

Université SAAD DAHLEB de Blida

Département génie des procédés

Option génie des matériaux

Thème :

Etude des mortiers modifiés par la présence des polymères associatifs

Les membres de jury

Mm ZERMENE

Mm MEKRACHI

Mr BOUCHERIT

Promoteur

Mr FETTAKA

Realisé par

Mm MESSAOUD KHADIDJA

Promo 2014-2015.

## **Remerciement**

*Au terme de ce travail, je remercie tout d'abord notre seigneur qui nous a éclairé le chemin du savoir et ouvert les portes des connaissances.*

*Je tiens à remercier tous les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de cette mémoire en particulier mon promoteur Mr M.FETTAKA pour sa compréhension, son encouragement et ses conseils précieux.*

*Mes remerciements les plus sincères s'adressent aussi aux membres de jury Mr BOUCHERITE et Mm MEKRACHI qui m'accordent l'honneur de juger ce travail à leur tête Mm F.ZERMAN.*

*Je suis sincèrement reconnaissans tous les personelles de laboratoire contrôle qualité pour leur sympathie et la compréhension que m'a été réservé durant la pratique.*

## ***Dédicaces***

*C'est avec la joie je me permets de dédier ce travail :*

*A mes chers parents, source d'amour et d'affection, pour m'avoir aimés, éduqué, instruits cultivé et qui m'ont tous donnés pour arriver là depuis que j'ai commencé mes études.*

*A mes baux parents*

*A mon marie et mon fils*

*A la mémoire de mes frères et baux frères, mes sœurs, mes belles sœurs sans oublié mes nièces et mes neveux.*

*A mes chers amis*

*A tous les étudiant de ma promotion.*

# **Chapitre 1 :**

# **Généralité sur le**

# **ciment**

# **Chapitre 2 :**

## **Généralité sur les dérivés de cellulose**

**Chapitre 3 :**  
**Matériaux, méthodes**  
**et étude**  
**expérimentale**

# **Chapitre 4 : Résultats et discussion**

# **Conclusion générale**



**Résumé :**

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des polysaccharides et plus particulièrement les éthers de cellulose sur les propriétés mécaniques telles que : la consistance normale et les temps de prise pour les coulis ainsi que la résistance à la compression des mortiers correspondants.

Nous avons focalisé notre étude sur l'effet de la structure chimique et du poids moléculaires de ces adjuvants organiques sur les mortiers et les coulis. Les adjuvants organiques utilisés sont l'HydroxylPropyleMéthyl Cellulose (HPMC), lesHydroxylPropyle Cellulose (HPC). Un second aspect a été pris en considération à savoir la comparaison entre l'effet des HPMC en tant qu'adjuvant avec celui des mélanges HPC/MC (Méthyl Cellulose)correspondants.

Les résultats expérimentaux ont montré que les mélanges HPC/MC pourraient constituer des substituts de qualité des HPMC avec un meilleur contrôle des propriétés physico-mécaniques. En effet, le bon choix des poids moléculaires des composantes des mixtures HPC/MC constitue un moyen adéquat pour un judicieux remplacement des HPMC.

Les mots clés : les adjuvants organiques, les dérivés de cellulose, mortier, coulis, résistance à la compression

## ملخص:

وكان الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير السكرباتو أكثر السيلولوز ولا سيما على خواص الميكانيكية مثل التناسق العادي ووقت الإعداد لخصائص قوة ضاغطة المقابلة.

ركز نادر استنحو لتأثير التراكيب الكيميائية الوزنا لجزئيهذه العضوية المضافة فيقدانها ونوالجص الإضافات العضوية المستخدمة هي الهيدروكسيلير وبيلميثيلاسليلوز (HPMC)، والهيدروكسيلير وبيلاسليلوز (HPC). أجرى الجانب الثاني عينا لا اعتبار و هي المقارنته بين تأثير HPMC كمكمل علاج مع خليط من HPC / MC ميثيلاسليلوز المرسلين .

وأظهرت النتائج التجريبية أن مخاليط HPC / MC يمكن أن تشكل HPMC بدائل ذات جودة عالية مع تحسين السيطرة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. والواقعا لا اختيار الصحيح للأوزان الجزئية للمكونات المخاليط HPC / MC هو وسيلة مناسبة لاستبدال الحزمة من HPMC.

الكلمات الرئيسية: بناء العضوية، مشتقات السليلوز، الجص، وقوة الضغط

## Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre 1 : Généralité sur le ciment</b>	
Introduction.....	3
1-Généralités sur le ciment .....	3
1.1Présentation de la cimenterie de Meftah .....	3
1.2Procédé de fabrication du ciment par la voie sèche .....	3
1.2.1L'extraction et la préparation des matières premières .....	3
1.2.2La préparation du cru .....	3
1.2.3La cuisson .....	4
1.2.4Broyage du clinker .....	4
1.2.5Les expéditions .....	4
1.3 Les type des ciments.....	5
2. Composition chimique et hydratation du ciment .....	6
2.1 Nomenclature .....	6
2.2 Composition minéralogique du clinker .....	6
2.3 Hydratation du ciment .....	6
2.3.1 Théorie de prise et durcissement .....	6
2.3.2 Hydratation des silicates tricalciques .....	7
2.3.3 Hydratation du silicate bicalcique C2S.....	7
2.3.4 Hydratation de l'aluminate tricalcique C3A .....	7
2.3.5 Hydratation des aluminoferrites de calcium .....	8
3. Les adjuvants .....	8
3.1 Définition .....	8
3.2 Fonctions des adjuvants .....	8
3.3 Classification des adjuvants selon leurs efficacités .....	8
3.3.1 Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton .....	8
3.3.2 Les adjuvants modifient la prise et le durcissement .....	9

3.3.3 Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton .....	10
---	----

## **Chapitre 2 : généralité sur les dérivés de cellulose**

Introduction .....	12
1. généralité sur les dérivés de cellulose .....	12
1.1 La cellulose .....	12
1.1.1 Les sources de la cellulose .....	13
1.1.2 Structure de la cellulose .....	13
1.1.3 Les méthodes d'obtention de la cellulose .....	14
1.1.4 Les modifications chimiques de la cellulose .....	14
1.1.5 Les dérivés de la cellulose .....	16
1.2 Les éthers de cellulose .....	16
1.2.1 Les conditions de mise en œuvre des éthers de cellulose .....	16
1.2.3 Synthèse des éthers de cellulose .....	16
1.2.4 Quelques exemples des éthers de cellulose .....	17

## **Chapitre 3 : Matériaux, méthode et étude expérimentale**

Introduction .....	20
1. Matériaux utilisés .....	20
1.1 Etude de poudre de ciment .....	20
1.2 Description du sable normalisé .....	21
1.3 L'eau de gâchage .....	21
1.4 Les adjuvants .....	22
1.4.1 Les polymères hydrosolubles étudiés .....	22
2. Méthodes et essais .....	23
2.1 Essai de compression .....	23
2.1.1 Principe .....	23
2.1.2 Formulation et préparation du mortier modèle .....	24
2.2 Essai de maniabilité .....	26
2.2.1 Principe de l'essai .....	26
2.2.2 Appareil et mode opératoire .....	26
2.3 Essai de la consistance normalisée .....	27
2.3.1 Appareillage .....	27
2.3.2 Préparation de la pâte normale .....	28

a. Malaxage de la pâte de ciment .....	28
b. Essai de pénétration .....	29
2.3.3 La demande en eau.....	29
4. Essais de temps de prises .....	30
4.1 Principe .....	30
4.2 Début et fin de prise .....	30

## **Chapitre 4 : Résultats et discussion**

Introduction .....	31
1. Les performances des éthers cellulosiques : HPC, MC et HPMC .....	31
1.1 La consistance .....	31
1.2 Temps de prise .....	32
1.3 L'expansion .....	33
1.4 La résistance à la compression .....	33
2. Les performances des mélanges d'éthers cellulosiques : HPC/MC	
2.1 Les performances de HPC1/MC	
2.1.1 La consistance .....	36
2.1.2 Temps de prise .....	36
2.1.3 L'expansion .....	37
2.1.4 La résistance à la compression .....	37
2.2 Les performances de HPC 2/MC .....	38
2.2.1 La consistance .....	38
2.2.2 Temps de prise .....	39
2.2.3 L'expansion .....	39
2.2.4 La résistance à la compression .....	40
3. La comparaison des performances des mélanges d'éthers cellulosiques HPC/MC avec ceux des copolymères HPMC .....	41
3.1 La consistance .....	42
3.2 Temps de prise .....	42
3.3 La résistance à la compression .....	43
3.4 L'écoulement .....	45
3.5 L'étalement .....	45
Conclusion générale .....	47
Annexe	



## Conclusion générale

Les éthers de cellulose du type hydropropylméthylcellulose (HPMC) sont systématiquement introduits dans les formulations des mortiers industriels. Les effets macroscopiques de ces adjuvants sur la réaction d'hydratation sont parfaitement connus, mais ils n'en restent pas moins inexplicables. En effet, alors que l'éther de cellulose confère une bonne maniabilité et d'excellentes propriétés de rétention d'eau au mortier, des pertes en propriétés de résistance aux contraintes mécaniques interviennent et ne sont pas maîtrisées.

Ce projet a été initié afin d'accroître les propriétés mécaniques des éthers de cellulose de type HPMC en les substituant par leurs mélanges correspondants HPC/MC. Pour ce faire, le mode d'action de l'éther de cellulose sur la cinétique d'hydratation du ciment a été partiellement élucidé en examinant l'impact des paramètres de structure sur la cinétique d'hydratation.

La réalisation de plusieurs tests physico-mécaniques sur les coulis et mortiers ont permis de révéler les paramètres moléculaires prépondérants dans les interactions existant dans le film interstitiel et sur la précipitation de la portlandite. Pour un assez large panel d'éthers de cellulose étudiés, l'étude cinétique montre une influence non négligeable des poids moléculaires. Ainsi, les éthers de cellulose au plus haut poids moléculaire montrent une meilleure rétention d'eau, une plus longue cinétique d'hydratation et une meilleure stabilité des coulis adjuvantés. Toutefois, la résistance du mortier non adjuvanté à la compression reste, de loin, la plus intéressante.

En adoptant la stratégie de substitution des HPMC par les mélanges HPC/MC, l'adjuvantage des mortiers par ces derniers augmenterait de façon significative leurs propriétés à la résistance mécanique.

L'ensemble de nos résultats expérimentaux indique que l'application des mélanges HPC/MC apporte plus de champ de manœuvre, en matière de modulation des effets, que les HPMC. Car si les copolymères étaient très prisés pour leur pouvoir de rétention d'eau, les mélanges apporteraient une meilleure ouvrabilité des coulis et surtout une meilleure résistance aux compressions des mortiers.

Une étude plus pointue doit être engagée avec les techniques appropriées afin de mieux comprendre les phénomènes thermodynamiques qui accompagnent les cinétiques d'hydratation. Des observations aux différentes techniques microscopiques (optique et polarisant) sont plus que nécessaires afin de situer les mécanismes d'adsorption des polysaccharides.



## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Procédé de fabrication du ciment .....	4
<b>Figure 2.2</b> : Motif répétitif dans la cellulose .....	12
<b>Figure 2.3</b> : Les différentes sources de matières premières cellulosiques .....	13
<b>Figure 2.4</b> : Structure moléculaire de la cellulose .....	13
<b>Figure 2.5</b> : Modifications chimiques les plus rencontrées en relation avec la structure de la cellulose .....	15
<b>Figure 2.6</b> : Structures moléculaires de quelques dérivés cellulosiques .....	17
<b>Figure 3.7</b> : Structure de la cellulose .....	22
<b>Figure 3.8</b> : motif répété des différents dérivés cellulosique .....	23
<b>Figure 3.9</b> : Moule prismatique 4x4x16 cm .....	annexe
<b>Figure 3.10</b> : malaxeur normalisé .....	annexe
<b>Figure 3.11</b> : table à choc .....	annexe
<b>Figure 3.12</b> : presse pour compression .....	annexe
<b>Figure 3.13</b> : Efforts appliqués sur une éprouvette pour le Flexion et la compression.....	25
<b>Figure 3.14</b> : Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCL(B) .....	26
<b>Figure 3.15</b> :Maniabilimètre LCL .....	27
<b>Figure 3.16</b> : Appareil de Vicat manuel .....	annexe
<b>Figure 3.17</b> : Appareil de Vicat avec la sonde de consistance.....	28
<b>Figure 3.18</b> : Appareil de Vicat automatique .....	annexe
<b>Figure 4.19</b> : Consistances normales des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté.....	32
<b>Figure 4.20</b> : Temps de prise des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté .....	32
<b>Figure 4.21</b> : Test de stabilité des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté .....	33
<b>Figure 4.22</b> : Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 7 jours) .....	34

<b>Figure 4.25:</b> Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 28 jours) .....	35
<b>Figure 4.26 :</b> Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 90 jours) ... ..	35
<b>Figure 4.27 :</b> Consistances normales des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC .....	36
<b>Figure 4.28 :</b> Temps de prise des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC .....	36
<b>Figure 4.29 :</b> Stabilité des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC .....	37
<b>Figure 4.30 :</b> Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC .....	37
<b>Figure 4.31 :</b> Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC (à 28 et 90 jours).....	38
<b>Figure 4.32 :</b> Consistances normales des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC .....	38
<b>Figure 4.33 :</b> Temps de prise des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC .....	39
<b>Figure 4.34 :</b> Stabilité des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC .....	39
<b>Figure 4.35 :</b> Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC.....	40
<b>Figure 4.36 :</b> Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC (au bout de 28 jours) ....	40
<b>Figure 4.37 :</b> Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC (au bout de 90 jours)....	41
<b>Figure 4.38 :</b> Consistances normales des mortiers adjuvantés aux HPMC comparées à celles des consistances extrêmes des mélanges HPC/MC .....	42
<b>Figure 4.39 :</b> Temps de début de prise des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des temps de prise extrêmes des mélanges HPC/MC .....	42
<b>Figure 4.40 :</b> Temps de fin de prise des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des temps de prise extrêmes des mélanges HPC/MC .....	43

<b>Figure 4.41</b> : Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC .....	43
<b>Figure 4.42</b> : Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC (au bout de 28 jours) .....	44
<b>Figure 4.43</b> : Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC (au bout de 90 jours) .....	44
<b>Figure 4.44</b> : Temps d'écoulement des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC .....	45
<b>Figure 4.45</b> : Etalement des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC .....	45

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : les types des ciments .....	5
<b>Tableau 1.2</b> : Principaux phases anhydres du ciment .....	6
<b>Tableau 1.3</b> : Principaux hydrates formés lors de l'hydratation du ciment.....	7
<b>Tableau 2.4</b> : Principaux caractéristiques des dérivés de la cellulose .....	18
<b>Tableau 3.5</b> : Composition chimique du ciment utilisé .....	20
<b>Tableau 3.6</b> : Composition granulométrique du sable de référence CEN.....	21
<b>Tableau 3.7</b> : classification des dérivés de cellulose.....	23
<b>Tableau 3.8</b> : Formulation du mortier .....	25
<b>Tableau 3.9</b> : Classe de consistance selon la durée d'écoulement.....	28

## Introduction générale

La mise en œuvre et la performance des matériaux cimentaires a été améliorée avec l'utilisation des adjuvants polymères dans les formulations. Leur rôle est d'assurer à la suspension de départ une fluidité maximale pour une teneur en eau minimale, afin de la rendre facile à manipuler tout en évitant les effets néfastes des excès d'eau sur la stabilité à l'état frais et sur sa durabilité et ses performances à l'état durci.

Désormais, les mortiers industriels sont formulés à partir de mélanges de matières premières que sont le sable, le ciment et éventuellement d'adjuvants organiques et des additifs minéraux. Parmi les dizaines de composants entrant dans la formulation d'un mortier industriel, les éthers de cellulose représentent un poids économique considérable. Les dérivés cellulosiques du type Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) ont été toujours appréciés pour leur pouvoir de rétention d'eau au sein des mortiers. Néanmoins, les propriétés mécaniques de ces derniers se trouvent amoindries vis-à-vis de leur résistance à la compression.

Cette étude a été initiée afin d'obtenir des données physico-chimiques, permettant d'apporter un éclairage nouveau sur l'action de mélanges d'éthers cellulosiques : Hydroxypropylcellulose –Methylcellulose : (HPC/MC) sur les propriétés d'usage d'un coulis ou d'un mortier. L'éventualité de substituer les HPMC par les mixtures HPC/MC et les conséquences induits sur la cinétique d'hydratation du ciment constitue la problématique principale de ce projet.

Notre travail a été réalisé essentiellement au niveau du laboratoire de physico-mécanique de la cimenterie de Meftah depuis Mars 2015 où la plupart des caractérisations ont été réalisées. Une série de tests de maniabilité et d'écoulement du mortier à l'état frais ont été réalisées au sein du laboratoire de génie des matériaux au niveau du département de génie-civil de l'université de Blida 1.

Ce mémoire se compose de quatre parties :

1. Une description de la problématique et une brève étude bibliographique faisant le point sur les connaissances actuelles sur l'hydratation du ciment et son adjuvantation.
2. Une description des structures chimiques des éthers cellulosiques

3. Une partie matérielle et méthodes où sont explicités les modes opératoires
4. Enfin, une partie discussions des résultats autour des tests exploratoires traitant de l'impact d'une série d'éthers cellulosiques (à savoir : HPC ; MC ; HPMC) , en tant qu'adjuvants aux matériaux cimentaires frais et durcis, comparé à celui des mélanges HPC/MC.

Le but de ce chapitre est de présenter les notions générales sur le ciment telles que le procédé de fabrication, la composition chimique et minéralogique du ciment et son hydratation, ainsi un aperçu sur les principaux types d'adjuvants leurs fonctions et leurs domaines d'utilisations.

## **1- Généralités sur le ciment :**

### **1.1- Présentation de la cimenterie de Meftah :**

**La Société des Ciments de la Mitidja (S.C.MI)** est une filiale de groupe industriel des ciments d'Algérie GICA. En partenariat avec Lafarge Depuis juin 2008, date de signature et mise en vigueur du contrat de management. La S.C.MI enregistre d'ailleurs une production historique de ciment durant l'année 2011. Pour le seul premier semestre 2011, celle-ci a connu une nette hausse atteignant les 500 000 tonnes.

La SCMI a réalisé un nouveau record en produisant 1 067 000 Tonnes de ciment durant l'année 2014[1].

### **1.2- Procédé de fabrication du ciment par la voie sèche :**

#### **1.2.1-L'extraction et la préparation des matières premières :**

Le calcaire et l'argile nécessaires à la fabrication du ciment sont extraits des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage.

Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière dans le temps.

#### **1.2.2-La préparation du cru :**

La préparation du cru constitue une étape essentielle dans le procédé de fabrication du ciment car elle en détermine la qualité.

Fabriquer le cru consiste à mélanger calcaire, argile et minerai de fer après que ces matériaux aient été finement broyés dans des broyeurs à boulets et très précisément dosés.

Dans ces procédés, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées lors de l'opération de broyage afin d'obtenir la farine.

Celle-ci peut être introduite directement dans le four sous forme pulvérulente.

### 1.2.3-La cuisson :

La cuisson se fait à une température voisine de 1450 °C dans un four rotatif, long cylindre tournant de 125 tours/heure et légèrement incliné.

La matière chemine lentement et se combine en venant à la rencontre de la source de chaleur.

Pour améliorer le bilan thermique, un échangeur à cyclone préchauffe le cru en amont du four.

A la sortie du four, un refroidisseur à grille permet d'assurer la trempe des nodules incandescents et de les ramener à une température d'environ 100 degrés.

Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker :

- la décarbonatation du carbonate de calcium (calcaire) donne de la chaux vive,
- l'argile se scinde en ses constituants : silice et alumine qui se combinent à la chaux pour former des silicates et aluminates de chaux. Ce phénomène progressif constitue la clinkérisation.

### 1.2.4-Broyage du clinker :

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps broyants sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent progressivement le ciment à l'état de fine farine.

A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur.

C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise du ciment.

### 1.2.5-Les expéditions :

Acheminés vers les silos de stockage, les ciments quittent l'usine en sacs ou en vrac. Les sacs contiennent 50 kg de ciment. Le ciment livré en vrac constitue 70% de la production. Il est transporté par camion-Citerne (figure 1.1) [2].



Figure1.1 : Procédé de fabrication du ciment [2].



### 1.3- Les types des ciments :

Le tableau 1.1 regroupe les différents types de ciment, utilisés au sein de la cimenterie de Meftah, avec leurs majeurs composants.

**Tableau 1.1** : les types des ciments[3].

Type du ciment	Désignation	% clinker	Composants principaux(%)	Nature des principaux composants	Composants Secondaires(%)
CEM I	Ciment Portland	95-100	0	-	0-5
CEM II	Ciment portland Composé	65-94	6-35	Calcaire(L), Laitier granulé (S) Fumés de silice (D, max 10%) Pouzzoulane (P,Q), Cendres volantes (V,W) ou schiste carbonisé (T).	0-5
CEM III	Ciment des haut fourneau	5-64	36-95	Laitier granulé	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique	45-89	11-55	Pouzolanes, cendres volantes	0-5
CEM V	Ciment composé	20-64	36-80	Laitier granule et Pouzolanes, et/ou cendres volantes	0-5

## 2- Composition chimique et hydratation du ciment :

### 2.1- Nomenclature :

**Tableau 1.2:** Principaux phases anhydres du ciment [4].

Notation chimique	Formule chimique	Composition	Nom particulier
C <sub>3</sub> S	3CaO.SiO <sub>2</sub>	40 à 65%	Alite
C <sub>2</sub> S	2CaO.SiO <sub>2</sub>	8 à 35 %	Bélite
C <sub>3</sub> A	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 à 13%	Célite
C <sub>4</sub> AF	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 à 14%	Félite

### 2.2- Composition minéralogique du clinker :

#### Silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) :

Le « C<sub>3</sub>S » se trouve en très grande proportion dans le CEM I. C'est l'élément actif du ciment artificiel. Il confère au ciment les résistances à 28 jours du durcissement.

#### Silicatbicalcique (C<sub>2</sub>S) :

Il confère au ciment des résistances moins élevés que le « C<sub>3</sub>S ». Mais développe la résistance à long terme. Son aptitude au broyage est moins bonne que celle de « C<sub>3</sub>S », car sa dureté est plus grande.

#### Aluminate tricalcique : (C<sub>3</sub> A)

Il confère au ciment une très bonne résistance initiale 1 ou 2 jours du durcissement. Mais par la suite, il influe très peu sur cette dernière.

Il est sensible aux eaux de mer à cause sulfate qu'il contient. Il forme avec les sulfo-aluminate de chaux, les sels de Condrot, souvent très expansifs, les réactions d'hydratation est fortement exothermique.

#### Aluminate tétra calcique : (C<sub>4</sub>AF)

Il confère au ciment des résistances faibles et peu précises. On peut dire qu'il est inactif sur le plan hydraulique, et il constitue un fondant pendant la cuisson avec le (C<sub>3</sub>A) [4].

### 2.3- Hydratation du ciment :

#### 2.3.1- Théorie de prise et durcissement :

Le **début de prise** correspond à l'augmentation brusque de la viscosité de la pâte de ciment et à une élévation de sa température. Par contre, **La fin de prise** correspond à la transformation régulière et progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide. ; c'est le début de durcissement.

Tableau 1.3: Principaux hydrates formés lors de l'hydratation du ciment [4]

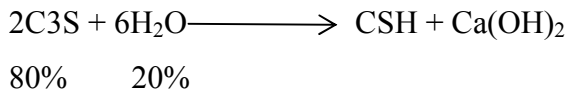
Notation cimentaire	Formule chimique	Dénomination
CH	Ca(OH) <sub>2</sub>	Portlandite
C-S-H	(CaO) <sub>c/s</sub> -(SiO <sub>2</sub> )-(H <sub>2</sub> O) <sub>H/S</sub>	Silicate de calcium hydraté
C <sub>3</sub> A(CS) <sub>3</sub> H <sub>32</sub>	[Ca <sub>3</sub> Al(OH) <sub>6</sub> ] <sub>2</sub> , 3SO <sub>4</sub> , 26H <sub>2</sub> O	Ettringite
C <sub>3</sub> A CS H <sub>12</sub>	[Ca <sub>2</sub> Al(OH) <sub>6</sub> ] <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> , 6H <sub>2</sub> O	Monosulfoaluminate de calcium hydraté
C <sub>2</sub> AH <sub>8</sub>	(CaO) <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>8</sub>	Aluminate dicalcique hydraté
C <sub>3</sub> AH <sub>6</sub>	(CaO) <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	Hydrogrenat
C <sub>4</sub> AH <sub>13</sub>	(CaO) <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>13</sub>	Aluminate tétracalcique hydraté

### 2.3.2- Hydratation des silicates tricalciques :

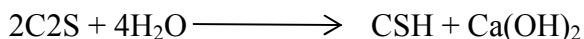
Le C3S est la phase la plus importante du ciment. La chaleur dégagée par cette phase est l'une des plus élevée.

La majeure partie de son hydratation se passe dans les 28 premiers jours. La réaction complète peu prendre jusqu'à une année

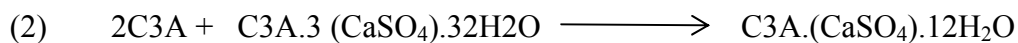
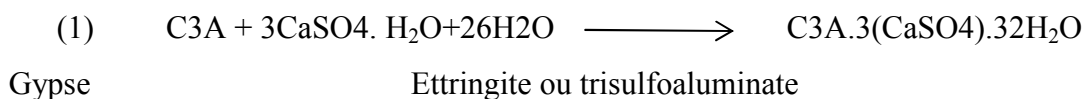
**L'hydratation du C3S** conduit à deux types d'hydrate :



### 2.3.3- Hydratation du silicate bicalcique:



### 2.3.4- Hydratation de l'aluminate tricalcique :

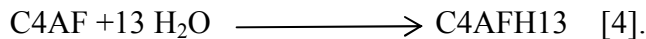


Monosulfoaluminate



### **2.3.5- Hydratation des aluminoferrites de calcium:**

L'hydratation de C4AF se déroule suivant la réaction :



## **3- Les adjuvants :**

### **3.1- Définition :**

Les adjuvants sont des produits chimiques « purs » ou des mélanges de produits organiques ou minéraux qui sont généralement incorporés aux bétons lors du malaxage ou lors de la mise en œuvre. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leur répartition dans la masse du béton.

L'utilisateur peut être amené à utiliser simultanément plusieurs adjuvants ayant des fonctions différentes, soit pour obtenir des effets conjoints, soit pour corriger des effets secondaires non recherchés ou amplifier l'une des fonctions principales.

L'efficacité et les effets secondaires de chaque adjuvant peuvent varier en fonction de son dosage dans le béton et les divers composants de celui-ci, en particulier du ciment. Pour l'interaction adjuvant-adjuvant, l'employeur doit s'assurer que les adjuvants utilisés sont compatibles entre eux, et qu'ils sont de même marque[5].

### **3.2-Fonctions des adjuvants**

#### **•Fonction principale**

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

#### **• Fonctions secondaires**

L'emploi d'un adjuvant peut entraîner des conséquences dites effets secondaires qui sans être recherchés n'en sont pas moins inévitables [6].

### **3.3- Classification des adjuvants selon leurs efficacités**

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale.

#### **3.3.1- Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :**

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

- **Les plastifiants réducteurs d'eau :**

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

Ils sont à base de lignosulfonate de, de sels d'acides organiques, de mélamine sulfonate, de naphthalène sulfonate ou dérivés mélamine ou naphthalène.

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

Ces adjuvants trouvent leurs emplois dans l'industrie béton manufacturé qui exige des bétons fermes pouvant être démoulé rapidement, dans les grands travaux de génie civil nécessitant des résistances élevées, ainsi que pour le bétonnage avec coffrage glissants.

- **Les superplastifiants :**

Introduit dans un béton, un mortier ou un coulis peu avant sa mise en œuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange.

Ce sont en générale des produits de synthèse organiques. Les plus utilisés sont les dérivés de mélamine ou naphthalène. Ils peuvent être aussi fabriqués à partir de sous-produits de l'industrie du bois purifiés et traités.

Sur le béton frais on constate une augmentation considérable de l'ouvrabilité pour une même demande en eau, ces effets ont une durée en fonction de la température de la teneur en eau et du dosage en ciment. Il n'y a ni ségrégation ni ressuage si des précautions sont prises à la mise en œuvre ; du béton reste très bonne.

Les superplastifiants sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondations, dallage, radiers, sols industriels, route, etc..., et pratiquement indispensables pour la confection des bétons de haute performance. Ils sont couramment utilisés dans le béton prêt à l'emploi, surtout lorsqu'il est pompé.

### **3.3.2- Les adjuvants modifient la prise et le durcissement**

Ces adjuvants sont des produits chimiques qui modifient les solubilités des différents constituants du ciment et surtout leurs vitesses de dissolution.

Physiquement cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé.

- **Les accélérateurs de prise et durcissement :**

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et fin prise du ciment dans les mortiers, bétons, et coulis.

L'accélérateur de durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des mortiers, bétons, et coulis.

Bien souvent les deux fonctions précédentes sont liées et l'on retrouve l'une de ces deux actions comme effet de l'autre.

Les adjuvants correspondants aux deux normes mentionnées ne contiennent pas de chlore les constituants sont généralement les dérivés de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque.

Ils sont recommandés pour le bétonnage à temps froid, les décoffrages rapides, les scellements, les travaux en galerie, les travaux sous l'eau, etc.

Il est à noter qu'un béton fortement accéléré chimiquement ou thermiquement, risque d'avoir une résistance mécanique légèrement diminuée.

### **3.3.3- Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :**

- **Les entraîneurs d'air :**

Ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, le mortier et coulis, de microbulles d'air uniformément réparties dans la masse.

Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonate, abiétate de résine, sels éthanol amine, que l'on mélange en fonction de la propriété à obtenir.

Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixé. Cet air est reparti de manière aléatoire et certaines vides peuvent nuire aux résistances du béton

L'entraîneur d'air permet d'entraîner un volume supérieur et de répartir uniformément.

La résistance au gel du béton durci, ainsi que sa résistance aux sels de verglaçage et aux eaux agressives, sont considérablement améliorées.

Les microbulles qui coupent les réseaux capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau interstitielle.

Il est recommandé de coupler l'utilisation d'un plastifiant à tout emploi d'entraîneur d'air.

- **Les hydrofuges de masse :**

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, mortiers et coulis durcis.

Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité aux bétons qui peut néanmoins se modifier au bout de quelque année. Les hydrofuges sont généralement à base d'acide gras ou de leurs dérivés (stéartes). Ils peuvent également comporter des matières fines (type bentonite) ainsi que des agents fluidifiant.

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

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

- **Les rétenteurs d'eau :**

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange.

Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50%. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution de volume des fines. La diminution des résistances à 28 jours par rapport au béton témoin est de l'ordre de 20%.

Ces produits qui sont, entre autre, des agents colloïdaux ou des dérivés de la cellulose sont utilisés pour l'exécution des mélanges retardés ou de mélange à couler sous l'eau sans délavage [6].

L'objectif de ce chapitre est de présenter les connaissances fondamentales des dérivés de celluloses leurs synthèses et leurs structures moléculaires et aussi leurs principales caractéristiques.

### 1- Généralité sur les dérivés de cellulose :

Les dérivés de cellulose sont des dérivés d'un polysaccharide qu'est la cellulose. Les polysaccharides sont des polymères constitués de plusieurs oses liés entre eux par des liaisons O-sidiques de formule générale  $:[C_x(H_2O)_y]_n-$ . Ils constituent une famille très importante de molécules souvent ramifiées et ils ont tendance à ne pas prendre de forme particulière ; on dit qu'ils sont amorphes. Ils sont insolubles dans l'eau et n'ont pas de pouvoir sucrant.

On distingue deux catégories de polysaccharides :

- les homopolysaccharides (ou homoglycanes) constitués du même monosaccharide.
- les hétéropolysaccharides (ou hétéroglycanes) formés de différents monosaccharides.

Les polysides les plus répandus du règne végétal sont la cellulose et l'amidon [7].

#### 1.1. La cellulose :

La cellulose est l'élément essentiel structural de très nombreuses espèces vivantes et spécialement des végétaux. Ce polysaccharide est un homopolymère qui appartient à la famille des  $\beta$ -D-glucanes. Il est constitué exclusivement d'unités  $\beta$ -D-glucose (figure 2.2) (entre 200 et 14000) reliées entre elles par des liaisons de type  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) qui forme des chaînes s'associant en microfibrilles de taille variable selon les sources de la cellulose [8].

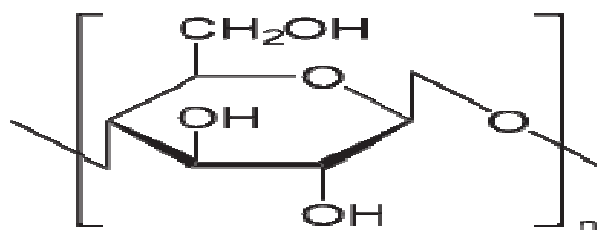


Figure 2.2 : Motif répétitif dans la cellulose.



### 1.1.1. Les sources de la cellulose :

C'est le principal constituant du bois, du coton, et quelques champignons filamenteux comme le Trichophyton...etc. (figure 2.3). La cellulose constitue la matière organique la plus abondante sur la Terre (plus de 50 % de la biomasse). La quantité synthétisée par les végétaux est estimée à 50-100 milliards de tonnes par an [8].



Coton

champignons

bois

Figure 2.3: Les différentes sources de matières premières cellulosiques.

### 1.1.2. Structure de la cellulose :

La cellulose est un homopolymère à très longue chaîne stéréorégulière composé de très nombreuses unités de D-Anhydroglucopyranose (AGU) reliées entre elles par des liaisons glycosidiques  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4). Le motif de répétition est le dimère cellobiose. Les AGU se trouvent en conformation chaise et possèdent 3 fonctions hydroxyles : 2 alcools secondaires et un alcool primaire (figure 2.4).

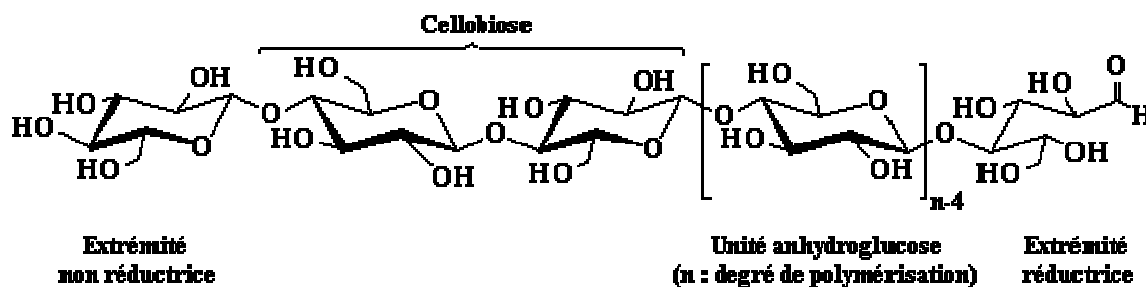


Figure 2.4 : Structure moléculaire de la cellulose [8].

Toutes les fonctions hydroxylées sont en position équatoriale par rapport au plan du cycle de la molécule de glucose. Les molécules sont stabilisées entre elles par l'intermédiaire de pont hydrogène ce qui donne à l'ensemble un fort pouvoir cohésif.

### **1.1.3. Les méthodes d'obtention de la cellulose :**

Plusieurs méthodes d'obtention de la cellulose à partir de la biomasse ont été décrites, Toutes ces méthodes consistent en l'appauvrissement progressif des parois cellulaires des végétaux. Les traitements appliqués aux échantillons végétaux peuvent être chimiques ou physico-chimiques.

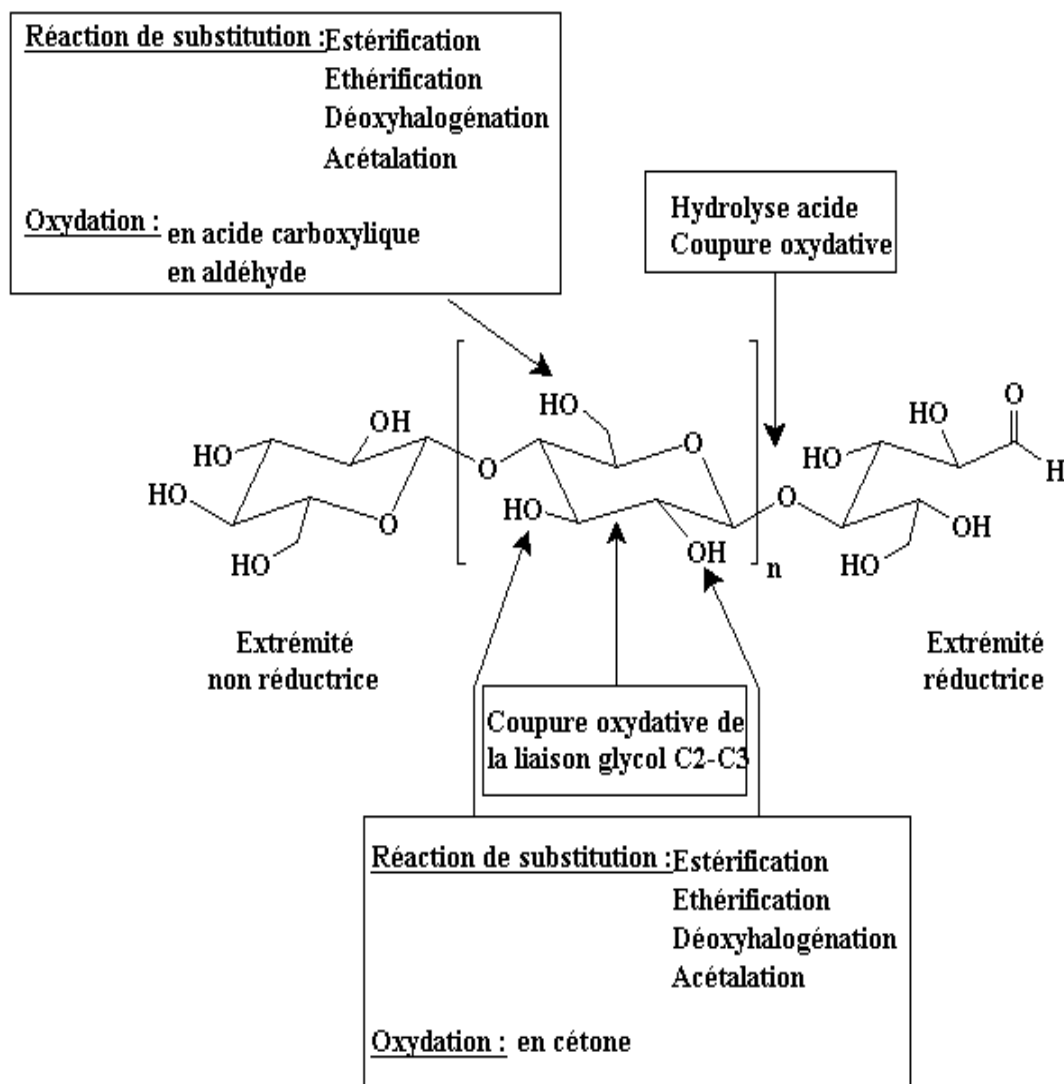
Les traitements chimiques vont permettre, par action conjuguée de solvants adaptés, d'éliminer tous les constituants du bois autres que la cellulose. Ces extractions vont d'abord agir sur les composés extracellulaires puis sur les constituants de la paroi cellulaire.

La deuxième grande voie de fractionnement de la biomasse est un traitement physico chimique appelé explosion à la vapeur. Elle consiste en la solubilisation par vapeur d'eau.

### **1.1.4. Les modifications chimiques de la cellulose :**

Les modifications de cellulose les plus fréquemment rencontrées sont l'estérification et l'éthérification des groupements hydroxyles de la cellulose. De nombreux dérivés cellulosiques hydrosolubles ou solubles dans des solvants organiques sont préparés par ces méthodes chimiques de modification.

Il existe cependant d'autres types de transformation. Les différents types de modification de la cellulose sont répertoriés sur la (figure 2.4). Il est possible d'effectuer sur la cellulose toutes les modifications applicables aux alcools primaires (C-6) et secondaires (C-2, C-3), aux liaisons cétales (C-2, C-3), aux liaisons éthers (liaisons  $\beta$  (1-4)) et, à un moindre niveau, aux fonctions aldéhydes (extrémité réductrice du polymère).



**Figure 2.5 :** Modifications chimiques les plus rencontrées en relation avec la structure de la cellulose[8].

Ces différentes réactions peuvent être classées en deux catégories, selon les modifications apportées au polymère :

- modifications du squelette lui-même (oxydation de la liaison glycol, oxydation de la fonction alcool primaire),
- modifications des groupements hydroxyles.

Cependant, dans presque tous les cas de transformations, la cellulose doit subir un traitement préalable en raison du nombre important de liaisons hydrogène.

### 1.1.5. Les dérivés de la cellulose :

Les groupements hydroxyles de la cellulose peuvent réagir partiellement ou totalement avec différents réactifs chimiques pour donner des dérivés cellulosiques aux propriétés propres. Les principales familles de dérivés de la cellulose sont les :

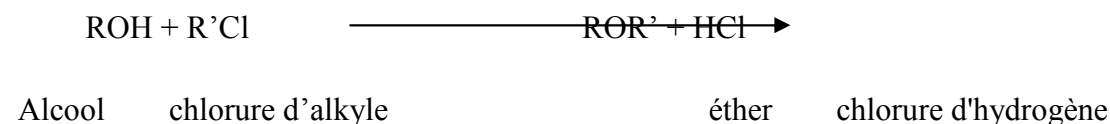
- Esters de cellulose comme par exemple l'acétate de cellulose.
- Ethers de cellulose.

### 1.2. Les éthers de cellulose :

Les éthers cellulosiques sont des polymères dérivés de la cellulose (maillons d'anhydroglucose reliés par une liaison glycosidique), et solubles dans l'eau. En effet, la cellulose n'étant pas soluble dans l'eau, la substitution des groupements hydroxyles sur la chaîne de cellulose modifie cette propriété.

#### 1.2.1. Les conditions de mise en œuvre des éthers de cellulose :

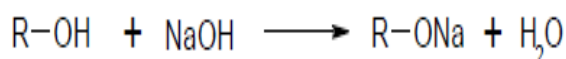
La présence des groupes hydroxyles a aisément suggéré aux chimistes que la cellulose pourrait être convertie en dérivés utiles par l'éthérification. Cette réaction est exprimée par ce qui suit:



R est un radical organique tel que le méthyle (CH<sub>3</sub>-), l'éthyle (C<sub>2</sub> H<sub>5</sub>-). L'alcool, ROH, représente un des trois groupes de l'hydroxyde dans un motif d'anhydroglucose.

#### 1.2.3. Synthèse des éthers de cellulose :

La fabrication des éthers de cellulose est un processus complexe. En milieu industriel, la matière première utilisée est la cellulose à haute pureté. Etant insoluble dans l'eau, pour la rendre accessible à une réaction chimique. La cellulose est d'abord finement broyée, puis mise en contact avec une solution d'hydroxyde de sodium pour former « l'alcali-cellulose ». Dans les équations le groupement R est le radical d'anhydroglucopyranose.

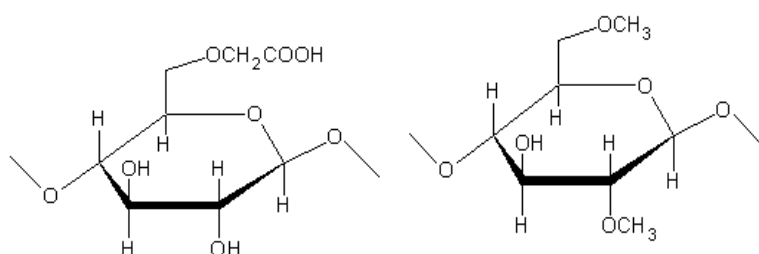


Les éthers de cellulose (EC) peuvent être synthétisés par différentes voies. Cependant seuls deux procédés sont utilisés à des fins commerciales :

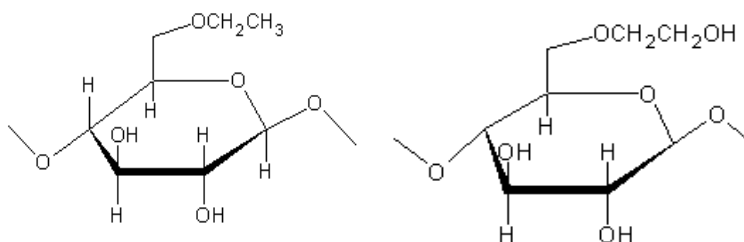
- Selon la synthèse Williamson, l'alcali-cellulose réagit avec un chlorure d'alkyle (monochlorure de méthane, par exemple) par substitution nucléophile pour former le méthyle de cellulose.



#### 1.2.4. Quelques exemples des éthers de cellulose :



#### Carboxyméthylcellulose (CMC) Méthylcellulose (MC)



Ethylcellulose(EC)

Hydroxyéthylcellulose (HEC)

Figure 2.6 : Structures moléculaires de quelques dérivés cellulosiques [8].

Le tableau 2.4 présente les principaux éthers cellulosiques, le nom du réactif utilisé pour la synthèse de chacun d'eux, la fonction qui substitue la fonction hydroxyle ainsi que leur solubilité dans l'eau et leur application.

**Tableau 2.4** : Principaux caractéristiques des dérivés de la cellulose [9].

<b>Ether de cellulose</b>	<b>Réactif</b>	<b>Le groupe R = H ou</b>	<b>Solubilité dans l'eau</b>	<b>Application</b>
Méthylcellulose (MC)	Chlorométhane	- Me	Soluble dans l'eau froide	
Éthylcellulose (EC)	Chloroéthane	- Et	Insoluble dans l'eau	revêtements, encres, liants, et microencapsulation
Méthyléthylcellulose (MEC)	Chlorométhane et chloroéthane	- Me ou- Et		
Hydroxyéthylcellulo se (HEC)	L'oxyde d'éthylène	- (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH	Froid / chaud hydrosoluble	Agent gélifiant et épaississant
Hydroxypropyl- cellulose (HPC)	L'oxyde de propylène	-CH <sub>2</sub> CH (OH) CH <sub>3</sub>	Soluble dans l'eau froide	
Hydroxyéthyl méthyl-cellulose (HEMC)	Chlorométhane et d'oxyde d'éthylène	-CH <sub>3</sub> ou- CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Soluble dans l'eau froide	Production de films de cellulose
Hydroxypropylméth	Chlorométhane	-CH <sub>3</sub> et	Soluble dans l'eau	Epaississant,

yl- cellulose(HPMC)	et d'oxyde de propylène	CH <sub>2</sub> CH (OH) CH <sub>3</sub>	froide	gélifiant, agent moussant et liant
Carboxyméthyl-cellulose (CMC)	L'acide chloroacétique	-CH <sub>2</sub> COONa	Froid / chaud hydrosoluble	

Ce chapitre présente les matériaux et les méthodes employés pour l'étude des pâtes de ciment et des mortiers adjuvantés. Des tests chimiques et physico-mécanique ont été réalisés sur ces formulations cimentaires et sont également décrites.

### 1- Matériaux utilisés :

Le comportement physico chimique des pâtes et mortiers de ciment ont été étudiées sur des mélanges composés de différents matériaux. La préparation de ces mélanges a suivi des prescriptions précises en ce qui concerne la formulation et le malaxage.

#### 1.1 Etude de poudre de ciment :

La poudre modèle choisie pour cette étude est un ciment de type CEM II 42.5A de S.C.MI Groupe. Cela correspond à un ciment Portland avec ajout, de résistance minimale à 28 jours de 42.5 MPa.

Une analyse chimique par fluorescence des rayons X marque panalitcalde ce ciment a été effectuée. Les résultats obtenus pour ce ciment sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 3.5 :** Composition chimique du ciment utilisé

Elément	Pourcentage (%)
SiO <sub>2</sub>	20.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.01
CaO	58.51
MgO	1.34
SO <sub>3</sub>	2.67
K <sub>2</sub> O	0.72
Na <sub>2</sub> O	0.15
Cl <sup>-</sup>	0.00



D'autres caractéristiques chimiques ont été aussi étudiées : La paf du ciment est donc de 6.16%, la surface spécifique mesurée en Blaine est de 4090 cm<sup>2</sup>/g, la chaux libre CaO<sub>l</sub> est de 1.90% et le refus à 45µm et 90µm sont de 16.5 et 2.8%.

### 1.2 Description du sable normalisé :

Pour la préparation des mortiers, on doit employer des sables normalisés, produits dans différent pays. Le sable normalisé CEN (Comité Européen de Normalisation) doit être conforme aux exigences de la norme EN 196-1 [10].

Le sable de référence CEN, dont un stock limité est conservé comme matériau de référence, est un sable naturel siliceux, à grains arrondis, d'une teneur en silice au moins égale à 98%. Sa composition granulométrique se situe dans les limites indiquées dans le tableau 3.6 :

**Tableau3.6 :** Composition granulométrique du sable de référence CEN [10].

Dimensions des mailles carrées (mm)	Refus cumulés sur les tamis (%)
2.00	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

### 1.3 L'eau de gâchage :

L'eau est un des ingrédients essentiels de la pâte de ciment. En effet, l'eau introduite dans le mortier lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au mortier frais les propriétés rhéologiques d'un liquide et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation et donc de la résistance mécanique.

L'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable selon la norme Algérienne NA 815 [11]. Il est exclu d'employer de l'eau de mer qui contient du chlorure de sodium car les sels dissous dans l'eau peuvent intervenir dans la rhéologie du mortier, la prise de la pâte de ciment et la durabilité du matériau dur.

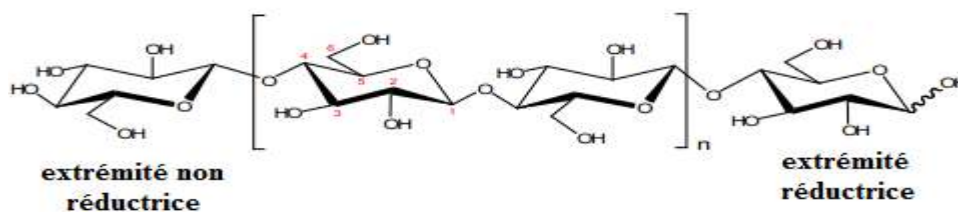
### 1.4 Les adjuvants :

Le choix de ces composés amphiphiles a été basé sur la disponibilité des produits sur le marché.

#### 1.4.1 Les polymères hydrosolubles étudiés :

La cellulose est le polymère naturel le plus abondant et le plus étudié, et elle est utilisée pour un grand nombre d'applications. En 1834, en étudiant la composition chimique du bois, Anselme Payen [12] isole une substance extraite des parois cellulaires végétales, qui peut se décomposer en unités de glucose. Baptisée cellulose, elle est aujourd'hui connue comme principale composante des parois cellulaires de la plupart des plantes. Elle joue également un rôle important dans la fabrication de nombreux produits à base de fibres, tels que le papier, les textiles, les produits pharmaceutiques et les explosifs.

La formule brute de la cellulose est  $(C_6H_{10}O_5)_n$  où  $n$  est compris entre 200 et 14 000. C'est un homopolymère linéaire constitué d'unités D-anhydroglucopyranose (une forme cyclique du glucose) liées entre elles par des liaisons glycosidiques  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) telles que sur la Figure 3.7:



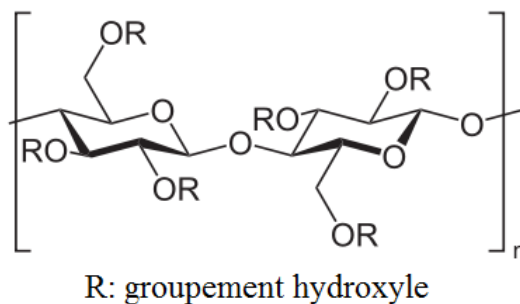
**Figure 3.7:** Structure de la cellulose [12].

Les groupements hydroxyles de la cellulose peuvent réagir partiellement ou totalement avec différents réactifs chimiques pour donner des dérivés cellulosiques aux propriétés propres. Les principales familles de dérivés de la cellulose sont les :

- Esters de cellulose comme par exemple l'acétate de cellulose.
- Ethers de cellulose[12].

Les éthers de cellulose (EC) sont des polysaccharides couramment utilisés comme adjuvant dans les enduits hydrauliques pour leurs propriétés de rétention d'eau et d'homogénéisation du mortier.

Les éthers cellulosiques sont des polymères solubles dans l'eau. En effet, la cellulose n'étant pas soluble dans l'eau, la substitution des groupements hydroxyles sur la chaîne de cellulose (Figure 3.8) modifie cette propriété. Cette solubilité dépend de la longueur de la chaîne, de la nature, du nombre et de la répartition de ces groupements. Pour cela on a utilisé des dérivés cellulosiques classés dans le tableau ci dessous:



**Figure 3.8** : motif répété des différents dérivés cellulose [7].

**Tableau 3.7** : classification des dérivés de cellulose [7].

Dérivés cellulose	Dénomination	Groupement hydroxyle R	Caractéristique
			Mw (g/mol)
MC	Méthyle cellulose	-CH <sub>3</sub>	5.10 <sup>5</sup>
HPC 1	Hydroxypropyle cellulose	-CH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub>	10 <sup>5</sup>
HPC 2	Hydroxypropyle cellulose	-CH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub>	10 <sup>6</sup>
HPMC 1	Hydroxypropyle méthyle cellulose	-CH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub> et -CH <sub>3</sub>	7.10 <sup>4</sup>
HPMC 2	Hydroxypropyle méthyle cellulose	-CH <sub>2</sub> CHOHCH <sub>3</sub> et -CH <sub>3</sub>	5.10 <sup>5</sup>

## 2. Méthodes et essais :

### 2.1 Essai de compression :

#### 2.1.1 Principe :

Le teste consiste à déterminer la résistance à la compression et, facultativement, la résistance à la flexion des éprouvettes de forme prismatique et de dimensions 40 mm × 40 mm × 160 mm (Figure 3.9 voir annexe)[11].

Ces éprouvettes sont moulées à partir d'une gâchée de mortier plastique contenant une partie en masse de ciment, trois parties en masse de sable normalisé CEN et une demi-partie d'eau (rapport eau/ciment de 0,50).

Dans la procédure de référence, le mortier est préparé par malaxage mécanique et serré dans un moule au moyen d'un appareil à chocs. Les éprouvettes sont conservées dans leur moule en atmosphère humide pendant 24 h et, après démoulage, elles sont conservées sous l'eau jusqu'au moment des essais de résistance [13].

À l'âge requis -28 jours- les éprouvettes sont retirées de leur milieu de conservation humide, elles sont cassées en flexion, avec détermination de la résistance en flexion lorsqu'elle est exigée ou simplement cassée par d'autres moyens convenables qui ne soumettent pas les demi-prismes à des contraintes préjudiciables, puis chaque demi-prisme est soumis à l'essai de résistance à la compression [13].

### 2.1.2 Formulation et préparation du mortier modèle :

La composition de cette formulation ainsi que les proportions utilisées expérimentalement pour les gâchées sont rappelées dans le tableau suivant :

Les adjuvants utilisés sont tous à 0.05% par rapport à la masse du ciment :

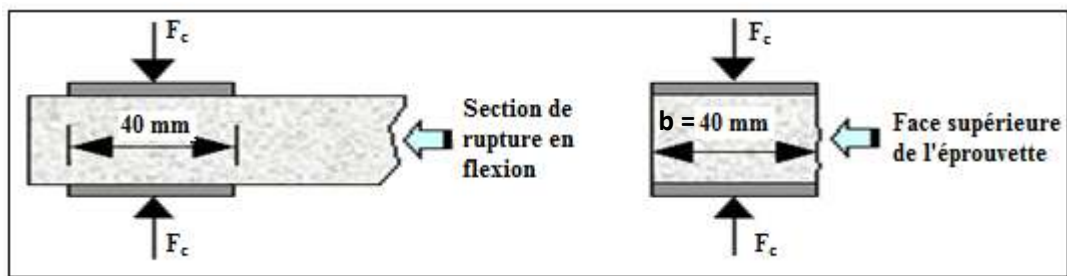
**Tableau 3.8 :** Formulation du mortier

composant	ciment	sable	eau	Adjuvant
Quantité (g)	450	1350	225	0.225

Le laboratoire dans lequel au lieu la préparation des éprouvettes doit être maintenue à une température de  $(20 \pm 2)$  °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50%.

- introduire l'eau ou la solution d'adjuvant et le ciment dans le bol, en prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.
- dès que l'eau (solution adjuvantée) et le ciment entre en contact, mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse, tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage. Après 30s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable pendant les 30s suivantes. Passer le malaxeur sur grande vitesse et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.

- arrêter le malaxeur pendant 90s. Pendant les premières 30s, enlever tout le mortier adhérent aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol.
- reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 60s.
- mouler les éprouvettes immédiatement après la préparation du mortier.
- Placer, sans délai, chaque moule couvert sur un support horizontal dans la chambre humide maintenue à une température de  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$  et une humidité relative supérieure ou égale à 90 %.
- Effectuer le démoulage entre 20h et 24h après le moulage.
- Immerger, sans délai, les éprouvettes marquées de manière convenable dans les bacs contenant de l'eau à  $(20,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$ .
- Retirer de l'eau les éprouvettes destinées à être essayées à un âge particulier 2, 7 ou 28 jours
- Placer le demi-prisme en compression sur les faces latérales de moulage.
- Centrer chaque demi-prisme dans le compartiment d'essai. (Voir Figure 3.13).



**Figure 3.13:** Efforts appliqués sur une éprouvette pour le Flexion et la compression [10].

- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture.

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [10]}$$

- F: charge appliqué en KN.
- S: surface du demi-prisme  $\text{cm}^2$ .
- $\sigma$  : Contrainte appliqué MPa.
- Si  $F_C$  est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \text{ [10]}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si  $F_C$  est exprimée en newton, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$R_c = \frac{F_c (N)}{1600} [10]$$

- $F_c$  est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture (Newton)
- 1600 = 40mmx40mm la section des plateaux ou des plaques auxiliaires en (mm<sup>2</sup>) [10].

## 2.2 Essai de maniabilité :

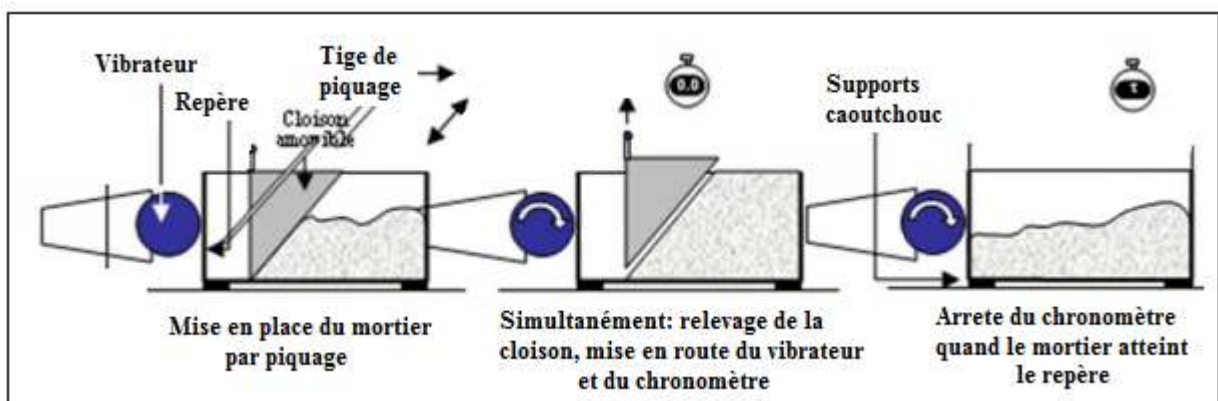
Elle nous a permis d'apprécier la fluidité d'un mortier qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 et NF P 15 -437, [14].

### 2.2.1 Principe de l'essai :

Dans ces essais, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

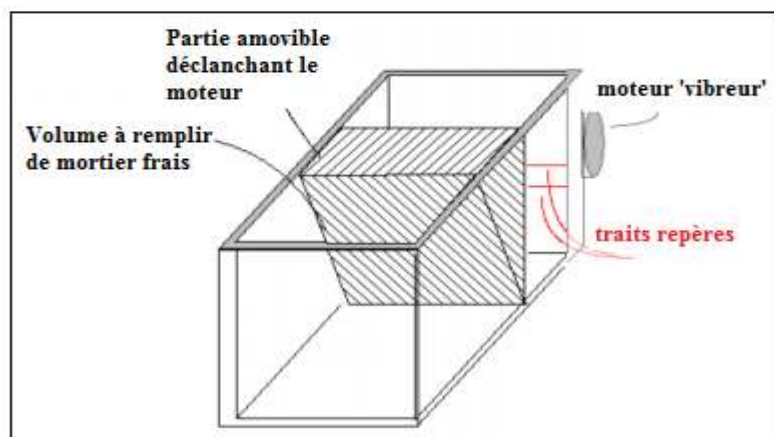
### 2.2.2 Appareil et mode opératoire:

L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre LCL (B) (Figure 3.14). Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cm x 7.5cm x 15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.



**Figure 3.14:** Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCL(B) [14]

Le mortier est introduit dans la partie désigné sur la figure 3.14, délimitée par la cloison et mis en place par piquage en quatre couches. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule, le chronomètre est arrêté une fois le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier (Figure 3.15).



**Figure 3.15 :**Maniabilimètre LCL [15].

Le temps  $t$  mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil. Comme illustré au tableau 3.9 :

**Tableau 3.9 :** Classe de consistance selon la durée d'écoulement [16].

Classe de consistance	Durée (s)
Fluide	$t \leq 10$
Très plastique	$10 \leq t \leq 20$
Plastique	$20 \leq t \leq 30$
Ferme	$t \geq 40$

### 2.3 Essai de la consistance normalisée :

#### 2.3.1 Appareillage :

Utiliser l'appareil de Vicat manuel montré à la Figure 3.16 (voir l'annexe). La sonde doit être en métal résistant à la corrosion et avoir la forme d'un cylindre droit d'une longueur effective d'au moins 45 mm et d'un diamètre de  $(10,00 \pm 0,05)$  mm. La masse totale des parties mobiles doit être de  $(300 \pm 1)$  g. Leur mouvement doit être exactement vertical et sans frottement appréciable et leur axe doit coïncider avec celui de la sonde [15].

Le moule Vicat (Figure 3.17) destiné à contenir la pâte pendant l'essai doit être en caoutchouc dur, en plastique ou en laiton. Il doit être de forme cylindrique ou, de préférence,

tronconique, d'une profondeur de  $(40,0 \pm 0,2)$  mm et d'un diamètre intérieur de  $(75 \pm 10)$  mm. Le moule doit être suffisamment rigide et il doit être pourvu d'une plaque de base plus grande que le moule, d'une épaisseur de 2,5 mm au moins, constituée d'un matériau imperméable résistant à l'attaque par la pâte de ciment, par exemple du verre plan.

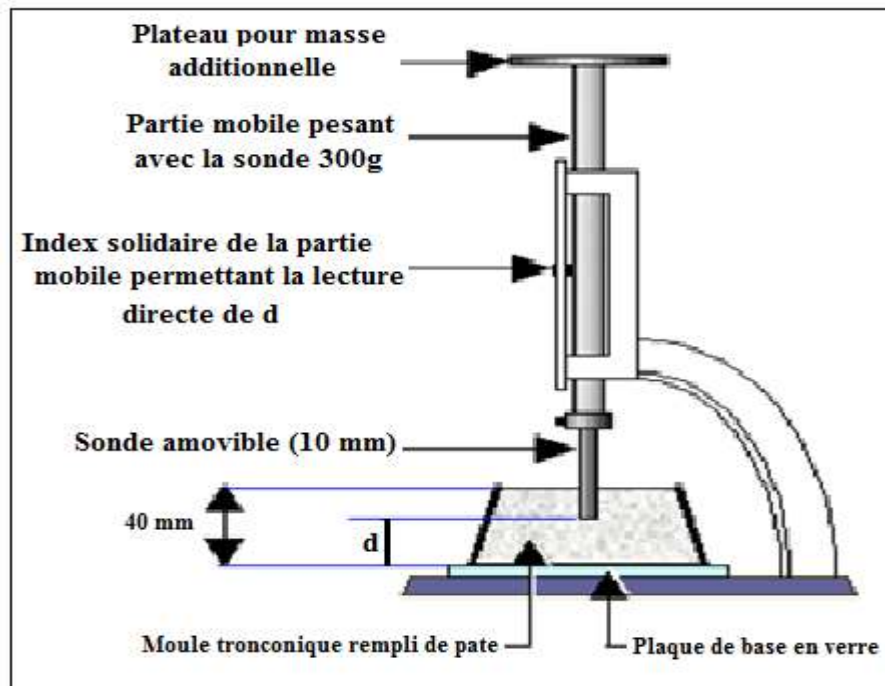


Figure 3.17 : Appareil de Vicat avec la sonde de consistance. [12]

### 2.3.2 Préparation de la pâte normale :

#### a. Malaxage de la pâte de ciment :

- Peser 500g de ciment à 1g près.
- Prendre un volume de solution adjuvantée, par exemple 125 ml à l'aide de l'éprouvette, l'introduire dans la cuve du malaxeur.
- Ajouter soigneusement le ciment à l'eau pour éviter toute perte d'eau ou de ciment.
- La durée de cette opération  $5 \leq \text{temps} \leq 10$  secondes. Noter la fin de cette opération comme le temps zéro.
- Mettre le malaxeur en marche immédiatement et le faire tourner à vitesse lente pendant 90 s.
- Au bout de ces 90 s, arrêter le malaxeur pendant 30 s pendant lesquelles toute la pâte adhérant à la cuve au de la zone de malaxage doit être grattée et remise dans la gâchée.



- Remettre alors la machine en route à vitesse lente une nouvelle durée de 90 secondes. Le temps total de fonctionnement est de 3 minutes.
- Introduire immédiatement la pâte dans le moule, préalablement placé sur une plaque de verre plane, légèrement graissée et le remplir sans tassements ni vibrations excessif.
- Enlever l'excès de pâte par un mouvement de va et vient effectuée avec précaution, avec un outil présentant un bord droit de façon à avoir la face supérieure de la pâte lisse.

**b. Essai de pénétration :**

- Régler l'appareil de Vicat au préalable muni de la sonde.
- Placer le moule et la plaque de base sur l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat, abaisser la sonde avec précaution jusqu'au contact de la surface supérieure de la pâte, observer une pause de 1 à 2 secondes. (Dans le but de donner une vitesse initiale aux parties mobiles de l'appareil)
- Libérer alors les parties mobiles de la sonde (la sonde doit pénétrer verticalement au centre de la pâte) La libération de la sonde doit avoir lieu 4 minutes après l'instant zéro.
- Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de pénétration ou 30 secondes après la libération.
- La lecture doit être acceptée si elle est de  $6 \pm 2$  mm du bord inférieur de la surface de la pâte.
- Reprendre les essais avec d'autres quantités d'eau, si ces valeurs ne sont pas réalisées.

**2.3.3 La demande en eau :**

Soit V (ml) le volume d'eau (solution adjuvantée) utilisé avec 500g de ciment pour obtenir la pâte de consistance normalisée ( $6 \pm 1$  mm), le pourcentage d'eau est calculé par la formule suivante : [17]

$$\% \text{ H}_2\text{O} = 0,2 * V$$

### **3. Essais de temps de prises :**

#### **4.1 Principe :**

La pâte de ciment de consistance normalisée a une résistance spécifiée à la pénétration d'une sonde normalisée. L'eau nécessaire pour obtenir une telle pâte est déterminée par des essais de pénétration sur des pâtes contenant différentes quantités d'eau.

Le temps de prise est déterminé par l'observation de la pénétration d'une aiguille dans une pâte de ciment de consistance normalisée, jusqu'au moment où elle atteint une valeur spécifiée.

#### **4.2 Début et fin de prise :**

Placer le moule rempli de pâte normale dans le Vicat automatique (voir figure 3.18 voir l'annexe), ajouter de l'eau à température ( $20 \pm 1.0$ ) °C de manière que la surface de la pâte soit recouverte de 5mm d'eau au minimum.

Le Vicat automatique menée d'une aiguille en acier sert pour déterminer à la fois le temps de début et le temps de fin de prise, et doit avoir la forme d'un cylindre droit d'une longueur effective de  $(50 \pm 1)$  mm et d'un diamètre de  $(1,13 \pm 0,05)$  mm

L'appareil de Vicat automatique fait des piques chaque 5min automatiquement, le premier qui touche au fond du moule est indiqué comme le temps ( $t = 0$ ) et le dernier pique à la surface de la pâte normalisée ( $h = 40$ mm) désigne le temps de fin de prise [17].

L'objectif de cette partie expérimentale de notre travail est la caractérisation des mortiers et des pâtes du ciment adjuvants par des polymères amphiphiles et leurs mélanges correspondants.

Tous les essais normalisés ont été réalisés dans le cadre de normes Algériennes et les essais sont effectués après l'incorporation des adjuvants organiques avec des dosages étudiés ; les concentrations en adjuvants obéiront aux fractions Adjuvant/ciment suivants : (A/C) : 0,05%.

Les tests physico-chimiques seront présentés dans l'ordre suivant :

D'abord effectué sur des coulis à travers la détermination de :

- La consistance normale (ou demande d'eau).
- La durée du début et fin de prise (ou durcissement).
- La stabilité (ou expansion).

Ensuite, sur des mortiers à travers :

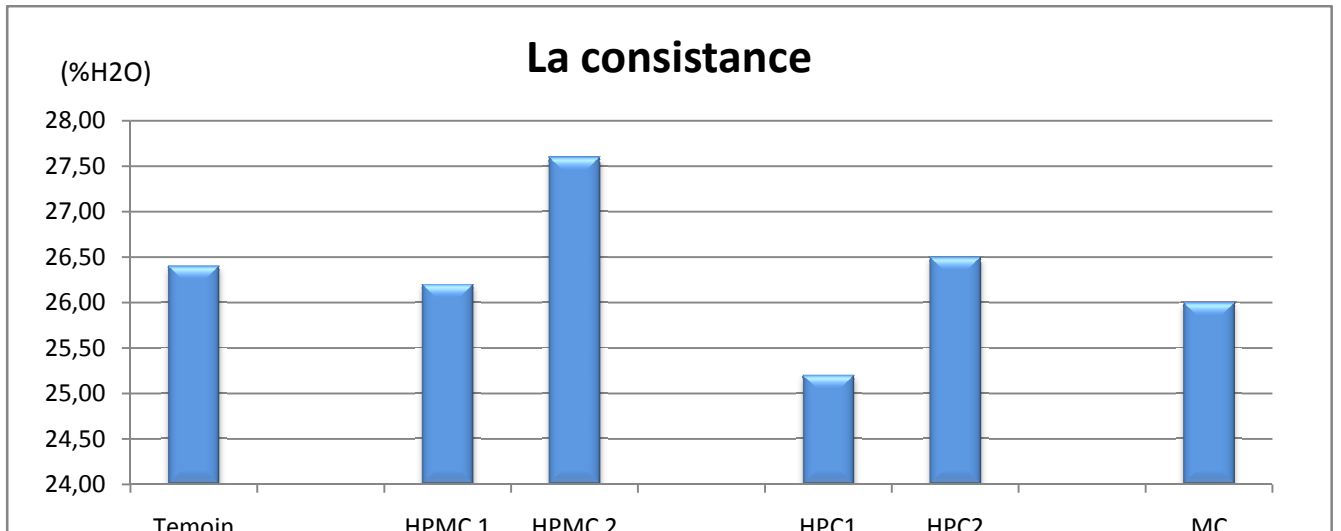
- L'essai de résistance à la compression des éprouvettes à l'âge au bout de 7, 28 et 90 jours des éprouvettes.
- L'essai de l'étalement.
- Le test de maniabilité.

Nous présenterons d'abord les caractéristiques des éthers de cellulose comparés à celles du témoin. Ensuite celles des mélanges HPC/MC (limités aux compositions massiques (80% :20%) ; (50%:50%) ; et (20%:80%) comparées à celles de HPC et MC et enfin une vision comparative des performances extrêmes des mélanges avec celles des copolymères HPMC1 et HPMC 2.

## **1. Les performances des éthers cellulosiques : HPC, MC et HPMC**

### **1.1-La consistance :**

La consistance est un essai qui consiste à déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage pour obtenir un bon mortier.



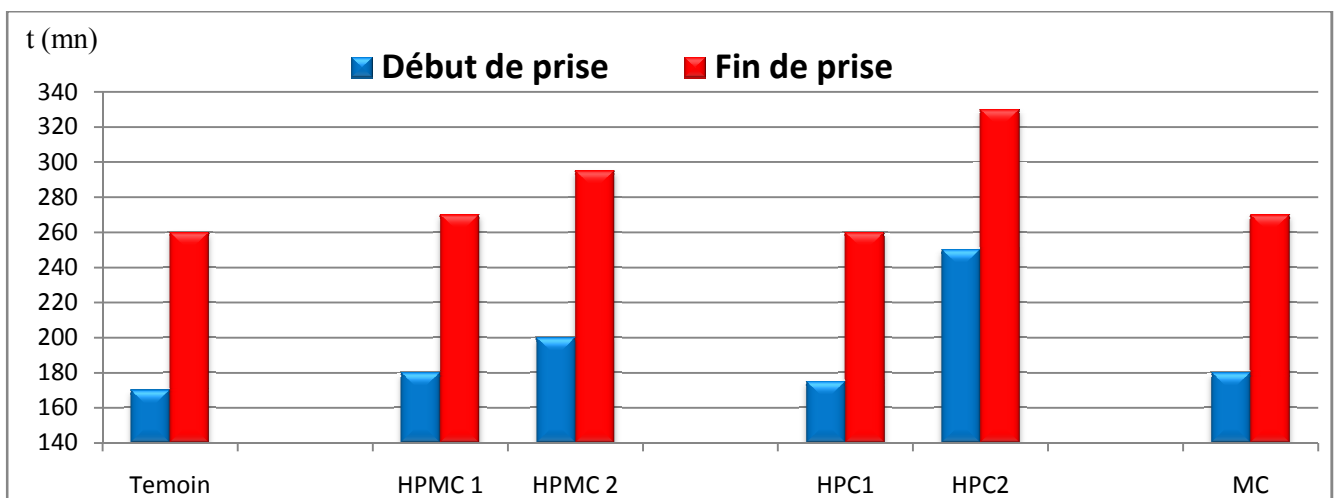
**Figure 4.19 :** Consistances normales des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté

Par rapport à l'échantillon témoin, les éthers de cellulose au plus haut poids moléculaire se sont révélés de meilleurs rétenteurs d'eau. En effet, plus le poids moléculaire est élevé plus la quantité d'eau demandée est importante.

D'un point de vue structure chimique, la présence des deux groupements méthyles et hydroxy propyle(HP) dans la même molécule augmente considérablement la demande en eau de la pâte ciment. Toutefois, le poids moléculaire joue un rôle prépondérant.

### 1.2. Temps de prise:

Le but de cet essai est de déterminer le temps de la mise en œuvre du ciment

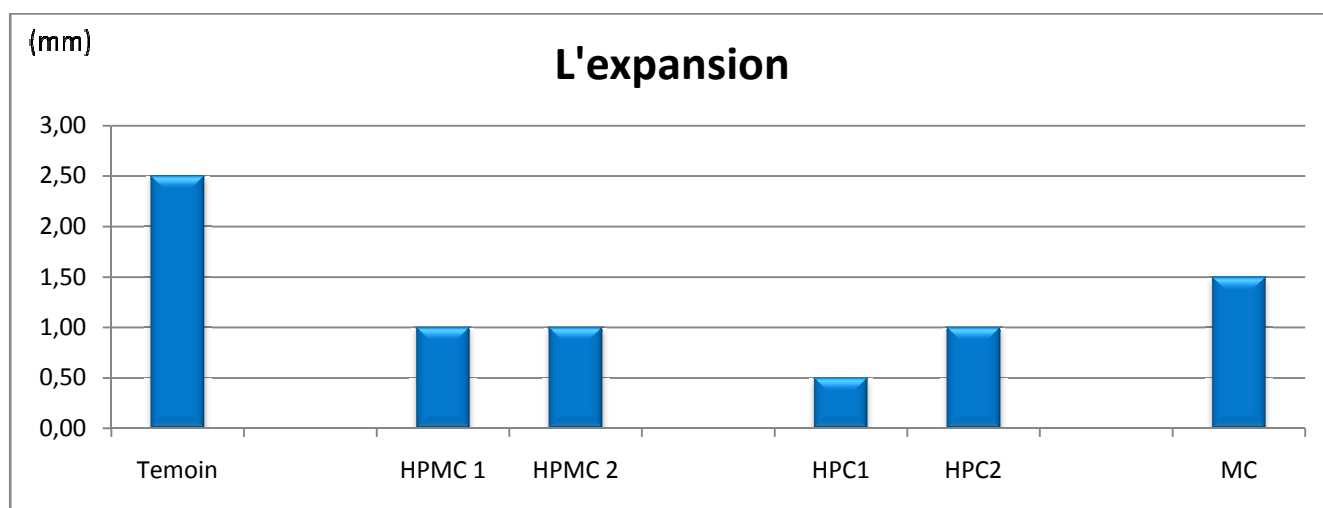


**Figure 4.20 :** Temps de prise des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté

Les éthers de cellulose ont prouvé qu'ils sont bien des retardateurs de prise par rapport au témoin. On remarque également que le poids moléculaire élevé avec la contribution des groupements hydroxypropyle qui contribue sensiblement à retarder les temps de prise.

### 1.3. L'expansion :

Le but de cet essai est de prévoir l'expansion du béton à long terme (des années), elle ne doit pas dépasser 10 mm (parce que au delà de 10 mm sa commence des micros fissuration et fragilise le béton). Cette expansion ou stabilité est causé par les portlandites qui sont dues à la présence excessive de la chaux libre dans le ciment.

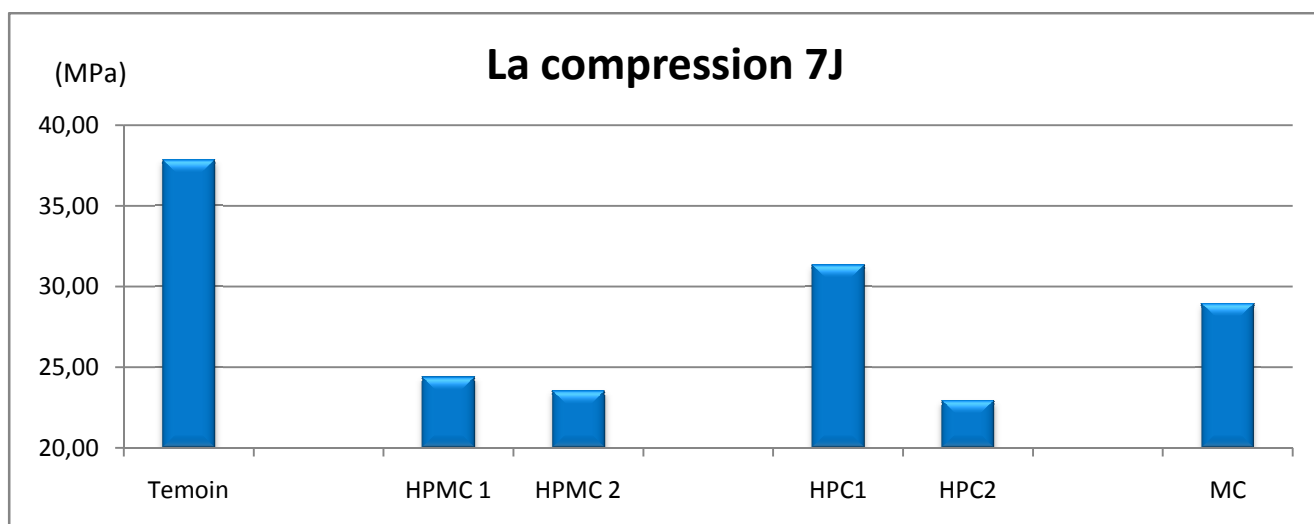


**Figure 4.21** : Test de stabilité des pâtes cimentaires adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du coulis non adjuvanté

On remarque que la présence des groupements méthyles au sein des microstructures des dérivés celluloses a donné plus d'expansion et que les groupements hydroxypropyles affectent plus de stabilité notamment aux plus bas poids moléculaire comme c'est le cas de HPC 1.

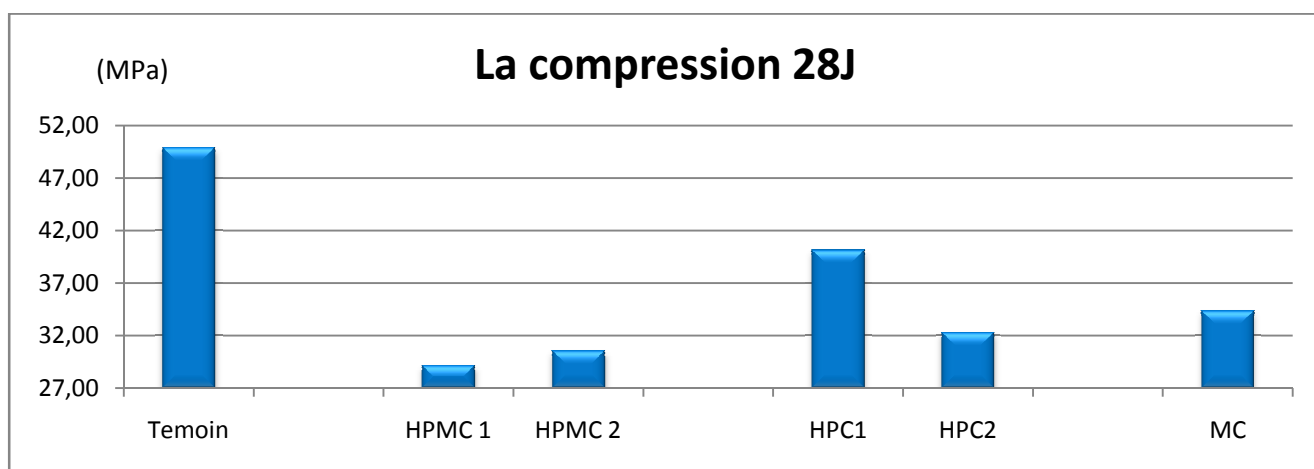
### 1.4. - La résistance à la compression :

La résistance à la compression est la principale caractéristique mécanique, elle représente la dureté du mortier ou béton.



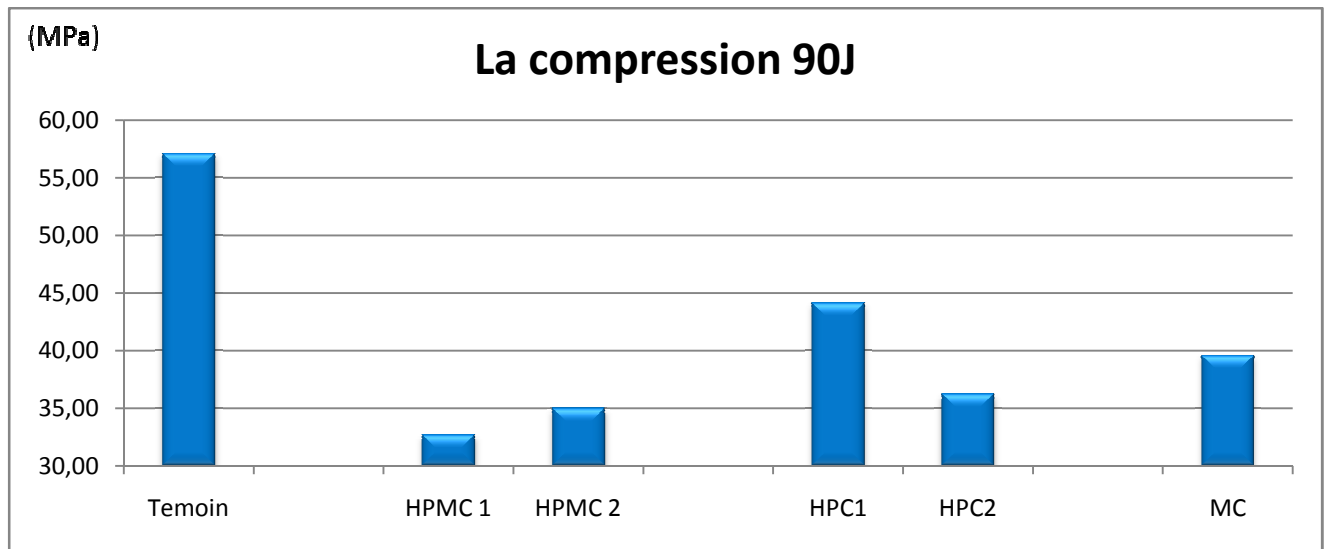
**Figure 4.22** : Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 7 jours)

On remarque clairement la chute de la résistance à la compression par rapport au témoin, c'est l'effet indésirable des éthers de cellulose sur le mortier. Par ailleurs, à 7 jours le HPMC1 et le HPC 1 résistent plus à la compression que leurs homologues à plus haut poids moléculaire.



**Figure 4.25** : Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantées aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 28 jours)

A 28 jours, Une recrudescence du module de résistance de HPMC 2 est signalée alors que celle de HPC 2 reste toujours plus faible que celle de HPC 1.



**Figure 4.26** : Tests des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux HPMC, HPC et MC en présence du mortier non adjuvanté (après 90 jours)

A 90 jours, les mêmes tendances sont enregistrées

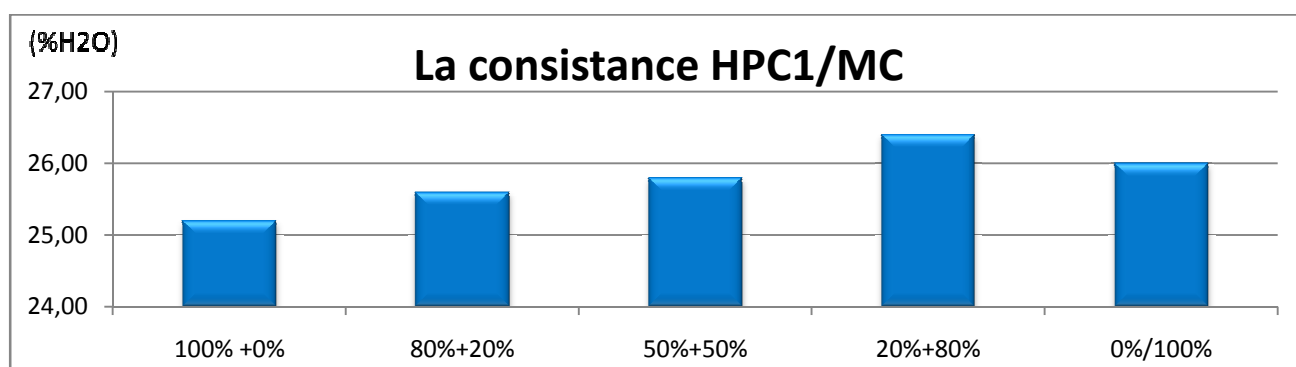
Ces comportements ne sont pas surprenants en matière de résistance des mortiers à la compression. La littérature rapporte clairement le préjudice porté par l'adjonction des éthers cellulosiques aux mortiers. Utilisés exclusivement pour leur pouvoir de rétention d'eau, le rôle du poids moléculaire et des taux de greffage en HP et Me est primordial pour un bon choix de l'adjuvant considéré.

## 2. Les performances des mélanges d'éthers celluloses : HPC/MC

### 2.1. Les performances de HPC1/MC

La présentation des propriétés physico-mécaniques des mixtures se fera de la manière suivante : d'abord sont présentées les performances des HPC 1/MC ensuite celles des HPC 2/MC tout en respectant l'ordre des tests d'essai précédemment suggéré.

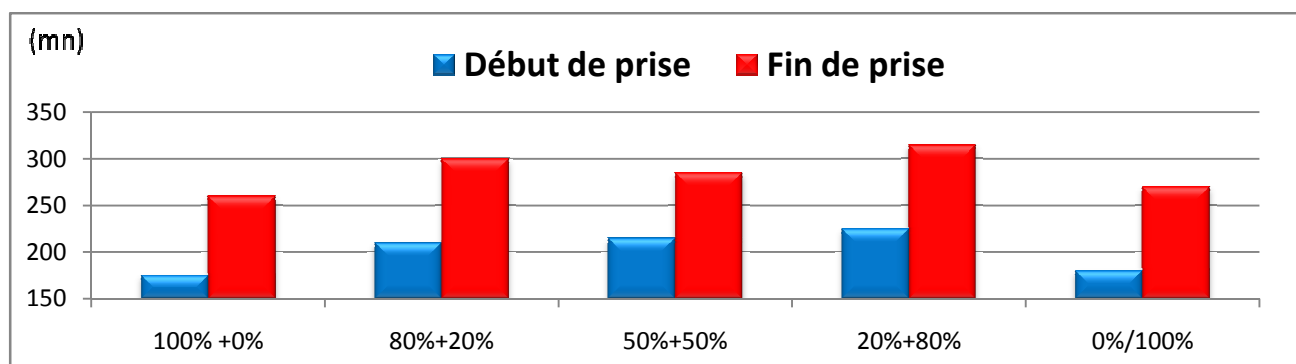
#### 2.1.1. La consistance



**Figure 4.27** : Consistances normales des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC

On remarque que plus le pourcentage du MC est élevé plus la demande en eau est élevée aussi, mais ce n'est pas le cas lorsqu'il est seul dans le ciment. Un effet de synergie est signalé vis-à-vis de la rétention d'eau par l'adjonction de MC au HPC à bas poids moléculaire.

#### 2.1.2. Temps de prise :

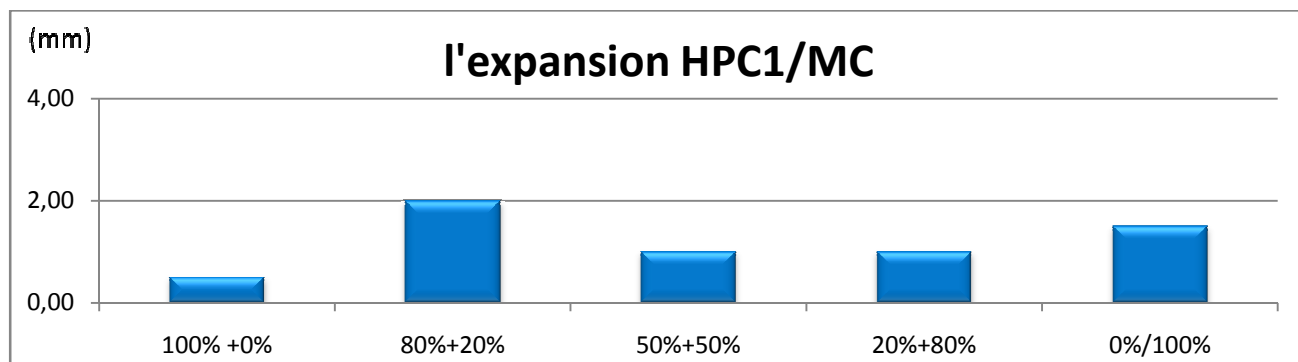


**Figure 4.28** : Temps de prise des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC



La contribution de MC dans le film interstitiel déjà investi par les molécules de HPC induit une élévation des temps de prise. Ces temps de prise sont plus intéressants et plus modulables en jouant sur la composition de la mixture.

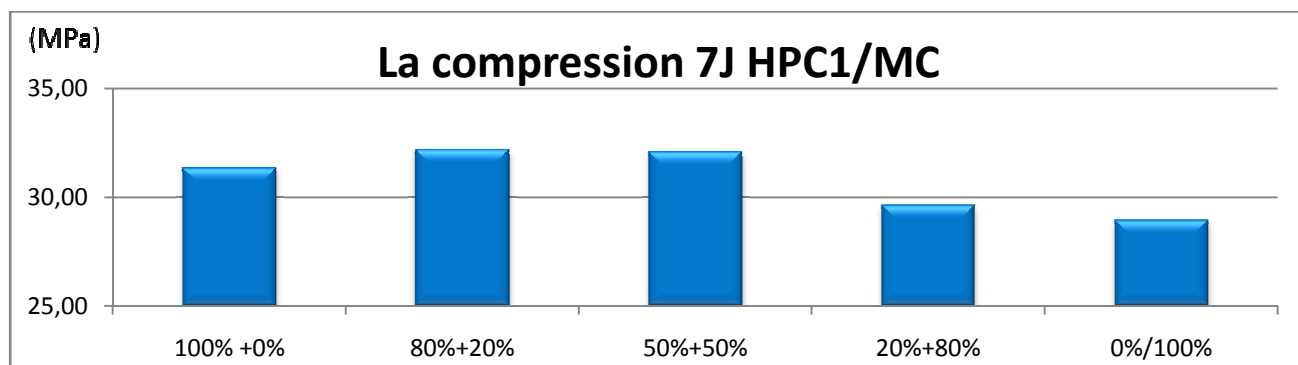
### 2.1.3. L'expansion :



**Figure 4.29:** Stabilité des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC

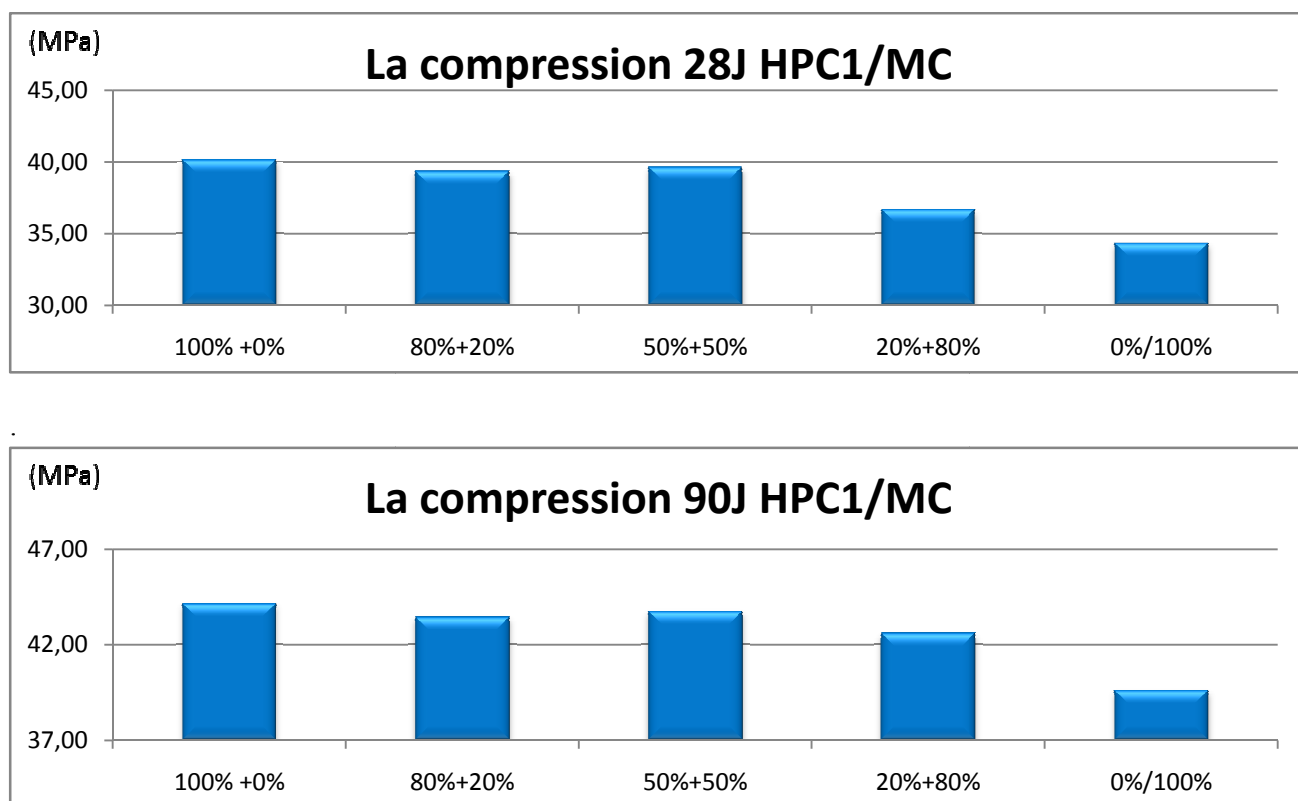
En ce qui concerne la stabilité, il paraît que HPC avec ces groupements HP entraîne un meilleur comportement au gonflement même si un comportement antagoniste est noté à la première combinaison 80/20. Toutefois, une composition plus riche en MC pourrait tout de même atteindre les limites du HPC esseulé.

### 2.1.4. La résistance à la compression :



**Figure 4.30 :** Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC

Au jeune âge, les fractions MC introduites au HPC contribuent au renforcement de la résistance à la compression. Néanmoins, l'enrichissement des mélanges en MC la fera diminuer. Il ressort de ces résultats que la présence des groupements HP est un paramètre clé pour la dureté des mortiers.



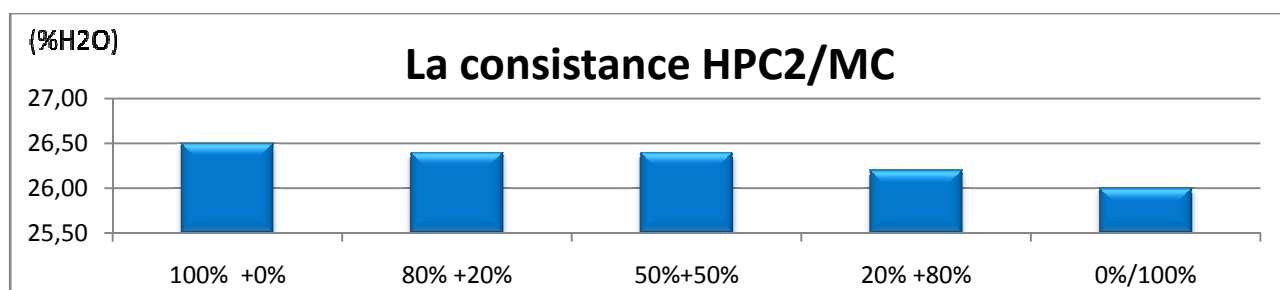
**Figure 4.31:** Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC (à 28 et 90 jours).

Au bout de 28 et 90 jours, le HPC 1 revient en tête et montre un meilleur comportement à la compression ; les mélanges restant compétitifs.

## 2.2. Les performances de HPC 2/MC

Après avoir passé en revue les mélanges HPC1/MC, les résultats relatifs aux mélanges HPC 2 /MC ont dégagés les comportements suivants :

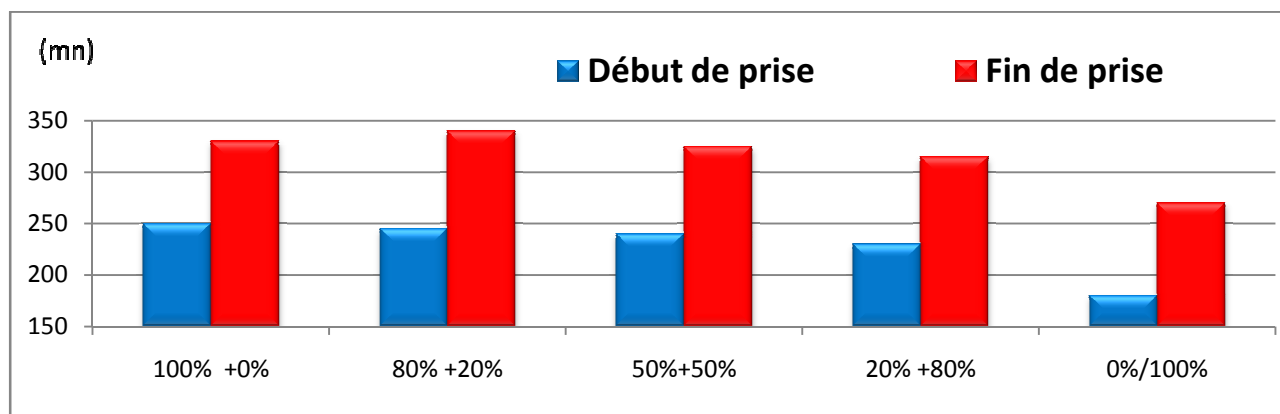
### 2.2.1.La consistance



**Figure 4.32:** Consistances normales des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC.

La demande en eau augmente plus avec le pourcentage du HPC2 alors qu'elle diminue avec la méthylcellulose. Ce comportement est totalement inversé de celui de HPC1.

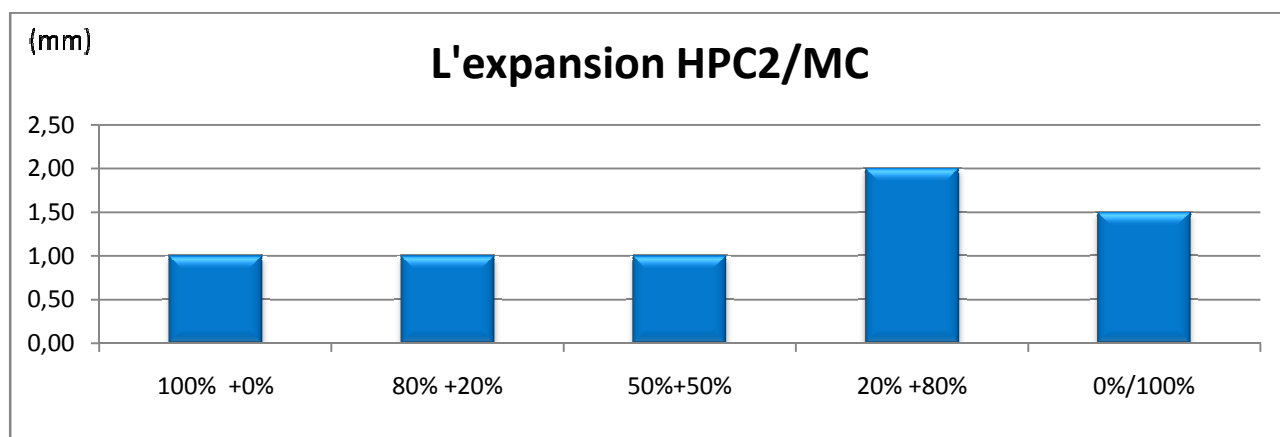
### 2.2.2. Temps de prise :



**Figure 4.33** : Temps de prise des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC

On remarque que les temps de prise diminuent avec la diminution du pourcentage du HPC2, le HP (hydroxypropyle) est le responsable sur le retard des temps de prise. Un comportement qui diffère de celui de HPC1 en présence du MC.

### 2.2.3 L'expansion :

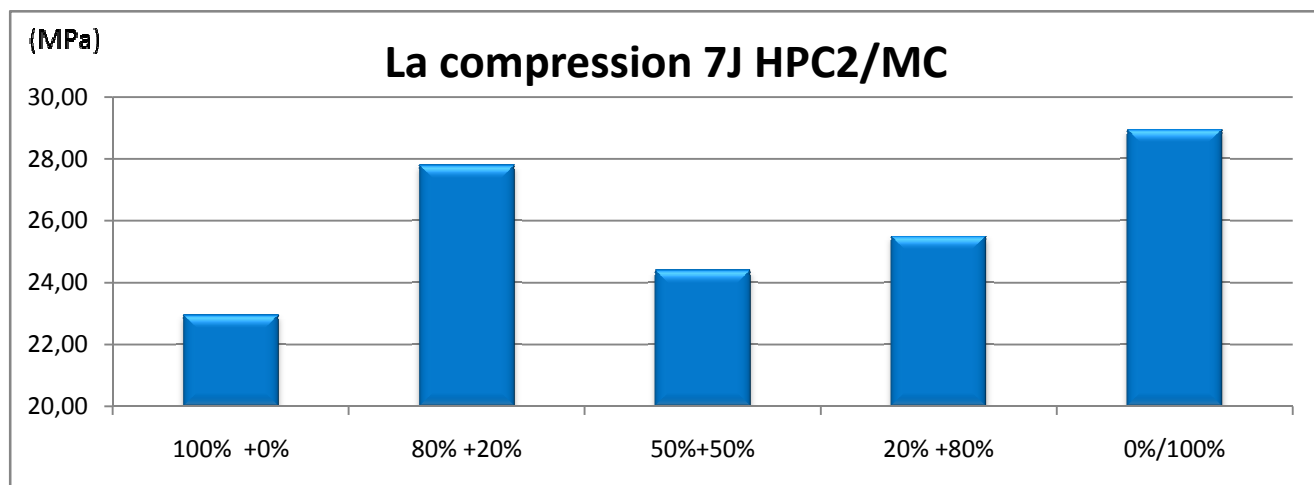


**Figure 4.34**: Stabilité des coulis adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC

Le comportement des coulis adjuvantés en mixtures, vis -à-vis de l'expansion, donne l'avantage aux combinaisons pauvres en HPC2. Ce comportement, qui rejoint celui des

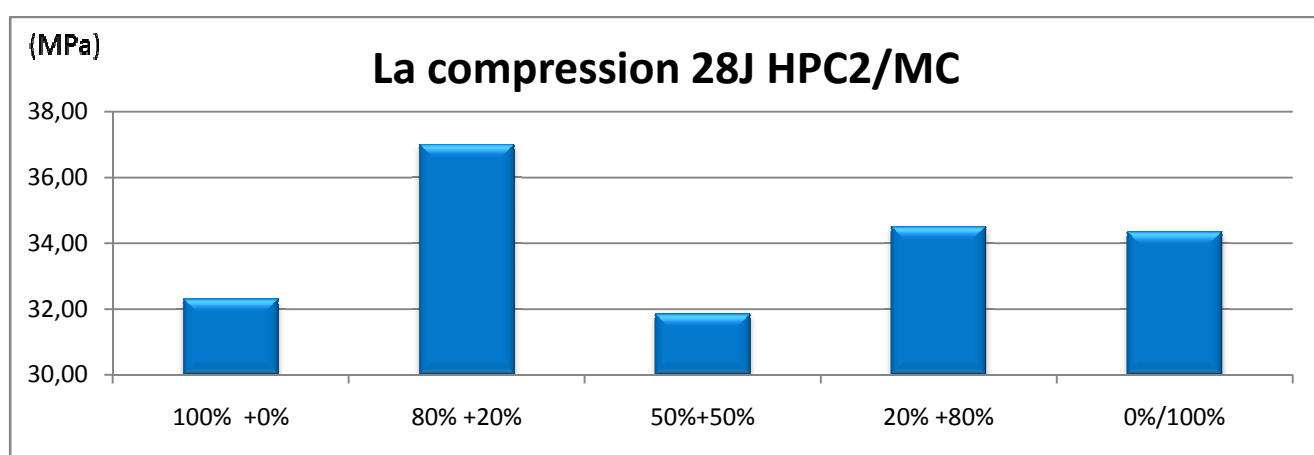
mixtures HPC1/MC, nous laisse supposer l'absence d'influence du poids moléculaire de la fraction responsable de la stabilité à savoir HPC.

#### 2.2.4. La résistance à la compression :



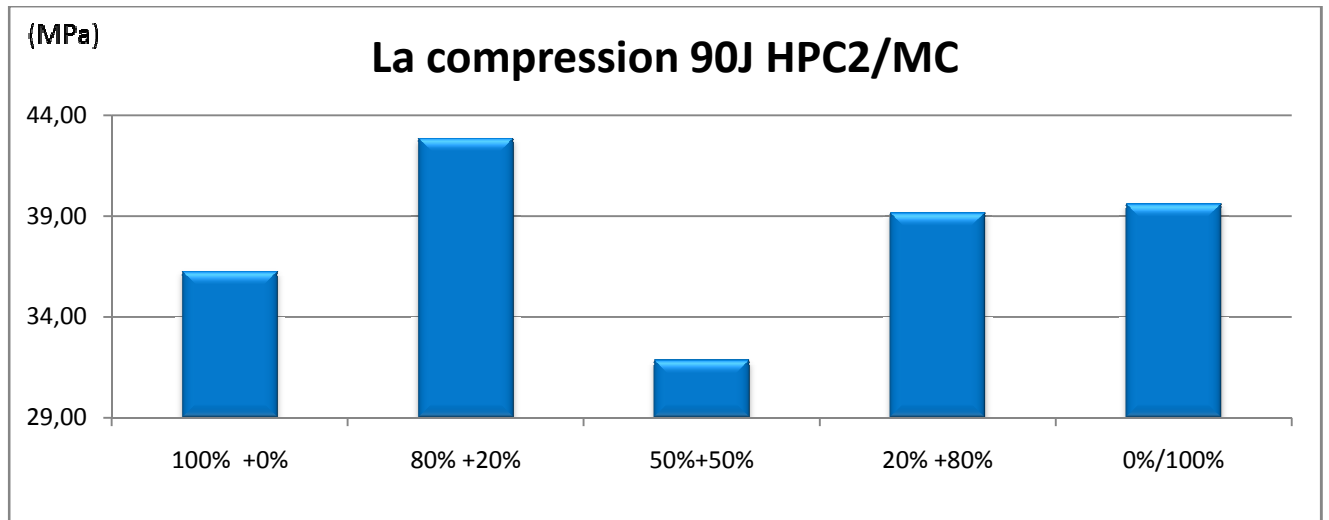
**Figure 4.35** : Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC.

Au de 7 jours, le mortier adjuvanté uniquement en MC a donné la meilleure résistance alors que celui adjuvanté par du HPC2 a fourni le plus faible module. Notons que si les mélanges HPC2/MC améliorent le comportement esseulé de HPC, le niveau de résistance du mortier adjuvanté en MC n'est pas égalé au jeune âge.



**Figure 4.36**: Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 1/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 1 et au MC (au bout de 28 jours)

Au bout de 28 jours, les mélanges 80/20 donne la meilleure résistance à la compression en favorisant mieux la cinétique d'hydratation du ciment.



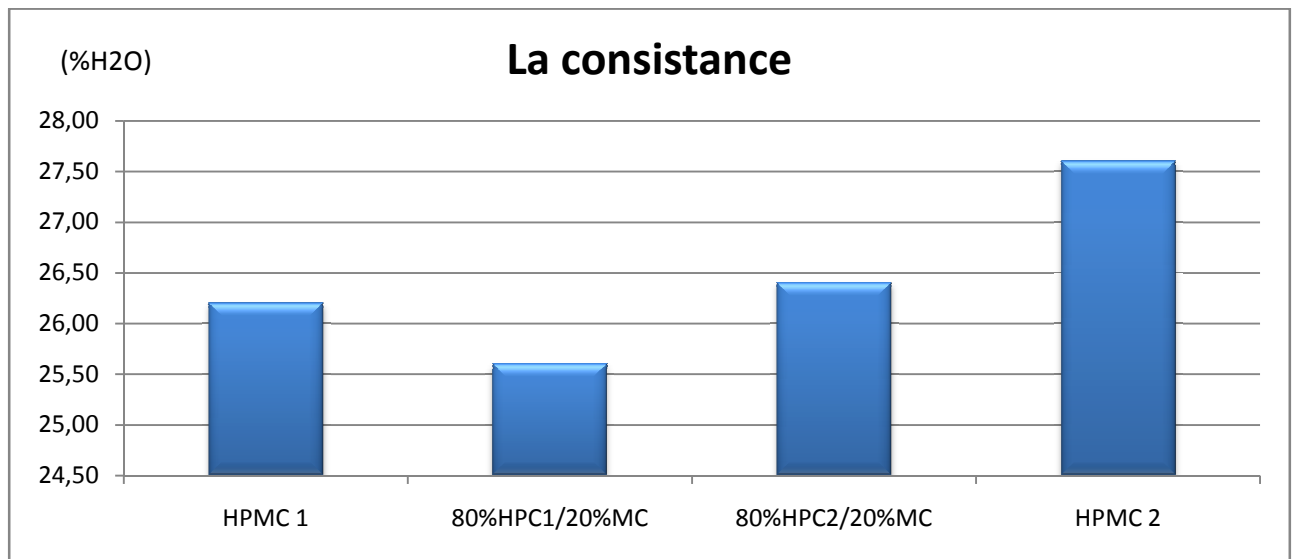
**Figure 4.37:** Modules des résistances à la compression des mortiers adjuvantés aux mixtures HPC 2/MC en présence de ceux adjuvantés au HPC 2 et au MC (au bout de 90 jours).

Ces dernières performances, après 90 jours, sont conservées.

### **3. La comparaison des performances des mélanges d'éthers celluloses HPC/MC avec ceux des copolymères HPMC :**

Après avoir développé les propriétés physico-mécaniques des mortiers et avoir comparé les performances des mélanges HPC/MC avec celles des composantes HPC d'une part et MC d'autre part, il convient finalement de comparer celles des copolymères HPMC 1 et HPMC 2 avec les performances extrêmes (minimum et maximum) des six mélanges HPC/MC.

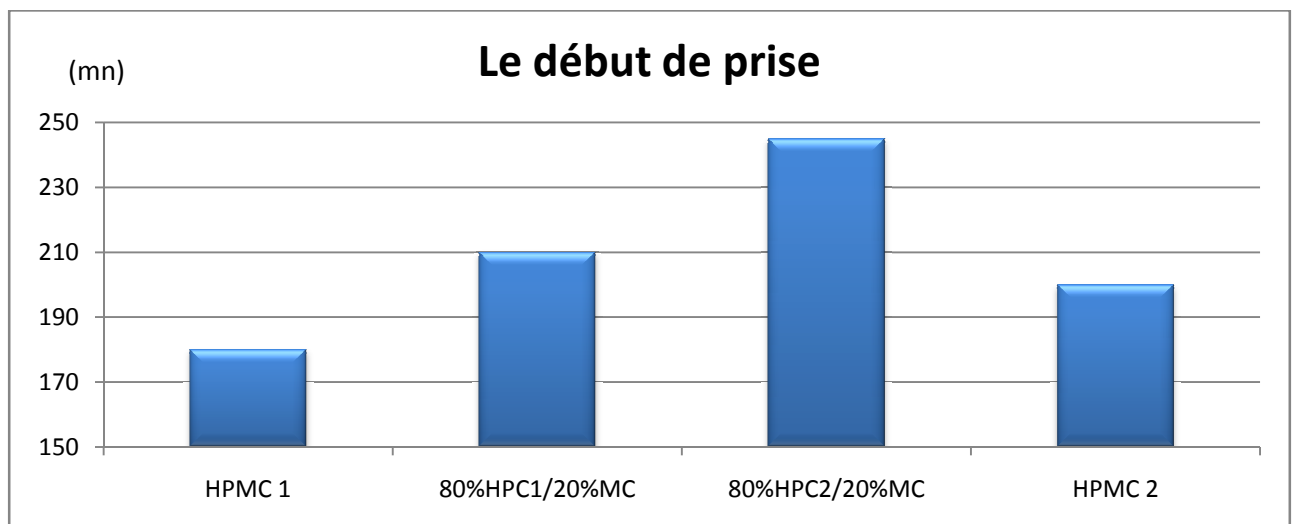
### 3.1. La consistance



**Figure 4.38** : Consistances normales des coulis adjuvantés aux HPMC comparées à celles des consistances extrêmes des mélanges HPC/MC

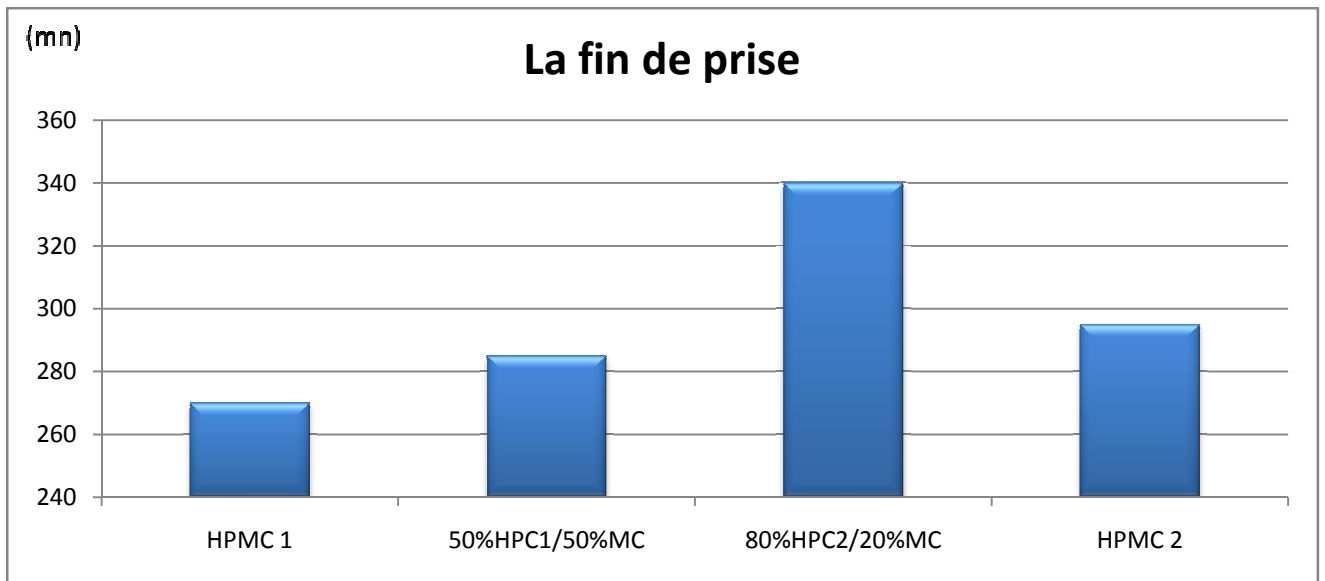
Le coulis adjuvanté par le HPMC2 demande plus d'eau.

### 3.2. Temps de prise :



**Figure 4.39** : Temps de début de prise des coulis adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des temps de prise extrêmes des mélanges HPC/MC

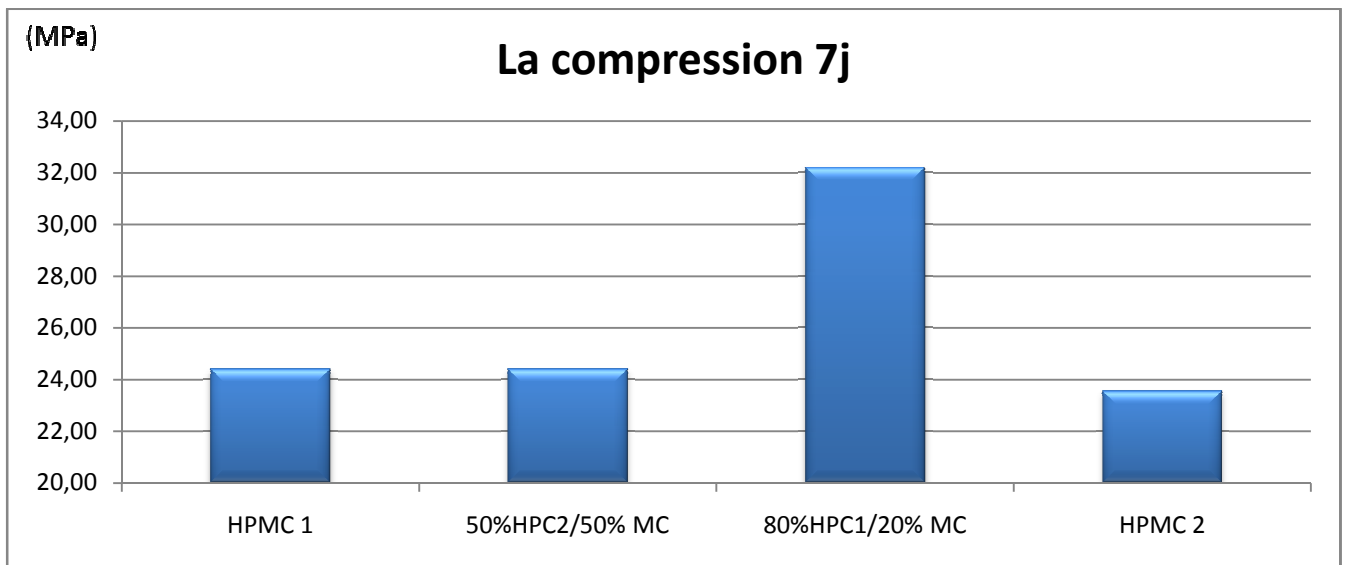
Le coulis adjuvanté en 80/20 donne le début de prise le plus long



**Figure 4.40** : Temps de fin de prise des coulis adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des temps de prise extrêmes des mélanges HPC/MC

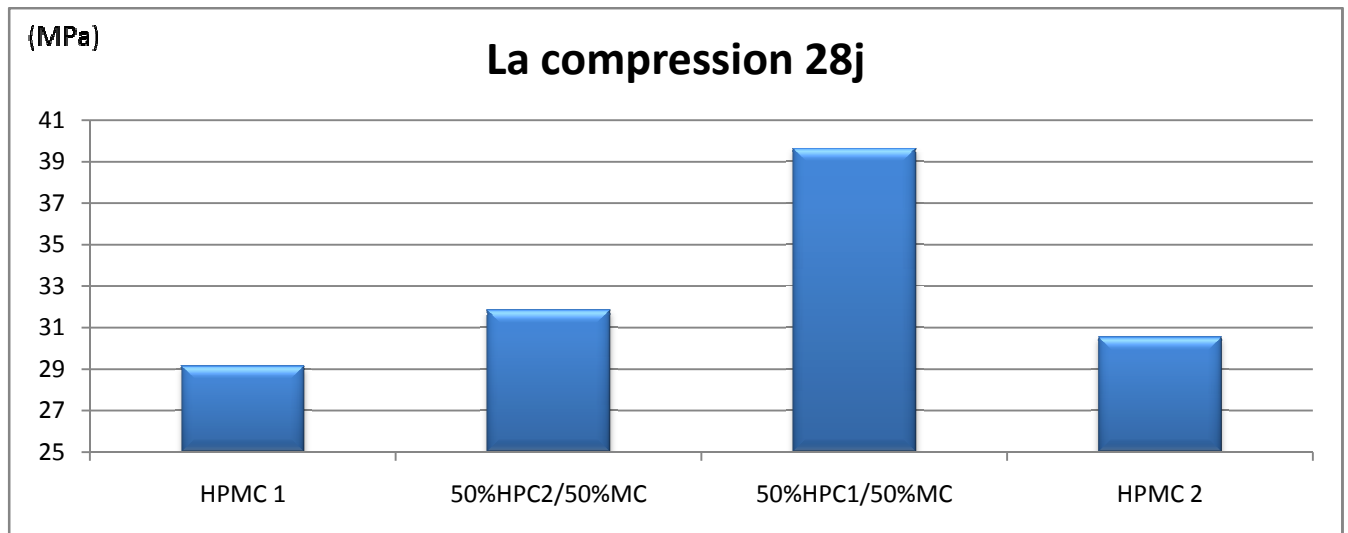
Le coulis adjuvanté en 80/20 donne le temps de fin de prise le plus long

### 3.3.La résistance à la compression :



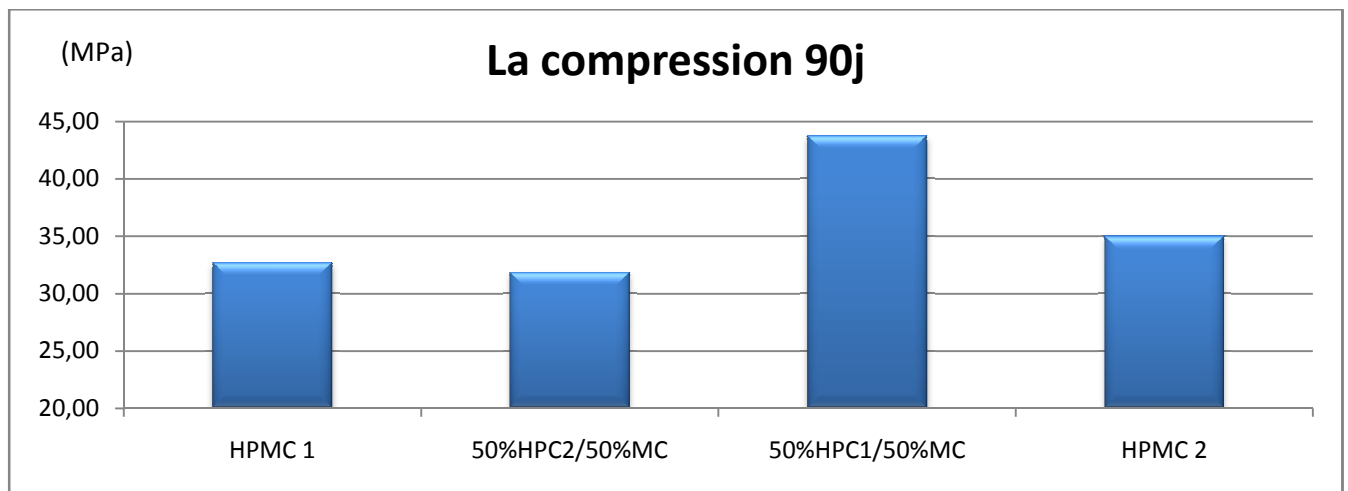
**Figure 4.41**: Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC

Le mortier adjuvanté en 80/20 donne la meilleure résistance à la compression.



**Figure 4.42** : Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC (au bout de 28 jours)

Le mortier adjuvanté en 80HPC1/20M C donne la meilleure résistance à la compression

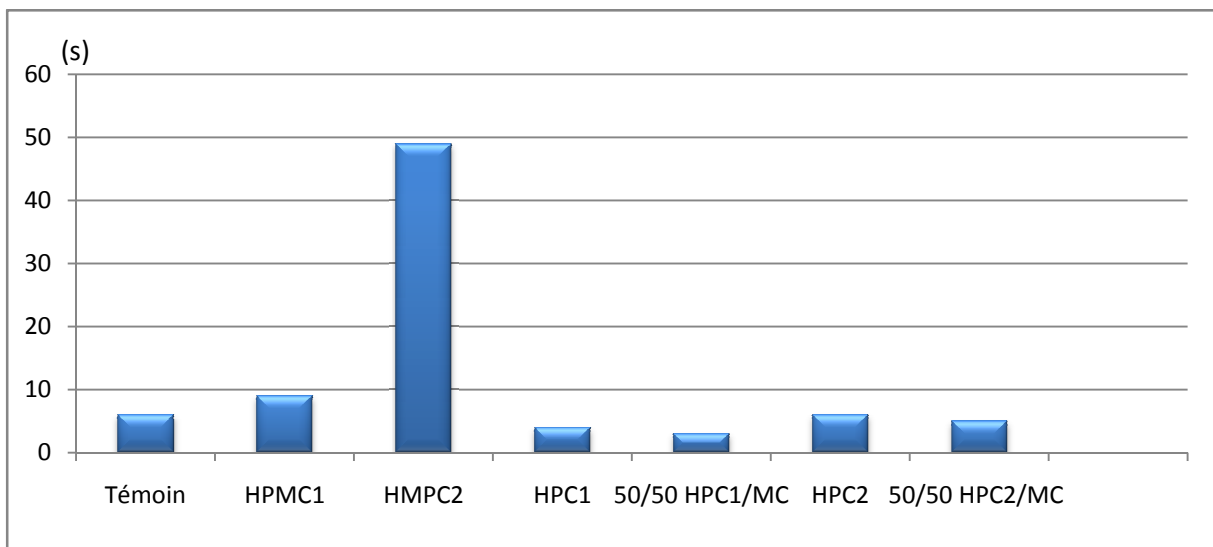


**Figure 4.43** : Modules de résistance à la compression mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC (au bout de 90 jours)

Le mortier adjuvanté par 80%HPC1/20%MC donne la meilleure résistance à la compression



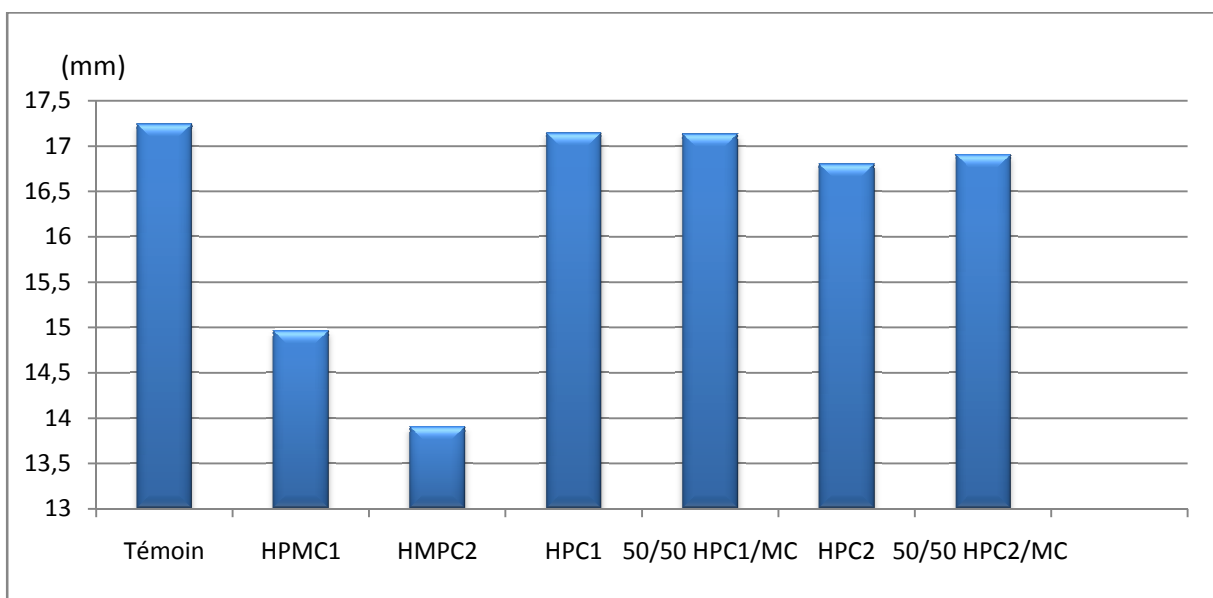
### 3.4 L'écoulement:



**Figure 4.44 :** Temps d'écoulement des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC

On remarque que le HPMC2 a un temps d'écoulement le plus lent, il se comporte comme une pâte ferme. Le reste des mortiers se comportent comme une pâte fluide

### 3.5 L'étalement :



**Figure 4.45 :** Etalement des mortiers adjuvantés aux HPMC comparés à ceux des mélanges HPC/MC

L'étalement est inversement proportionnel par rapport à l'écoulement ; le mortier qui a un petit temps d'écoulement aura un meilleur étalement.

## Références bibliographiques

- [1]SCMI, [www.scmidz.com](http://www.scmidz.com) : présentation de la SCMI
- [2]SCMI, Brochure-In- preview (document de la cimenterie)
- [3] Norme NA 442 : « Ciment : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants » ; 2013
- [4]Sammar, « Chimie de ciment », livre de formation, université de boumerdasse. 2003.
- [5] RAKOTONIAINA Volasolo, « Contribution a l'étude du béton de sable-application », thèse DEA,université d'antananarivo école supérieure polytechnique d'antananarivo,(Promo 2006)
- [6]ELBACHIR YASMINA, « effet des différents adjuvants sur la performance du béton, master professionnel », université des sciences et de la technologie d'oran, promo 2013.
- [7] J.POURCHEZ, « aspects physico-chimique de l'interaction des ethers de cellulose avec la matrice cimentaire », these de doctorat, ecole nationale superieure des mines de Saint Etienne, 2007
- [8] Ji W ANG, « Etude rhéologique du comportement rhéo-épaississant d'un polymère amphiphile », Thèse doctorat,Septembre 2008
- [9] Nicote pierres M, « interaction mortier support : élément déterminants des performances et d'adhrencia d'un mortier », thèse doctorat, univertétoulouse III paulsabatie, 2008.
- [10] LA NORME EN 196-1, « Méthodes d'essais des ciments, Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques ».avril 2006.
- [11] Norme Algérienne, NA 815, « Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, Bétons de référence pour adjuvants », Institut Algérien de Normalisation, 2005.
- [12] IDRISSI Meryem, « Etude de l'inclusion du Fer dans les ciments Sulfo-alumineux et valorisation du caoutchouc dans leurs mortiers », thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ MOHAMMED V-RABAT, 2012.
- [13] SCMI, « Instruction contrôle qualité, mesure et essais », juillet 2010.
- [14] DUPAIN R, LANCHON J.C. SAINT ARROMAN, « granulats, sols, ciment et bétons- caractérisation des matériaux de génie civil par les essais d laboratoire », édition castilla-25, ruerouge -75005 Paris 1995.

- [15] AYACHI Amor Mohamed, « Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes », thèse de Master, Université KASDI Merbah de Ouargla, 2011.
- [16] Ahmed GMIRA, «Etude texturale et thermodynamique d'hydrates modèles du ciment», thèse de Doctorat, Université D'Orleans, 2003.
- [17] Norme EN 196-3+A1, « Méthodes d'essais des ciments, Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité », Janv 2009.

## Annexe

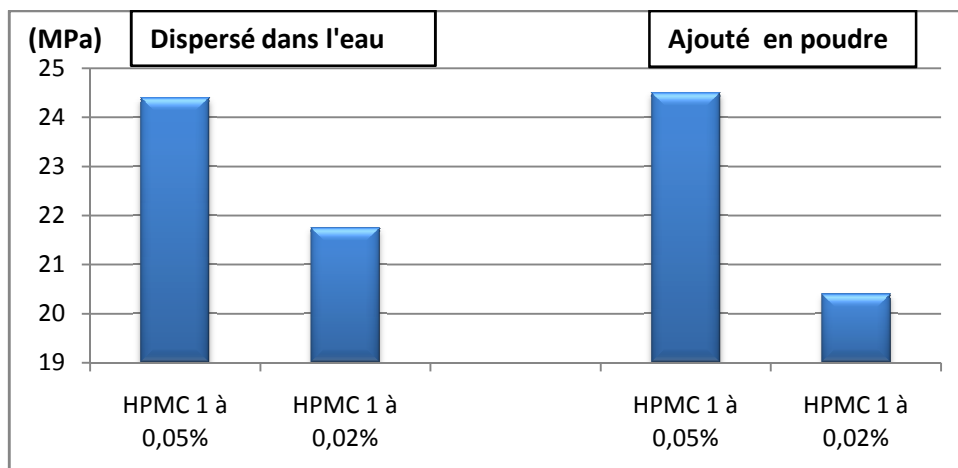
### I. Le choix de l'optimum en dosage d'adjuvant et la façon de l'incorporer :

La première question posée avant de commencer le travail était : quel est le dosage optimum et quel est la façon d'ajouter cette adjuvant au mortier, pour répondre à cette question on est procédé comme suit :

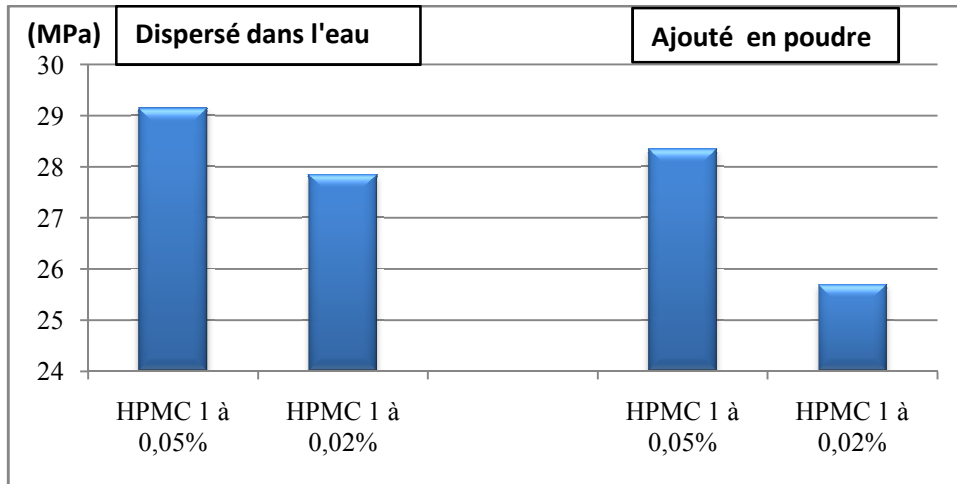
- Le travail de l'année passée a abouti que l'optimum (le dosage qui a donné le meilleur résultat) choisi est 0.05% entre le 0.25% et 0.5%.
- D'où cette année on a essayé un pourcentage moins que 0.05% aller au 0.02%, les analyses ont montré que les résultats de 0.05% sont mieux que ceux du 0.02%.
- En parallèle; on a essayé de disperser l'adjuvant dans l'eau de gâchage et de l'ajouter directement au mélange, les résultats ont montré que la différence est négligeable.
- Donc pour entamer le travail, on a choisi **l'optimum en dosage de 0.05%** ajouté directement au mélange (ciment, eau et sable) **comme une poudre**.
- Les résultats expérimentaux sont présentés dans les graphes ci-dessous

#### I.1 La compression

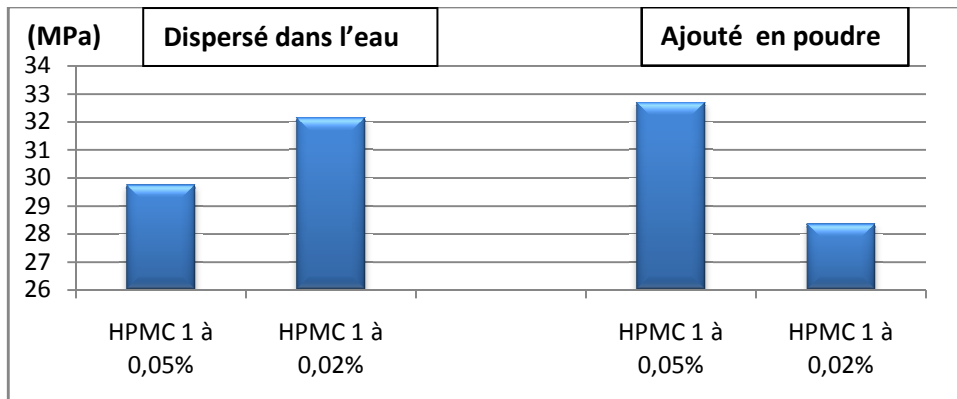
##### I.1.a- La compression à 7 jours :



##### I.1.b- La compression à 28 jours :



### I.1.c- La compression à 90 jours :



### I.2 Le calcul :

#### I.2.a- Le calcul du poids de l'adjuvant pour la préparation des mortiers :

Masse ciment= 450g

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 X \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ X \end{array}} \right\} X = 0.225 \text{ g}$$

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 X \longrightarrow 0.02\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ X \end{array}} \right\} X = 0.09 \text{ g}$$

Pour les mélanges HPC/MC

(80%HPC/20%MC) et (20%HPC/80%MC) et (50%HPC/50%MC)

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 0.225 \text{ g} \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ 0.225 \text{ g} \end{array}} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l}
 0.225\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 Y \longrightarrow 80\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0.225\text{g} \\ Y \end{array}} \right\} Y = 0.18 \text{ g}$$

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 0.225\text{ g} \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ 0.225\text{ g} \end{array}} \right\} \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 0.225\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 Y \longrightarrow 20\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0.225\text{g} \\ Y \end{array}} \right\} Y=0.045\text{ g}$$

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 0.225\text{ g} \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ 0.225\text{ g} \end{array}} \right\} \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 0.225\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 Y \longrightarrow 50\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0.225\text{g} \\ Y \end{array}} \right\} Y=0.1125\text{g}$$

**I.2.b- Le calcul de poids de l'adjuvant pour l'essai de la consistance :**  
**Masse ciment= 500g**

**Détermination du %H<sub>2</sub>O**

$$\begin{array}{l}
 500\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 \% \text{ H}_2\text{O} = \\
 V\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \% \text{ H}_2\text{O}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 500\text{g} \\ \% \text{ H}_2\text{O} \\ V\text{H}_2\text{O} \end{array}} \right\} \Rightarrow
 \frac{V\text{H}_2\text{O} * 100\%}{500\text{g}}$$

**Exemple :**

$$\begin{array}{l}
 500\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 131 \longrightarrow \% \text{ H}_2\text{O}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 500\text{g} \\ 131 \end{array}} \right\} \Rightarrow \% \text{ H}_2\text{O} = \frac{131 * 100\%}{500\text{g}}$$

**%H<sub>2</sub>O=26.2**

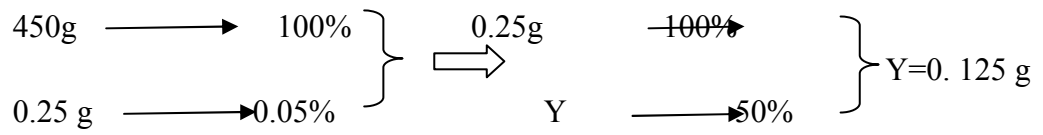
$$\begin{array}{l}
 500\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 X \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 500\text{g} \\ X \end{array}} \right\} X=0.25\text{ g}$$

**Pour les mélanges HPC/MC**

(80%HPC/20%MC) et (20%HPC/80%MC) et (50%HPC/50%MC)

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 0.25\text{ g} \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ 0.25\text{ g} \end{array}} \right\} \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 0.25\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 Y \longrightarrow 80\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0.25\text{g} \\ Y \end{array}} \right\} Y=0.2\text{ g}$$

$$\begin{array}{l}
 450\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 0.25\text{ g} \longrightarrow 0.05\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 450\text{g} \\ 0.25\text{ g} \end{array}} \right\} \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 0.25\text{g} \longrightarrow 100\% \\
 Y \longrightarrow 20\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0.25\text{g} \\ Y \end{array}} \right\} Y=0.05\text{ g}$$



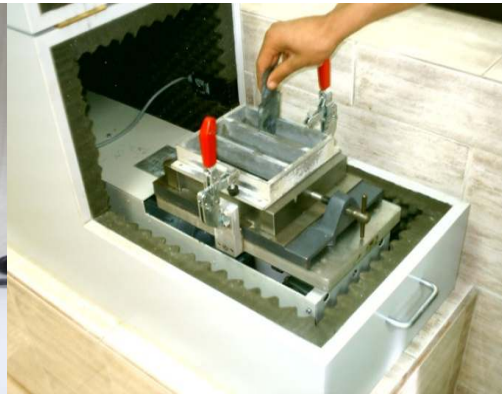
**I.3 les appareils utilisés :**



**Figure 3.9 :** Moule prismatique 4x4x16 cm [13].



**Figure 3.10 :** malaxeur normalisé [13].



**Figure 3.11 :** table à choc [13].



**Figure 3.12 :** presse pour compression





**Figure 3.16 :** Appareil de Vicat manuel.



**Figure 3.18:** Appareil de Vicat automatique.

#### **I.4 Les impressions écran de tous les essais de flexions et compressions :**

L'appareil de flexion de compression est intégré d'un logiciel Text Expert où on peut archiver ou imprimé les résultats de la casse

