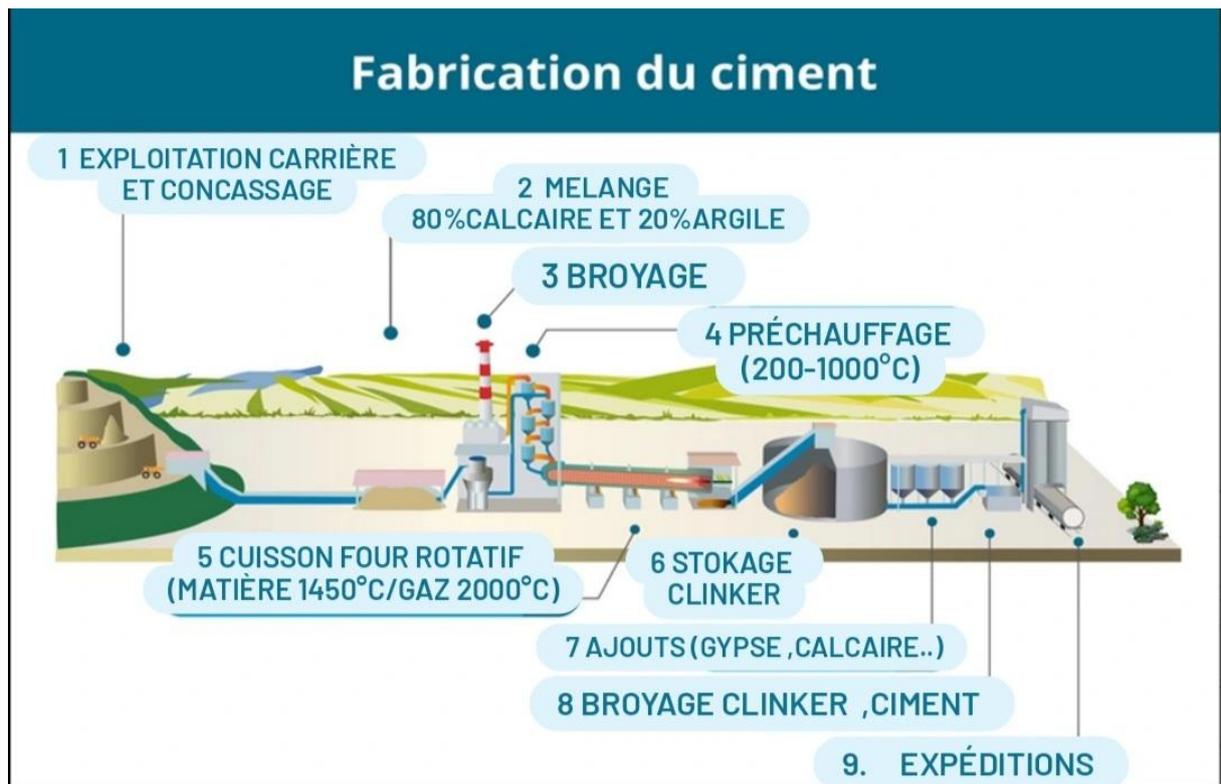


Figure I.7: Etapes de fabrication du ciment [1].

I.7. Type du ciment en fonction de leur composition

Selon la norme européenne [NF EN 197-1] on distingue plusieurs types de ciment, classés d'une part en fonction de l'absence ou de la présence de constituant secondaire, et d'autre part, suivant la nature et les proportions comme suit:

Tableau I.3 : Les cinq types de Ciments et leur composition [11].

Type de ciment	Notation	Pourcentage du clinker (%en poids)	Composants principaux (%en poids)	Composants secondaire (%en poids)
Ciment portland	CEM I	95-100	0	0-5
Ciment portland composé	CEM II	65-94	6-35	0-5
Ciment de haut fourneau	CEM III	5-64	36-95	0-5
Ciment pouzzolanique	CEM IV	45-89	11-55	0-5
Ciment au laitier et aux cendres	CEM V	20-64	36-80	0-5

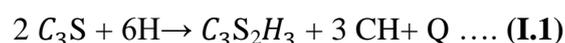
I.8. Hydratation du ciment

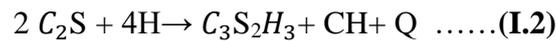
Lorsqu'il rentre en contact avec l'eau, les constituants du ciment forment des hydrates qui précipitent et conduisent à l'obtention d'une pâte fluide qui se transforme assez rapidement en une masse durcie [1;12]. Le mécanisme réactionnel du ciment est très complexe, car il est gouverné par un ensemble de réactions d'hydratation qui interagissent entre elles [1; 13].

Le comportement durant les premiers stages de l'hydratation est lié aux réactions des phases aluminates, en particulier de la phase C_3A . La prise et le développement de la résistance sont dépendants de l'hydratation des silicates, en particulier de la phase C_3S [14]. De plus, l'hydratation est modifiée lorsque le ciment portland contient des constituants secondaires (laitier de haut fourneau, cendres volantes, pouzzolanes...) ou des adjuvants chimiques (accélérateurs, retardateurs) [15;16].

I.8.1. Hydratation du C_3S et du C_2S

Les phases minérales C_3S et C_2S se dissolvent au contact de l'eau et donnent des ions calcium Ca^{2+} , des hydroxydes OH^- , et des ions silicates $HSiO_4^{2-}$. Au cours de l'hydratation, se forme l'hydroxyde de calcium (CH) appelé portlandite et un gel de silicate de calcium hydraté (C-S-H) appelé tobermorite. Les réactions des silicates bicalciques et tricalciques avec l'eau peuvent être schématisées par les équations (I.1) et (I.2). Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation [13].



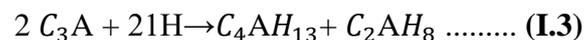


La réaction d'hydratation du silicate bicalcique est approximativement la même que celle de C_3S ; elle est cependant plus lente. De plus la quantité de portlandite formée est plus faible [13]. Seule la cinétique de l'hydratation des C_2S et des C_3S est différente, et leurs résistances à long terme sont comparables [17].

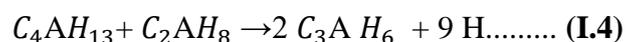
La portlandite ($Ca(OH_2)$) se présente sous forme de plaquettes hexagonales, elle possède une structure essentiellement cristalline. C'est le seul produit d'hydratation ayant une stœchiométrie et une structure bien définie [18]. Lorsque la concentration en hydroxyde de calcium est au-delà de la limite de solubilité (22 mmole/l), celle-ci précipite [19;20]. La portlandite est soumise à un mécanisme de dissolution-précipitation continu dans la structure poreuse de la pâte de ciment. Elle est éventuellement susceptible d'être lessivé et carbonaté [21].

I.8.2. Hydratation du C_3A et du C_4AF

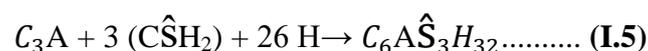
La réaction du C_3A avec l'eau est très rapide et très exothermique. En absence de (gypse et/ou hémihydrate) la réaction (I.1) conduit à la formation d'aluminates de calcium hydrates hexagonaux et instables. Ce qui provoque la prise éclair du ciment, d'où un problème de mise en œuvre dans les ouvrages.



Etant donné l'instabilité thermodynamique de ces hydrates, ils se transforment spontanément en aluminate tricalcique plus stable, selon la réaction suivant :

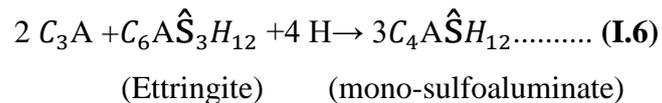


En présence d'une quantité suffisante de gypse, le C_3A et le gypse se dissolvent rapidement en ions Ca^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} , OH^- , la solution est ainsi saturée par rapport aux hydrates, et les ions se combinent instantanément pour former des cristaux d'ettringite primaire ou trisulfoaluminate de calcium (TSA) selon la réaction suivante:



Une partie de ces aluminiums peut également être présente dans les C-S-H. Ces ions aluminates dans le ciment hydraté peuvent aisément remplacer les ions silicates dans le C-S-H. pour donner de la géhlénite hydratée notée (C-S-A-H) [22].

Lorsque le gypse est totalement consommé, généralement 10 à 24 heures après le gâchage. L'ettringite se dissout et devient une nouvelle source d'ions sulfates pour former avec les aluminates excédentaires ou mono-sulfoaluminate du calcium hydraté (MSA). Le gypse en excès dans le ciment peut réagir avec le C_3A après la prise et provoquer des fissures suite à la formation du sulfoaluminate. Pour cela, la quantité doit être suffisante pour l'hydratation du C_3A , et tenir compte de la finesse du clinker. Plus ce dernier est broyé finement, plus la quantité du gypse doit être importante [23].



Le C_4AF réagit comme le C_3A , mais la vitesse de la réaction d'hydratation est beaucoup plus lente et le dégagement de chaleur est plus faible. Il semble que ce composé contribue très peu au développement de la résistance.

En présence du gypse, il y a formation d'ettringite puis du mono-sulfoaluminate lorsque le Gypse est épuisé [24].

Chapitre II :
Les adjuvants

Chapitre II : Les adjuvants

II.1. Introduction

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment portland, on a commencé les recherches sur l'incorporation de produit susceptible d'améliorer certaines propriétés. A partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés, ils seront suivis par les antigels et les produits de cure.

Le développement des normes d'adjuvants, à partir 1984 à la mise en place d'une certification par la marque NF adjuvants, véritable label de qualité. Il faut enfin préciser que

Les adjuvants ont permis des progrès considérables en matière de bétons [25].

II.2. Définition

L'usage des adjuvants s'est généralisé dans l'élaboration des bétons et mortiers depuis plusieurs décennies.

Les adjuvants sont des produits organiques et inorganiques, se présentant le plus souvent sous forme liquide à température ordinaire, incorporés à faible dose (moins de 5 % de la masse du ciment), en général lors du malaxage et destinés à améliorer les propriétés d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis, à l'état frais ou durci. Chaque adjuvant est ainsi désigné par sa fonction principale. Il présente en outre une ou plusieurs fonctions concomitantes appelées fonctions secondaires, et entraîne parfois des effets non directement recherchés. Les grandes familles de fonctions remplies peuvent être rangées en trois catégories regroupant dix-sept types d'adjuvants.

On utilise les adjuvants surtout pour :

- Diminuer le coût des constructions en béton.
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens.
- Assurer la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et la cure dans des conditions météorologiques défavorables.
- Obéir à certaines urgences durant le bétonnage.
- Amélioration des résistances des bétons faiblement dosés en ciment [26].

II.3. Types des adjuvants

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme NF EN 934-2 :

II.3.1. Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier

II.3.1.1 Plastifiants et fluidifiants

Les plastifiants et les fluidifiants sont de loin les adjuvants les plus utilisés pour la confection du béton et mortier. Leur efficacité est illustrée par la figure (II.1). Pour un rapport E/C constant, l'utilisation de ces adjuvants améliore l'ouvrabilité du béton. Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport E/C si l'ouvrabilité est maintenue constante, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité. On peut aussi, mais avec une moindre efficacité, conjuguer les deux effets, soit obtenir une amélioration de l'ouvrabilité tout en diminuant le rapport E/C. En conséquence, les plastifiants et fluidifiants permettent d'optimiser la recette du béton et mortier en termes d'ouvrabilité et de propriétés du béton et mortier durci.

Comme effet secondaire possible de ces adjuvants, on observe parfois un effet retardateur de prise. D'une manière générale, l'efficacité des adjuvants est étroitement dépendante des caractéristiques du ciment et de la composition du béton ou mortier. C'est pourquoi il est recommandé de vérifier la compatibilité et l'efficacité de chaque combinaison adjuvant – ciment au moyen d'essais préliminaire [28].

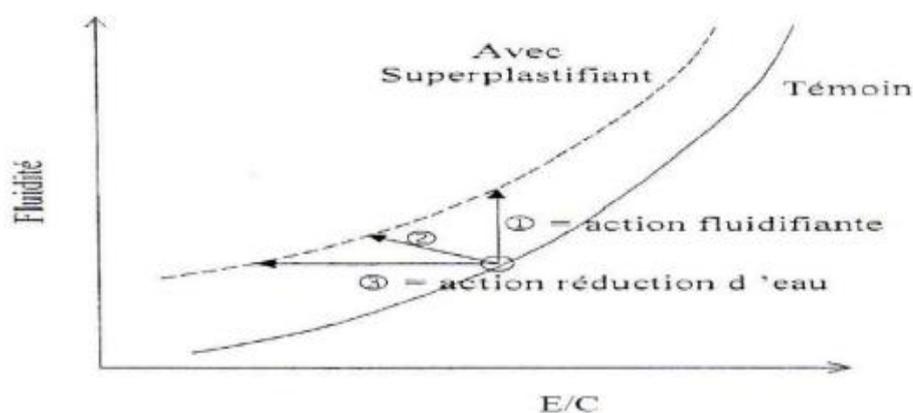


Figure II.1 : Efficacité de superplastifiant [27].

L'action principale des superplastifiants est de défloculer les grains de ciment .une action de répulsions électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présenter a la surface des grains et /ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaines moléculaires très longue.

L'eau piégée par les floccs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton et mortier la figure (II.2) .il est alors possible de mettre en œuvre des bétons et des mortiers très fluides, avec des rapports E/C faible.

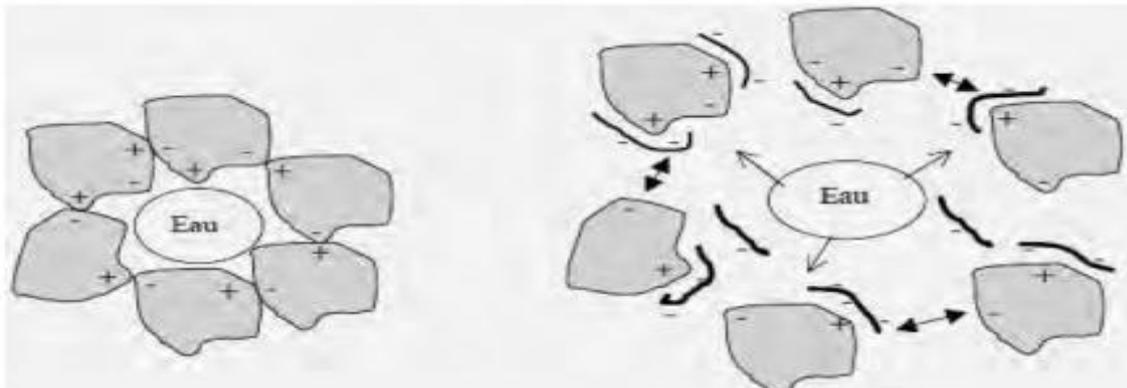


Figure II.2 : Action des superplastifiants-défloculation des grains de ciment [28].

II.3.2. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution. Physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé [29] :

II.3.2.1. Accélérateurs de prise et durcissement

Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement avancent le début de prise ou accélèrent le processus de durcissement en libérant la chaleur d'hydratation plus rapidement. L'hydratation étant plus rapide, le béton peut être décoffré, mis en charge ou exposé au gel plus tôt. L'effet des accélérateurs dépend beaucoup de leur composition chimique et de celle du ciment utilisé. En cas de surdosage, on peut observer une inversion du phénomène recherché, c'est-à-dire un ralentissement au lieu d'une accélération de la prise ou du durcissement. Les accélérateurs entraînent souvent une perte plus ou moins importante de la résistance finale du béton ou mortier.

Ces adjuvants peuvent avoir une influence majeure sur les caractéristiques du béton frais et durci. Leurs effets se basent sur des réactions chimiques et/ou physiques très complexes.

II.3.2.2. Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise ont pour effet de retarder le début de la prise du ciment et de prolonger ainsi le délai de mise en place du béton. Leurs applications principales sont les suivantes :

- bétonnage par temps chaud
- transport du béton sur de longues distances
- bétonnage de gros volumes ou de grandes surfaces

Un béton avec retardateur de prise durcit moins vite au jeune âge, mais sa résistance à 28 jours est souvent un peu plus élevée que celle d'un béton sans retardateur. Du fait de son durcissement initial ralenti, un béton avec retardateur de prise nécessite une cure prolongée et particulièrement attentive. Comme l'effet recherché dépend beaucoup du type de retardateur, mais aussi du ciment utilisé et de la température ambiante, il est indispensable de procéder à des essais préliminaires, en particulier à différentes températures. En cas de surdosage, l'effet du retardateur de prise peut s'inverser et devenir accélérateur [32].

II.3.3. Adjuvants modifiant les propriétés physiques

II.3.3.1. Hydrofuge de masse

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, mortiers ou coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton qui peut néanmoins se modifier au bout de quelques années. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines ainsi que des agents fluidifiants [29].

II.3.3.2. Entraîneurs d'air

Le rôle des entraîneurs d'air est d'incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300 μm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel - dégel. Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du

ressuage. Du fait de leur nature chimique particulière, les entraîneurs d'air ont la capacité d'introduire des bulles d'air de la dimension voulue dans le béton et de les stabiliser [31].

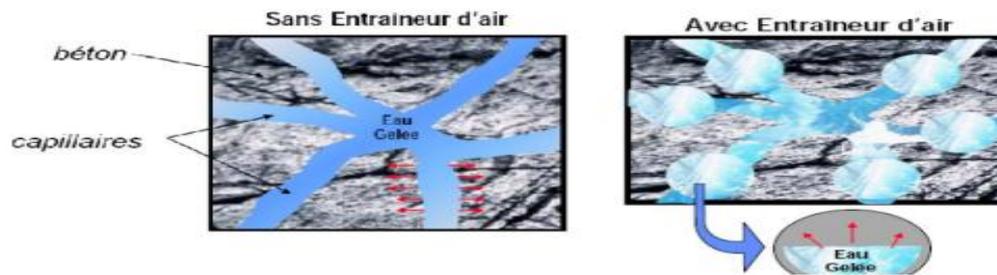


Figure II.3 : Action d'entraîneur d'air [31].

Le tableau ci-dessous résume les principales applications des adjuvants organiques :

Tableau II.1 : les utilisations des principaux adjuvants [30]

Adjuvant	Utilisation
Superplastifiant	<ul style="list-style-type: none"> • Préfabrication • Bétons à hautes résistances • Béton très ferrailé
Plastifiant	<ul style="list-style-type: none"> • Transport pneumatique du béton (béton pompé) • Béton coulé sous l'eau (délavage diminue) • Béton maigre blancs • Béton routier • Sables manquant de fines • Béton très ferrailé • Injection (coulis et mortiers)
Accélérateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Décoffrage rapide. Temps froid-préfabrication • Travaux d'étanchement, cachetage. • Travaux à la mer (entre deux marées) • Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes scellements
Retardateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Temps chaud • Injection a grande profondeur • Voile d'étanchéité • Transport de béton sur logue distance • Parois moulées dans le sol, coulage en continu
Entraîneurs d'air	<ul style="list-style-type: none"> • Routes, barrages, ponts-travaux maritimes • Ouvrages exposés au gel, à l'action des eaux agressives, bétons extrudés (ex, glissières de sécurité en béton-bordures)

II.3.3.3 Rétenteurs d'eau

Permettent de réguler l'absorption de l'eau par un support et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange [33]. Et le tableau ci-dessous montre l'action du rétenteur d'eau.

Le tableau ci-dessous présente l'action des rétenteurs d'eau :

Tableau II.2 : Action des rétenteurs d'eau [33].

Dosage	Généralement < 0.5%
Effet sur la mise en œuvre	Diminution du ressuage de 50%
Résistance à toutes les échéances	Par rapport au témoin, légère diminution possible
Effets secondaires favorables	Amélioration de la rhéologie dans le cas d'un manque en élément fins

II.4. Superplastifiants

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, comme des matériaux qui sont ajoutés au béton 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.

L'apparition des bétons auto plaçant est fortement liée au progrès réalisés dans le domaine des adjuvants est plus particulièrement celui des superplastifiants, pendant le gâchage une grande quantité d'eau est emprisonné entre les particules. Afin d'obtenir une fluidité suffisante, les superplastifiants sont souvent utilisés. Ils permettent d'éviter l'agglomération des particules de ciment et de libérer l'eau emprisonnée dans ces agglomérations [34]. Les deux figures ci-dessous montrent l'action de superplastifiant sur le ciment :

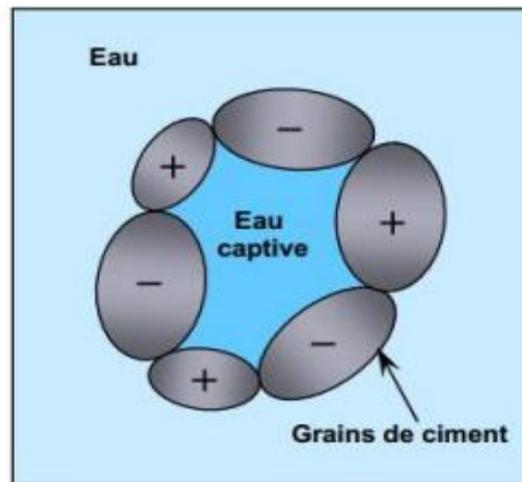


Figure II.4 : Ciment sans superplastifiant (Floculation des grains).

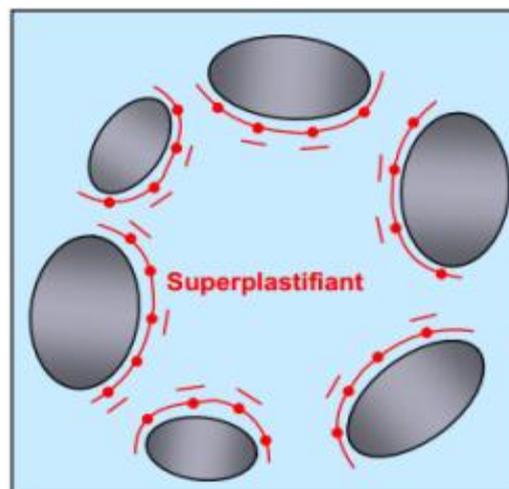


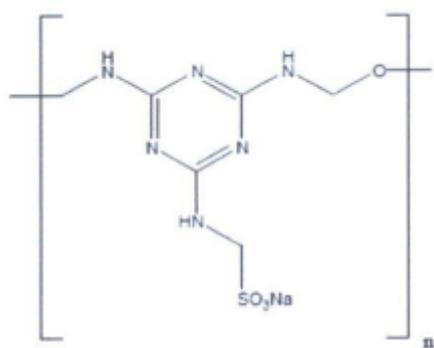
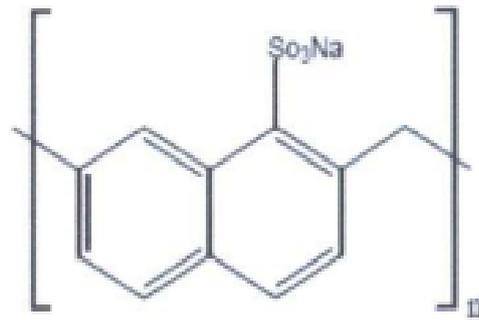
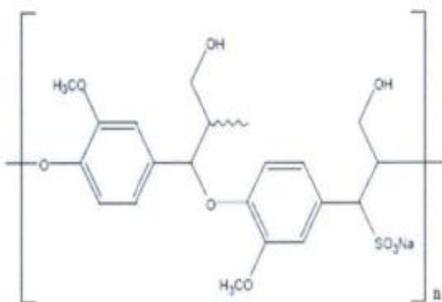
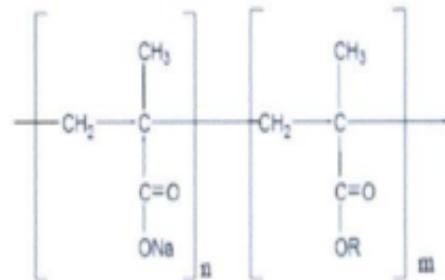
Figure II.5 : Ciment avec superplastifiant (Dispersion des grains).

II.5. Différentes classes des superplastifiants

Les superplastifiants sont des polyelectrolytes organiques, appartenant à la catégorie des dispersants polymériques.

Les superplastifiants sont généralement classés en quatre groupes :

- Les polycondensats de formaldéhyde et de mélamine sulfonée (PMS).
- Les polycondensats de formaldéhyde et de naphtalène sulfoné (PNS).
- Les lignosulfonates modifiés (MLS).
- les autres incluant les esters d'acides sulfoniques, les polyacrylates et les polycarboxylates [34].

**PMS****PNS****Lignosulfonate modifié****Polycarboxylate****Figure II.6** : Les différentes classes superplastifiantes [33].

II.6. Mode d'action

Le pouvoir fluidifiant des superplastifiants s'exerce par une combinaison de phénomènes physiques se produisant instantanément (à $t = 0$) [36]. Ces processus sont l'adsorption des super plastifiants, la répulsion électrostatique et l'encombrement stérique. La dispersion des particules de ciment par les superplastifiants conduit à une évolution des propriétés rhéologiques des pâtes et mortiers de ciment.

II.6.1. Adsorption sur les grains de ciment

Les molécules de superplastifiant doivent d'abord s'adsorber à la surface des grains de ciment et, seulement après, elles peuvent exercer leur pouvoir fluidifiant.

Une pâte de ciment peut être envisagée comme une dispersion de particules colloïdales dans l'eau. La surface des grains de ciment porte des charges électriques, lesquelles ont pour origine des imperfections de la structure cristalline, des liaisons dissociées ou des ions adsorbés. Cette charge confère à la particule un potentiel de surface, appelé potentiel de Nernst. Les électrolytes, présents dans la phase aqueuse, vont alors former une couche autour de la particule afin de neutraliser ce potentiel électrostatique et stabiliser ainsi la dispersion. Cette couche est appelée la double couche électrochimique.

La particule est entourée par une couche fixe de molécules d'eau et d'ions adsorbés sous l'effet de l'attraction électrostatique. Cette couche est appelée couche de Stern, elle se divise en deux couches distinctes : les couches d'Helmholtz interne et externe. La couche d'Helmholtz interne est formée d'anions non solvatés. La couche d'Helmholtz externe est constituée par une monocouche de cations solvatés. En raison de leur taille relativement importante, les ions ne peuvent pas neutraliser complètement la charge de la particule colloïdale. La compensation est réalisée au sein de la couche diffuse. Dans cette couche, les ions sont mobiles et leurs concentrations évoluent avec la distance, de telle façon qu'à la fin de la couche diffuse, l'électro neutralité est atteinte.

Expérimentalement, la mesure directe du potentiel de surface des particules colloïdales est impossible. Par contre, il est possible de mesurer la différence existant entre le potentiel à la surface de cisaillement dans la couche diffuse et le potentiel de la solution.. L'adsorption des polymères organiques des superplastifiants à la surface des grains de ciment repose sur l'attraction électrostatique entre les groupements anioniques de l'adjuvant ($-\text{SO}_3^-$, $-\text{COO}^-$) et les domaines positivement chargés de la double couche électrochimique.

Il s'agit ainsi d'un mécanisme de physisorption. Ce processus montre un plateau d'adsorption, lequel est appelé point de saturation de surface et correspond grossièrement à la quantité de superplastifiant permettant la fluidité optimale. L'adsorption des superplastifiants est influencée par les caractéristiques physico-chimiques du ciment. Il a été rapporté que l'adsorption des polymères est meilleure lorsque la finesse du ciment est élevée [36]. Par ailleurs, les différentes phases cimentaires n'adsorbent pas les mêmes quantités de superplastifiant. Cela a pour origine les différents potentiels de ces composés. D'après Yoshioka et al. [38], les phases silicates, C_3S et C_2S , ont un potentiel négatif de l'ordre de -5 à -10 mV. Par contre, les phases aluminates, C_3A et C_4AF , ont un potentiel situé entre 5 et 10

mV. Les superplastifiants négativement chargés ont donc une plus grande affinité pour les phases aluminates.

En ce qui concerne le superplastifiant, les différents paramètres de sa structure chimique, groupement anionique, densité de charge et longueur des chaînes carbonées, ont des répercussions sur le processus d'adsorption :

- **Groupement anionique**

L'ancrage des polymères sur les grains de ciment a lieu par l'intermédiaire des groupements anioniques. Hirsch [39] rapporte, à ce sujet, que les groupements carboxylate s'adsorbent plus fortement que les groupements sulfonate.

- **Densité de charges**

Plus le nombre de groupement chargé par molécule est important, meilleure est l'adsorption [39].

- **Longueur des chaînes carbonées**

D'après Blask [41], les polycarboxylates ayant une longue chaîne principale et de courtes chaînes secondaires présentent l'adsorption la plus importante. D'une part, le nombre de groupes —COO- augmente avec l'allongement de la chaîne principale et, d'autre part, l'encombrement stérique généré par les longues chaînes secondaires peut gêner l'adsorption.

II.6.2. Répulsion électrostatique

La dispersion engendrée par les superplastifiants de type polysulfonate est majoritairement due à la répulsion électrostatique. Les superplastifiants s'adsorbent à la surface des particules de ciment par des interactions coulombiennes, des forces de Van der Waals ou des liaisons hydrogènes. En se fixant sur les grains de ciment, les polymères anioniques changent la charge des particules de ciment.

Entre chaque grain de ciment occupé par les polymères, une force répulsive se forme en raison des charges identiques. Cette force provoque une forte dispersion des particules et empêche ainsi la coagulation [43]. La dispersion des grains de ciment est représentée schématiquement dans la figure (II.7) :

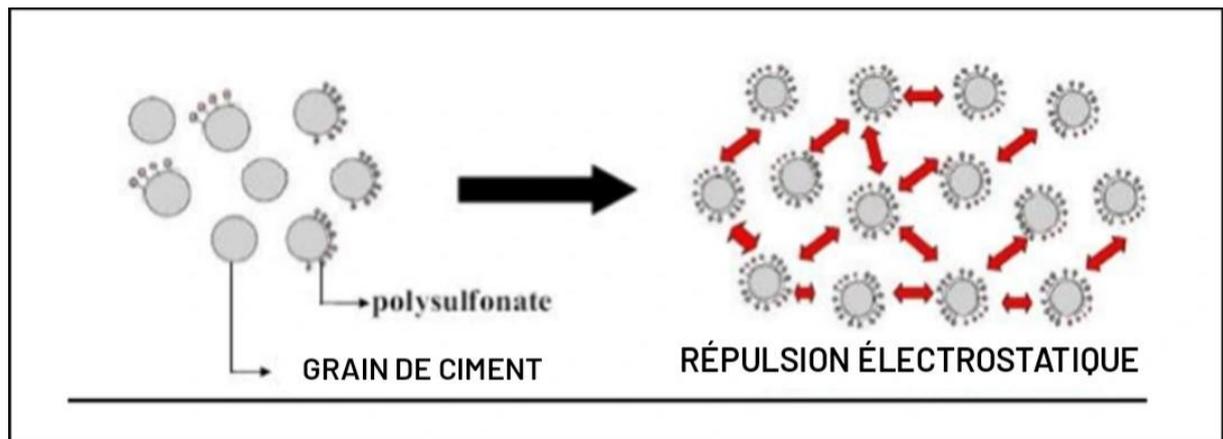


Figure II.7 : Dispersion des grains de ciment par la répulsion électrostatique [43].

Le potentiel représente une valeur approchée de la force électrostatique et permet ainsi d'étudier la stabilité d'une suspension de ciment. Il a ainsi été avancé que l'intensité de la force répulsive est intimement liée à la structure moléculaire de l'adjuvant. Uchikawa et al. [38] ont montré de cette façon que plus le nombre de groupements anioniques est élevé, plus le potentiel est important et donc plus la répulsion est forte.

II.6.3. Encombrement stérique

L'encombrement stérique est le type de répulsion créée par les superplastifiants de type polycarboxylate. Les polymères anioniques s'adsorbent à la surface des particules et les chaînes secondaires s'étendent aux alentours. Lors du rapprochement de deux grains de ciment, les couches d'adsorption des superplastifiants se chevauchent. La densité de chaînes augmente et les molécules d'eau vont s'accumuler dans la solution. Cela a pour conséquence l'apparition d'une pression osmotique, laquelle maintient les particules séparées l'une de l'autre. L'encombrement stérique apparaît dès que la distance entre les polymères adsorbés est inférieure à deux fois l'épaisseur des polymères.

L'encombrement stérique est donc une force purement répulsive, qui n'agit que si les molécules sont très proches [41]. La figure (II.8) donne une représentation schématique de cette interaction dans une suspension de ciment.

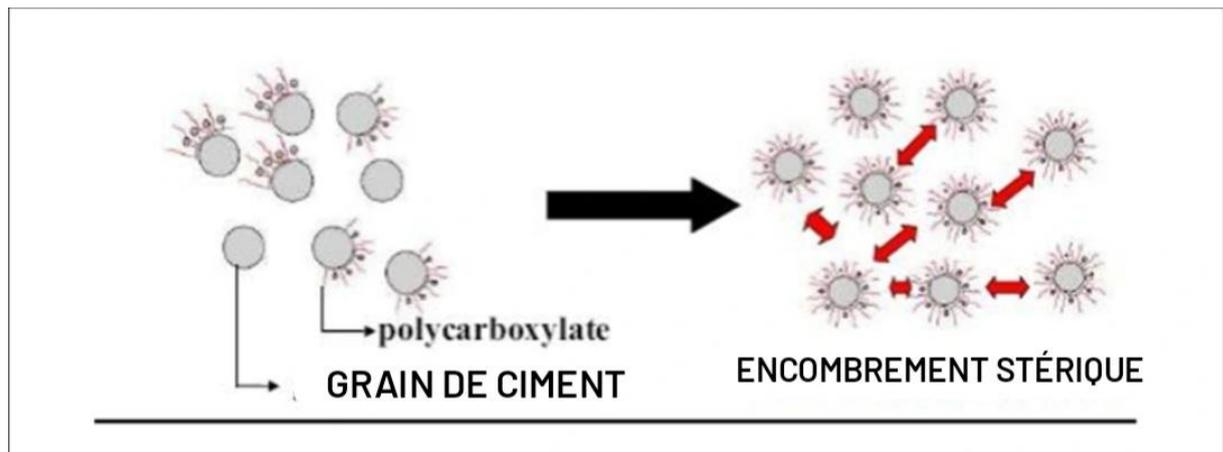


Figure II.8: Dispersion des grains de ciment par l'encombrement stérique [41].

Les premières indications expérimentales de l'effet stérique des polycarboxylates. Ils ont mené une étude comparative des potentiels (de pâtes de ciment contenant différents types de superplastifiant. Il est ainsi apparu qu'en présence de polysulfonates, le potentiel est négatif, alors qu'avec des polycarboxylates, le potentiel est nul voire positif. Ces différences. À partir de la structure de la double couche électrochimique lors de l'adsorption de polycarboxylates.

L'adsorption des superplastifiants de type polycarboxylate provoque un élargissement de la couche de diffusion et/ou un déplacement de la surface de cisaillement. Pour de courtes Chaînes secondaires, la répulsion engendrée est, dans ces conditions, semblable à celle créée par les polysulfonates. Lorsque les chaînes secondaires s'allongent, le potentiel devient nul puis positif. Le potentiel fournit ainsi une évaluation approximative des proportions électrostatique et stérique dans la dispersion des polycarboxylates. Elles dépendent, par conséquent, de la longueur des chaînes secondaires et de la densité de charges anioniques de la chaîne principale [42]

II.6.4. Effets rhéologiques

En l'absence de superplastifiant, les particules de ciment s'agglomèrent en raison des charges opposées présentes à leur surface. Ce phénomène va se traduire par un seuil d'écoulement au niveau des propriétés rhéologiques. En présence de superplastifiant, les polymères organiques vont limiter l'agglomération des grains, ce qui aura pour conséquence une diminution voire une suppression du seuil d'écoulement. De plus, lors de la dispersion des particules, la structure floculée va se dissoudre et l'eau retenue à l'intérieur va être libérée, de

telle façon qu'elle pourra à nouveau contribuer à l'écoulement. La figure (II.9) reprend les effets des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques d'une pâte de ciment.

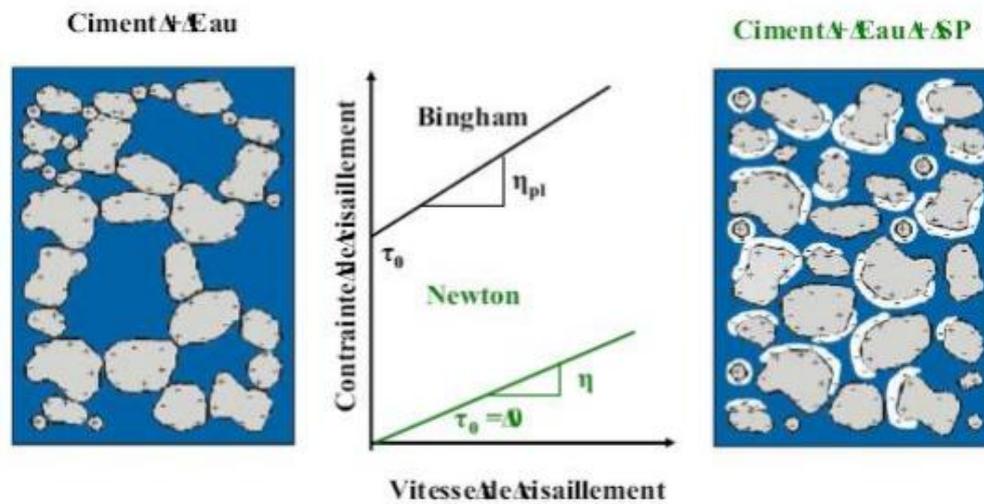


Figure II.9: Effet des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment [44].

La structure des superplastifiants de type polycarboxylate a une influence décisive sur leur pouvoir fluidifiant. Les longues chaînes secondaires conduisent, en général, à une fluidité plus grande et à une diminution de la viscosité plastique et du seuil d'écoulement. Par contre, un allongement de la chaîne principale a un effet négatif sur la fluidité. Il semble que ces effets s'expriment surtout pour de faibles rapports E/C.

Enfin, la concentration en superplastifiant est déterminante en ce qui concerne la stabilité des mélanges cimentaires. En effet, au-delà d'une concentration critique, les particules de ciment et les granulats sédimentent en raison de l'absence de seuil d'écoulement.

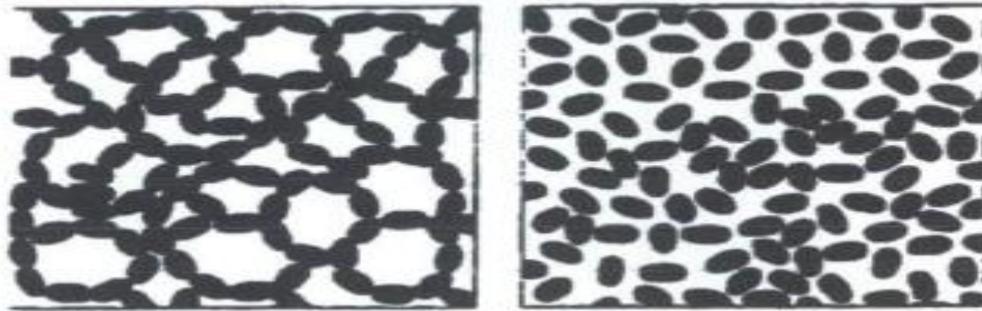
Les superplastifiants s'adsorbent à la surface des grains de ciment de la même manière quelle que soit leur nature. Par contre, la répulsion qu'ils engendrent une fois adsorbés diffère selon le type de polymère. Les superplastifiants de type polysulfonate agissent par une interaction électrostatique et ceux de type polycarboxylate par un encombrement stérique.

Dans les deux situations, la dispersion des particules se traduit par une amélioration des caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment. De nombreuses applications technologiques vont découler de cette propriété.

Donc, les différentes molécules font appel aux différents mécanismes de base pour disperser les grains de ciment ; par exemple, les polynaphtalènes et polyméamines sulfonés agissent surtout au niveau des forces de Van der Waals et de la force d'interaction de double couche, alors que les polyacrylates agissent principalement grâce à leur effet entropique [36].

II.7. Propriétés d'une pâte de ciment en présence de superplastifiant

Les superplastifiants sont utilisés pour leurs propriétés dispersantes. L'ajout de superplastifiant au béton frais facilite sa mise en place en augmentant sa fluidité. Par ailleurs, on peut les utiliser pour diminuer la quantité d'eau utilisée tout en gardant la fluidité constante (Figure II.10.b). Cela améliore la qualité du béton durci en diminuant sa porosité. Les superplastifiants ont une influence considérable sur la structure d'une pâte de ciment à l'état frais. En fait, en présence de superplastifiant, les particules de ciment sont dispersées plutôt que flocculées (Figure II.10. a.) [45].



(a) Flocculée « sans superplastifiant » (b) dispersée « avec superplastifiant »

Figure II.10: Schéma de la structure d'une pâte de ciment [46].

La dispersion et l'amélioration des propriétés rhéologiques du ciment proviennent de la diminution des interactions attractives entre les grains. Cela leur permet de se déplacer plus facilement les uns par rapport aux autres. La fluidité du système devient alors plus grande.

Une augmentation de la concentration en superplastifiant par rapport au poids de ciment améliore davantage sa fluidité.

A partir d'un certain point cependant, chaque ajout supplémentaire n'a pas d'influence notable sur la fluidité du système. Il s'agit du point de saturation. A ce point, il n'est pas possible d'adsorber plus de superplastifiant à la surface des grains de ciment. Ceci peut provenir du fait que la couche de superplastifiant est complète ou d'une répulsion stérique trop grande en raison de la faible distance entre les particules [47].

II.8. Synthèse bibliographique sur l'impacte de Superplastifiant sur les propriétés physico-mécanique du Ciment

Le mortier adjuvanté a fait l'objet de nombreuses études, bien qu'il n'existe toujours pas de règle pour déterminer les effets de ces additifs.

De nombreux chercheurs ont étudié l'impact de Superplastifiant sur la pâte à ciment, l'une des conclusions les plus importantes des scientifiques :

- Puertas et al. [48] ont affirmé que l'utilisation de superplastifiant à base de polycarboxylate à des faibles concentrations améliore la résistance à la compression en diminuant la porosité de la pâte. Ils ont remarqué que l'apparition des pics est retardée avec une magnitude qui augmente avec le dosage en polycarboxylate.
- Magratto et al [49] ont étudié aussi l'amélioration de la compatibilité des nouveaux superplastifiants à base de polycarboxylates avec les ciments, ils ont prouvé que la nouvelle génération de superplastifiants à base polycarboxylates entraîne une forte réduction d'eau et un maintien de l'ouvrabilité optimal.
- Chandra et bjornstrom [50] ont montré en étudiant l'influence du type et du dosage en superplastifiant sur la fluidité des mortiers, que:
 - ✓ Les superplastifiants, même s'ils sont de la même famille, avaient des effets différents sur le comportement rhéologiques des mortiers à cause de leur composition de synthèse qui influençait leur poids moléculaire et leur configuration chimique.
 - ✓ Les mélanges cimentaires deviennent plus fluides avec l'augmentation du dosage en superplastifiants.
 - ✓ Les particules de ciment absorbe le Superplastifiant ce qui retarde le processus d'hydratation du ciment et augmente la fluidité des mortiers.

Chapitre III:
Matériel et méthodes

Chapitre III: Matériel et méthodes

III.1. Introduction

Ce chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés pour l'étude des ciments et mortiers adjuvantés et non adjuvantés. Les essais physico-mécaniques, et chimiques ont été réalisés au niveau de laboratoire de la société des ciments de la Mitidja S.C.M.I. ainsi qu'un test de l'étalement dans le laboratoire des matériaux au sein du département de génie civil à l'université de Blida 1.

L'objectif essentiel de cette partie expérimentale est d'étudier l'effet de l'ajout de superplastifiant sur les propriétés physico-mécaniques du ciment au calcaire.

III.2. Matériel utilisé

Pour confectionner les mortiers pour nos différents essais, nous avons utilisé du ciment, du sable et de l'eau de gâchage.

Les caractéristiques physico-chimiques des matériaux utilisés pour confectionner nos mélanges sont également présentées pour analyser et justifier ultérieurement les résultats d'essais.

III.2.1. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland avec ajout 15 % de calcaire sans adjuvant (agent mouture) de type CEM II 42,5 A de S.C.M.I de la cimenterie de Meftah.

Avant de commencer l'étude, nous avons fait des analyses pour les doseurs de ciment, présentés dans le tableau III.1 suivant.

Tableau III.1 : Analyse complètes des doseurs.

matières	Humidité (%)	Perte feu(%) 950°C	Chaux libre (%)	Composition chimique (%)							
				SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Clinker	/	/	0.62	21.6	5.53	3.66	66.3 2	0.84	0.25	0.49	0.30
Ajout	4.43	42.3	/	2.15	0.67	0.63	51.8	0.59	0.14	0.07	0.06
Gypse	4.58	/	/	4.88	1.55	0.89	28.2	3.44	35.2 9	0.24	0.17

III.2.2. Sable normalisé

Le sable normalisé est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les plus fines. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie. Il est séché, criblé et préparé dans un atelier moderne offrant toutes garanties de qualité et de régularité ; Il est conditionné en sacs de polyéthylène contenant chacun 1350 ± 5 g.



Figure III.1: Sable normalisé.

III.2.3. Eau de gâchage

L'eau ajoutée lors du malaxage du béton est généralement appelée eau de gâchage, doit être vérifiée par les trois critères (chimique, physique et mécanique) si elle présente un doute. Pour éviter tout risque nous avons opté pour une eau de gâchage qui est l'eau distillée qui ne présente aucun risque d'après la norme sus citée à une température comprise entre 20 et 25°C.

III.2.4. MEDAFLOW 30

Le MEDAFLOW 30 est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des mortiers ou bétons et il permet d'obtenir des mortiers et bétons de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton et mortiers d'une façon remarquable. Ces principales caractéristiques de sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Caractéristiques de MEDAFLOW 30.

Aspect	liquide
Couleur	Brun clair
pH	6 – 6.5
Densité	1.07 ± 0.01
Teneur en chlore	<0.1 g/l
Extrait sec	30%

**Figure III.2 :** MEDAFLOW 30.

III.3. MATERIEL ET METHODES

Notre but de ce travail, consacré à l'étude d'effet de superplastifiant sur le comportement des mortiers. Les analyses physico-chimiques et physico-mécaniques sont présentées dans l'ordre suivant :

Pour le ciment :

- La perte au feu (PAF).
- La chaux libre (CaO).
- La finesse.
- La Surface Spécifique de Blaine (SSB).
- Analyse de Ciments par Spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF).

Pour la pate de ciment :

- La consistance normale.
- Le début et fin de prise.
- L'expansion.

Pour mortier :

- La résistance a compression (pour 2,7 et 28 jours).
- L'étalement.
- La chaleur d'hydratation.

III.3.1. Analyse Physico-chimique de ciment

Nous avons utilisé 5 sacs de ciment afin d'étudier 5 échantillons (témoin, mix1, mix2, mix3, mix4) .et pour nous assurer de l'homogénéité de ces sacs. Nous avons effectué des tests physico-chimiques.

a) Perte au feu (PAF) (NA 235-2005)**➤ Mode opératoire**

Peser le creuset à utiliser et noté m1. Ensuite, ajouter (1±0.05 g) de ciment. Ensuite, peser le creuset avec son contenu et noté m2. Placer le creuset avec le couvercle et le contenu dans un four à une température de (975 °C±25 °C) pendant 5 minutes. Après cela, retirer le couvercle et laisser le creuset encore 15 minutes dans le four. Une fois les 20 minutes écoulées, sortir le creuset du four. Placer ensuite le creuset dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'il atteigne une température ambiante stable. Enfin, peser à nouveau m3.

➤ Expression des résultats

La perte au feu brute est calculée en pourcentage par la formule :

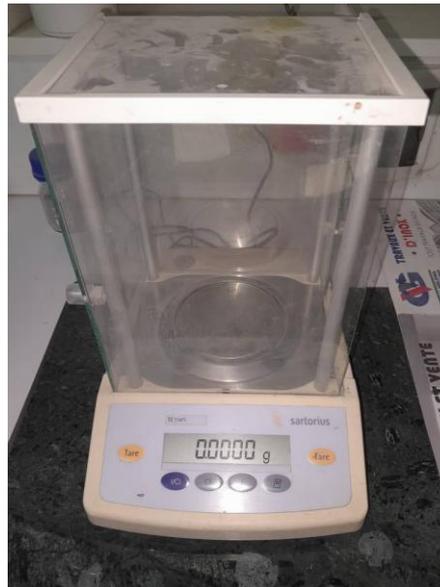
$$\% \text{Perte au feu brute} = [(m1 - m3) / (m2 - m1)] \times 100 \dots\dots\dots \text{(III.1)}$$

Avec :

m1 : La masse de creuset vide, en grammes.

m2 : La masse de creuset + 1 gramme de ciment, en grammes.

m3 : La masse de creuset + le ciment après la calcination, en grammes.

**Figure III.3 :** Four électrique.**Figure III.4 :** Balance électronique.**Figure III.5 :** Creuset.**b) Chaux libre CaO****➤ Mode opératoire**

Prendre 1 gramme de ciment séché à 110 °C et broyé à une vitesse de 800 tr/min pendant 3 minutes. Ensuite, placer cette quantité dans un Erlenmeyer de 250 ml et ajouter 50 ml d'éthylène glycol. Après avoir agité vigoureusement le mélange, le mettre dans un bain-marie préchauffé à 80 °C. Procéder ensuite à la filtration sous vide en utilisant un filtre, que vous titrez avec une solution de HCl 0,1 N en présence de bleu de bromothymol pour en

vérifier l'état. Enfin, placer le filtre sur une plaque chauffante et observer l'apparition d'une coloration violette, lire le volume V correspondant au changement de coloration.

➤ **Expression des résultats**

La chaux libre est calculée en pourcentage par la formule :

$$\% \text{ CaO libre} = \text{Fact} \times V \text{ (HCL)} \dots\dots\dots \text{(III.2)}$$

Avec :

Fact : facteur de solution 0.272

V : volume de solution dosé HCl 0.1 N [1].



Figure III.6: Ethylène glycol.



Figure III.7: Appareil Titrage.

c) **Finesse (NA 231-2016)**

➤ **Mode opératoire**

Peser 25 grammes de ciment, puis le tamiser à l'aide d'un pinceau sur un tamis de 45 μm , suivi d'un tamis de 90 μm . Les particules qui restent au-dessus de ces tamis correspondent au pourcentage des refus. Pour faciliter cette tâche, l'utilisation d'un appareil Alpine permet d'automatiser le calcul du pourcentage des refus. Cette méthode permet ainsi de quantifier les particules de ciment qui n'ont pas été suffisamment broyées, ce qui fournit des informations cruciales sur la performance du broyeur et le niveau de broyage du ciment.



Figure III.8 : Appareil Alpine.

d) Surface Spécifique de Blaine (SSB) (NA 231-2016)

➤ **Mode opératoire**

Placer la grille au fond de la cellule, puis fixer solidement un disque de papier filtre neuf sur la face intérieure d'une tige. Verser le liant dans la cellule à l'aide d'un entonnoir, veiller à ce que la couche supérieure du liant soit nivelée en donnant quelques légères secousses à la cellule. Ensuite, placer un autre disque de papier filtre neuf sur cette couche. Avec précaution, tasser la couche en utilisant le piston, éviter que la poudre ne remonte au-dessus du papier filtre, jusqu'à ce que le collier bute contre le haut de la cellule. Retirer lentement le piston. Vérifier que le niveau de liquide du manomètre affleure la marque inférieure. Appliquer de la vaseline sur la cellule. Tourner légèrement la cellule sur son support tout en assurant une répartition uniforme de la vaseline. Veiller à ne pas altérer la compaction de la couche pendant cette opération. Aspirer lentement l'air du tube à l'aide de la poire jusqu'à ce que le niveau de liquide atteigne la marque supérieure. Fermer le robinet. Démarrer un chronomètre précis au cinquième de seconde lorsque le niveau de liquide atteint la deuxième marque. Arrêter- le lorsque le niveau atteint la troisième marque.

L'utilisation de l'appareil de Blaine vous donne directement la valeur de la surface spécifique en (cm^2/g).



Figure III.9 : Appareil de Blaine.

e) Analyse de Ciments par Spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF)

(NA 5044-2005)

➤ **Mode opératoire**

Peser 10 g \pm 0.1g de ciment. Ensuite, ajouter 0,6 g de cellulose. Il est essentiel de choisir le programme de broyage approprié afin d'obtenir les résultats souhaités. Une fois le matériau broyé, veillé à le récupérer et à garantir son recyclage complet. Ensuite, placer l'anneau dans la pastilleuse (la figure III.10). La pastille ainsi formée est ensuite insérer dans l'appareil XRF, comme illustré dans la figure III.12. Enfin, procéder à l'analyse de la matière et consulter les résultats obtenus sur l'ordinateur.



Figure III.10 : Pastilleuse.



Figure III.11 : Pastille.



Figure III.12 : Appareil d'analyse XRF.

III.3.2. Analyses physico-mécaniques

Les concentrations ou les quantités des superplastifiants sont calculés par rapport à ciment, présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Quantités du superplastifiant utilisé par rapport au ciment.

Pourcentage SP %	0.5	1	1.5	2
Quantité (g) « par rapport à 500 g de ciment »	2.5	5	7.5	10
Quantité (g) « Par rapport à 450 g de ciment »	2.25	4.5	6.75	9
Quantité (g) « par rapport à 360 g de ciment »	1.8	3.6	5.4	7.2

Quant aux conditions de laboratoire des essais physico-mécaniques sont les suivantes :

Tableau III.4: Condition de laboratoire des essais physico mécanique (NA 442-2013).

Température de laboratoire	20±2°C
Humidité relative de laboratoire	Plus de 50%
Equilibre	±d'exactitude 1 gramme.
Temporisateur.	Seconde du ± 1 d'exactitude.
Cylindre gradué	± d'exactitude 1 ml.

III.3.2.1. Pate de ciment

a) Consistance normalisée (NA 230-2010)

➤ Mode opératoire

○ Malaxage de la pâte de ciment

Utiliser une balance précise à 1 g près, pour obtenir 500 g de ciment précisément. Mesurer un volume d'eau à l'aide d'une éprouvette, puis l'ajouter à la cuve du malaxeur. Ajouter l'adjuvant et mélanger pour assurer sa solubilité. Ajouter le ciment soigneusement pour éviter toute perte d'eau ou de ciment. Noter le temps zéro à la fin de cette opération qui doit durer entre 5 et 10 secondes. Démarrer immédiatement le malaxeur à vitesse lente pendant 90 secondes, puis l'arrêter pendant 30 secondes. Durant cette pause, gratter et remettre dans la gâchée toute la pâte adhérant à la cuve ou au bord de la zone de malaxage. Reprendre le malaxage à vitesse lente pendant 90 secondes supplémentaires. La durée totale du malaxage est de 3 minutes.



Figure III.13 : Malaxeur.

○ **Remplissage du moule**

Une fois la pâte prête, la verser immédiatement dans le moule préalablement placé sur une plaque de verre plane légèrement graissée. Remplir le moule sans tassements ni vibrations excessifs. Pour retirer l'excès de pâte, effectuer un mouvement de va- et-vient avec précaution en utilisant un outil présentant un bord droit, de façon à avoir une face supérieure de la pâte lisse.



Figure III.14 : Appareil de Vicat.

- **Essai de pénétration**

Avant de commencer le test, régler l'appareil de Vicat en y installant la sonde. Placer le moule et la plaque de base sur l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat, puis abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle entre en contact avec la surface supérieure de la pâte. Attendre une pause de 1 à 2 secondes pour donner une vitesse initiale aux parties mobiles de l'appareil. Ensuite, libérer les parties mobiles de la sonde pour qu'elle pénètre verticalement au centre de la pâte, 4 minutes après l'instant zéro. Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 secondes après la libération. La lecture sera valide si elle est de 6 ± 1 mm du bord inférieur de la surface de la pâte, conformément à la figure III.15.



Figure III.15 : Pénétration de la sonde dans la pâte.

- **Détermination le pourcentage d'eau**

Soit V (ml) le volume d'eau utilisée pour obtenir la pâte de consistance normalisée (6 ± 1 mm), le pourcentage d'eau est calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ H}_2\text{O} = 100 \setminus 500 \times V \dots\dots\dots \text{(III.3)}$$

Avec 500 la masse de ciment et V le volume d'eau utilisée.

b) Temps de prise (NA230-2010)**➤ Mode opératoire****○ Confection de l'éprouvette**

A partir de la pâte de la consistance normale remplir immédiatement le moule tronconique avec la pâte ainsi préparer et araser la surface au moyen d'une truelle prenant appui sur le bord du moule, perpendiculaire à la surface et déplacée d'un mouvement de scie de faible amplitude.

Immerger dans l'eau le moule rempli de pâte adjuvantée ou le placer dans l'armoire Humide. (Voir Figure III.16).

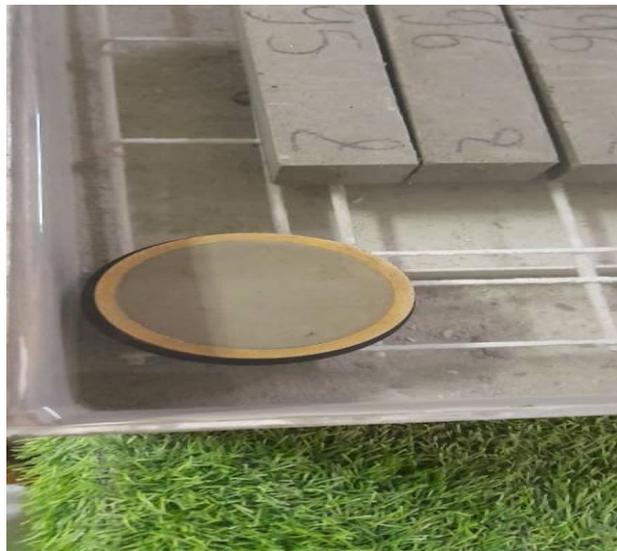


Figure III.16 : Immerger le moule dans l'eau.

○ Détermination du début de prise

Lors de cette méthode d'essai, une aiguille de Vicat est utilisée pour mesurer la résistance à la pénétration de la pâte de ciment. L'aiguille est abaissée perpendiculairement à la surface de la pâte, puis relâchée pour observer l'enfoncement de l'aiguille dans la pâte.

Les observations sont effectuées à différents points du moule, à au moins 1,5 cm de la paroi et 2 cm les uns des autres, jusqu'à ce que le début de la prise soit constaté.

Il est important que le moule soit immergé ou extrait de l'ambiance de conservation pendant une période ne dépassant pas 5 minutes afin de garantir des conditions d'essai uniformes. La lecture sera valide si elle est de 6 ± 3 mm du bord inférieur de la surface de la pâte.

○ **Détermination de fin de prise**

Elle correspond au moment où l'aiguille cesse de s'enfoncer et s'arrête à une distance inférieure à 2 mm de la face supérieure du moule tronconique rempli de la pâte normale. (Voire Figure III.17).

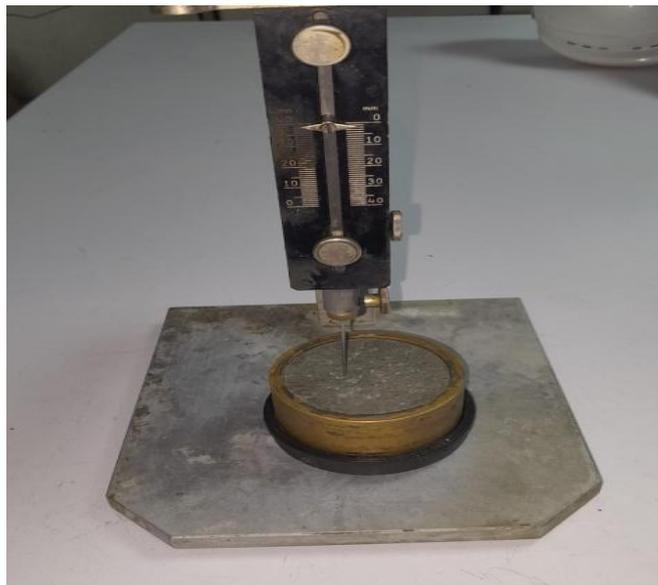


Figure III.17: Détermination de fin de prise .

c) **Expansion** (NA 242-2000)

➤ **Mode opératoire**

Utiliser la pâte adjuvantée de l'essai de consistance normale et travailler avec au moins deux moules. La pâte de ciment est introduite immédiatement dans le moule Le Chatelier sans tassement excessif, puis l'excès de pâte est retiré avec précaution à l'aide d'un outil présentant un bord droit. Les écarts entre les deux branches du moule sont mesurés et le moule est étiqueté, couvert d'une plaque de verre légèrement huilée et éventuellement munie d'un poids supplémentaire. L'appareil complet est ensuite placé dans une chambre humide pendant 24 heures à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité d'au moins 98%. Les écarts entre les deux branches du moule Le Chatelier sont mesurés avant leur introduction dans la bouilloire, et les valeurs sont comparées. Les moules sont ensuite placés dans une bouilloire pendant $03\text{h}\pm 5\text{min}$.



Figure III.18 : Moule de chatelier.



Figure III.19: Armoire et bouilloire.

➤ Expression des résultats

Après avoir laissé refroidir les moules à la température ambiante de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, il est nécessaire de mesurer la différence entre les écarts avant et après la cure dans l'eau bouillante pour chaque moule. L'expansion peut être déterminée en calculant la différence entre L2, l'écart après la cure, et L1, l'écart avant la cure. Cette expansion est exprimée en millimètres, et peut être calculée avec la formule suivante:

$$\text{Expansion} = L2 - L1 \dots \dots \dots \text{(III.4)}$$

Avec :

L1 : l'écart avant la cure dans l'eau bouillant.

L2 : l'écart après la cure dans l'eau bouillant.

III.3.2.2. Mortier

a) Résistance (NA 234-2018)

➤ Mode opératoire

○ Préparation du mortier

Mesurer avec précision les quantités nécessaires de chaque ingrédient à l'aide d'une balance ; (450±2) g ciment ; (1350±5) g de sable normalisé conforme à la norme EN 196-1 ; (225±1) g d'eau distillée. (Soustraire la quantité d'eau contenue dans le superplastifiant de la

quantité d'eau de gâchage pour chaque dosage utilisé). Ensuite, l'eau et le ciment sont introduits dans un bol propre, suivi de l'adjuvant, en veillant à ne pas perdre de ciment ou d'eau. Dès que l'eau et le ciment sont mélangés, le malaxeur est mis en marche à petite vitesse, le temps de démarrage est enregistré et le malaxage commence.

Après 30 secondes, tout le sable est introduit régulièrement pendant 30 secondes supplémentaires avant de passer à une grande vitesse de malaxage pendant encore 30 secondes. Ensuite, le malaxeur est arrêté pendant 90 secondes pour permettre la collecte de tout le mortier adhérant aux parois et au fond du bol, avant de reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes.

○ **Préparation des éprouvettes**

Fixer Le moule et la hausse sur la table à chocs, utilisez une cuiller appropriée pour introduire la première couche de mortier dans chacun des compartiments du moule. Utilisez ensuite une grande spatule pour étaler uniformément la couche de mortier, en le mouvant en avant et en arrière une fois sur toute la longueur du moule. Serrez la première couche de mortier en la frappant avec 60 chocs de l'appareil à chocs.

Ajoutez ensuite la seconde couche de mortier et serrez à nouveau en frappant avec 60 chocs. Retirez le moule de la table à chocs et ôtez la hausse à l'aide d'une règle métallique, enlevez immédiatement tout excès de mortier. Refaites ensuite l'opération d'arasement en utilisant un angle plus aigu pour lisser la surface. En suivant ces instructions, vous obtiendrez une surface de mortier uniforme et de qualité.

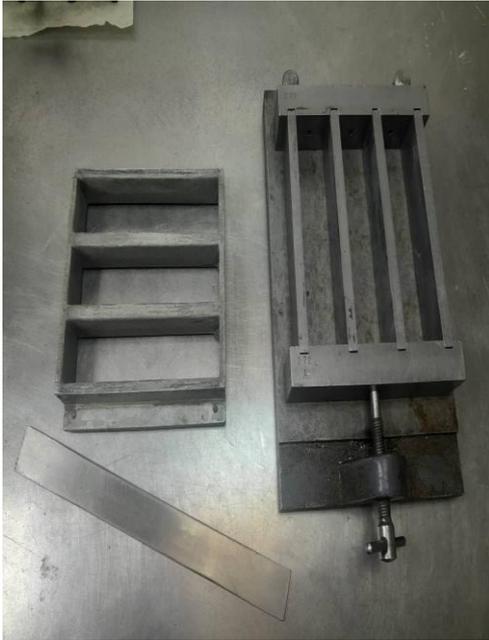


Figure III.20 : Moule normalisé.



Figure III.21 : Appareil à chocs.



Figure III.22: Des éprouvettes préparées.

○ Conditionnement des éprouvettes

Une fois les moules remplis, placez- les dans la chambre ou l'armoire humide. Le démoulage doit être effectué entre 20h et 24h après le moulage. Immergez ensuite les éprouvettes dans des bacs d'eau convenablement préparés, à une température de (20 ± 1) °C. Cette étape est importante pour garantir des résultats précis lors de la mesure de la résistance.



Figure III.23: Des éprouvettes adjuvantés.



Figure III.24: Bain des éprouvettes.

○ **Age des éprouvettes pour les essais de résistance mécanique**

Calculer l'âge des éprouvette à partir du «*tempe zéro*»; effectuer les essais de résistance aux différents âges indiqués sur le tableau :

Tableau III .5 : Age des éprouvettes pour les essais de résistance mécanique.

Age des éprouvettes				
24 h±15 min	48 h±30 min	72 h±45 min	7 jours±2 h	≥28 jours±8 h

○ **Résistance à la compression**

Pour réaliser l'essai, il faut placer le demi-prisme en compression sur les faces latérales de moulage. Il est important de centrer chaque demi- prisme dans le compartiment d'essai, conformément à la figure III.25. Ensuite, appliquez la charge verticalement et augmentez uniformément la charge jusqu'à rupture.



Figure III.25: Essai de résistance à la compression.

b) Etalement (NF EN 1015-3)

➤ **Mode Opérateur**

La première étape consiste à placer le Mini-Cône au centre d'une plaque en acier horizontale lisse. Ensuite, remplissez le Mini-Cône avec le mortier adjuvanté. Une fois que le moule est rempli, soulevez-le pour permettre au mortier de s'écouler. Utilisez une règle pour mesurer la longueur des deux diamètres perpendiculaires et calculez ensuite le diamètre moyen (Voire Figure III.26).



Figure III.26 : Essai d'étalement pour mortier adjuvantés.

c) Chaleur hydratation (NA 5061-2018)

➤ **Mode opératoire**

○ **Préparation du mortier**

Pour préparer le mortier, commencez par peser ($360 \pm 0,5$) g de ciment, (1080 ± 1) g de sable normalisé conforme à la norme EN 196-1 et ($180 \pm 0,5$) g d'eau distillée. Pour chaque dosage utilisé, soustrayez la quantité d'eau contenue dans le superplastifiant de la quantité d'eau de gâchage.

Ensuite, versez d'abord le sable puis le ciment dans le malaxeur. Homogénéisez le mélange (sable- ciment) pendant 30 secondes à la vitesse lente, puis versez l'eau et l'adjuvant et continuez le malaxage à la même vitesse pendant une minute. Malaxez le mélange pendant une minute supplémentaire à la vitesse rapide.

○ **Mise en place de l'éprouvette**

Juste après avoir gâché, introduisez (1575 ± 1) g de mortier dans une boîte à mortier préalablement pesée. Ensuite, placez le couvercle et assurez-vous que la boîte est étanche. Notez que le tube plongeur du couvercle doit être rempli d'huile (2 à 3 cm) pour améliorer le contact thermique entre l'éprouvette et la sonde de mesure de température. Introduisez immédiatement la boîte à mortier dans l'un des calorimètres de mesure pour éviter les pertes thermiques.

La durée entre le début de l'essai et le début de lecture ne doit pas dépasser 6 minutes. Une fois que l'éprouvette de mortier est dans le calorimètre (voie 2). obturez l'orifice de passage à travers le bouchon à l'aide d'un mastic. Notez qu'à la fin de l'essai, la boîte à mortier doit être pesée à nouveau. Si une perte de masse supérieure à 2 g est constatée, l'essai est annulé.



Figure III.27 : Boîte à mortier.

○ **Mesure de l'échauffement**

Les mesures d'échauffement consistent à relever, à des moments déterminés, la différence de température entre l'éprouvette d'essai et l'éprouvette inerte se trouvant dans le calorimètre de référence (voie 1). Notez que l'éprouvette inerte est une éprouvette de mortier gâchée il y a douze mois.

○ **Préparation du module de mesure**

Pour utiliser le module d'acquisition des valeurs et de stockage de mémoire, démarrez le logiciel en cliquant sur l'icône placée sur le bureau de l'ordinateur. Ensuite, cliquez sur l'icône représentant deux calorimètres en haut à gauche de la fenêtre 4 pour accéder à la fenêtre d'essai selon EN196-9. Dans cette fenêtre, remplissez toutes les cases du tableau "paramètres de l'essai" et saisissez la voie de référence ainsi que la voie de l'essai. Indiquez également les masses de ciment, de sable, d'eau, de la boîte vide et de l'ensemble boîte + mortier + huile, puis cliquez sur le bouton vert en bas à droite pour valider. Enfin, cliquez sur

le bouton "démarrer" associé à l'essai pour démarrer l'acquisition des données. Vous pourrez visualiser température et arrêter l'essai lorsque l'évolution de la courbe de vous le jugera nécessaire.

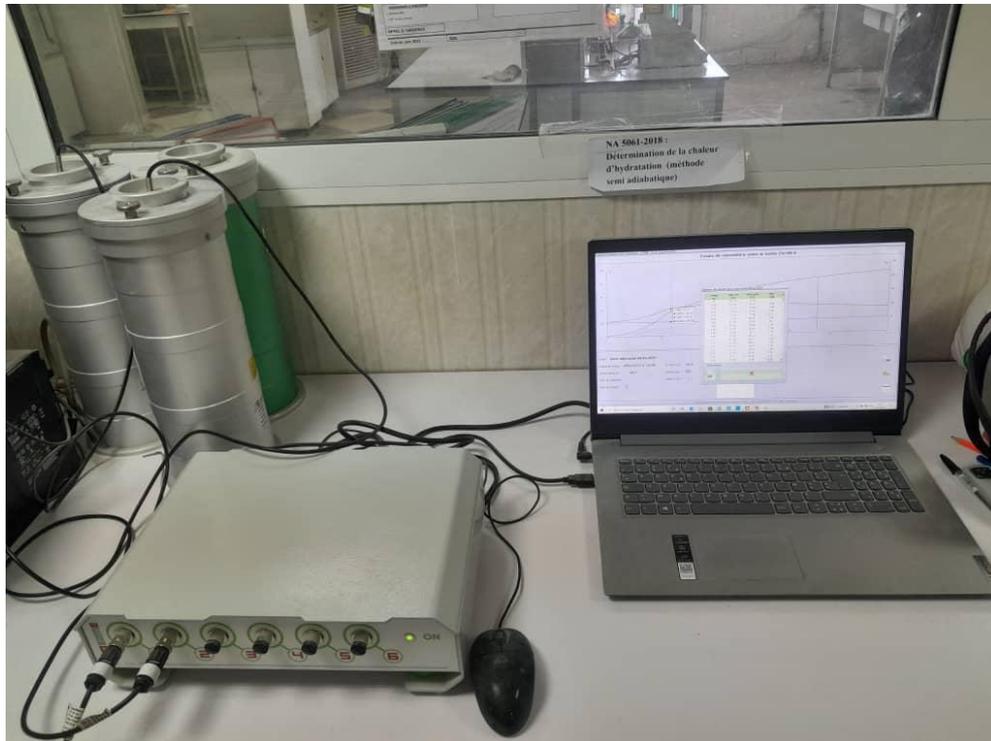


Figure III.28 : Détermination de la chaleur hydratation.

Chapitre IV :
Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des travaux expérimentaux obtenus lors des essais d'analyse et de caractérisation physique et mécanique de ciments et de mortiers, ainsi que l'interprétation et la discussion de ces résultats achevés. Afin de voir l'influence de superplastifiant sur les caractéristiques du ciment à différent dosage (0.5 % 1% 1.5% et 2%) et faire une comparaison avec un ciment sans superplastifiant (témoin).

IV.2. Analyse physico-chimique de ciment

Les résultats des analyses chimiques et physico-chimiques des sacs de ciment obtenus après l'homogénéisation sont présentés dans les tableaux IV.1 et IV.2 :

Tableau IV.1: Composition chimique de ciment.

Echantillons	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5
SiO ₂	18.596	18.760	19.303	19.109	18.992
Al ₂ O ₃	4.693	4.735	4.872	4.838	4.803
Fe ₂ O ₃	2.899	2.866	2.806	2.832	2.823
CaO	59.396	59.595	59.282	59.518	59.155
MgO	1.077	1.113	1.209	1.189	1.225
SO ₃	1.904	1.870	2.147	2.062	2.087
K ₂ O	0.596	0.577	0.600	0.578	0.616
Na ₂ O	0.110	0.095	0.135	0.119	0.066

Tableau IV.2 : Caractéristiques physico-chimiques de ciment.

Echantillons	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5
La perte au feu à 950° c	7.38%	7.24%	7.39%	7.49%	7.42%
La surface spécifique	3322 cm ² /g	3418 cm ² /g	3359 cm ² /g	3256 cm ² /g	3406 cm ² /g
Reflux (45µm)	15.48%	15.36%	14.86%	15.2%	15.12%
Reflux (90 µm)	2.76%	2.72%	2.64%	2.72%	2.68%
La chaux libre	0.73%	0.65%	0.73%	0.73%	0.73%

En examinant les tableaux précédents, nous pouvons remarquer que les valeurs mesurées des composants chimiques dans les sacs sont remarquablement proches, cela indique que les cinq sacs contiennent des proportions similaires de composants chimiques, ce qui les rend homogènes.

IV.3. Analyses physico-mécaniques

Les résultats d'analyses des propriétés physico-mécaniques menées sur les quatre échantillons de différentes doses choisis à savoir 0.5 % 1 % 1.5% et 2% ainsi à celle de témoin, effectuées sur le ciment et le mortier sont les suivants :

IV.3.1. Pate de ciment

Les résultats obtenus des tests réalisés sur la pate de ciment sont :

a) Consistance normale

Les résultats de l'étude de la consistance ou de la demande en eau pour préparer une pate normale pour les différents pourcentages ont montré les résultats représentés sur la figure ci-dessous :

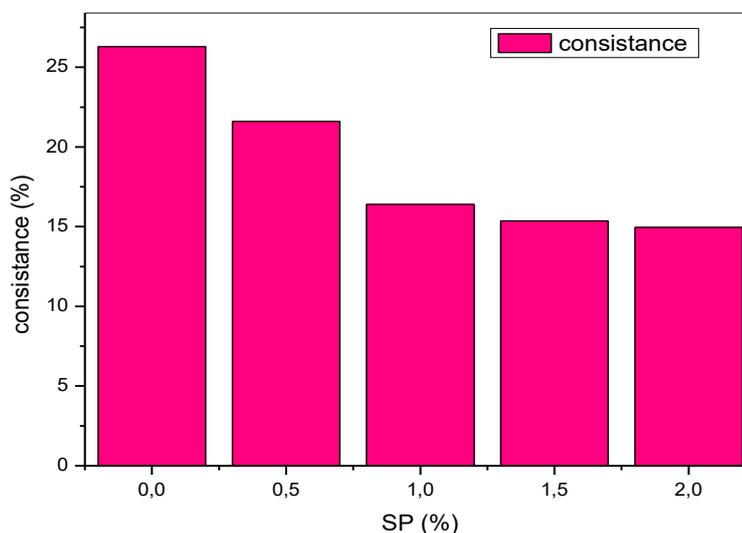


Figure IV.1 : Evolution de la consistance normale en fonction de pourcentage de SP.

D'après cette évolution, on remarque une diminution significative de la quantité d'eau nécessaire à la préparation d'une pate de ciment en fonction de l'augmentation de la dose en superplastifiant.

Donc on peut remarquer une relation inverse entre les quantités de superplastifiant et d'eau, cela est dû à la libération de l'eau retenue entre les particules de ciment en raison de la répulsion stérique qui s'est produite lors de l'ajout de superplastifiant.

b) Début et fin de prise

Les résultats de la mesure de début et fin de prise nécessaire pour que le ciment se solidifie, sont rassemblés sur la figures IV.2 :

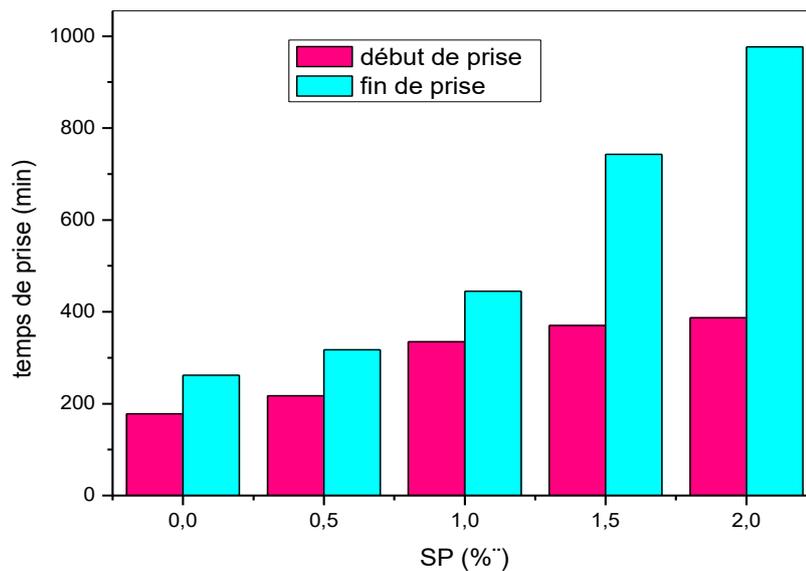


Figure IV.2 : Evolution de début et fin de prise en fonction de pourcentage de SP.

A travers les résultats , nous pouvons voir l'effet de superplastifiant « MEDAFLOW 30 » sur le retardement de prise, où on constate une augmentation continue de la durée de début de prise (178, 217, 335, 370 et 387 min) et de la fin de prise (262, 317, 445, 743 et 977 min) avec l'augmentation des doses de superplastifiant (0, 0.5, 1, 1.5 et 2%). Ceci est dû à la couche formée par le superplastifiant sur les grains de ciment, cela a conduit à la dispersion qui entraîne un retard dans le durcissement.

c) Expansion

Les résultats de taux de gonflement sont donnés dans le tableau IV.3 :

Tableau IV.3 : Résultats de l'essai de l'expansion (taux de gonflement).

Pourcentage SP (%)	0	0.5	1	1.5	2
Expansion (mm)	1.2	1	1.2	1	1.1

A travers ce tableau, on remarque que les résultats sont très proches, où il n'y a pas de changement de l'expansion avec l'ajout de superplastifiant. Ceci indique qu'il n'y a pas d'effet du superplastifiant sur le taux de gonflement du ciment.

IV.3.2. Mortier

a) Résistance

Les masses des différentes éprouvettes obtenues après le démoulage sont les suivantes :

Tableau IV.4 : Masses des différentes éprouvettes.

Pourcentage SP (%)	0	0.5	1	1.5	2
Masse (g)	582.84	597.2	606.36	615.9	616.63

Les éprouvettes sans et avec adjuvant sont sur les figures suivantes :



Figure IV.3 : Eprouvettes sans adjuvant.

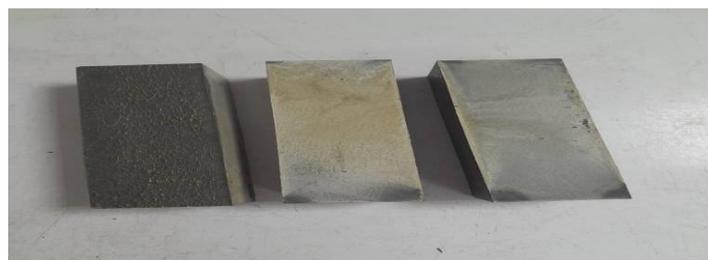


Figure IV.4 : Eprouvettes avec adjuvant.

Selon les figures IV.3, IV.4 et le tableau IV.4, nous pouvons conclure que le superplastifiant joue un rôle majeur dans la fermeture des pores.

Les résultats de la résistance à compression sont donnés dans la figure IV.5 :

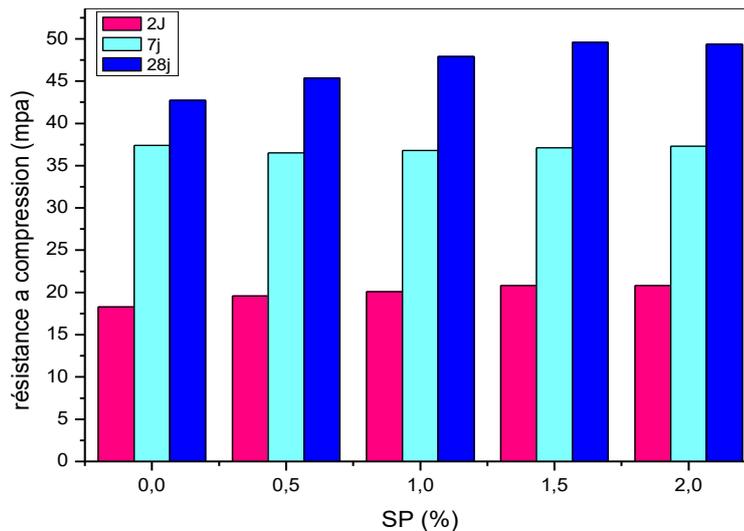


Figure IV.5 : Evolution des résistances à compression pour 2 - 7 et 28 jours en fonction de pourcentage de SP.

D'après les essais à la compression (figure IV.5), on remarque une évolution des valeurs de résistance à un jeune âge (18.3 19.57 20.1 20.8 et 20.8 %) avec des doses accrues de superplastifiant (0 0.5 1 1.5 et 2%) ainsi qu'on voit le même développement après 28 jours. La valeur de résistance a atteint 49,46 Mpa à la dose la plus élevée de superplastiques (2%).

C'est un développement remarquable comparé au témoin où la valeur de résistance du premier échantillon sans superplastifiant était de 42,75 Mpa. Cela est dû à l'amélioration remarquable de la fluidité et de l'élasticité du mortier avec des doses croissantes de superplastifiant, cela est dû à l'augmentation de la fluidité qui a entraîné la fermeture des pores sur les mortiers adjuvés.

Nous remarquons que la résistance atteint un palier à partir de la dose 1.5% pour 2- 7 et 28 jours. Par conséquent, on peut dire que la dose de 1.5% de superplastifiant est considérée comme le point de saturation.

b) Etalement

Les résultats de l'étalement sont donnés dans la figure IV.6 :

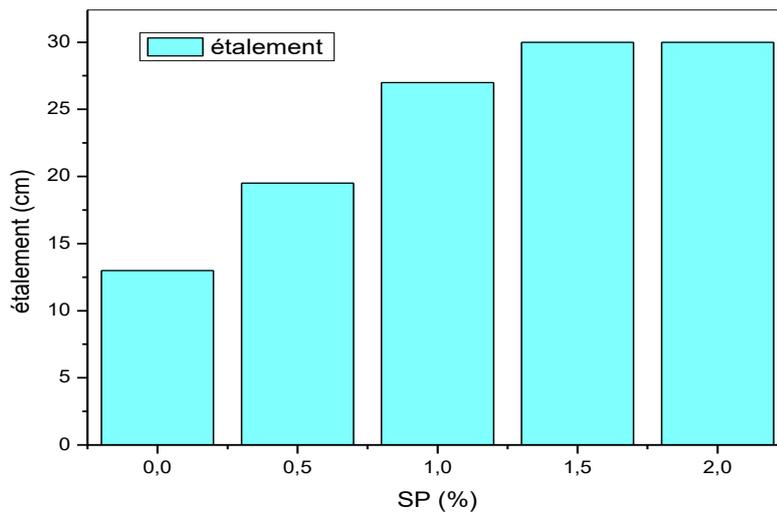


Figure IV.6 : Evolution de l'étalement en fonction de pourcentage de SP.

A travers la figure IV.6, il est clair que l'ajout de superplastifiant « MEDAFLOW30 » augmente l'ouvrabilité ou la fluidité des mortiers à tous les dosages utilisés, en comparaison avec celle de même mortier non adjuvantés. Cela est d'après la longueur de chaînes secondaires et ramifiées qui permettent d'assurer une bonne répulsion, et ceci est ce qu'on appelle « L'encombrement stérique ».

Une valeur optimale de fluidité est constatée pour un dosage de 1.5% (30 cm) et qui est restée constante pour un dosage de 2%. Le point de saturation est obtenu pour un dosage de 1.5% de MEDAFLOW 30.

c) Chaleur d'hydratation

Les résultats de la chaleur d'hydratation dégagée par les mortiers sont donnés dans la figure IV.7 :

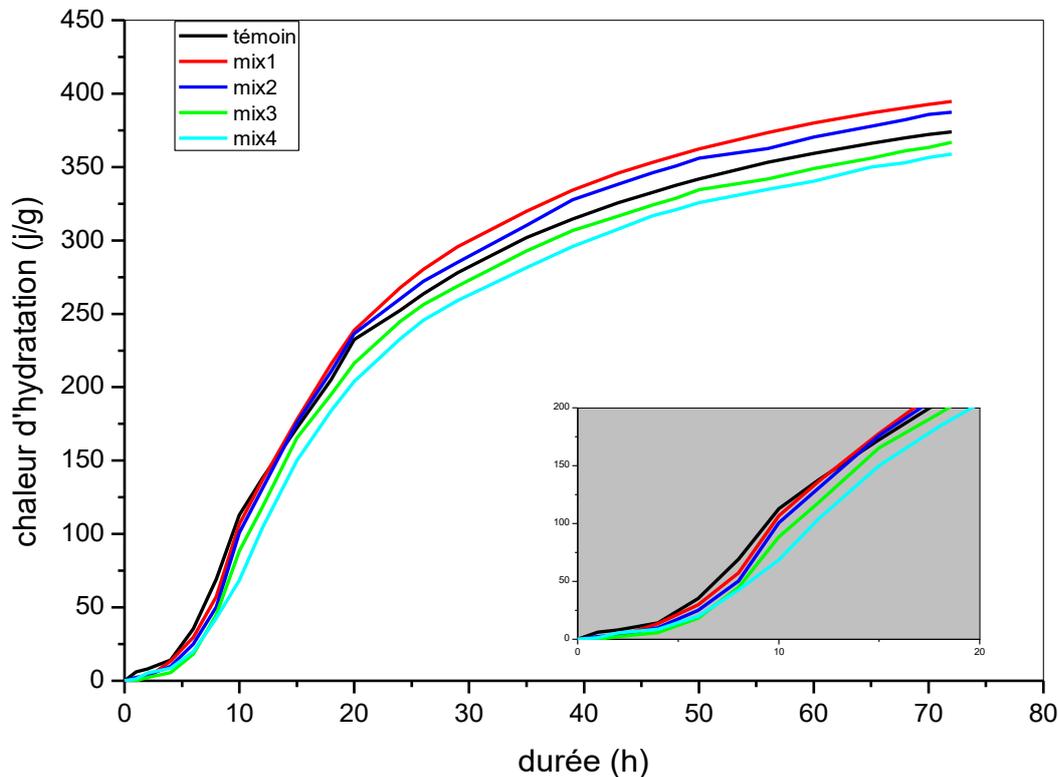


Figure IV.7: Influence du dosage de SP sur la chaleur d'hydratation d'un mortier.

A travers les résultats obtenus à partir du test de chaleur d'hydratation de différents échantillons de mortier (avec 0% ,0.5%,1%,1.5% et 2% de SP), on constate un ralentissement de l'hydratation et une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée dans tous les échantillons adjuvantés durant les douze premières heures d'hydratation par rapport au témoin.

Après 12 heures d'hydratation, les échantillons adjuvantés par un faible dosage de SP 0.5% et 1% produisent une chaleur supérieure à celle de témoin, contrairement aux mortiers adjuvantés par 1.5% et 2% de SP, où la diminution de la chaleur dégagée par rapport au témoin est constaté.

L'ajout de superplastifiant à faible doses (0.5% et 1%) augmente la quantité de chaleur dégagée, et cela est dû à la dispersion des grains et à la disponibilité de l'eau libérée par leurs défloculation.

Les dosages élevés (>1%) retardent le contact des grains de ciment avec l'eau et engendrent une diminution de la chaleur d'hydratation finale.

IV.4. Modélisation des résultats physico-mécaniques obtenus

Dans le but de la simplification et de la compréhension des phénomènes misent en jeu lors notre étude, nous somme intéressés à la modélisation des résultats des essais effectués sur le ciment et le mortier, en élaborant un modèle mathématique pour chaque propriété en fonction des doses choisis ainsi que l'interaction entre eux. Ces modèles permettent la prédiction de ces caractéristiques théoriquement sans passer par les essais en économisant du temps et des matériaux utilisés.

IV.4.1. Pate de ciment

a) Consistance normale

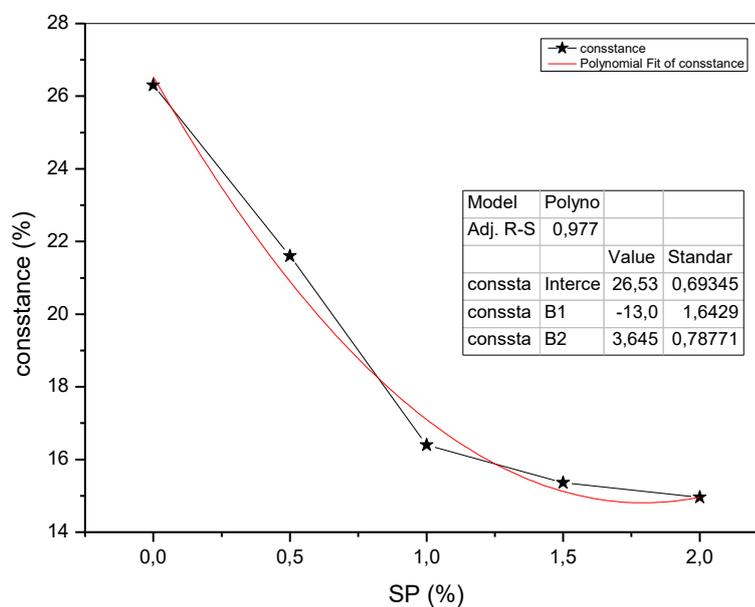


Figure IV.8 : Corrélation entre la consistance et le pourcentage de SP.

La modélisation de l'évolution de la consistance en fonction de pourcentage de SP a donné une fonction polynomiale de forme : $Y = -13x^2 + 3.645x + 26.53 \dots$ (IV.1), avec un coefficient de corrélation proche de 1 ($R^2 = 0.98$).

b) Début et fin de prise

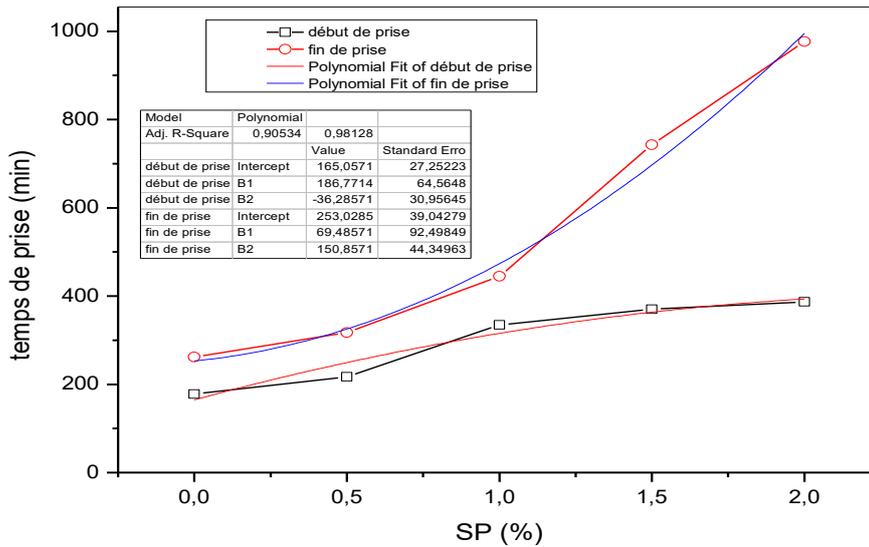


Figure IV.9 : Corrélation entre le temps de prise et la dose de super plastifiant.

On remarque que le modèle établit simule bien l'évolution de le temps de prise en fonction de le dosage de SP dont les équations obtenues pour les deux courbes sont:

- $Y = -36.28571x^2 + 188.7714x + 185.0571 \dots$ (IV.2) avec $R^2 = 0.91$.
- $Y = -150.8571x^2 + 69.48571x + 253.0285 \dots$ (IV.3) avec $R^2 = 0.98$.

IV.4.2. Mortier

a) Résistance

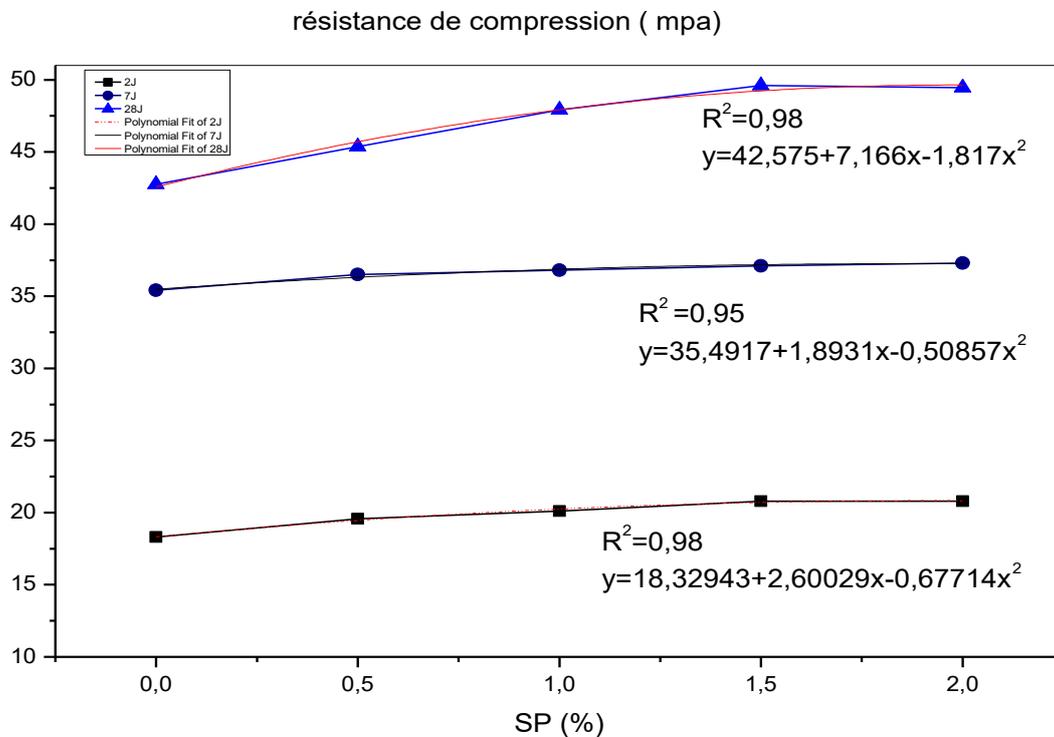


Figure IV.10 : Corrélation entre la résistance et le dosage de SP.

Dans notre étude, une corrélation polynomiale est proposée entre la résistance à la compression des mortiers et le pourcentage de SP, avec un coefficient de corrélation très proche de 1. cette relation proposé pour let trois courbes à différentes âge des éprouvettes est de forme :

- $Y = -0,67714x^2 + 2,60029x + 18,32943$ (IV.4), $R^2=0,98$ « pour 2 jours ».
- $Y = -0,50857x^2 + 1,8931x + 35,4917$ (IV.5), $R^2=0,95$ « pour 7 jours ».
- $Y = -1,817x^2 + 7,166x + 42,575$ (IV.6), $R^2=0,98$ « pour 28 jours ».

b) Etalement

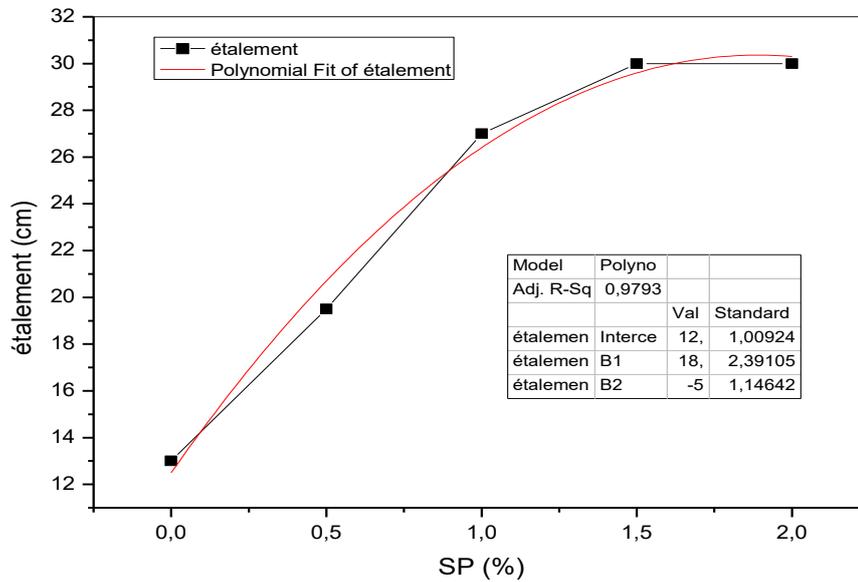


Figure IV.11 : Corrélation entre l'étalement et le dosage de SP.

Le coefficient de corrélation polynomiale calculé est égale à $R^2=0.98$, il indique qu'il y'a une très forte relation croissante entre l'étalement et le dosage de SP, cette relation est de forme : $Y=-5.004x^2+18.983x+12.06$ (IV.7)

d) Chaleur hydratation

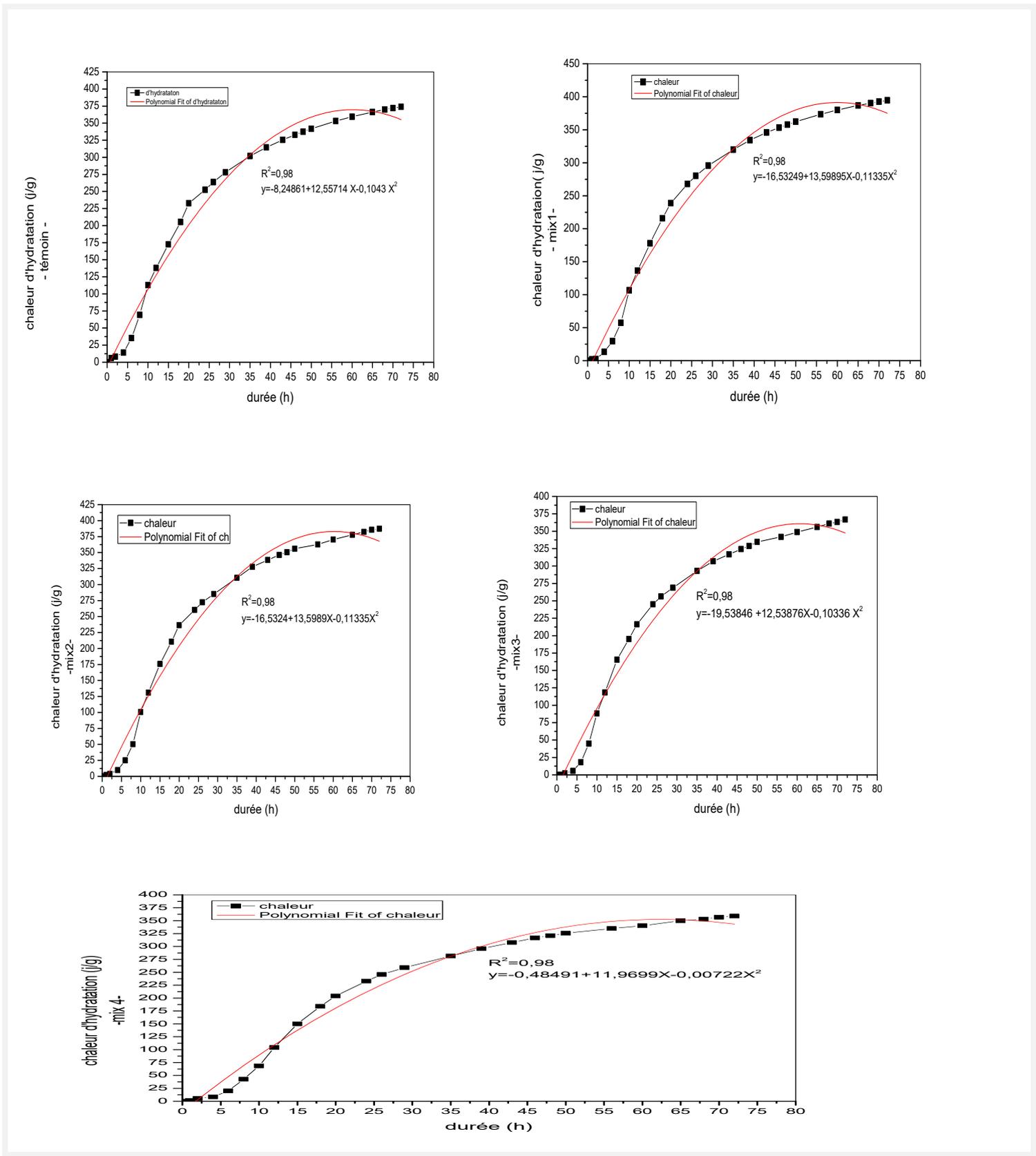


Figure IV.12 : Corrélation entre la chaleur d'hydratation de différents mortiers et le temps.

- $Y_1 = -0.1043x^2 + 12.557x + 8.24861 \dots \dots \dots$ (IV.8) avec $R^2 = 0.98$ « Pour témoin ».
- $Y_2 = -0.11335x^2 + 13.5995x + 16.53249 \dots \dots \dots$ (IV.9) avec $R^2 = 0.98$ « Pour mix1 ».
- $Y_3 = -0.111335x^2 + 13.5985x + 16.53249 \dots \dots \dots$ (IV.10) avec $R^2 = 0.98$ « Pour mix2 ».
- $Y_4 = -0.10336x^2 + 12.5387x + 19.5384 \dots \dots \dots$ (IV.11) avec $R^2 = 0.98$ « Pour mix3 ».
- $Y_5 = -0.0072x^2 + 11.96997x + 0.48491 \dots \dots \dots$ (IV.12) avec $R^2 = 0.98$ « Pour mix4 ».

Il est notable que les modèles établis présentent une bonne simulation de l'évolution de la chaleur d'hydratation des mortiers en fonction du temps. Les coefficients de corrélation sont très proches de 1.

IV.4.3. Corrélations entre les paramètres physico-mécaniques

L'établissement de l'interaction entre quelques caractéristiques physico-mécaniques du ciment est indispensable pour la rapidité et la facilité de l'ouvrage du béton :

a) Corrélation entre le début de prise et la consistance

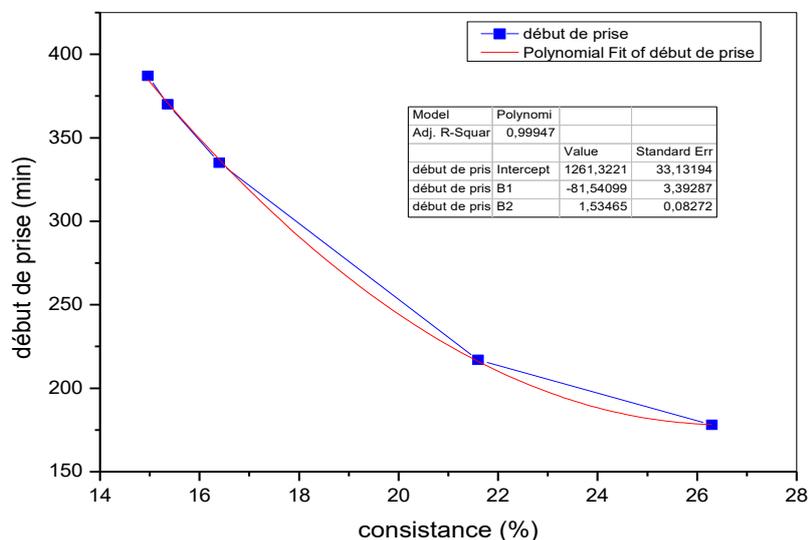


Figure IV.13 : Corrélation entre le début de prise et la consistance.

La variation du temps de début de prise en fonction de la demande en eau a montré une évolution inverse, les particules du ciment ont besoin de se rapprocher et de s'agglomérer

pour former un réseau solide, mais la présence de superplastifiant peut retarder cette agglomération cela entraîne également une diminution de la quantité d'eau requise.

Le modèle mathématique établi pour cette variation est polynômial d'ordre 2 dont le coefficient de corrélation $R^2=0.99$: $Y = -81.54099x^2 + 1.53465x + 1261.3221$ (IV.13)

b) Corrélation entre la résistance et l'étalement

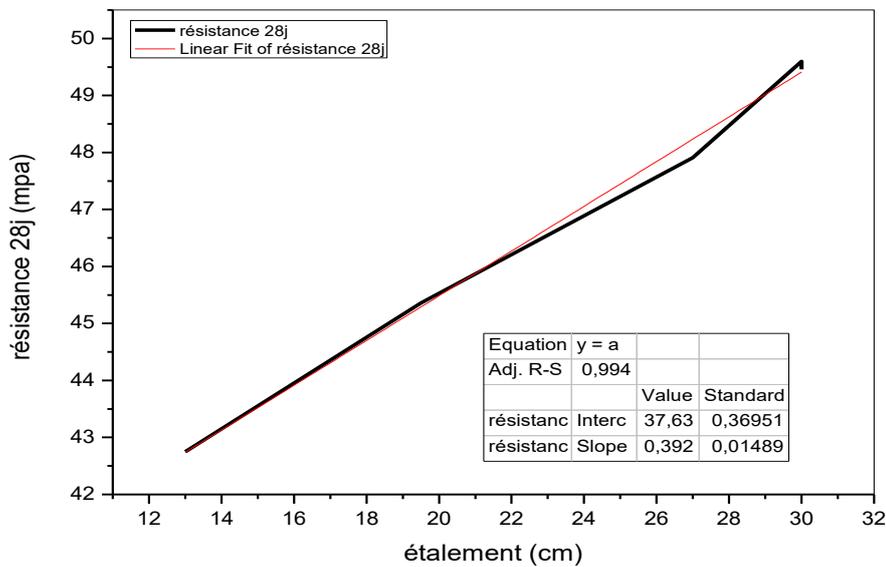


Figure IV.14 : Corrélation entre la résistance et l'étalement.

La variation de la résistance au cours de 28 jours en fonction de l'étalement du mortier a donné une droite ascendante, cela signifie que plus le ciment est maniable plus sa résistance sera élevée qui est dû au colmatage des pores qui peut réduire la valeur de la résistance en raison de la fluidité du ciment.

Quant à la modélisation, on remarque une superposition entre la variation expérimentale et le modèle mathématique de la forme :

$Y = 0.392 X + 37.63$ (IV.14) avec un $R^2=0.99$.

Pour l'ensemble de tous les modèles mathématiques établis dont les coefficients de corrélations sont assez proches de 1, il s'est avéré qu'ils peuvent être appliqués directement selon les besoins des constructeurs.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de superplastifiant sur les propriétés physiques et mécanique des ciments.

Pour atteindre cet objectif, nous avons ajouté différentes doses (0.5% 1% 1.5% 2%) de superplastifiant à base de polycarboxylate de type -MEDAFLOW 30- à des échantillons de ciments sans adjuvant ,puis nous avons étudié les variations observées sur les propriétés physico-mécaniques.

Les essais effectués sur les échantillons adjuvés en MEDAFLOW 30 nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'ajout de superplastifiant réduit la quantité d'eau nécessaire pour préparer une pâte de ciment.
- Une augmentation des dosages de superplastifiant entraîne un retard de la prise du ciment.
- Le superplastifiant n'a aucun effet sur l'expansion.
- Le superplastifiant a la capacité de provoquer une obturation des pores dans les mortiers.
- L'utilisation d'un superplastifiant améliore les résistances de ciment jusqu'à la dose de 1.5% qui est considérée comme un point de saturation.
- L'ajout de superplastifiant augmente l'ouvrabilité ou la fluidité des mortiers à tous les dosages utilisés. Pour un dosage de 1.5%, l'étalement prend sa valeur optimale (30cm).
- Le superplastifiant entraîne un retard de l'hydratation du ciment et réduit la quantité de chaleur dégagée pendant les douze premières heures d'hydratation.
- Après les 12 premières heures d'hydratation, les échantillons contenant des dosages forts de 1.5% et 2% de superplastifiant produisent une chaleur inférieure à celle des échantillons témoin .Par rapport aux dosages faibles de 0.5% et 1%, on observe une augmentation de la chaleur dégagée.
- Tous les modèles établis dans notre étude simulent de manière précise l'évolution des propriétés physico-mécaniques ainsi que leurs interactions, indiqués par des coefficients de corrélations qui se rapprochent de 1.

PERSPECTIVES

A la lumière de la conclusion rapportée précédemment, nous recommandons quelques perspectives pour compléter ce travail.

Donc il serait souhaitable d' :

- Examiner l'influence de superplastifiant sur la porosité, la perméabilité, la densité, et l'adhérence.
- Etudier l'influence de superplastifiant sur d'autres types de ciments disponibles en Algérie.
- Examiner l'effet d'autres types de superplastifiant sur le comportement rhéologique des pâtes, mortiers et bétons.

Références bibliographiques

Référence bibliographiques

- [1] Documentation de la cimenterie de Meftah SCMI.
- [2] B. Darbois, W. Rothlauf, « CIMENT », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/ciment/>
- [3] Norme Algérienne NA442 : « Liants hydrauliques - ciments courants: Composition, spécifications et critères de conformité », Edition 3. Algérie. 2000.
- [4] L.Bonafous : « Approche par Rmn multinucléaire haute resolution solide et haute température de la réaction de clinkerisation », France, 1996.
- [5] S.Bouregaya : « Synthèse d'un ciment alitique à moindre impact environnemental à partir de vase de barrage et utilisant le sulfate de zinc comme minéralisateur », thèse de doctorat, Université des sciences et de technologie Mohamed Boudiaf USTO-ORAN, 2018.
- [6] M.Barkat : « Effets des additions minérales et adjuvantes fluidifiants sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons frais et durcis à base de sables des carrières », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.
- [7] M.Signes-Frehel, P.Maes, C.Haehnel : « Etude des phases d'un clinker par diffractométrie des rayons X : vers la quantification », *Le journal de physique*, V 6,1996.
- [8] S.Nouri,I.Bakouche : « Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des mortiers fibrés », thèse de doctorat, Université Msila, 2022.
- [9] A.Logbi : « Effet des ajouts minéraux actifs et inertes sur les propriétés physiques, mécanique et chimiques du mortier », thèse de doctorat, Université des sciences et appliquées Kasdi merbah-Ouargla, 2019.
- [10] E. Romilliat : « Etude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ,2006.
- [11] J.L.Vignes, G.André, F.Kapala : « Données industrielles économiques, géographiques sur des produits chimiques (minéraux et organiques), métaux et matériaux », Edition 6, 1994.

- [12] M.Baalbaki : « Influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les Propriétés des Bétons-Importance du mode d'introduction des Adjuvants », thèse de doctorat sciences appliquées; Université de Sherbrooke. Mars, 1998.
- [13] A.Bresson : « Influence de la minéralogie sur le comportement des mortiers et du ciment au jeune âge » thèse de doctorat, Université de Laval Canada, 2006.
- [14] C.Jolicoeur, A.Simard : « Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts », Cement and Concrete Composites. V 20. P 87-101 ,1998.
- [15] M.Venuat : « La pratique des ciments et du béton », Editions du Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment. Paris, France. P 75-224,1976.
- [16] M.N.Ondjit : « Réactivité des Fumées de silice condensée en présence de chaux ou de ciment portland », thèse de doctorat. INSA Toulouse ,1986.
- [17] J.Baron, J.P.Ollivier : « La durabilité des Bétons Presses », de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris. P 453 ,1992.
- [18] K.L.Scrivener, P.L. Pratt : « The characterisation and quantification of cement and concrete microstructures: Pore structure and materials properties », Proc. 1st intern. RILEM Congr, Versailles, Chapman and Hall, Edition 1. P 61-68, 7-11 ,1987.
- [19] C. Xiaolin : « Influence des ions Aluminates sur la composition, la structure et les propriétés cohésives des hydrosilicates de calcium constituant principaux de la pâte de ciment hydratée», thèse de doctorat, Bourgogne, 2007.
- [20] L. Black, K.Garbev, P.Stemmermann, K.R.Hallam, G. C.Allen: « Characterisation of Crystalline C-S-H Phases by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)», Cement and Concrete Research, V 33, N°6, P 899-911,2003.
- [21] G.Van Rompaey : « Etude de la réactivité des ciments riches en laitier à basse température et à temps court sans ajouts chlorure », thèse de doctorat, université libre de Bruxelles ,2006.
- [22] A.Haouas : «Comportement au jeune âge des matériaux cimentaires Caractérisation et modélisation Chimio- Hydromécaniques du retrait », thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan ,2007.

- [23] J. Baron, J.P. Ollivier : « La durabilité des Bétons Pressés », de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris. P 453 ,1992.
- [24] A. Delagrave : « Étude des mécanismes de pénétration des ions chlorure dans les bétons conventionnels et à haute performance », thèse de doctorat, spécialité Génie Civil, Université Laval, Québec, Canada ,1996.
- [25] M.R. Rixom, N.P. Mailvaganam : « Chemical admixtures for concrete », London, 1986.
- [26] A. Abid Charef : « l'effet des adjuvants (Superplastifiant) sur le comportement mécanique du béton ordinaire-Application la méthode de FURY », mémoire de master, université d'Adrar, 2016.
- [27] N. Tabet : « contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico-mécanique des bétons autoplaçants fibres (BAPF) », mémoire de magistère, université M'Hamed Bougara-Boumerdes ,2012 .
- [28] F. Hanaa : « Propriétés mécanique et physico-chimiques des bétons autoplaçants », thèse de doctorat en génie civil, université de Gergy-pontoise ,2009.
- [29] Cimbéton : « Le ciment et ses applications. Chapitre 3 : les constituants des mortiers et bétons : les adjuvants ». Disponible sur :
<http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.42-48.pdf>.
- [30] L. Patural : « Modes d'action des éthers de cellulose sur la rétention d'eau des mortiers à l'état frais. », thèse de doctorat Ecole nationale supérieures des mines de Saint-Etienne, 2011.
- [31] S. Kennouche : « Cours matériaux de construction .les adjuvants pour les bétons », Disponible sur :
<http://kennouche.e-monsite.com/medias/files/cours-adjuvants-ou-additifs-pour-les-betons.pdf>
- [32] Holcim : « Guide pratique du béton. Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables », Suisse, 2009.

- [33] T. Poinot : « Influence des hydroxypylguars sur les propriétés des mortier de ciment à l'état frais », thèse de doctorat, spécialité génie des procédés, Ecole nationale supérieurs des mines de saint-Etienne, 2013.
- [34] M.Salhi : « Effet du climat chaud sur la durabilité des bétons autoplaçants », thèse doctorat, de l'Université de Hassiba Ben Bouali, 2018.
- [35] I.Dahmani : « Action des superplastifiant PNS et polycarboxylate sur les propriétés rhéologiques et physicomécaniques du ciment aux ajouts », mémoire master, université Mhamed Bougara Boumerdes, 2010.
- [36] C.Jolicoeur, M.A.Simard : « Chemical admixture-cement interactions : phenomenology and physico-chemical concepts », *Cement and Concrete Composite*, V 20, N° 2-3, P 87-101, 1998.
- [37] T.Nawa, H.Eguchi : « Effect of cement characteristics on the fluidity of cement paste containing an organic admixture », *Proceeding of the 9th International Congress on Cement Chemistry*, New Dehli, Inde, V 4, P 579-603, 1992.
- [38] K.Yoshioka, E.I.Tazawa, K. Kawai , T.Enohata : « Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals », *Cement and Concrete Research*, V 32, N° 10, P 1507-1513, 2002.
- [39] C.M.Hirsch : « Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen polymeren Fließmitteln und Zementen bzw. Mineralphasen der frühen Zementhydratation », Thèse de Doctorat, Technischen Universität, München, 2005.
- [40] H.Uchikawa, S.Uchida, K.Ogawa, S.Hanehara : « Influence of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ and CaSO_4 on the initial hydration of clinker having different burning degree », *Cement and Concrete Research*, V 14, N° 5, P 645-656, 1984.
- [41] O.Blask : « Zur Rheologie von polymermodifizierten Bindemittelleimen und Mörtelsystemen », Thèse de Doctorat, Universität Gesamthochschule Siegen, 2002.

- [42] J.Plank, R.Schwerd, D.Vlad, A.Brandl, P.Chatziagorastou : « Kolloidchemische Aspekte zur Verflüssigung von Zementleimen mit Polycarboxylaten », GDChMonographie, V 31, P 58 -69, 2004.
- [43] V.S.Ramachandran, V.M.Malhotra., C.Joliceur, N.Spiratos : « Superplasticizers properties and applications in concrete », CANMET, P 404, 1998.
- [44] J.Rickert : « Wechselwirkungen zwischen Zementen und Betonzusatzmitteln », Technisch-wissenschaftliche Zementtagung, Nuremberg, Allemagne, 2005.
- [45] A.M. Alshamsi, J.J.Serrano, G.Grimaldi : «Influence du dosage et du mode d'introduction des superplastifiant sur la maniabilité optimale des BHP avec et sans fumée se silice. Bulletin de liaison des laboratoires des et Chaussées », Novembre-décembre 1990.
- [46] F. Perche : « Adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciments », thèse N° 3041, école polytechnique fédérale de Lausanne, 2004.
- [47] E.Nicolas : « compatibilités et incompatibilités liants cimentaires/superplastifiants », thèse doctorat, de l'université henri Poincaré en chimie da solide et de docteur de l'université du Luxembourg en sciences de l'ingénieur.
- [48] F.Poertas, H.Santos, M.Palacios, S.Martinez-Ramirez : « Polycarboxylate superplasticiser admixtures: effect on hydration », microstructure and rheological behaviour in cement pastes, Advances in Cement Research, V 17, P 77-89,2005.
- [49] Th.F. Tadros : « Adsorption of Ligno- sulphonates on Polystyrene Latex Particles from Aqueous Solution and Flocculation of the Disper- sions by Electrolytes », Colloid & Polymer Sci, 258, P 439-446,1980.
- [50] F.Basile, S. Biagini, G.Ferrari : « Effect of the Gypsum State in Industrial Cements on the Action of Superplasticizers », Cement and Concrete Research, V 17, P 715-722 ,1987.

Références normatives

- Détermination du temps de prise et de stabilité EN 196-3 NA 230.
- Détermination de la finesse (SSB Surface spécifique de Blaine) EN 196-6 NA 231.
- Détermination de la résistance mécanique à la compression. EN 196-1 NA 234.
- Détermination de l'analyse chimique des ciments EN 196-2 NA 5042.
- Détermination de l'expansion EN 196-3 NA 230.
- Détermination de La consistance EN 196-3 NA 230.
- Détermination de la teneur en SO₃ EN 196-2 NA 5042.
- Détermination de la chaleur d'hydratation semi adiabatique EN 196-9 NA 5061.

Annexes

Caractéristiques des ciments

1) Masse volumique absolue

La masse volumique absolue du ciment anhydre varie en fonction de la composition minéralogique (teneurs en minéraux du clinker), tout en restant comprise entre 3,0 et 3,2 g/cm³. Elle varie aussi en fonction de la nature et de la teneur en ajouts (laitier, pouzzolane, calcaire).

2) La finesse de mouture (finesse de Blaine)

Les ciments se présentent sous forme de poudre finement divisée. Cette finesse est une caractéristique importante: lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande et plus l'hydratation est rapide et complète.

La finesse d'un ciment est généralement exprimée par sa surface massique: c'est la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. La surface massique est généralement exprimée en cm² de surface des grains de ciment par gramme de poudre (cm²/g)...Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm²/g.

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée.

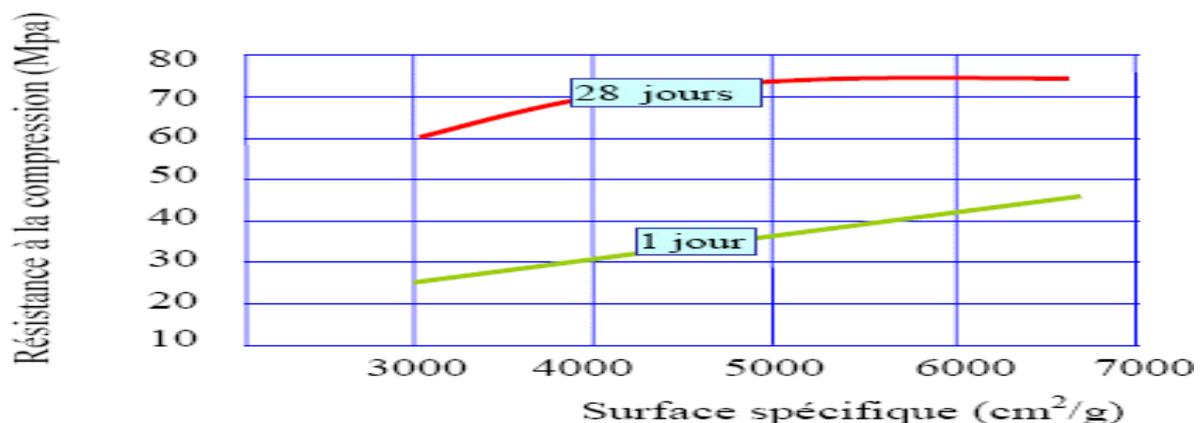


Figure 1: Influence de la surface spécifique sur la résistance à la compression.

L'appareil utilisé pour déterminer la finesse de mouture de ciment est appelé «Perméabilimètre de Blaine». Cet appareil est schématisé sur la figure 2.

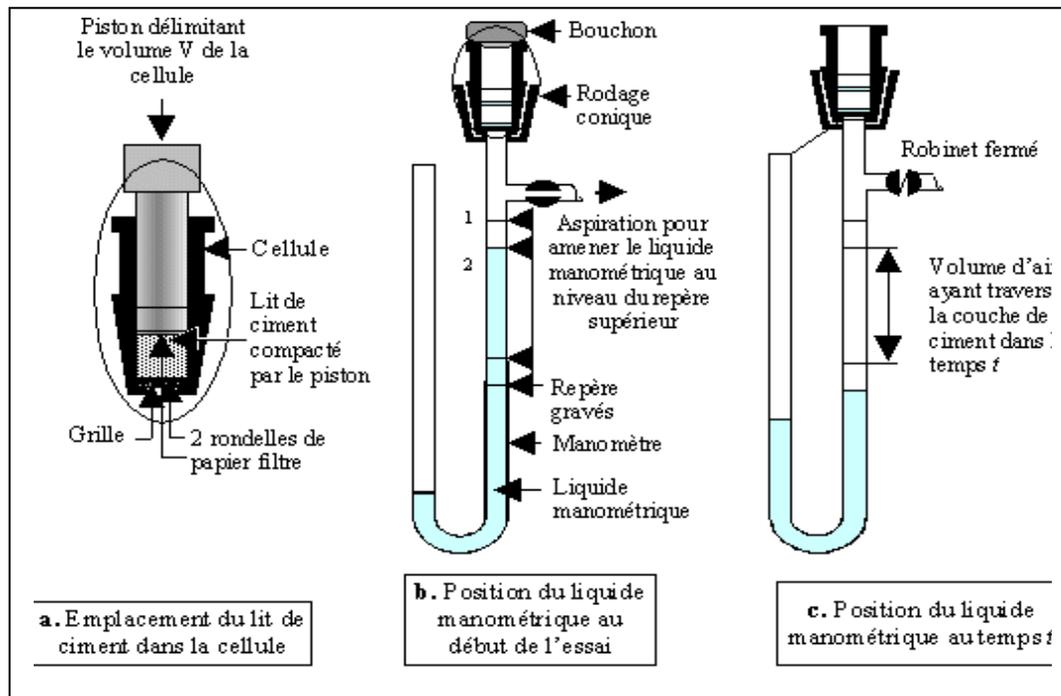


Figure 2: Principe de fonctionnement de perméabilimètre de *Blaine*.

3) Consistance de la pâte

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Il y a deux types d'essai, qui permettent d'apprécier cette consistance.

1. L'essai de consistance s'effectue avec l'appareil de Vicat.
2. L'essai d'écoulement au cône. La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique, qui évolue au cours de temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en

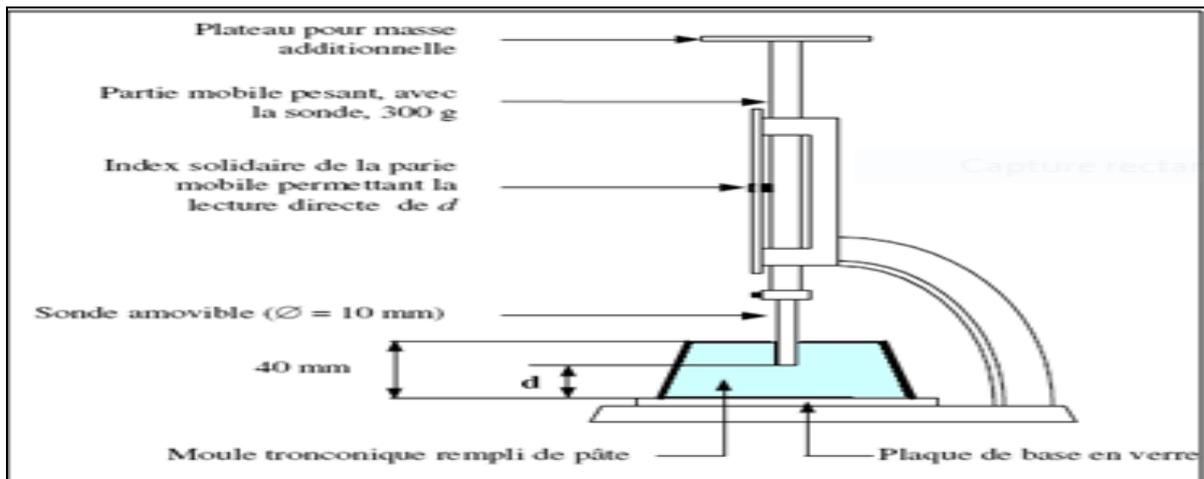


Figure 3: Appareil de Vicat muni de la sonde de consistance.

Fonction des différents paramètres, il faut pouvoir partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées.

L'objectif de cet essai est de définir Une telle consistance dite « CONSISTANCE NORMALISEE».

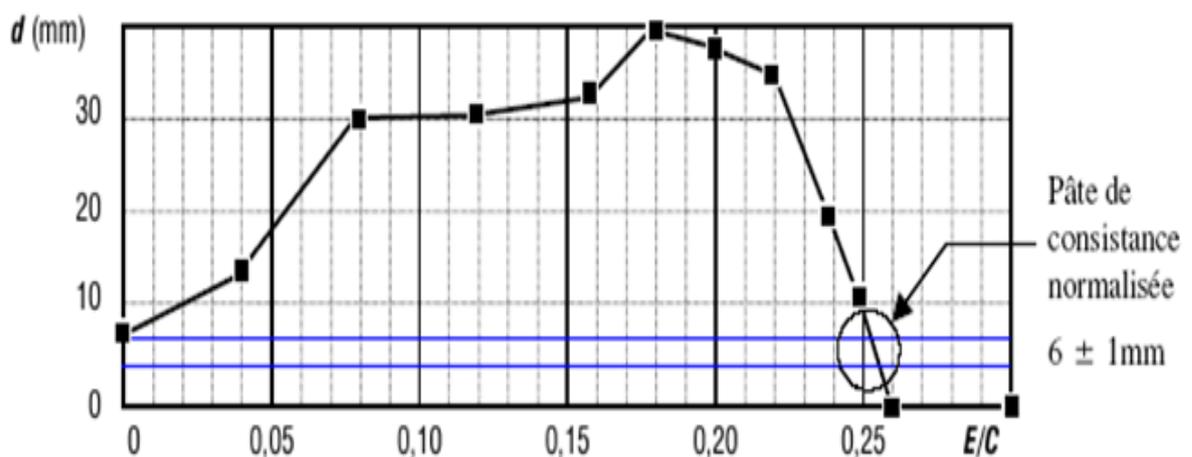


Figure 4: Evolution de la consistance d'une pate de ciment en fonction de E/C.

4) Temps de début et de prise

Il est nécessaire de connaître le début et la fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques: Le début de prise et la fin de prise.

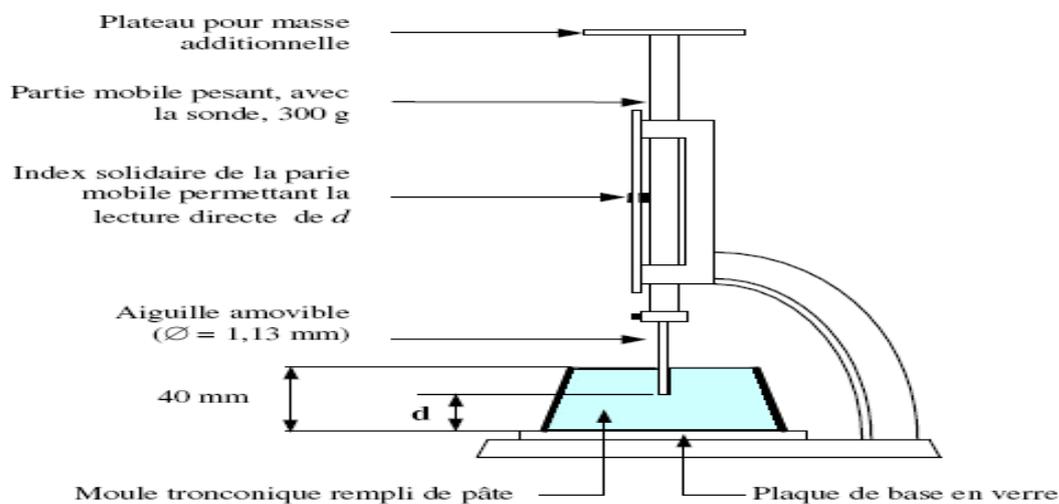


Figure 5: Appareil de Vicat.

- **La prise**

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser.

- **Le début de prise**

Correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au

moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment.

▪ **La fin de prise**

Correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau. Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels:

- la nature du ciment,
- la finesse de mouture du ciment; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.
- la température; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température Ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de Prise sera de 18 heures à 2 °C, de 5 heures à 10 °C, de 3h 30 à 20 °C et de 30 min à 35 °C.
- la présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise,
- l'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise.

En fonction de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20 °C, de:

* 1h-30 pour les ciments de classes 35 et 45.

* 1h pour les ciments des classes 55 et HP.

Il est à noter que pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h-30 à 3h pour la majorité des ciments.

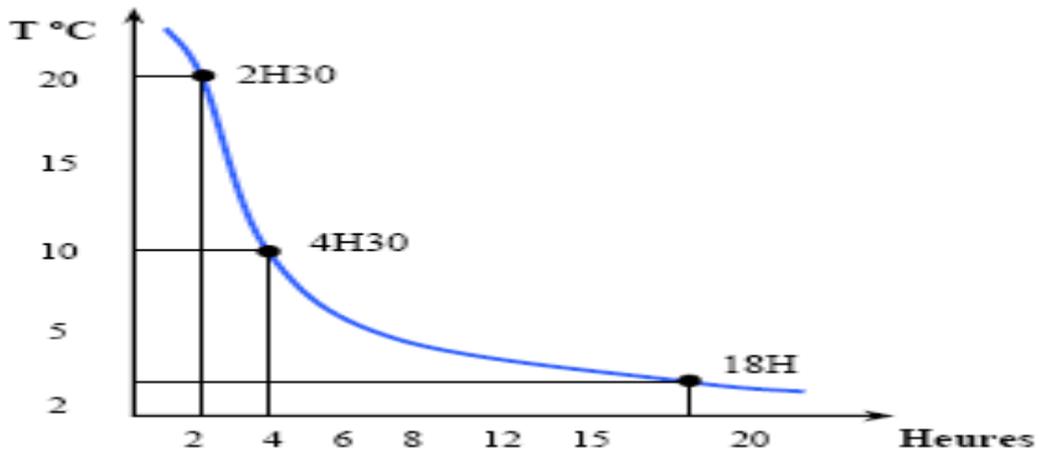


Figure 6 : Evolution du temps de *prise* En fonction de la température.

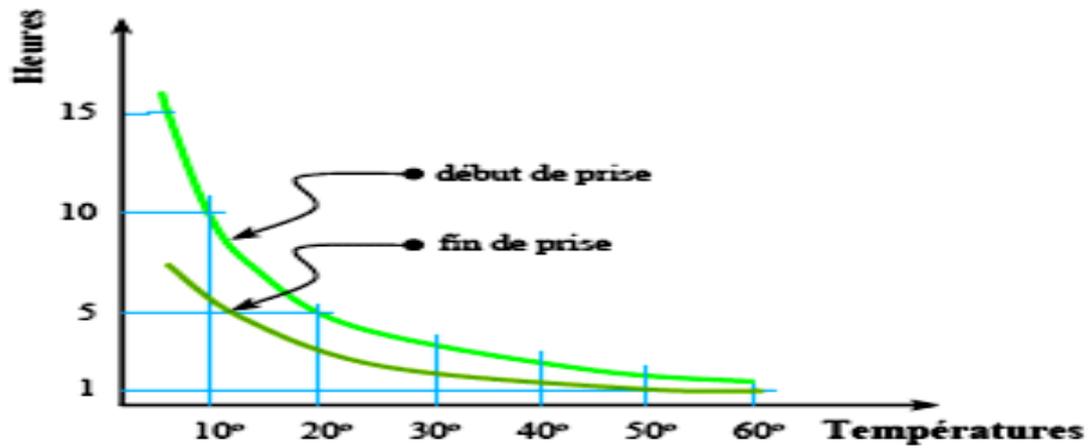


Figure7 : Influence de la température sur la prise de ciment.



Figure 8 : Influence de E/C sur la *prise* des ciments.

▪ Le durcissement

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

▪ Prise et durcissement des constituants du clinker

Pour mieux comprendre les propriétés des ciments portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément.

Le graphique ci-dessous montre le développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland.

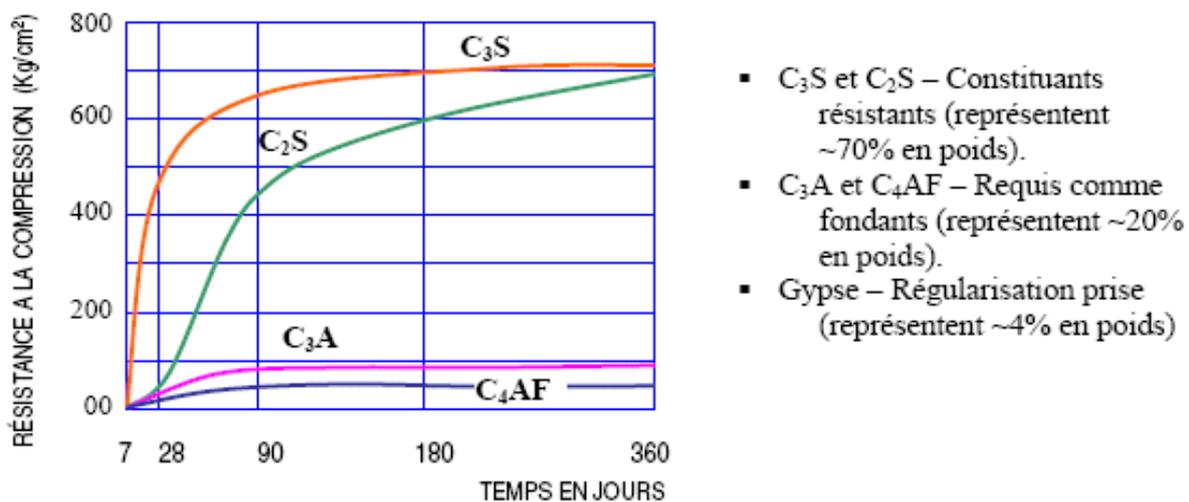


Figure 9: Le développement des résistances dans le temps des constituants purs du CP.

Dans une poudre de ciment portland en contact avec l'eau, l'aluminate tricalcique (C₃A) réagit en premier, se dissout et se recristallise.

Vient ensuite la réaction d'hydrolyse, de l'alite-Silicate tricalcique (C_3S) forme autour des grains une pellicule de gel et met en même temps des ions Ca^{2+} en solution.

L'hydrolyse et la recristallisation de (C_3A) sont rapides. Cette activité est si grande qu'il faut la retarder car elle conduirait à des prises trop rapides et rendrait le liant inutilisable sur chantier.

5) Chaleur d'hydratation

Le phénomène de prise du ciment s'accompagne d'une réaction exothermique dont l'importance dépend de différents paramètres, en particulier:

- la finesse de mouture: plus le ciment est broyé fin, plus la chaleur d'hydratation est élevée
- la nature des constituants: les ciments CPA comportant presque exclusivement du clinker dégagent plus de chaleur que des ciments avec constituants secondaires.
- la nature minéralogique du clinker: plus les teneurs en aluminat tricalcique (C_3A) et silicate tricalcique (C_3A et C_3S) sont élevées, plus la chaleur d'hydratation est forte
- la température extérieure.

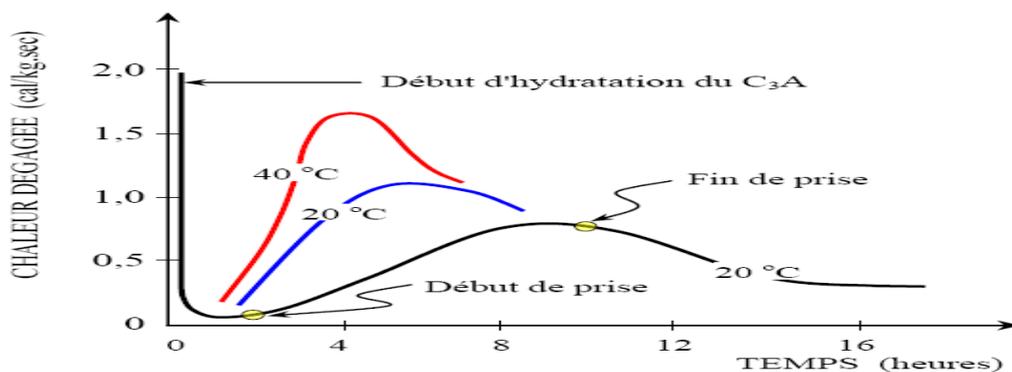


Figure10 : Chaleur dégagée Lors de l'hydratation du CP.

6) Stabilité de volume

La réaction d'hydratation est accélérée par un traitement thermique de la pâte, de façon à pouvoir constater l'expansion éventuelle du ciment dans un délai très court.

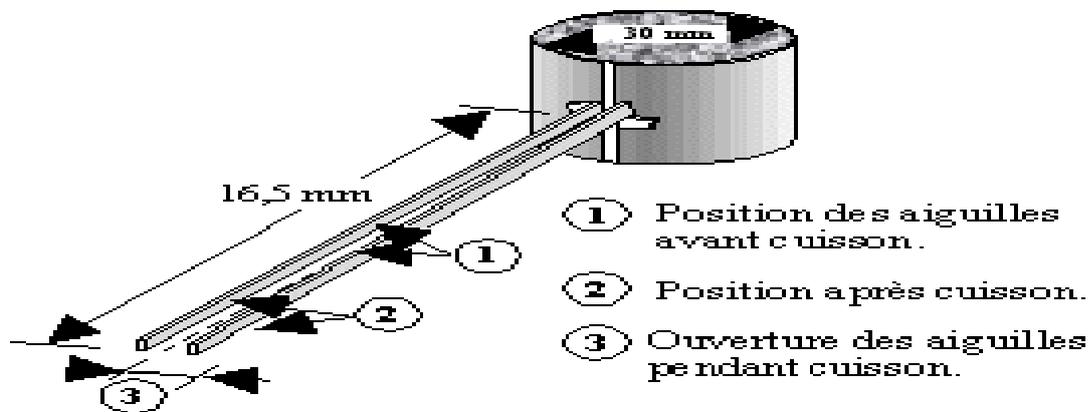


Figure 11 : Aiguilles de Le Châtelier.

L'essai permet de s'assurer que le ciment ne contient pas de substances susceptibles de provoquer une expansion dangereuse au cours du temps.

On simule l'effet du temps en accélérant les processus de durcissement par une cuisson à 100 °C pendant 2 heures d'une pâte durcie de ciment à consistance normale âgée de 24 heures. Pour mesurer l'expansion, on utilise les aiguilles de Le Châtelier (figure 11). La différence d'ouverture des aiguilles avant et après cuisson doit rester inférieure à 10 mm.

Aujourd'hui on contrôle la pureté et la stabilité des ciments portland par voie chimique tels:

- Perte au feu
- Insoluble
- Teneur en SO_3 , en MgO , en C_3A etc.

7) Résistance à la compression

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa.

Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le sable utilisé est un sable appelé « sable normalisé ».

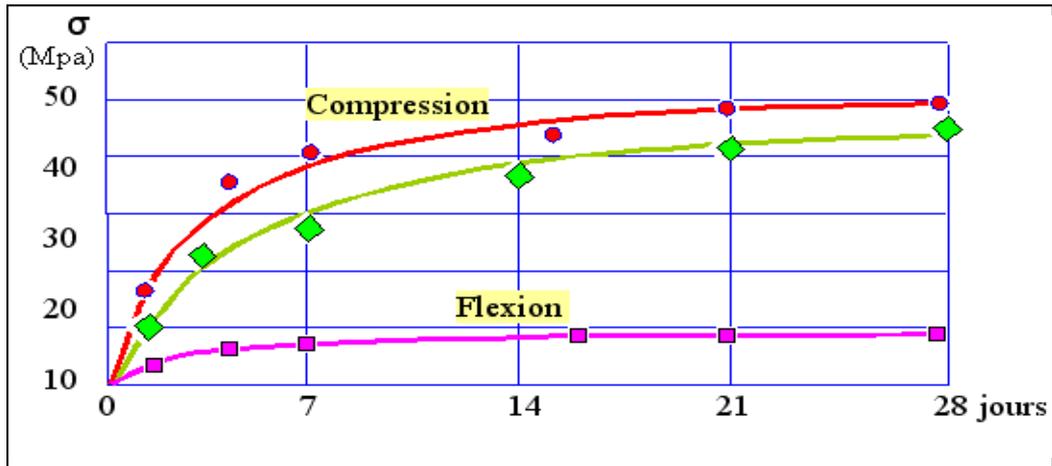


Figure 12: Résistance du mortier normal.

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

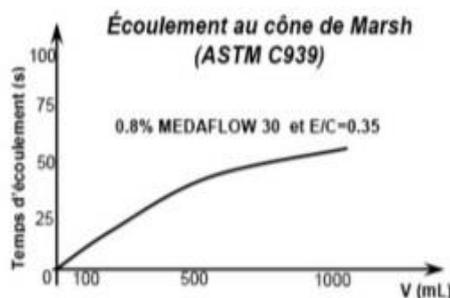
Domaines D'application

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

Caractéristique

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1, 07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex
شرانیتکس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le

CNERIB en 22 AVR 2012

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granit
فرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



