



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



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Des Matériaux

Mémoire de Fin D'études
En vue de l'obtention du diplôme master
Spécialité : Génie des matériaux

Option:Sciences des Matériaux pour Construction Durable/Contrôle- Qualité

Thème

**INFLUENCE DES MILIEUX DE
CONSERVATION SUR LA DURABILITE DES
MORTIERS AUTOPLAÇANTS**

Réalisé par :

M^{me} : KADID Sara
M^{elle} : BOUCETHA Zakia

Suivi par :

Mr: M. SAIDI

2016/2017

Remerciements

Nous remercions ALLAH qui nous a donné la force et la patience

Pour terminer ce travail.

J'exprime nos sincères remerciements :

*A notre promoteur Mr. SAIDI.M pour son aide et son
dévouement et à notre Co-promotrice M^{lle} Djefour imane.*

*A Mr Chaabane chef département génie des matériaux du LCTP
Et à l'ensemble du personnel du LCTP sans oublier ceux qui ont
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et ceux
qui nous font l'honneur de juger ce mémoire.*



Merci

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents.

*Mes chers frères (Ali, Mohamed, Nadir) et sœurs (Houda, Nedjoua,
Nahla).*

A mon mari et mon fils Iyadou

A mes copines Dalila et Nadia.

A ma chère binôme Zako et sa famille

A mes collègues de groupe MCD et MCQ

A toutes les personnes chères à mon cœur.

Kadid Sara épouse Guemami



Dédicaces

Je Dédie Ce Modeste Travail A :

- ✓ *Mon cher papa*
- ✓ *A Mon Modèle De Sacrifice, D'amour Et De Générosité, La
Lumière De Mon Chemin Et L'étoile De Ma Vie : A Ma
Très Chère Mère*
- ✓ *A Mon Cher Frère youva Et Mes adorables sœurs Ghenima,
Noura, Hayet, Fati et ces enfants (Reda, Meriem, Asma,
Salma, Amine, fafa, Maria)*
- ✓ *A ma chère binôme Sara et son fils iyad son oublier sa famille*
- ✓ *Je N'oublie Pas tous mes amis de groupe MCQ/MCD*
- ✓ *Mes Amis : Dalila, Nadia, Nawal, Sara, Ali, Arezki*
- ✓ *Un remerciement spécial pour mon fiancé Boussad*

Zakia

Résumé :

Ce travail de recherche consiste à étudier la durabilité des mortiers autoplaçant. Une étude expérimentale a été menée dans le but d'évaluer l'influence de milieu de conservation sur les mortiers autoplaçants. La durabilité à long terme des mortiers immergés dans les deux milieux superplastifiant naturel (lignine), sulfate de sodium est quantifiée, par des essais physico-mécaniques de compression et de traction par flexion, et d'autre part calcul de résistance par ultrasons. Les résultats obtenus de bonne résistance à compression environs de 53 MPa à 71 MPa et des résistance à flexion de 9,37 MPa à 11,71 MPa ont permis de montrer les effets de différent milieu de conservation, dans l'amélioration de la durabilité des bétons vis-à-vis des agents agressifs tels que la lignine et le sulfate de sodium.

Les mots clés: mortiers autoplaçant, lignine, résistance

Abstract:

This research involves studying the sustainability of self-placing mortars. An experimental study was carried out in order to evaluate the influence of conservation medium on self-laying mortars. The long-term durability of mortars immersed in the two natural super plasticizing (lignin) media, sodium sulphate is quantified, by physico-mechanical tests of compression and flexural traction, and on the other hand computes resistance by ultrasound. The results obtained Good pressure strength is about 53 MPa to 71 MPa and bending power from 9.37 MPa to 11.71 MPa made it possible to show the effects of different conservation media in the improvement of the durability of the concretes vis-a-vis aggressive agents such as lignin and sodium sulphate.

Keywords: self-placing mortars, lignin, resistance

ملخص

الهدف من هذا البحث يتمثل في تثمين البوليمار الطبيعي المستخرج من الخشب لصياغة الملاط في الخرسانة المتوضعة اليا مع ضمان ديمومتها لهذا يتم إضافته لتحسين الأداء الميكانيكي لهذه المواد و يتم استعماله كحل إثناء حفظ الملاط و تقويته و حمايته في الأوساط العدوانية بعد حفظ هذه العينات في وسطين لمدة 28 يوما حيث تتعرض لهجوم كيميائي في هذه المحاليل العدوانية كبريتات الصوديوم

و في الأخير نقوم بتقييم تآكل الملاط و دور وسط الحفظ و القيام بتحليل ضياع الكتلة

التجارب الميكانيكية و الغير تهديمية التحت صوتية تلخص لنا أن الملاط المحفوظ في محلول البنين تعرض لهجوم كيميائي حيث يسجل المقاومات الآتية (76.8 – 71 - 67 - 53 ميكا باسكال) نلاحظ أن هذه المقاومات المتحصل عليها اكبر من مقاومات الملاط المحفوظة في الماء و الملخصة في النتائج التالية (72 - 65 - 55 - 43)

الكلمات المفتاحية الخرسانات تلقائية الوضع- الينين - المقاومة

Liste des tableaux

Partie théorique

CHAPITRE.I

TableauN°01.Dosages des mortiers.....	6
---------------------------------------	---

CHAPITRE.II

Tableau N°02.Principales applications à court terme , moyen terme et long terme de la lignine.....	24
--	----

Partie Pratique

PARTIE.I

TableauN°03: Composition chimique par fluorescence X du ciment	39
Tableau°04 : Composition minéralogique par diffraction X du ciment.....	40
Tableau N°05: Caractéristiques physiques du ciment.....	40
Tableau N°06 : Résistance à la compression et à la flexion du ciment.Norme NF EN 196-1	41
Tableau N °07 : Analyse granulométrique de sable normalisé.....	42
TableauN°08: Attribution des pics de spectres de spectroscopie infra -rouge typique de lignine	47

PARTIE.II

Tableau N ° 09: Rapport E/C et point de saturation	50
Tableau N °10 : Composition des différents mortiers.....	53

PARTIE.III

Tableau N°11: Etalement des différentes formulations.....	54
Tableau N °12 : Masse volumique des différents mortiers à l'état frais et durci	56
Tableau N °13 : Résistance à la flexion des différents mortiers à base de tempo 12 à 28 jours.	57
Tableau N°14 : Résistance à flexion des différents mortiers à base de lignine à 28 jours	58
Tableau N°15 : Résistance à la compression des différents mortiers à 28 jours.	59
Tableau N°16 : Résistance à compression à 28 jours à base de lignine	60

PARTIE.IV

Tableau N°17: Perte de masse des éprouvettes en fonction du tempsd'attaque.....	64
Tableau N° 18 : Variation de la vitesse de propagation en fonction du temps d'attaque.....	69
Tableau N° 19: Temps parcouru en fonction du temps d'attaque	71
Tableau N°20 : Résistance à la compression après attaque chimique.....	72
Tableau N° 21:Résistance à la flexion des différents mortiers après attaque chimique	73

Liste des figures

Partie théorique

CHAPITRE.I

Figure N°01. Représentation d'Essai d'étalement	9
FigureN°02. Représentation de l'essai de boîte L.....	10
FigureN°03. Représentation de l'essai de stabilité de tamis	11
Figure N°04. Essai de boîte en U	12
Figure N°05. Essai d'étalement modifié.	12

CHAPITRE.II

Figure N°06. Composition typique de la biomasse lignocellulosique	18
FigureN°07.Représentation de la chaîne de cellulose	19
FigureN°08.Structure générale de la matière végétale.....	21
Figure N°09. Réaction nette dans la dépolymérisation de la lignine par SH- (Ar=aryl, R=alkyl groups)19.....	22
Figure N°10. Formation des lignosulfonates. Q peut être une grande variété de groupes présents dans la structure de la lignine23.....	23
FigureN°11. Pales d'éoliennes fabriquées à partir de composites renforcés de fibres de carbone	26
FigureN°12. Déconstruction catalytique et thermique de la lignine en composés de bas poids moléculaire.	27

CHAPITRE.III

FigureN°13. la dégradation d'une structure en béton	29
FigureN°14.les attaques des milieux agressifs	32
Figure N°15.Principaux sels dissouts de l'eau de mer.	33
Figure N°16. les attaques des sulfates sur les armatures et le béton	35

Figure N°17. Pile de pont affectée par une réaction de gonflement interne	36
due à la formation d'étringite différée.	36

Partie Pratique

PARTIE I

Figure N° 18 : Sable normalisé EN 196 -1.....	42
Figure N°19: Courbe granulométrique du sable	43
Figure N°20: Carton de 16 sachets EN 196-1 de 1.350 kg	44
Figure N° 21 : La solution de la lignine	46
Figure N° 22 : Spectre infrarouge de la lignine	47
Figure N° 23: Monomères et unités principales impliquées dans la biosynthèse de lignine ...	48

PARTIE II

Figure N°24 : Malaxeur.....	52
-----------------------------	----

PARTIE III

Figure N° 25 : Etalement des différentes formulations.....	54
Figure N°26 : Masse volumique à l'état frais et durci des mortiers.....	56
Figure N°27 : appareil de flexion et compression.....	57

PARTIE IV

Figure N°28 : immersion des éprouvettes dans solution de lignine(M_T , M_1 , M_2 , et M_3).....	63
Figure N°29 : immersion des éprouvettes dans la solution de sulfate de sodium(M_T et M_1 conservés dans l'eau, M_t , M_1 , M_2 , et M_3 conservés dans la solution de lignine)	63
Figure N°30 : Pertes de masse des éprouvettes en fonction du temps d'attaque	65

Figure N°31 : Méthode de mesure de la vitesse par ultrasons	69
Figure N° 32 : Vitesse de propagation en fonction du temps d'attaque.....	70
Figure N°33 : Temps parcouru par les ondes ultrasonores en fonction du temps d'attaque....	71
Figure N° 34 : Histogramme des résistances à la compression après 07 semaines d'attaque..	73

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur les mortiers et le béton autoplaçant

I.1. introduction	3
I.1.1. Définition	3
I.1.2. Constituant des mortiers.....	3
I.1.2.1. Les Liants	3
I.1.2.2. Le sable.....	4
I.1.2.3. L'eau de gâchage	5
I.1.2.4. Les additifs	5
□ Les adjuvants	5
□ Les ajouts.....	5
I.1.3. Différents types des mortiers.....	5
I.1.4. Classification des mortiers	6
I.1.4.1. Classification selon leur domaine d'utilisation	7
I.1.4.2. Classification selon la nature du liant.....	7
I.1.5. Classe des mortiers.....	7
I.1.6. Préparation des mortiers.....	7
I.2. Le béton autoplaçant	8
I.2.1. Définition	8
I.2.2. Domaine d'utilisation	8
I.2.3. Propriétés.....	8
I.2.4. Constituants	9
I.2.5. Caractéristiques	11
I.2.5.1. Propriétés à l'état frai	11

I.2.5.2. Les propriétés à l'état durci	10
I.2.1.6. Les avantages de béton autoplaçant.....	11
I.2.1.7. Formulation des bétons autoplaçants.....	11
I.3.Conclusion	12

Chapitre II : les biopolymère

II.1. introduction.....	13
II.2.Composition chimique du bois	13
II.2.2. Bioraffinage et développement durable	14
II.2.3. La cellulose	14
II.2.4.Les hémicelluloses	15
II.2.5.La lignine	15
II.2.5.2. Structure moléculaire	16
II.2.5.3. Structure macromoléculaire	16
II.2.5.4. Intégration dans la biomasse lignocellulosique.....	16
III.2.5.5. Rôle de la lignine dans la matière végétale.....	16
II.3.Principaux procédés d'extraction de la lignine.....	17
II.3.1. Procédé Kraft au sulfure, alcalin.....	17
II.3.2.Procédé au sulfite, acide	18
II.3.3.Procédé organosolv, au solvant organique.....	18
II.4.Propriétés et applications des lignines extraites	19
II.4.1. Propriétés des lignines	19
II.4.2. Applications à court, moyen et long terme	19
II.4.2.1. Résumé des applications présentes et potentielles	19
II.4.2.2.Applications établies	20
II.4.2.3 Applications à moyen terme.....	20
II.4.2.4 Applications à long terme / à haute valeur ajoutée	21
III.5.Conclusions	22

Chapitre III : La durabilité

III.1.Introduction.....	29
III.2.Définition.....	29
III.3. Les altération du béton	29
III.4.Interaction des agents agressifs	30
III.5.Les facteurs influant la durabilité.....	31
III.5.1.La porosité	31
III .5.2.La fissuration	32
III.6.Quelques eaux particulières	33
III.6.1.L'eau de mer	33
III.6.2. Les eaux acides	33
III.6.3. Les eaux de recyclage.....	34
III.6.4. Les eaux de rejets industriels.....	34
III.7. Mécanisme de dégradation des ciments dans divers milieux.....	34
III.7.1. Mécanisme d'action des eaux agressives	34
III.7.1.1. Eau de mer	34
III.6.1.2. Eau séléniteuse.....	35
III.7.1.3. Eau douce.....	35
III.8. Type d'action chimique.....	35
III.8.1. Action par lessivage.....	35
III.8.2. Action des sulfates.....	36
III.8.3. Action des sels de Mg.....	37
III.8.4. Action des acides	38

III.8.5. Action de l'acide carbonique H_2CO_3	38
III.8.6. Altérations physique	39

Partie pratique

1. L'objectif et le plan du travail du la partie pratique.....	40
--	----

A. Première Partie : Caractéristiques des constituants

I.1. caractéristiques de ciment	41
I.1.1. Caractéristiques chimiques	41
I.1.2. Les Caractéristiques physiques.....	42
I.1.3. I Caractéristiques mécaniques du ciment.....	42
I.2. Caractéristiques du sable utilisé	43
I.2.1. Caractéristiques physiques du sable Normalisé.....	43
I.2.2. Analyse granulométrique.....	44
I.2.3. Conditionnement	45
I.3. Eau de gâchage.....	45
I.4. L'adjuvant	45
I.4.1. Présentation	46
I.4.2. Domaines d'application SIKA VISCOCRETE TEMPO 12	46
I.4.3. Données techniques	46
I.4.4. Conditions d'application.....	46
I.5. Préparation d'adjuvant naturel	47
I.5.1. La dilution de la lignine.....	47
I.5.2. Caractérisation de la lignine par FTIR	47

B. La deuxième partie: Etude de l'effet d' adjuvant de différent pourcentage

II.1. Elaboration des différentes formulations.....	50
II.2. Composition du mortier.....	50
II.2.1. Malaxage du mortier	52
II.3. Préparation des éprouvettes	53
II.3.1 .Dimension des éprouvettes	53
II.3.2 : Le démoulage est conservation des éprouvettes	53
II.3.3. Les proportions du constituant de chaque mortier.....	53

C. La troisième partie : formulation de différent pourcentage

III. Différente formulation.....	54
III.1. Les caractéristiques à l'état frais	54
III.1.1. L'étalement	54
III.1.2. La masse volumique	55
III.2. Les caractéristiques a l'état durci	57
III.2.1.Résistances mécaniques la flexion et compression	57

D. La quatrième partie : Durabilité des matériaux cimentaire

IV.1. préparation de milieu de conservation agressifs.....	59
IV.1. Milieux agressifs.....	59
IV.2.Préparation de solution de sulfate de sodium.....	59

Présentation de LCTP

Laboratoire central des travaux publics

01.LCTP : C'est un organisme technique, structuré de façon à répondre aux besoins du d'ouvrage, du maître d'œuvre, de l'administration ou des entreprise.

Notre savoir –faire, hérité du LNTPB, et notre capital expérience développé durant plus de quatre décennies d'activité de laboratoire nous permettent de répondre à votre attente grâce, notamment :

- à la modernisation de nos équipements de laboratoire
- A notre potentiel d'ingénieurs et techniciens, renforcés par des experts nationaux et internationaux
- A notre engagement dans le système qualité.

02.Activités de l'entreprise :

La banque de données géotechniques, alimentée par toutes les études et les travaux réalisés depuis plus de 50 années d'activité, couplée à nos moyens d'intervention, nous permettent de prendre part à tout projet nécessitant une bonne connaissance géologique et géotechnique du milieu

❖ **Etudes des contraintes géotechniques d'urbanisation :**

- Choix des sites, implantions des projets, programmes d'occupation des sols
- Etudes de sols de fondation d'ouvrages
- Ouvrage d'art, ouvrage hydraulique, bâtiment.

❖ **Recherche et prospection de matériaux**

- Inventaire des ressources par le système d'information géographique
- Recherche de zones d'emprunts et granulats répondant aux normes requises pour la fabrication des bétons d'ouvrages et leur utilisation en construction

❖ **Etude de stabilité**

- Stabilité des talus (mouvements des terres)
- Stabilité des pentes naturelles
- Phénomènes hydrogéologique et recherche de cativés souterraines

❖ **Contrôle des travaux**

- Terrassement
- Béton et signalisation routière

❖ **Essais en laboratoire**

- Laboratoire d'essais géotechniques et mécaniques des sols
- Laboratoire de produit noir
- Laboratoire de béton et matériaux
- Laboratoire de chimie appliquée
- Laboratoire de peinture routière.

Présentation de LCTP

03.Méthode géophysiques utilisées

Méthode électrique, Méthode sismique, Micro – gravimétrie, Cross Hole et Down Hole

❖ Métrologie

Afin de garantir les prestations fournies à ses clients, le LCTP dispose d'un département de métrologie équipé des moyens d'étalonnage et de vérification qui permettent de s'assurer de la fiabilité des essais réalisés .en outre, ce département assure le contrôle de l'homologation des peintures routières pour le compte du Ministre des travaux publics

04.Etude géotechniques

- Etude géotechnique de la 2^{ème} rocade d'Alger
- Etude géotechnique de la grande mosquée d'Alger
- Investigation géotechnique de la pénétration de Guelma
- Investigation géotechnique du contournement de la ville de Cherchell
- Investigation géotechnique du dédoublement
- Investigation géotechnique de la pénétration de Tizi Ouzou
- Etude géotechnique de plusieurs centrales électriques à travers le territoire national.

05.Etudes générales

- Etude de vulgarisation sur l'utilisation des matériaux locaux dans l'entretien routier.

06.Compétences techniques

Une pléiade d'ingénieurs, de techniciens supérieurs et techniciens de haut niveau spécialisés en :

- Travaux publics
- Génie civil
- Mécanique des sols
- Géologie et géophysique
- Hydrologie
- Physico –chimie des matériaux
- Topographie
- Essais in- situ
- Essais en laboratoire

Introduction
Générale

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, une nouvelle génération de béton a vu le jour les bétons autoplacants (BAP). Ces bétons sont très fluides et se mettent en œuvre sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe. Même dans des coffrages complexes et très encombrés, tout en donnant un produit final homogène. Toutefois, l'utilisation de ces bétons ne se répand que lentement à travers le monde.

Le problème de la formulation des bétons s'est renouvelé en profondeur au cours des dernières décennies principalement du fait de l'utilisation croissante et souvent conjointe des super plastifiants et des agents colloïdaux d'une part, et des additions minérales d'autre part.

En Algérie, ce type de béton présente un intérêt certain puisque les impératifs d'une meilleure qualité des ouvrages et aussi la complexité des coffrages commencent à se sentir de plus en plus ces dernières années.

La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel il va être exposé durant la durée de vie d'un ouvrage. Certains ions, dans un environnement aqueux peuvent être néfastes pour le ciment hydraté et par conséquent pour l'intégrité du matériau béton.

En effet, le ciment hydraté est poreux et sa porosité est partiellement ou complètement saturée d'une solution dite interstitielle. L'observation de structures en béton dégradées ou des investigations expérimentales en laboratoire ont permis de mieux comprendre l'effet de ces attaques chimiques. Il s'est avéré que les attaques du béton par les sulfates provoquent des fissurations et des éclatements et les attaques aux acides provoquent des dissolutions et des érosions et tous ces mécanismes peuvent à la limite compromettre l'aptitude au service des ouvrages concernés. Cette étude s'inscrit dans ce contexte c'est-à-dire la valorisation d'un polymère naturel (lignine extrait du bois) dans la conception des mortiers et des bétons autoplacants de bonnes performances et durable vis-à-vis des agressions chimiques des milieux environnants.

Notre travail est divisé en quatre parties comme suit :

- ✓ La première partie consiste à caractériser les différents constituants utilisés dans notre étude (ciment, agrégat, eau, adjuvants artificiel et naturel).
- ✓ La deuxième traite la valorisation des biopolymères dans la formulation des mortiers
- ✓ La troisième partie s'intéresse à la caractérisation physicomécanique des mortiers élaborés à base des deux adjuvants (Tempo 12 et Lignine) et détermination de la meilleure variante dans le but de la valorisation de l'adjuvant naturel de bon marché.
- ✓ La quatrième partie est basée sur l'étude de durabilité et la résistance chimique en fonction des milieux de conservation des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques d'une solution agressive de sulfate de sodium en utilisant l'analyse non destructive ultrasons. Cette dernière partie a pour objectif essentiel de valoriser ce polymère naturel pour la protection des mortiers et des bétons contre les effets néfastes de l'environnement.

Chapitre I

Généralités sur les BAP et les mortiers autoplaçants



Un béton autoplaçant (BAP) est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration, il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique.

Les bétons autoplaçants se caractérisent en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien précises pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité. Toutefois, l'utilisation de ces bétons ne se répand que lentement à travers le monde, car leur formulation est inhabituelle et nécessite une Le problème de la formulation des bétons s'est renouvelé en profondeur au cours des dernières décennies, principalement du fait de l'utilisation croissante et souvent conjointe de superplastifiants et de agents colloïdaux d'une part et des additions minérales d'autre part [1].

I.1.1. Définition

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant.

I.1.2. Constituant des mortiers

I.1.2.1. Les Liants

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [2].

Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

I.1.2.2. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques.

I.1.2.3. L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

I.1.2.4. Les additifs

✓ Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les superplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs accélérateurs) et les hydrofuges.

✓ Les ajouts

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le méta kaolin sont des matériaux qui, combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortier durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois.

- **Les cendres volantes**
- **Le laitier de haut fourneau**
- **Les pouzzolanes**
- **La fumée de silice**
- **Les fillers**
- **Le gypse**

I.1.3. Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en différents types [3]

➤ **Les mortiers de ciment**

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable.

➤ **Les mortiers de chaux**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment surtout lorsque la chaux est calcique.

➤ **Les mortiers bâtards**

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

➤ **Mortier réfractaire**

Il est fabriqué avec du ciment fondu qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues.

➤ **Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

➤ **Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- ❖ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- ❖ Mortiers d'imperméabilisation.
- ❖ Mortier d'isolation thermique.
- ❖ Mortier de jointoiement.
- ❖ Mortier de ragréage.
- ❖ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ❖ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- ❖ Mortier de réparation.

I.1.4. Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suit: [4]

I.1.4.1. Classification selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes:

- ❖ Mortier de pose.
- ❖ Mortier de joints.
- ❖ Mortier pour les crépis.
- ❖ Mortier pour le sol.
- ❖ Mortier pour les stucs.
- ❖ Pierres artificielles.
- ❖ Support pour les peintures murales
- ❖ Mortier d'injection.
- ❖ Mortier pour les mosaïques.
- ❖ Mortier de réparation pour pierres.

I.1.4.2. Classification selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

- ❖ Mortier de ciment portland.
- ❖ Mortier de chaux.
- ❖ Mortiers bâtards.
- ❖ Mortier à base de ciment de maçonnerie.

I.1.5. Classe des mortiers

- **Classe 1**: Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2**: Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3**: Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4**: Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5**: Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6**: Adjuvant modifiant des propriétés spéciales.

I.1.6. Préparation des mortiers

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme le montre les tableaux ci-dessous: [5]

Tableau N°01. Dosages des mortiers.

Sable	Ciment	Eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité (ml)
1350	450	225

I.2. Le béton autoplaçant

I.2.1. Définition

Le béton autoplaçant (dénommé aussi béton auto compactant) est défini comme suit dans l'Annexe nationale NA de la norme SN EN 206-1 : un tel béton lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation, et sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage)[1].

I.2.2. Domaine d'utilisation

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.). Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate c'est-à-dire, présentant :

- Des densités de ferrailage importantes
- Des formes et des géométries complexes : voiles courbes.
- Des voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Des exigences architecturales et de qualité des parements particulières.
- Des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration.

I.2.3. Propriétés

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité. Grâce à leur formulation, ils offrent des caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages tout en résistant parfaitement à la ségrégation. Homogènes et stables, ils présentent des résistances et une durabilité analogues à celles des bétons traditionnels dont ils se différencient par leurs propriétés à l'état frais. La fluidité du BAP permet sa mise en place aisée par pompage.

I.2.4. Constituants

❖ Ciment

Le ciment est une matière pulvérulente se présentant sous l'aspect de poudre très fine formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier. Autrement on peut dire que le ciment est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton et le mortier [3].

✓ Les différents types de ciment courant sont :

CPA-CEM I: Ciment Portland

CPJ-CEM II: Ciment Portland composé

CHF-CEM III : Ciment de haut-fourneau

CPZ-CEM IV : Ciment pouzzolanique

CLC-CEM V : Ciment au laitier et aux cendres

Les ciments sont essentiellement constitués de clinker auquel on peut ajouter les autres constituants suivants :

- Calcaires.
- Laitiers granulés de haut fourneau.
- Cendres volantes.
- Fines calcaires.
- Pouzzolanes naturelles.

- Schistes calcinés.
- Fumées de silice.

❖ L'eau

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton autoplaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton.

Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'autoplaçant du béton. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants.

❖ Les granulats

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide inter-granulaire, ce qui nécessite un plus faible coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. L'expérience de ciment est cependant meilleure en raison de leur plus grande surface spécifique. Masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du néanmois montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte différente. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur levée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De la proportion de farines ($\varnothing 0,125$ mm) ne devrait pas être trop faible. Entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important. Afin d'assurer une bonne stabilité, spécialement optimisé, au besoin recomposé. Partir de plusieurs fractions stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable.

❖ Les ajouts minéraux

Ce sont principalement des fillers calcaires (calcaire, dolomite) des fillers siliceux : des laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des laitier de haut fourneau, des fumées de silice, des déchets de brique les fillers calcaire sont des produits secs finement devisés obtenus par broyage industriel des roches calcaire, dont les caractéristiques sont définie par la norme NF P 18 – 305. Ils augmentent la stabilité et l'ouvrabilité des BAP.

Les cendres volante ou les laitier permet d'obtenir un maintien d'ouvrabilité le plus long la fumée de silice conduit a une augmentation de la compacité d' BAP donc des résistances mécanique plus élevées.

❖ Superplastifiant

Sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous ce forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée.

Le mode d'action des superplastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit: Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton.

Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.

I.2.5. Caractéristiques

I.2.5.1. Propriétés à l'état frais

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser plusieurs critères mesurables par des tests empiriques : le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage [6],[7]

❖ Essai d'étalement

L'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, permettant de cet essai est de mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône [6]. Le diamètre de la galette de béton est le paramètre caractérisant de fluidité, plus il est grand, plus le béton est fluide. L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50 cm et 80 cm en fonction de l'utilisation du béton [8], [9] ceci permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

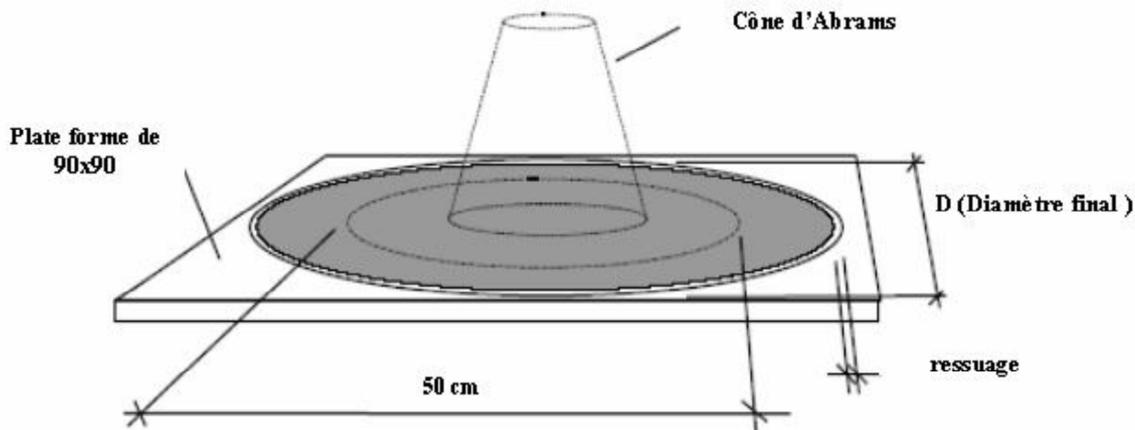


Figure N°01. Représentation d'Essai d'étalement

❖ Essai de boîte en L

La boîte en « L » permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage. 13 litres de béton sont mis dans la partie verticale puis on laisse le béton se reposer pendant 1 minute. La trappe est ensuite levée et le béton s'écoule dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. A la fin de l'écoulement, on mesure les hauteurs H1, H2 et le résultat est exprimé en termes de taux de remplissage $H2/H1$. Ce rapport permet de caractériser la dénivellation et doit être supérieur à 0,8[10].

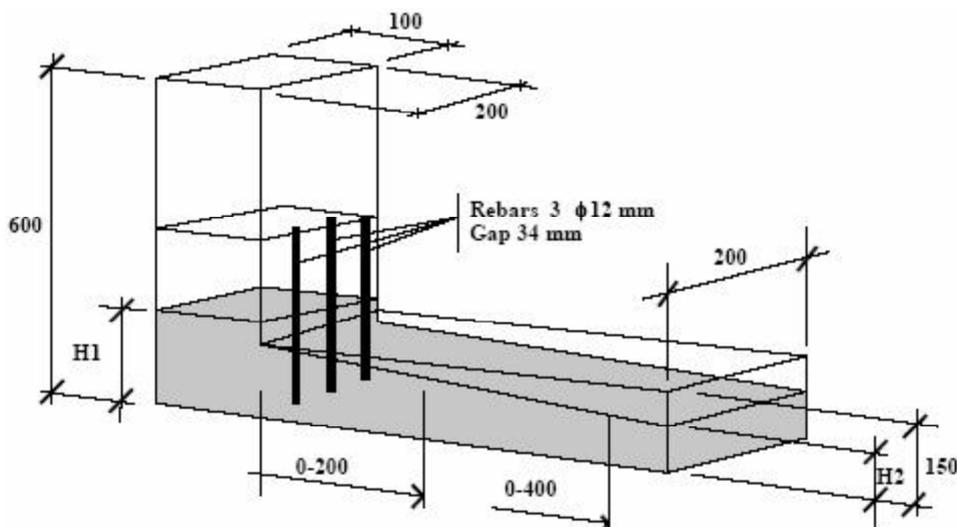


Figure N°02. Représentation de l'essai de boîte L

❖ Essai stabilité au tamis

A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes une masse 4,8 kg de béton est versée du seau sur un tamis de maille 5 mm. Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Un pourcentage élevé de laitance par rapport à la masse initiale est un indicateur d'une faible résistance à la ségrégation. L'AFGC a proposé en plus un essai de mesure du ressuage, qui semble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif)

la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

. $0 \leq \Delta \leq 15$ % stabilité satisfaisante.

. $15 \% < \Delta \leq 30$ % stabilité critique, l'essai à refaire in situ.

. $\Delta > 30$ % stabilité très mauvaise, béton inutilisable.



Figure N°03. Représentation de l'essai de stabilité de tamis

❖ Essai de cône d'Abrams

Le temps de passage de la galle de béton à un diamètre de 50 cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton cette mesure le t_{50} est une valeur qualitative. En général des valeurs élevées de T_{50} traduisent un béton de vitesse de déformation faible (vitesse élevée). pour un béton autoplçant la littérature mentionne des valeurs allant jusqu'à 7 seconds [11],[12], cependant certains auteurs considèrent que cette valeur peut atteindre 12 secondes, pour des bétons autoplçants avec une faible vitesse de déformation.

❖ Essai de boîte en U

L'essai de la boîte en U permet de caractériser la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocages inacceptables [13].

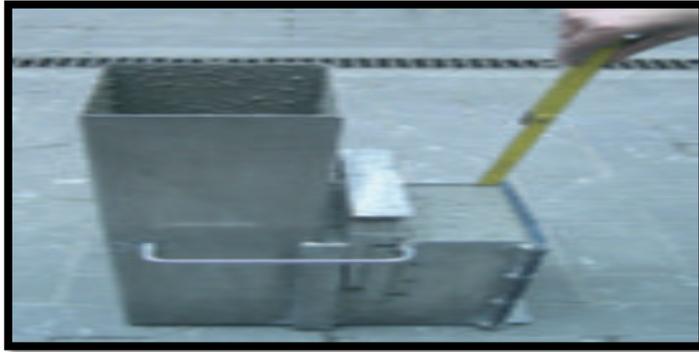


Figure N°04. Essai de boîte en U

❖ Essai d'étalement modifié (J – Ring)

Cet essai a le même principe que l'essai au cône. Sauf s'écoule au travers de barres d'armatures. Le but est d'évaluer sa tendance au phénomène de blocage. A cet effet le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique. Sur cet anneau de 300 mm de diamètre sont soudées des barres d'armatures de diamètre 16 à 28 mm, espacées régulièrement d'environ deux fois et demi leur diamètre. On déduit que le béton autoplaçant répond pleinement aux exigences recherchées de fluidité avec faible tendance à la ségrégation et d'enrobage complet des armatures, lorsqu'il s'écoule de manière uniforme au travers de cet anneau et que la répartition des granulats paraît homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau.

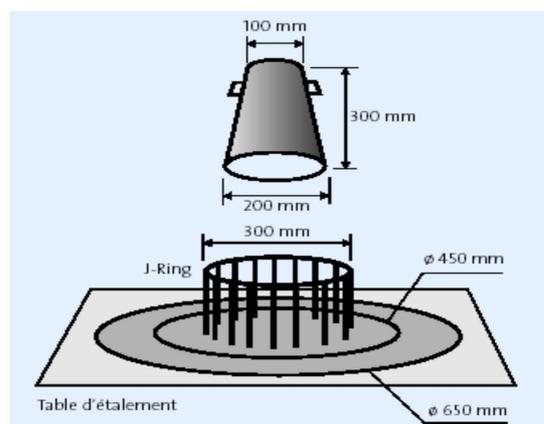
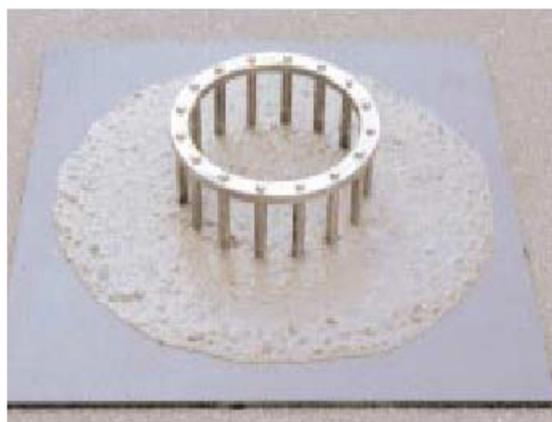


Figure N°05. Essai d'étalement modifié.

I.2.5.2. Les propriétés à l'état durci

Lorsque le BAP est formulé et mis en œuvre de manière adéquate, ses propriétés à l'état durci (résistance, déformation, durabilité) ne se différencient guère de celles d'un béton ordinaire vibré.

❖ Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours.

❖ Résistance à la traction

Gibbs 99 ont constatés qu'il n'y aucune différence entre la résistance à la traction des BAP et celle des bétons référence. Par contre, Gibbs 02 ont montrés que la résistance à la traction est plus grande que la résistance des bétons références. En comparant des mélange de BAP ont le même E/C on trouve que le type et la finesse de poudre affecte peu la résistance en traction [14].

❖ Module d'élasticité

Des bétons autoplaçants et des bétons ordinaires vibrés a résistance mécanique égale sont testés [14]. pour des rapports gravier sur sable G/S similaire, le module d'élasticité des BAP est équivalent a celui des BO. Par ailleurs, pour des rapports G/S différent, le module d'élasticité des BAP est inférieur a celui des BO. Ceci est expliqué par le fait que le volume de pâte est important pour les béton autoplaçant. En effet, le module d'élasticité d'un béton est fonction des proportions volumiques de ses constituants et de leurs modules respectifs (le module de la pâte est bien inférieur a celui des granulats)

❖ Retrait

En dessiccation, les bétons autoplaçant et les bétons ordinaire vibrés possèdent en générale un retrait total équivalent. cependant, les deux types de bétons affichent une élevées (pour les BHP), ou le retrait des BAP est supérieur. En mode endogène, les bétons autoplaçant et les bétons ordinaires présentent un retrait similaire a 28 jours au de la d'un an, les BAP présentent un retrait légèrement supérieur a celui des BO. Il est vraisemblable que les légères différences entre les retraits des deux types de béton sont dues au volume de pâte qui est plus important dans les bétons autoplaçant [15].

❖ Fluage

Les bétons autoplaçant subissent des déformations différées sous charge plus importantes que celle des bétons ordinaires vibrés dans la même gamme de résistance [15]

Les déformations spécifiques propres et totales ainsi que le fluage spécifique, sont légèrement supérieurs dans le cas des bétons autoplaçants [186], sauf pour la gamme de résistance relative aux bétons de bâtiment pour lesquels ces paramètres sont identiques entre BAP et BO.

I.2.1.6. Les avantages de béton autoplaçant

Les Bétons autoplaçants sont hyperfluides et se mettent en place, sans vibration, sous l'effet de leurs propres poids et de leurs caractéristiques d'écoulement. Ils épousent ainsi des formes de coffrage complexes. Ils offrent de nombreux avantages :

- Rapidité de mise en place du béton
- Suppression des systèmes de vibration

- Gain de productivité
- Amélioration des aspects de surface
- Limitation des besoins de ragréage
- Réalisation d'éléments de formes complexe
- Economie de main d'œuvre (respect de 35 heures)
- Augmentation de la durée de vie des coffrages
- Réalisation de formes plus sophistiquées

I.2.1.7. Formulation des bétons autoplaçants

La plupart des formules de BAP sont conçues actuellement de manière empirique. La méthode de Dreux –Gorisse n'est pas adaptée car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce soient des composants essentiels d'un BAP.

La formulation est donc basée sur l'expérience acquise ces dernières années

Certaines ordres de grandeur pour les proportions des constituants sont maintenant connus et utilisés :

- Un rapport G/S = 1
- Un rapport E/C = 0.485
- Un dosage en ciment de 400kg/m^3
- Le volume d'air occlus (A) est de l'ordre de 5%
- Un pourcentage en ajout (superplastifiant,.....)

Pour pouvoir comparer les performances des différents bétons indépendamment de l'action du ciment, on fixe le dosage de ce dernier à 400kg/m^3 , ainsi le rapport E/C a 0.485 pour tous les bétons testés

Le rapport G/S est fixé à 1 pour augmenter la qualité de sable celle –ci permet d'assurer une meilleure stabilité et une qualité suffisante de mortier, ainsi pour diminuer la quantité des gros granulats dans le but d'éviter le risque de blocage, ce qui explique la diminution du rapport G/S de 1.5 à 1 par rapport au béton vibré.

I.3. Conclusion

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (vibration, damage)

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
- Capacité de passage dans les milieux confinés
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène même en présence de ferrailage dense.

A l'état durci, le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée.

Bibliographie

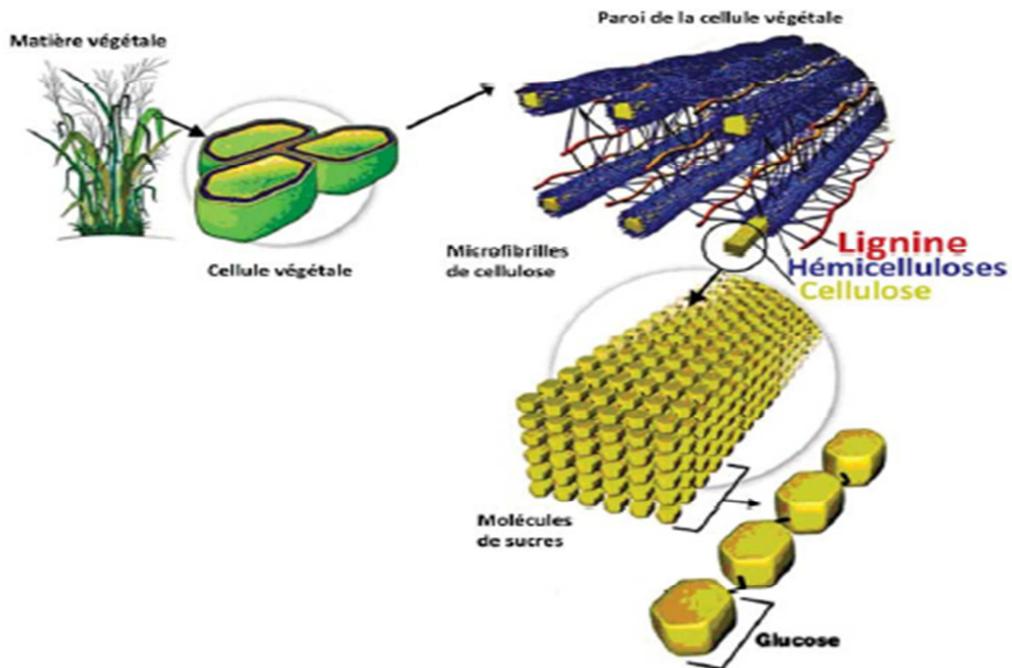
- [1] : Site web de groupe holcim, hett:// www.HOLCIM.com
- [2] : WILLIAM .D callister .JR «Science et génie des matériaux » Modolu Editeur, 2001
- [3] :GC1712 « Durabilité ET réparation du béton » département génie civil, université de Sherbrooke _ canada, avril 2009
- [4] : SYLVER .P «Science des matériaux »université pierre de Marie curie 2005,2006
- [5] : PDF réalisé par ZILE Marie Durosier Richard Bonneville
- [6] : Association Française de génie civil, béton autoplaçant Recommandations provisoires, document scientifique et technique, AFGC juillet 2000
- [7] : TURCY .P « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : influence de la formulation » thèse doctorat, université de Nantes ,2004
- [8]: Okamura .H OZAWA .K «Self compactable high performance concrete in Japan », ACI international workshop on high performance concrete, Bangkok, Thailand, 1994
- [9]: HAYAKAWA .M, MATSUOKA .Y YOKOTA .K «Application of superworkable concrete in the construction of 70 _ Story building in Japan », ACI international symposium on advances in concrete technology, Las Vegas, 1995
- [10] : STEPHAN Assie «Durabilité des bétons autoplaçants » thèse de doctorat l'institut national des Sciences appliquées de Toulouse octobre 2004
- [11] :Grunewald .S Wahaven .j c , Rheological measurements on self _ compacting fibre reinforced concrete »
- [12] :NIELSSON , W allewick .O.H ,«Rheological evaluation of some empiric methods – preliminary results » , proceedings of the third international symposium on self –compacting concrete , REYKJAVIT Island , pp. 59 -58 ,2003
- [13] : Neville, A.M « Propriétés des bétons Edition Eyelles, 2000
- [14] : Hana Fares «propriétés mécaniques et physico –chimique des b&ton autoplaçants a une température élevée » thèse doctorat .Ecole doctorale science et ingénierie. Université de Cergy –partoise
- [15] : Assie .S, «Durabilité des bétons autoplaçant » thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse ,2002
- [16]: Leslie J. R. and Chessman W. J. (1949). An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures. Journal of American Concrete Institute, Vol. 21, No. 1, pp. 17-35.

[17]: R. Jones and I. Facaoaru, "Recommendations for testing concrete by the ultrasonic pulse method," *Matériaux et Constructions*, vol. 2, no. 4, pp. 275–284, 1969.

[18]: Sturup, V. R.; Vecchio, F. J.; and Caratin, H., "Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength," *In-Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, SP-82, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1984, pp. 201-227.

Chapitre II

Biopolymère



II.1. Introduction

La valorisation de la lignine, dans le cadre de la bioraffinerie lignocellulosique du futur, est une thématique particulièrement prometteuse. En effet, la lignine est la principale matière première renouvelable composée de motifs aromatiques. Ce polymère est le plus souvent valorisé uniquement par combustion dans les papeteries pour la production d'énergie. La mise en route de bioraffineries destinées à convertir la biomasse lignocellulosique en carburants de transport générera en général plus de lignine que nécessaire pour alimenter l'installation en énergie². Dès lors, des efforts sont en cours pour transformer la lignine en produits à valeur ajoutée. Sa valorisation en composés aromatiques de bas poids moléculaires (tels que benzène, toluène, xylènes: BTX) permettrait une plus-value considérable dans la mesure où les BTX sont des molécules de base de la pétrochimie et représentent en 2015 un marché de 100 milliards de dollars.

On estime généralement que l'étude de la valorisation de la cellulose en particulier en éthanol a eu lieu il y a 20 ans, celle de la valorisation des hémicelluloses il y a 10 ans et celle de la valorisation de la lignine a lieu actuellement [1].

II.2. Composition chimique du bois

Le bois peut être divisé en deux grandes familles, les bois feuillus (hardwood) et les bois résineux (softwood), différenciés par les types de cellules dont ils sont formés. Dans les deux cas, les cellules sont hétérogènes chimiquement et sont développées à partir d'une matrice polymérique formée de polysaccharides (cellulose et hémicelluloses) et de lignines. Les constituants non structuraux (extractibles) qui représentent une fraction mineure, sont composés majoritairement de substances de bas poids moléculaires (terpènes, acides gras, tannins, etc.) et sont présents à l'extérieur des parois cellulaires.

Nous nous proposons dans cette partie de passer en revue les différents composants structuraux (cellulose, hémicellulose, lignine) du bois [3].

II.2.1 Biomasse lignocellulosique

La biomasse lignocellulosique, appelée parfois simplement biomasse, est constituée de trois composants majeurs: la cellulose (polysaccharide linéaire de glucose), les hémicelluloses (polysaccharides branchés de sucres à 5 et 6 atomes de carbone) et la lignine (un polymère complexe aromatique). En moyenne, la biomasse lignocellulosique (bois, paille) contient 45% de cellulose, 25% d'hémicelluloses et 25% de lignine (**Figure 1**) [1]

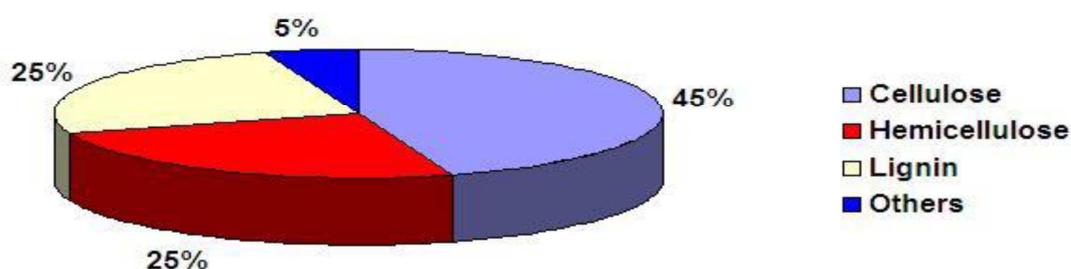


Figure N°06. Composition typique de la biomasse lignocellulosique

II.2.2. Bioraffinage et développement durable

Le bioraffinage est le processus de transformation de la biomasse en produits biobasés (aliments, produits chimiques et matériaux) et en bioénergie (biocarburants, électricité et chaleur).

Dans une démarche de durabilité, les bioraffineries du futur devront valoriser au mieux la plante entière pour produire des molécules jusqu'à présent fabriquées à partir du pétrole, tout en minimisant l'empreinte environnementale⁵. Les bioraffineries de première génération partent de la partie alimentaire de la biomasse (sucre, amidon, huile végétale) tandis que celles de deuxième génération partent de la biomasse non alimentaire constituée principalement de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Comme dans la partie alimentaire de la biomasse, le glucose est aussi présent dans la biomasse lignocellulosique mais de manière moins accessible. Les bioraffineries de première génération déjà sont nombreuses sur la planète, tandis que celles de deuxième génération sont encore rares⁶.

Deux voies principales existent pour le bioraffinage de la biomasse lignocellulosique : la voie biochimique et la voie thermochimique. La voie biochimique, particulièrement étudiée pour la production de bioéthanol, comprend trois étapes principales : le prétraitement de la biomasse, l'hydrolyse des polysaccharides et la fermentation des sucres obtenus par l'hydrolyse. Sauf exception, les raffineries biochimiques ne sont pas axées sur la valorisation de la lignine.

Le bioraffinage, au cœur de la bioéconomie du futur, devrait permettre l'avènement d'une société plus innovante, plus économe en ressources, plus compétitive, qui concilie la sécurité alimentaire et l'utilisation durable des ressources renouvelables tout en protégeant l'environnement⁷. La bioraffinerie du futur devrait valoriser la lignine en produits à haute valeur ajoutée [1].

II.2.3. La cellulose

La cellulose représente la molécule biologique la plus abondante sur notre planète.

Cette macromolécule glucidique est un élément structural de premier ordre pour la grandemajorité des parois végétales. Élément constitutif majeur du bois, la cellulose est également un constituant majoritaire du coton et des fibres textiles telles que le lin, le chanvre, le jute ou la ramie (Suyatma, 2006).

La cellulose est un homopolymère linéaire de résidus glucose de configuration D, connectés selon une liaison glycosidique β , (1 \rightarrow 4) (Figure I.01). La masse molaire de la chaîne de cellulose varie de 50000 à $2,5 \times 10^6$ g.mol⁻¹, en fonction de son origine et du traitement d'extraction utilisé [2].

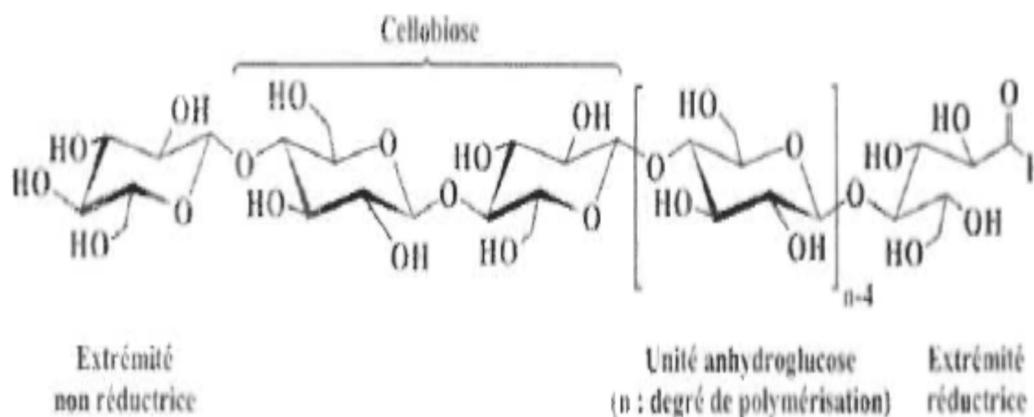


Figure N°07. Représentation de la chaîne de cellulose

II.2.4. Les hémicelluloses

Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses sont des hétéropolysaccharides composés par un agencement de cycles à 5 et 6 carbones dont les plus connus sont: le xylose, l'arabinose, le galactose, le glucose, le mannose, et les acides uroniques. Les hémicelluloses représentent environ 20 à 30% de la matière sèche du bois [13]. Leur taux de ramification élevés (Figure 3-3) et leur bas degré de polymérisation (10 à 100 fois moins élevé que la cellulose) se traduisent par une plus grande solubilité [3].

II.2.5. La lignine

La lignine est une substance organique qui imprègne les cellules, les fibres, les vaisseaux du bois et les rend imperméables et inextensibles. Différentes formes de lignines existent selon la nature de la biomasse ou encore selon le procédé

de son isolement. C'est un polymère naturel et renouvelable, le deuxième polymère naturel le plus abondant sur Terre après la cellulose. Ce constituant du bois est un produit bon marché car il est considéré

comme un sous-produit de l'industrie de la transformation du bois, en particulier de l'industrie papetière. En effet, lors de la fabrication de la pâte à papier, la liqueur noire, sous-produit de cette transformation du bois, brûlée dans une chaudière, est utilisée comme combustible pour récupérer les produits inorganiques (NaOH et Na₂S) du procédé Kraft [4].

II.2.5.1. Structure de la lignine :

La lignine est le terme générique désignant un vaste groupe de polymères aromatiques. Elle constitue le principal groupe de polymères biosynthétisés à squelette aromatique [1]

II.2.5.2. Structure moléculaire

La lignine est généralement polymérisée à partir de trois précurseurs monomères phénylpropanoïdes : les alcools *p*-coumarylique, coniférylique et sinapylique, qui sont aussi connus comme les monolignols (**Figure 3**). Les trois monomères diffèrent par leur degré de méthylation des noyaux aromatiques [1]

II.2.5.3. Structure macromoléculaire

Le couplage des radicaux onolignols est favorisé à leur position β , et conduit à la formation de liaisons β -O-4 (β -arylether), β -5 (structure phénylcoumaran), et β - β (structure résinol). Le phénylcoumaran β -5 est une structure plus rigide et plus hydrophobe que celle produite par un couplage β -O-4. Ensuite, le dimère doit être déshydrogéné avant de pouvoir se coupler à un autre radical mone. Ce mode de polymérisation selon lequel un monomère radical s'ajoute à un polymère en croissance plutôt que de se combiner l'un à l'autre est appelée polymérisation « endwise » [1]

II.2.5.4. Intégration dans la biomasse lignocellulosique

La lignine est déposée principalement dans les parois secondaires des cellules végétales, les rendant rigides et imperméables. La lignine, qui protège les polysaccharides de la paroi cellulaire de la dégradation enzymatique et microbienne, est par la même occasion un des facteurs limitants les plus importants à la conversion de la biomasse lignocellulosique.

La lignine joue le rôle de lien entre les molécules de cellulose et d'hémicelluloses¹⁴. Ces liens sont principalement des liaisons covalentes de type éther et ester. C'est en grande partie le clivage de ces liaisons, lors des procédés papetiers, qui libère la lignine et fragmente la matière végétale en ses trois composants [1].

III.2.5.4. Rôle de la lignine dans la matière végétale

La matière végétale (**Figure N°08**) est constituée essentiellement de polysaccharides et de lignine qui sont des polymères de masses moléculaires élevées. La composition de la matière végétale varie selon la nature du végétal de 70 à 80% de polysaccharides et de 15 à 30% de lignine. Les polysaccharides sont essentiellement constitués de cellulose en majorité et d'hémicelluloses. Ils sont aussi couramment appelés « carbohydrates ».

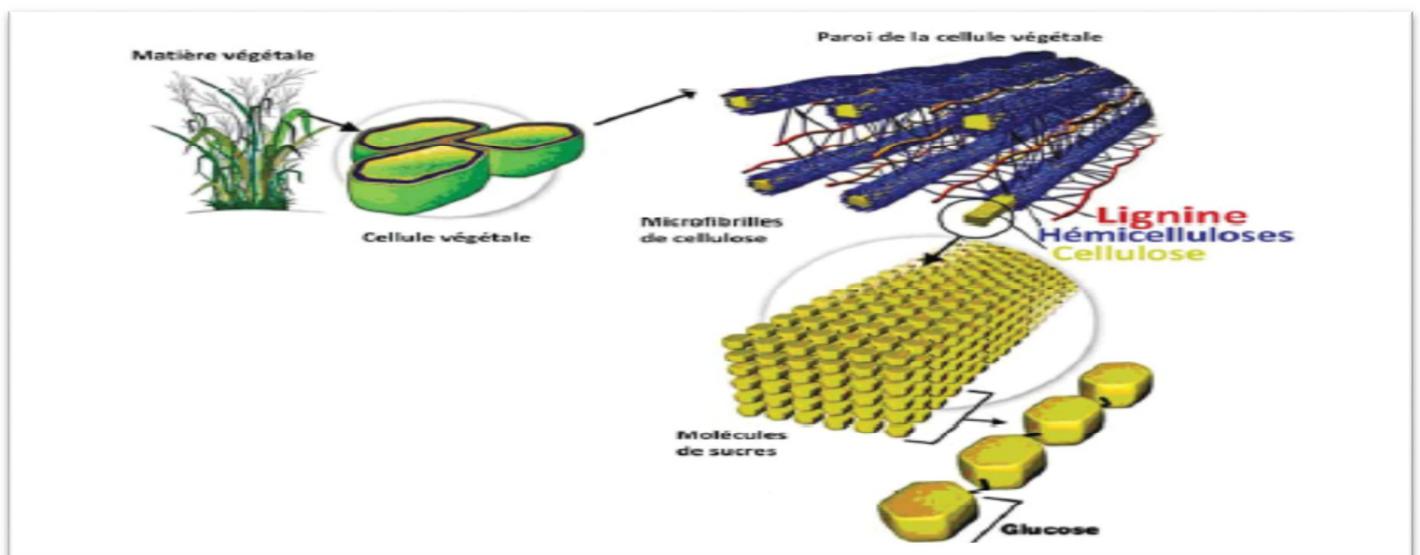


Figure N°08. Structure générale de la matière végétale

II.3. Principaux procédés d'extraction de la lignine

Tous les procédés chimiques papetiers procèdent en deux étapes pour la séparation des polymères lignocellulosiques : [1]

- libération et solubilisation des hémicelluloses et de la lignine sous forme de « liqueur noire » ;
- filtration de la cellulose restée insoluble, et concentration du filtrat (liqueur noire).

II.3.1. Procédé Kraft au sulfure, alcalin

Le procédé Kraft est le procédé chimique principal de fabrication de la pâte à papier dans le monde [18]. Il utilise une base forte avec le sulfure de sodium comme catalyseur pour séparer la lignine des fibres de cellulose (**Figure N°09**). La lignine et les hémicelluloses dissoutes au stade fabrication de la pâte sont connues comme la liqueur noire et sont envoyées dans un système de récupération où elles sont brûlées. Ce stade de récupération est crucial au fonctionnement d'une usine Kraft : il fournit une bonne partie de

l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'usine et régénère les produits chimiques inorganiques de fabrication de la pâte[1].

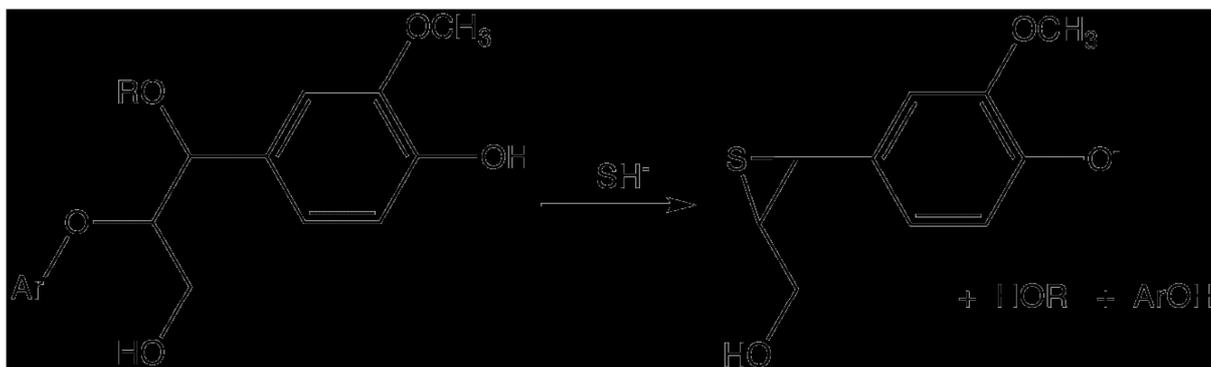


Figure N°09. Réaction nette dans la dépolymérisation de la lignine par SH^- ($\text{Ar}=\text{aryl}$, $\text{R}=\text{alkyl}$ groups)19.

II.3.2. Procédé au sulfite, acide

Comme source de pâte blanchie destinée à la fabrication du papier, le procédé au sulfite a été largement remplacé par le procédé Kraft (alcalin)18. Néanmoins, les lignosulfonates isolés des liqueurs usées du procédé au sulfite sont la source la plus importante de lignine aujourd'hui avec une production globale d'environ 1 million de tonnes par an. Les lignines Kraft, quant à elles, se retrouvent dans la liqueur noire et sont brûlées, ce qui explique leur faible volume disponible. Les lignosulfonates contiennent des groupes sulfonates ($-\text{SO}_3^-$) liés au polymère et sont par conséquent des polyélectrolytes anioniques solubles dans l'eau dans une grande gamme de pH22[figure 4][1].

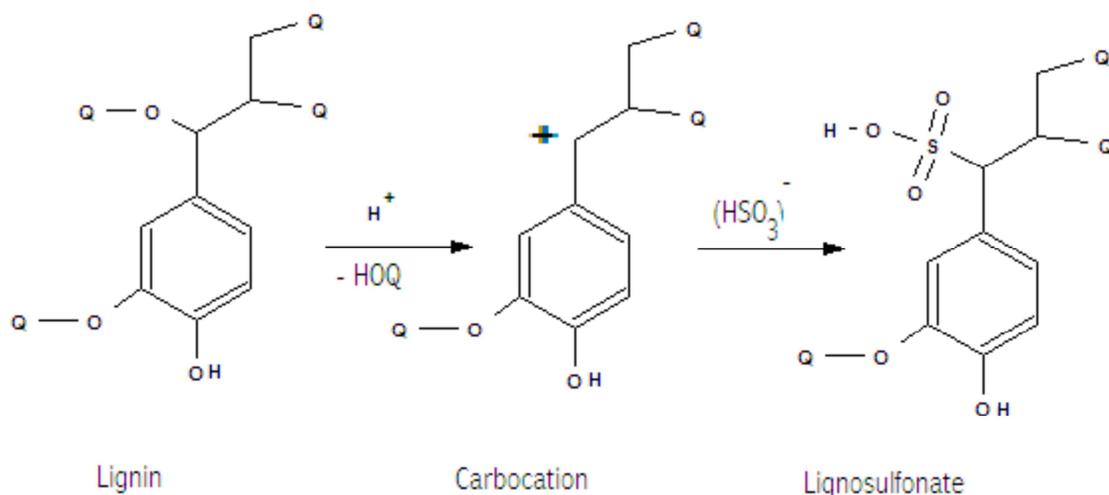


Figure N°10. Formation des lignosulfonates. Q peut être une grande variété de groupes présents dans la structure de la lignine²³.

II.3.3. Procédé organosolv, au solvant organique :

Les procédés organosolves utilisent essentiellement les solvants tels que l'éthanol-aqueux (procédé Alcell), le méthanol-aqueux (procédé Organocell) et l'acide acétique (procédé Acétosolv).

La délignification par le procédé Alcell s'effectue à forte pression de 2-3,5 MPa pour atteindre une température de près de 200°C. Comparé au procédé Kraft, les techniques organosolves offrent plusieurs avantages tels qu'un plus faible impact environnemental et coût d'installation, un fractionnement des trois polymères pariétaux (cellulose, hémicellulose et lignines) et une bonne pureté des lignines [5].

Dans le cas d'applications à fortes valeurs ajoutées, ces lignines non soufrées et de plus faibles masses moléculaires que les lignines Kraft, présentent de meilleures propriétés pour des applications matériaux (colles, résines phénoliques) ou pour une conversion en syntones aromatiques. Cependant, les procédés organosolves souffrent d'une consommation d'énergie trop importante due au recyclage des solvants par distillation [5].

II.4. Propriétés et applications des lignines extraites

II.4.1. Propriétés des lignines

Les lignines sont des polymères amorphes tridimensionnels, thermoplastiques, qui peuvent être mélangés avec la plupart des thermoplastiques pour produire des composites. Généralement, les lignines de bois tendre ont un Tg (température de transition vitreuse) légèrement supérieur aux lignines de bois dur, ce qui est probablement dû à une structure plus réticulée dans les bois tendres ou à une association avec des polysaccharides. La nature des unités de base est également différente : G ou bien G+S. La lignine native dans le bois a le Tg le plus bas (65-105°C) et les lignines modifiées sont connues pour avoir un Tg supérieur : 110-160°C pour la lignine du bois broyé et 124-174°C pour la lignine Kraft soufrée (lignine trouvée dans la liqueur noire des usines Kraft)³⁰. Les lignines isolées ont généralement un poids moléculaire voisin de 2.000 à 5.000³¹[1].

II.4.2. Applications à court, moyen et long terme :

La lignine est le second polymère biobasé sur Terre après la cellulose. Mondialement, environ 50 millions de tonnes de lignine sont produites annuellement comme résidu de la fabrication du papier[7].

La plus grande partie de la lignine est brûlée pour générer de l'énergie pour les usines de pâte à papier.

Dans la catégorie des applications établies (court terme), la lignine est employée uniquement comme source de carbone et des moyens agressifs sont utilisés pour rompre sa structure macromoléculaire.

Dans les applications à moyen terme, la structure macromoléculaire est avantageusement conservée.

La troisième catégorie de produits se situe entre les deux premières et emploie des technologies qui dégradent la structure macromoléculaire de la lignine mais maintiennent la nature aromatique des molécules produites.

II.4.2.1. Résumé des applications présentes et potentielles :

Un résumé des applications présentes et potentielles de la lignine est donné au **Tableau 2**.

Tableau N°02. Principales applications à court terme (~2015), moyen terme (~2019) et long terme (~2025) de la lignine*[1].

Catégories		Exemples
Court terme/faible valeur Ajoutée	Bioénergie, gaz de Synthèse	Chaleur, électricité
Moyen terme/moyenne à haute valeur ajoutée	Macromolécules	Fibres de carbone Modificateurs de polymère Résines/colles/liants
Long terme ou haute valeur ajoutée	Monomères et oligomères aromatiques	Benzène, toluène, xylène Vanilline Molécules de lignine monomères Molécules plateformes (phénoliques,

II.4.2.2. Applications établies

Plusieurs applications à la fois établies et à relativement basse valeur ajoutée existent pour la lignine :

- combustible, fournissant plus d'énergie par unité de masse que la cellulose, électricité, gaz de synthèse;
- additif pour le ciment, en particulier comme retardateur de prise;
- additif d'asphalte, en particulier en raison de ses caractéristiques anti-oxydantes;
- liant dans l'alimentation animale pour plastifier et assurer la cohésion des pellets et additif pour les pellets de biomasse servant de combustible.

La production de vanilline est une application établie à haute valeur ajoutée.

L'application comme liant macromoléculaire pour bois et panneaux à base de bois est déjà actuelle et à moyenne valeur ajoutée (panneaux de fibres à moyenne densité (MDF) et contreplaqué)³⁶.^[1].

II.4.2.3 Applications à moyen terme

Les applications à moyen terme, et moyenne à haute valeur ajoutée incluent : ^[1]

- synthèse de macromolécules;
- composites à base de lignine et composant de matériaux polymères tels que film d'amidon, polymères conducteurs, polyesters et polyuréthanes;
- molécule plateforme pour la production de fibres de carbone et conditionneur de sol³⁷.

❖ Fibres de carbone

La lignine constitue une molécule plateforme pour la production de fibres de carbone. Parmi de nombreuses applications, les pales des éoliennes sont la plus grande application de composites techniques dans le monde. Ces grandes structures composites sont principalement faites à partir de résines époxy renforcées de fibres de verre. Les fibres de carbone peuvent fournir une plus grande performance mécanique que les fibres de verre, en raison de leur densité inférieure et de leur plus haute tenue à la fatigue, qui accroît la durée de vie des pales. Les coûts élevés de la fibre de carbone conventionnelle, dont le procédé de fabrication commence avec comme précurseur le coûteux polyacrylonitrile (PAN, polymère de la famille des acryliques issu du pétrole), ont limité son utilisation étendue dans les pales des éoliennes^[1]



Figure N°11. Pales d'éoliennes fabriquées à partir de composites renforcés de fibres de carbone

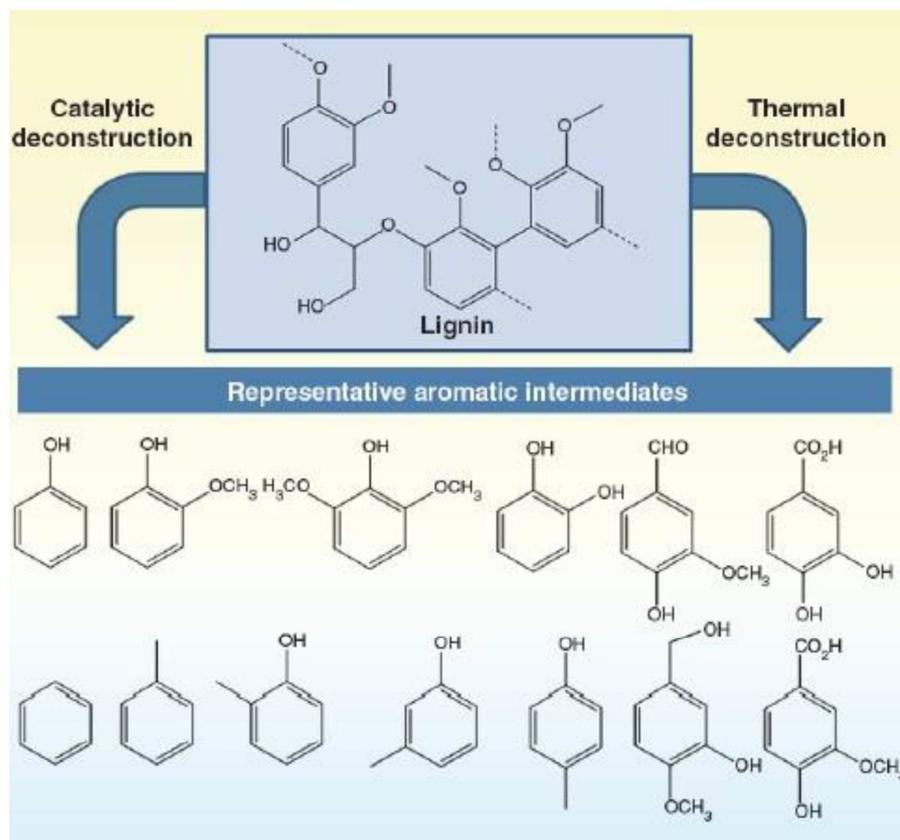
❖ **Plastiques et composites : résines phénol-formaldehyde**

Une autre application à haut volume de la lignine est son incorporation dans les plastiques et composites dérivés de plantes. La synthèse de plastiques techniques et d'élastomères thermoplastiques, de mousses polymériques et de membranes à partir de lignine avec des propriétés comparables aux mêmes matériaux issus du pétrole

II.4.2.4 Applications à long terme / à haute valeur ajoutée

Les applications potentielles à haute valeur ajoutée et à long terme pour la lignine incluent :

- produits chimiques à base aromatique (tels que les phénols, benzène, toluène, xylènes) résultant de la dépolymérisation de la lignine, qui peut s'obtenir par catalyse alcaline suivie par une hydrodéoxygénation, une pyrolyse et un fractionnement, une liquéfaction catalytique ou une dépolymérisation supercritique (**Figure 12**) [1].
- stabilisant UV et agent colorant ;
- tensioactif.



FigureN°12. Déconstruction catalytique et thermique de la lignine en composés de bas poids moléculaire.

III.5.Conclusions

La valorisation de la lignine est un des enjeux majeurs de la bioéconomie. Des technologies de prétraitement existent pour extraire la lignine de la biomasse lignocellulosique. Elles doivent cependant être optimisées et développées au niveau industriel. Les technologies de conversion de la lignine existent, certaines au stade du laboratoire, d'autres au stade industriel.

Bibliographie

Chapitre II : les biopolymères

[1] www.valbiom.be

Mollécule issues de la valorization de la lignine. Jean _ luc wertz Mars 2015

[2] **Mr.Mokrani Nadir** « Préparation et étude de comportement des membranes biopolymères alginate de sodium/ chitosane » mémoire de Magister de l'université Mhamed Bougerra Boumerdes 2012/2013.

[3] **Mr.Amadou Diop** « extraction de polymérisation et valorisation de la lignine KRAFT de la liqueur noire » Thèse doctorat de l'université du Québec à trois rivières Mars 2014.

[4] **Diane schorr** « caractérisation et modification des lignines industriels » Thèse doctorat de l'université Laval 2014.

[5]. **E.Muurinen** « Organosolv pulping, a review and distilisation study related to peroxyacidpulping », Faculty of Technology , Departement of process and Environnemental Engineering, University of Oulu-Finland, 2000.

Chapitre III

La durabilité



III.1.Introduction

La durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage, pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers), et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans son environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible. un ouvrage doit résister aux charges auxquelles il est soumise, ainsi qu'aux action divers telles que le vent ,la pluie ,le froid ,la chaleur le milieu ambiant ,etc. tout en conservant son esthétique.

Prescrire un béton durable nécessite d'apprécier, dès sa conception, l'ensemble des contraintes environnementales et les agressions potentielles qu'il aura à subir pendant toute a durée de service, le respectèrent mettre en œuvre les recommandations en vigueur.

Il doit satisfaire les besoins des utilisateurs au cours du temps. La durabilité du maintien doit être assortie d'une durée, temps minimal pour lequel l'ouvrage est conçu qui est appelé la durée de service de l'ouvrage.

Les ouvrage usuels, réalisés en béton courant aussi bien que les plates formes disposés aux milieux marins, les autoroutes sollicitées par un trafic intense, résistant au fil des années aux multiples agressions physico-chimiques aux quelles ils sont soumis. [1]

Néanmoins, il arrive que des défauts de conception ou de mise en œuvre, que des causes accidentelles soient à l'origine de désordre : la notion de durabilité est donc indissociable de celle de qualité à tous les niveaux et, en particulier de celle de matériau de béton. L'exigence de qualité est devenue aujourd'hui une nécessité. Elle est aussi un facteur d'économie par sa contribution à la limitation du cout de maintenance.

III.2.Définition

La durabilité du béton peut être définie comme la capacité du matériau à conserver un comportement et une performance suffisamment satisfaisants dans les limites de la sécurité, lorsqu'il est soumis aux conditions réelles de service et pendant une durée prévue.

La durabilité du béton est une propriété relative puisque elle dépend, simultanément, des caractéristiques chimiques et physiques du béton et des conditions environnementales.

La durabilité est définie par la norme NF X 50-501 comme «l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint» [2]

III .3.Les altérations du béton

Les altérations du béton durci sont variées. Elles atteignent soit la matrice cimentaire soit les armatures, parfois les deux. Leurs origines sont très nombreuses : chaque étape depuis la formation jusqu'à la mise en œuvre, mais l'agressivité de l'environnement peut être source de dégradation. De même, le

Béton est un produit moulé, aussi, toute imperfection du coffrage (étanchéité, aspérités traces de rouille....), laissera son empreinte dans le béton.

Les caractéristiques du béton qui influencent sa durabilité peuvent être regroupées en :

- Le choix des matériaux.
- La formulation du béton.
- La cure du béton.
- Les facteurs liés à la mise en œuvre de l'ouvrage.
- Les facteurs liés à la conception de l'ouvrage.

Les altérations du béton, observées en présence d'agents agressifs, qu'ils soient minéraux, organique ou biologique, sont d'ordre chimique ou physique. Et sont dues à des problèmes de formulation d'hydratation ou à un processus physico-chimique où l'environnement peut être source de dégradation. [1]



FigureN°13.la dégradation d'une structure en béton

III.4.Interaction des agents agressifs

Les altérations observées sont d'ordre chimique ou physique. Les agents chimiquement Agressifs peuvent être classés en quatre catégories :

Les gaz, d'origine naturelle où résultent de pollutions atmosphérique.

Les liquides inorganiques ou organiques qui, indépendamment de leurs éventuels effets purement physiques, agissent surtout par leur caractère acide ou basique, et par les ions agressifs qu'ils peuvent contenir.

Les solides essentiellement des sols et déchets d'origines diverses.

Les milieux biologiques, fermentations bactériennes aérobies ou anaérobies.

L'agression chimique entraîne presque toujours la dissolution de la chaux contenue dans la pâte de ciment, mais l'attaque des silicates et aluminates de chaux hydratés ne sont pas négligeables.

Si les produits de réactions sont solubles, la matrice devient de plus en plus ouverte, la perméabilité augmente et la résistance de surface chimique diminue progressivement.

Au contraire, si les produits de réactions sont insolubles, deux cas peuvent se présenter suivant que la nouvelle phase est ou non expansive.

Si les nouveaux cristaux ne sont pas ou sont très faiblement expansifs, ils comblent progressivement la porosité des bétons et ainsi diminuent la perméabilité et augmentent la durabilité.

Lorsque la nouvelle formation est expansive, elle induit des pressions plus élevées que la résistance à la rupture. [3]

III.5. Les facteurs influant la durabilité

III.5.1. La porosité

Le béton est un mélange constitué principalement du ciment, granulats et l'eau et éventuellement d'adjuvant, mais il contient bien aussi des vides dus à l'eau excédentaire

Le béton courant peut avoir un taux de porosité de l'ordre de 10 à 12% dues à la présence des différents types de pores dans la texture même des hydrates, et de capillaire qui se développent dans la structure des grains, les capillaires qui sont dimensionnellement les plus importants ne dépassent pas un diamètre de quelques microns, les pores des hydrates sont 10 à 100 fois plus petits. Et bien sûr il est bien connu l'influence de la porosité sur la résistance.

Donc, pour réaliser des bétons de hautes performances, aussi bien que d'un point de vue mécanique que vis-à-vis d'agression d'ordre physico-chimique, il est indéniable de limiter la porosité.

Cette dernière dépend principalement de deux facteurs qui sont:

- La diminution de la teneur en eau, le rapport E/C ou/ et le rapport E/L doit être le plus faible possible.
- Une granulométrie comportant des éléments fins, afin de remplir les vides qui se

trouvent entre les grosgranulats [4]

III .5.2.La fissuration

Il faut souligner ici le caractère non préjudiciable de la plupart des fissures qui, correctement maîtrisées par des armatures ou des qui en déterminent l'emplacement et en limitent l'ouverture, n'ont pas d'influence sur la durabilité du béton, le savoir-faire et la maîtrise en matière de béton armé prévoit le dimensionnement des ouvrages et les dispositions propices à empêcher ou contrôler efficacement la fissuration potentielle. Cependant, les fissures non contrôlées à caractère fortuit sont susceptibles de jouer négatif. [4]

Les principales causes de fissuration sont les suivantes :

- Retrait de la pâte de ciment
- Condition thermiques et hygrométriques
- Causes mécaniques

La pâte de ciment subit différentes phases de déformation aux stades successifs de l'hydratation à savoir pré-prise, prise et durcissement.

Chacune des phases est liée à un mécanisme prépondérant qui génère un gradient de température ou d'humidité dans le béton.

- Les facteurs qui influent sur les trois phases de déformation peuvent être groupés en quatre catégories principales, qui concernent plus particulièrement : La composition du béton, l'interdépendance des constituants, la cinétique d'hydratation;
- La mise en œuvre du béton: fabrication, mise en place, vibration, cures;
- La géométrie de l'ouvrage;
- Le milieu environnant

Le soin apporté à la formulation du béton, et à sa mise en œuvre, et la prise en compte des conditions extérieures permettront, dans la quasi-totalité des cas, de garantir sa durabilité. [4]

III.6. Quelques eaux particulières

III.6.1. L'eau de mer

Les principaux éléments nocifs contenus dans l'eau de mer sont le chlore, sous forme de chlorures de sodium et de magnésium (environ 30g/l), le sulfate, sous forme de sulfates de magnésium, de calcium et de potassium (environ 3.7g/l), les micro-algues (très variables) [5]



Figure N°14. les attaques des milieux agressifs

III.6.2. Les eaux acides

L'acidité de l'eau est, en générale, mesurée par son PH. L'ion hydrogène contenu dans l'eau de gâchage n'est pas à proprement parler nocif pour le béton, car il peut être très largement neutralisé par le ciment qui contient une réserve importante de produit basique. Les eaux acides peuvent être nocive à cause de l'anion qui lié à l'ion H^+ , en générale Cl^- ou SO_4^{2-} , mais par fois tout autre (acide humique, acide lactique, etc.).[5]

III.6.3. Les eaux de recyclage

Les eaux de recyclages sont, en générale, soit des eaux qui ont déjà été utilisées pour gâcher du béton, soit des eaux de lavage du matériel (malaxeurs, camions, etc.). Elles peuvent par fois avoir été additionnées d'eaux de pluie ou de ruissellement.

Elles sont surtout chargées en éléments fins qui proviennent du ciment, des additions et des granulats ou en composés chimiques qui proviennent du ciment, (sulfates, etc.) et des adjuvants. Lorsque ces eaux restent conformes aux spécifications de la norme, elles sont utilisables sans danger. Une eau non conforme peut être amenée à conformité par un traitement approprié et notamment à l'aide de bassins de décantation. Les matières en suspensions peuvent, néanmoins, déroger sans risque à la limite maximale de 4% prévue dans la norme pour les autres eaux. [5]

III.6.4. Les eaux de rejets industriels

Dans certains cas, ces eaux peuvent contenir des impuretés qui vont faire intervenir des réactions complexes avec le ciment : c'est le cas des usines alimentaires ou de la plupart des rejets organiques et chimiques. Elles ne devraient donc être utilisées qu'après une vérification approfondie de leur non- nocivité. [5]

III.7. Mécanisme de dégradation des ciments dans divers milieux

III.7.1. Mécanisme d'action des eaux agressives

Nous étudions les eaux de mer, séléniteuses et eau douces ;

III.7.1.1. Eau de mer

L'eau de mer contient une forte proportion de sels nuisibles ; sulfate de calcium, sulfate de magnésium. [5]

L'explication de l'action de l'eau de mer actuellement admise est celle donnée par ; M.Lafinna. D'après M.Lafinna, le sulfate de magnésium contenu dans l'eau réagit avec la chaux mise en libre par la prise du portland pour donne du sulfate de calcium libéré est très actif et donne avec les aluminates contenus dans les liants, le sel complète expansif, déjà signalé. [5]

On sait que ce sel de complète cristallise avec une très grande quantité d'eau ce qui entraîne une augmentation de volume des mortiers et de béton ceux-ci gonflent et se désagrègent et fissurent. [5]

L'eau de mer est toutefois moins agressive que les eaux séléniteuses et les eaux magnésiums.

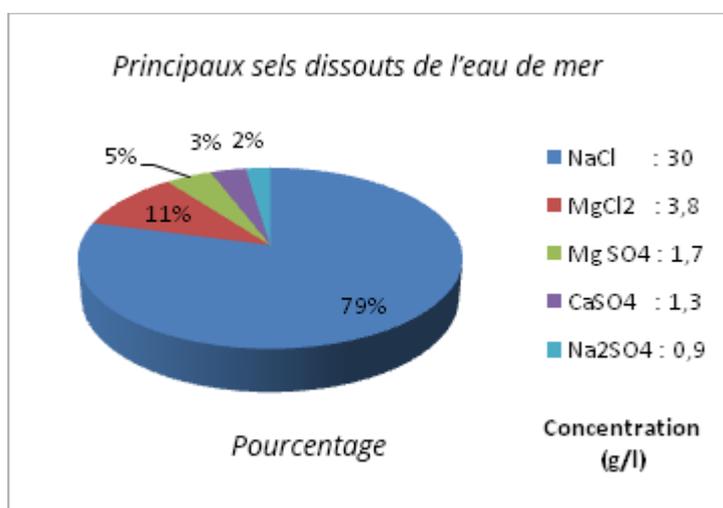


Figure N°15. Principaux sels dissouts de l'eau de mer.

III.6.1.2. Eau séléniteuse

L'explication de l'attaque des mortiers par les eaux séléniteuse est la même que celle donnée ci-dessus pour l'eau de mer.

Les eaux séléniteuses commencent à être nocives pour des concentrations de 0,1 g/l pour le sulfate de magnésium, de 0,2g/l pour le sulfate de calcium.

Au-dessus d'une concentration de 1gramme par litre de sulfates, les eaux séléniteuses deviennent très agressives [5]

III.7.1.3. Eau douce

Les eau douces sont agressives mais sont moins agressives que les eaux de mer et les eaux séléniteuse, et moins concerté (concentration des sels en g/l) [5]

III.8. Type d'action chimique

Les actions chimiques sont des actions dues à la corrosion par lessivage, des sulfates, des sels de magnésium et des acides [5]

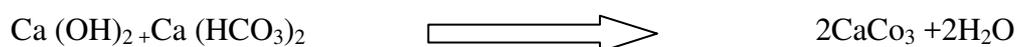
III.8.1. Action par lessivage

C'est la dissolution graduelle et le transfert de la chaux du béton vers l'extérieur de tous les constituants hydratés du ciment, la chaux est la plus soluble, elle peut être dissolution par attaque superficielle. [5]

La dissolution de la chaux peut s'accompagne par la formation de composés nouveaux (des sels solubles) qui diminuent la Resistance du béton (mortiers). La vitesse de dégradation du béton par lessivage dépend de :

- La vitesse de solubilité
- La vitesse de déplacement sur la surface
- La composition chimique et minéralogique de la pierre de ciment
- La nature de la construction

Si les sels insolubles, ils peuvent au contraire, se substituer à la chaux et forme une couche de protection



En se déposant dans des pores, les carbonates favorisent le compactage de béton.

Les ciments aux ajouts qui contiennent une partie importante de la silice active peuvent fixer la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et donnent des hydrosilicates insolubles qui est un obstacle au lessivage.

III.8.2. Action des sulfates

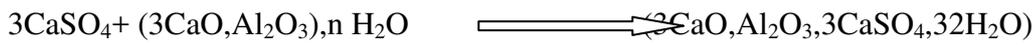
Les sulfates les plus abondants dans les sels sont les sulfates de calcium (CaSO_4), sulfate de magnésium (MgSO_4) et sulfates de sodium (Na_2SO_4). Ils attaquent le ciment durci et réagissent avec l'hydroxyde de calcium, libre $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pour former le sulfo-aluminate de calcium.

En premier lieu, il y aura une dissolution de chaux, qui favorise la formation d'un nouveau composé par réaction d'échange ionique [5]

Na_2SO_4 substitution de 2Na^+ par Ca^{2+}



Érosion $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gypse secondaire) provoque le gonflement.



L'étringite provoque le gonflement.

- le sulfate de magnésium a une action plus élevée que les autres sulfates et décompose les hydrosilicates de calcium en même temps qu'il réagit avec les aluminates et l'hydroxyde de calcium.
- les hydrosilicates de calcium réagissent généralement de la manière suivante.

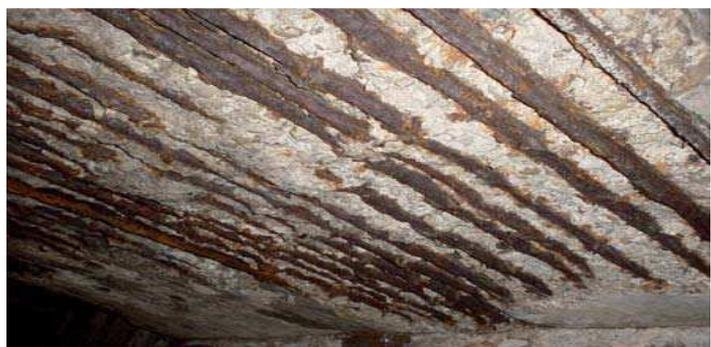
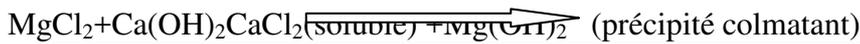


Figure N°16. les attaques des sulfates sur les armatures et le béton

III.8.3. Action des sels de Mg

A. Substitution de Mg^{+2} par Ca^{+2}





mono-chloro-aluminate insoluble donne en présence des sulfates l'étrangement qui donne un gonflement. N'importe quel sel soluble de Mg contenu dans l'eau réagit avec l'hydroxyde de calcium et donne naissance à l'hydroxyde de Mg insoluble ne possédant pas des propriétés liant avec le sel soluble de calcium



Cette réaction provoque la dégradation du béton, puisqu'en raison de la petite solubilité de $\text{Mg}(\text{OH})_2$, la réaction continue jusqu'à la fin, c.-à-d. jusqu'à l'épuisement des constituants de la pierre du ciment. Pour augmenter la résistance du béton à l'agressivité des sulfates et des sels de Mg, il est nécessaire d'accroître la densité du béton, son imperméabilité à l'eau, et son compactage pendant sa mise en œuvre [5].



Figure N°17. Pile de pont affectée par une réaction de gonflement interne due à la formation d'étringite différée.

III.8.4. Action des acides

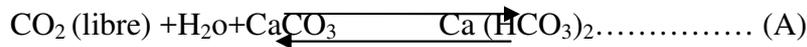
Les principaux éléments qui caractérisent l'action des acides est la chaux, il y a deux cas de réaction de la chaux :

- A. La chaux passe en solution sans réagir : la pâte de ciment se décalcifie par dissolution de la chaux des hydrates $\text{Ca}(\text{OH})_2$. ($\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{H}_2\text{O}$).
($4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 32\text{H}_2\text{O}$). C'est le stade ultime de la dégradation et la formation de gels ($\text{SiO}_2, n \text{H}_2\text{O}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$).
- B. Le deuxième cas c'est où la chaux passe en solution et réagit, dans ce cas il se forme un composé nouveau et il y a érosion. ce composé forme soit une couche protectrice par formation d'un sel insoluble (H_2CO_3 qui entraîne la précipitation de CaCO_3), on aura aussi l'action de l'acide carbonique, soit une couche non protectrice par formation de sel insoluble [5]

- l'action de H₂SO₄ conduit à la formation des sulfates de calcium peu soluble, mais les réactions secondaires avec les constituants du ciment sont très importantes.

III.8.5. Action de l'acide carbonique H₂CO₃

L'acide carbonique peut être considéré comme la solution aqueuse de CO₂, ce dernier dans l'eau existe sous différents états suivant la réaction :



Les 3 états de CO₂ sont :

- CO₂ libre
- CO₂ (équilibre) semi-lié chimiquement Ca(HCO₃)₂
- CO₂ lié chimiquement CaCO₃
- ❖ Si CO₂ libre < Ca(HCO₃)₂ : la réaction sera



On aura précipitation de CaCO₃ (eau incrustante).

- ❖ Si CO₂ libre > Ca(HCO₃)₂ ; la réaction sera



L'eau devient agressive grâce à la présence de CO₂ excédentaire et on aura la dissolution de CaCO₃, du ciment



III.8.6. Altérations physique

Pratiquement tous les ouvrages apparents travaillant dans les conditions atmosphériques subissent l'influence de basses températures, la situation la plus critique est celle des constructions maritimes. Dans ces conditions l'eau se trouve dans les pores se distingue 2 forme de destruction :

- l'accroissement de l'eau en se congelant entraînent une grande pression hydraulique sur les parois des pores [5].
- la pression somatique qui se manifeste à la suite de l'accroissement de la concentration due à la séparation de l'eau congelée et la solution. Le nombre de cycles (très grand) gel-dégel abordés graduellement par la structure de la pierre du ciment diminue la résistance mécanique de la pierre [5]. Dans le cas des basses températures, il faut diminuer la porosité des matériaux et choisir les ciments d'E/C faible (consistance normale petite)

Dans le cas des hautes températures, les hydrates commencent à se détruire, il faut utiliser le béton à base de ciment ordinaire, donc il faut introduire dans ces mélanges des additions (tuf) pour augmenter la réflectivité des bétons. [5].

Chapitre III : durabilité des matériaux cimentaires

- [1] **GHEZRAOUI AHMED** mémoire de magistère « l'effet de la chamotte sur les propriétés mécaniques et de la durabilité » 2013 chapitre IV
- [2] **OUALIT.M-** mémoire de magistère « indicateur de durabilité du béton dans le contexte algérien». Boumerdès ,2009.
- [3] **Adam. M. Neville** «propriété des bétons »Edition, Eyrolles, paris1999 pp : 255-260
- [4] **Mr AZZOUZ. D- Mr BOUGHERAB. M** Comportement des Différents ciments (cpj, crs, cpa) dans les milieux agressifs 2004/2005 chapitre IV
- [5] **Arezki Tagni –Hamou** « Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons, chapitre 8 : GCI 712(Durabilité et réparation du béton) » département Génie civile, Université de Sherbrooke-Canada, (Avril 2009)

Partie pratique



Dans cette partie, nous exposerons notre travail pratique effectué au niveau du laboratoire (LCTP), il consiste à valoriser les polymères naturels dans la confection des mortiers et les bétons autoplaçants avec de différents E/C pour l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques, d'une part et d'autre part d'étudier les possibilités de leurs utilisations comme des agents fluidifiants d'étanchéité en vue d'une augmentation de la résistance, une forte réduction d'eau avec une diminution de la porosité capillaire. La deuxième partie de ce travail est consacrée au rôle du milieu de conservation sur la durabilité et l'imperméabilité de ces mortiers vis à vis des agents agressifs.

✚ **La première partie** considère la caractérisation de toutes les matières premières utilisées à savoir :

- Le ciment [CEM II 42.5 Lafarge].
- Le sable Normalisé [sable normalisé < 2mm].
- L'eau potable d'Hussein Dey.
- L'adjuvant commercial [tempo 12Sika].
- L'adjuvant naturel (lignine extraite du pin d'Alep)

I. Caractéristiques des différents constituants

I.1. caractéristiques du ciment

Le ciment utilisé dans tous les essais est un ciment CPJ de Lafarge type CEM II de résistance 42.5; ses caractéristiques chimiques et physiques sont regroupées dans les tableaux ci-dessous

I.1.1. Analyse chimique

Tableau N°03: Composition chimique par fluorescence X du ciment

Eléments	Unités en %
CaO	60.4
SiO ₂	20.71
Al ₂ O ₃	5.45
Fe ₂ O ₃	3.63
SO ₃	2.37
Na ₂ O	0.23
K ₂ O	0.65

MgO	2.15
Chlorures	0.007
PAF	2.28
Insolubles	-

I.1.2. Analyse minéralogique

Tableau°04 : Composition minéralogique par diffraction X du ciment

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	gypse	Calcaire	pouzzolane
%	58	18	05	13	01	05	05	07

I.1.2. Les Caractéristiques physiques

Tableau N°05: Caractéristiques physiques du ciment

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normale	27,8	(%)	NF EN 196-3
Début de prise	190	(min)	NF EN 196-3
Fin de prise	265	(min)	NF EN 196-3
SSB	4410	(Cm ² /g)	NF EN 196-6
masse spécifique	2.99	(g/cm ³)	NF EN 196-5
Retrait à 28 jours	<1000	(µm/mm)	NF EN 197-7

Les valeurs obtenues sont compatibles avec les exigences de normes correspondantes.

I.1.3. Caractéristiques mécaniques du ciment

Tableau N°06 : Résistance à la compression et à la flexion du ciment.Norme NF EN 196-1

Essais	âge [J]		
	2 jours	7 jours	28 jours
Résistance à la compression (MPa)	35,81	40,4	48,87
Résistance à la flexion (MPa)	4,41	6,37	8,35

I.2.Caractéristiques du sable utilisé

I.2.1.Caractéristiques physiques du sable Normalisé

Le sable normalisé CEN (sable normalisé ISO) 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. Le sable est conditionné en sachets de polyéthylène contenant chacun $1\ 350 \pm 5$ g. Les livraisons se font en cartons de 20 sachets pesant 27.5 kg et en palettes de 36 à 45 cartons d'une masse brute de 1005 kg à 1253 kg protégés par une housse en polyéthylène (transport routier) ou en carton renforcé (transport maritime).



Figure N° 18 : Sable normalisé EN 196 -1

I.2.2. Analyse granulométrique

La composition granulométrique déterminée par tamisage est conforme aux exigences de la norme EN 196-1 et de la norme ISO 679 : 2009.

Tableau N °07 : Analyse granulométrique de sable normalisé

Série de tamis (mm)	Refuscumulés(%)
2	0
2.16	7±5
1.10	33
0.5	67±5
10.16	87±5
0.08	99±1

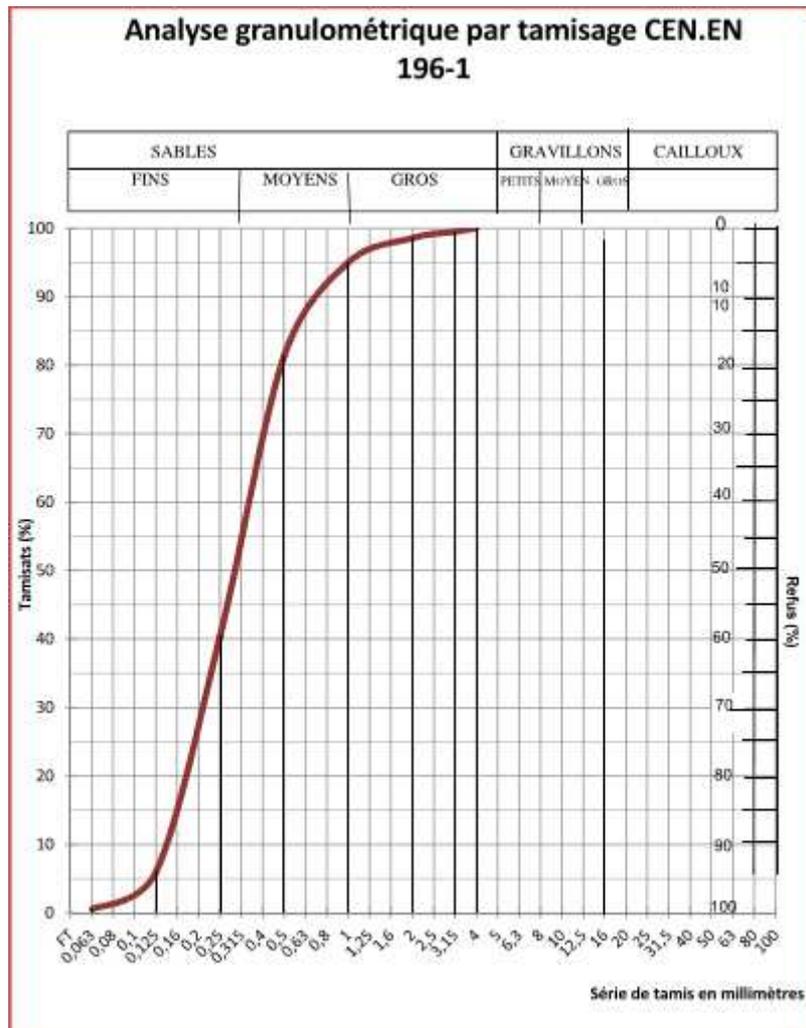


Figure N°19: Courbe granulométrique du sable

I.2.3. Conditionnement

EN 196-1 - Carton : Dimensions au sol : 390 x 260 mm

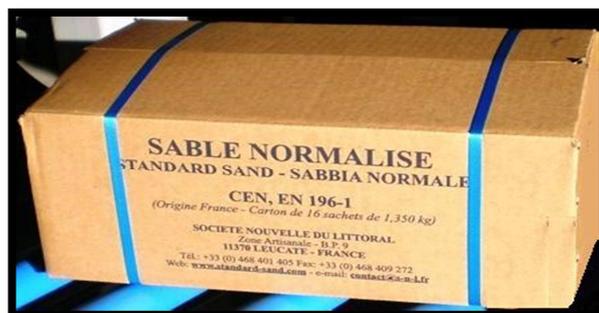


Figure N°20: Carton de 16 sachets EN 196-1 de 1.350 kg

I.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage des mortiers est l'eau potable (du robinet) de la ville Hussein dey.

I.4. L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau (Tempo 12) conforme à la norme EN 934-2, fabriqué par **SIKA**.

I.4.1. Présentation

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

I.4.2. Domaines d'application SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 :

Dans les mortiers autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du mortier et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

I.4.3. Données techniques

- densité $1,06 \pm 0,01$
- pH 6 ± 1
- Teneur en Na_2O aq. $\leq 1 \%$
- Extrait sec $30,2 \pm 1,3 \%$
- Teneur en ions $\text{Cl}^- \leq 0,1 \%$

I.4.4. Conditions d'application

Dosage : la plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant. Mise en œuvre SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajoutée, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le mortier préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage

I.5. Préparation d'adjuvant naturel

I.5.1. La dissolution de la lignine

Pour son utilisation éventuelle comme adjuvant liquide à la place d'un superplastifiant commercial, la lignine extraite par le procédé Organosolv obtenue sous forme solide doit être dissoute dans un solvant adéquat.

I.1.4 La lignine

I.1.4.1 L'extraction de la lignine

Dans le but de l'utilisation de la lignine dans les mortiers autoplaçants comme adjuvant à la place d'un adjuvant commercial nous avons procédé à son extraction à partir d'un bois algérien. La lignine est extraite par la méthode organosolv.

I.1.4.2 Préparation d'adjuvant naturel

➤ **Dissolution de la lignine**

Après l'extraction de la lignine par la méthode d'organosolv, la lignine obtenue par ce procédé est sous forme solide. Pour son utilisation éventuelle comme adjuvant liquide à la place d'un superplastifiant commercial, la lignine obtenue doit être dissoute dans un solvant adéquat (NaOH) en suivant les étapes ci-dessous



Figure N°21 :La solution de la lignine

- 1) Peser de 2g (M1) de la lignine à l'aide d'une balance tarée.
- 2) Mettre les 2 g de la lignine dans un flacon de 500ml puis ajouter 5g desoude(NaOH).
- 3) Mettre 500ml d'eau de robinet dans le flacon avec un chauffage et agitation, à une température 80°C pendant une durée de 04 heures.

Pour pouvoir l'utiliser comme adjuvant, il faut procéder à sa dilution dans l'eau.

I.5.2. Caractérisation de la lignine par FTIR

La spectroscopie Infra -Rouge à transformée de fourier (FTIR) permet de confirmer les information apportées par la RMN . Elle aussi des informations structurales sur la lignine .

Spectroscopie infrarouge

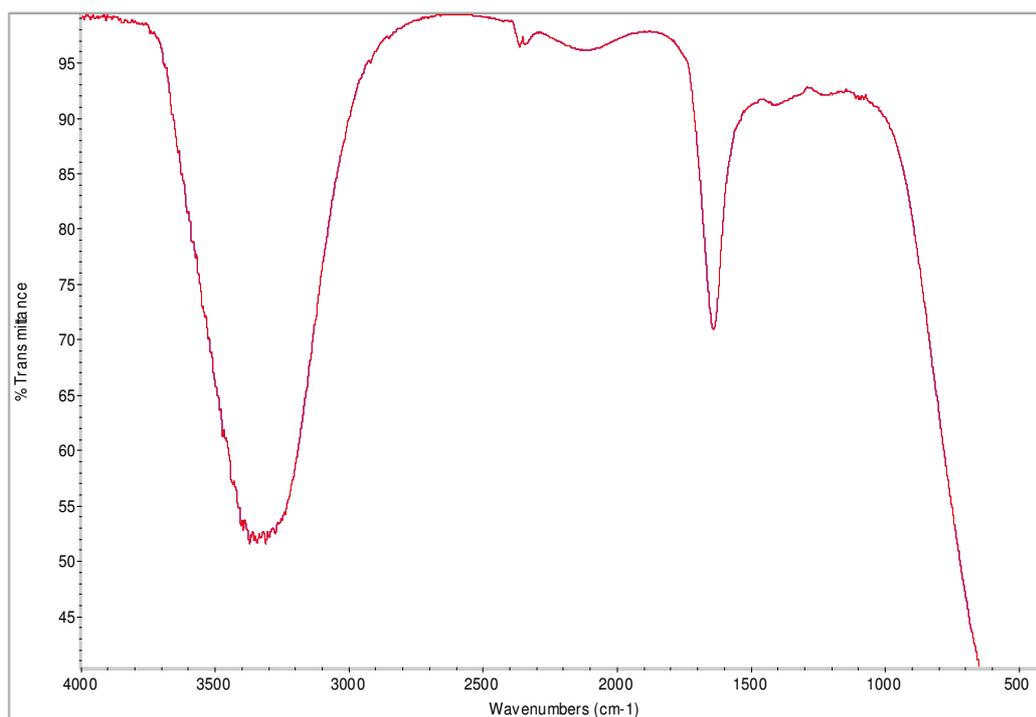


Figure N° 22 : Spectre infrarouge de la lignine

Commentaire

On observe :

- ✓ une large bande à 3400 cm^{-1} , Cette bande est due principalement aux groupements

OH caractéristiques des polysaccharides.

- ✓ La bande 1650 cm^{-1} correspond à l'eau absorbée
- ✓ On note aussi la présence d'une bande à 1450 cm^{-1} , qui correspond aux groupes CH, CH₂ et CH₃.
- ✓ La bande 1300 cm^{-1} est signe de noyaux G et S condensés.

Remarque:

G : leguaiacyl (2-méthoxy-phényl)

S : lesyringyle (2,6-diméthoxyphényl)

G, S sont des unités aromatiques respectives de ces alcools (coniferylique et sinapylique) dans la structure de la lignine.

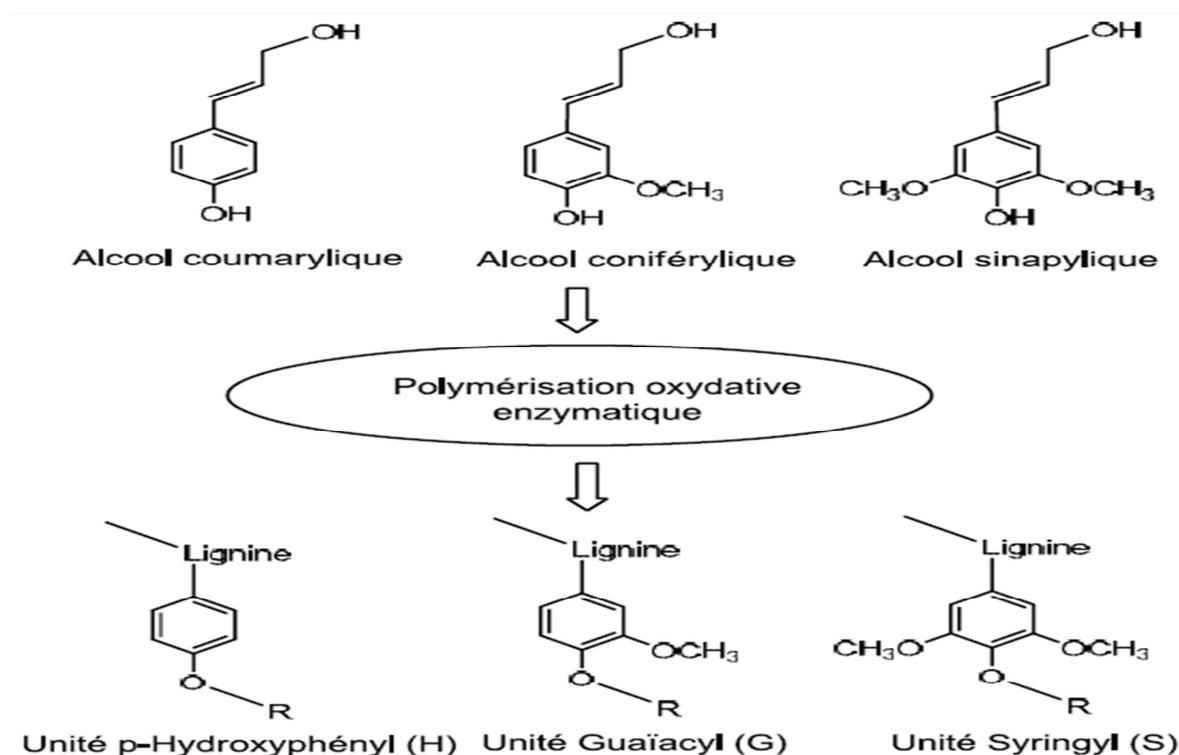


Figure N° 23: Monomères et unités principales impliquées dans la biosynthèse de lignine

Tableau N°08: Attribution des pics de spectres de spectroscopie infra -rouge typique de lignine

Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Attribution
3412-3460	OH
1650-1670	C=O conjugués
1450-1460	CH des CH ₃ et CH ₂
1325-1330	Noyaux G et S condensés
1325-1330	Noyaux G et S condensés
1150-1160	C-H aromatiques des G
1040-1050	CH aromatique, C-O des alcools primaires et C=O non conjugués

Dans cette partie, nous nous intéresserons à étudier l'effet de l'adjuvant naturel en vue de sa valorisation dans les mortiers autoplaçants avec des rapports eau/liants (E/L) variant de 0,5 ; 0,4 ; 0,3 et 0,25 et une étude comparative des propriétés physicomécaniques par l'utilisation d'adjuvant artificiel (tempo 12).

II.1. Elaboration des différentes formulations

Après la caractérisation de tous les constituants, nous allons présenter les principaux essais que nous avons faits dans le laboratoire LCTP sur les propriétés des mortiers autoplaçants à base des deux polymères (artificiel et naturel).

Mais avant l'élaboration nous devons prendre des précautions nécessaires pour assurer la bonne réalisation des mortiers.

Pour cela, il faut :

- Nettoyer tous les outils (balance, malaxeur, moules) ainsi que la surface de travail.
- Etalonner toutes les machines pour minimiser le pourcentage d'erreur.

➤ Les différents mortiers étudiés

Mt : Mortier sans adjuvant (témoin)

M1 : Mortier à 1% de tempo12 à E/C = 0,4

M2 : Mortier à 2% de tempo12 à E/C = 0,3

M3 : Mortier à 3% de tempo12 à E/C = 0,25

Pour la confection des mortiers autoplaçants avec l'adjuvant naturel, il est très difficile de déterminer le point de saturation parce que l'utilisation de cet adjuvant en solution tel quel donne des mortiers très fermes et non maniables. Pour cela, nous allons procéder à la dilution de cette solution pour pouvoir l'utiliser dans les mortiers par remplacement des proportions d'eau par celles de la solution de lignine allant de 30, 40, 50 et 60 % de la quantité d'eau nécessaire pour un E/C donné.

M4 : Mortier à 40% d'adjuvant naturel avec E/C = 0,4

M5 : Mortier à 50% d'adjuvant naturel avec E/C = 0,4

M6 : Mortier à 50% d'adjuvant naturel avec E/C = 0,3

M7 : Mortier à 60% d'adjuvant naturel avec E/C = 0,3

II.2. Composition du mortier

La réalisation de ces formulations nous conduit en premier lieu à déterminer les proportions des constituants pour chaque formulation.

II.2.1. Mortiers avec l'adjuvant artificiel (tempo12)

Pour confectionner ce mortier il faut prendre en considération les deux points :

- Point de saturation de l'adjuvant
- Rapport eau /ciment

Tableau N ° 09: Rapport E/C et point de saturation

Variante	Rapport E/C	Point de saturation de l'adjuvant
Mt	0,5	0%
M1	0,4	1%
M2	0,3	2%
M3	0,25	3%

II.2.2. Pour les formulations avec l'adjuvant naturel (solution de lignine)

Nous avons constaté que l'utilisation de cet adjuvant en solution tel quel, c'est-à-dire avec une concentration de 2g dans 500 ml d'eau donne des mortiers fermes qui ne sont pas maniables. C'est la raison pour laquelle nous avons procédé à des dilutions pour déterminer le point de saturation pour les deux rapports eau/liant (E/C = 0,4 et E/C = 0,3).

La dilution de l'adjuvant naturel

- Calcul de la quantité de l'extrait sec d'adjuvant naturel

Dans ce cas on a :

$$\begin{array}{l} 2\text{g} \longrightarrow 500 \text{ ml} \\ X \longrightarrow 100 \text{ ml} \end{array}$$

$$X = 0,40 \text{ g}$$

Donc : l'extrait sec dans 100ml est de 0,40 g (0.4%)

Cette solution de 100ml est diluée jusqu'à 950 ml de concentration ($4,21 \cdot 10^{-4}$ g/ml) afin de pouvoir l'utiliser dans l'élaboration des mortiers autoplaçants adjuvantés à l'aide d'un biopolymère naturel (lignine).

- Calcul de la quantité de l'extrait sec d'adjuvant artificiel (tempo12)

D'après la fiche technique, la concentration d'adjuvant artificiel (tempo12) est d'environ de 30%

E/C = 0.4

$$\begin{array}{l} 30\text{g} \longrightarrow 100\text{g} \\ 4,5\text{g} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = 15\text{g de la solution liquide}$$

E/C = 0.3

30g → 100g

9g → X

X = 30g de la solution liquide

E/C = 0.25

30g → 100g

13,5g → X

X = 45g de la solution liquide

On conclut que la quantité de l'extrait sec d'adjuvant naturel est plus petite par rapport à la quantité de l'extrait sec d'adjuvant artificiel (tempo12)

Pour la confection des mortiers, on a remplacé l'eau par la solution d'adjuvant naturel avec des proportions différentes (40%, 50%, 60%) à partir d'une solution diluée de concentration de $4,21 \cdot 10^{-4}$ g/ml on remarque que la pate est maniable, mais lorsque on augmente le pourcentage d'adjuvant naturel, la pate cimentaire devient ferme.

II.2.3. Malaxage du mortier

✓ Peser le ciment et l'eau au moyen de la balance, lorsque l'eau est mesurée en volume, elle doit être introduite avec une précision de 1 ml.

Malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.

Le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de la mise en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à 2secondes.

Le mode opératoire de malaxage est le suivant :

Introduire le ciment puis les granulats dans le bol, en prenant soin d'éviter toute perte de ciment ou de granulats.

Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage. Après 15 secondes de malaxage à sec

✓ introduire 2/3 d'eau pendant les 90secondes.

- ✓ Arrêter le malaxeur, pendant les premières 30 s,
- ✓ enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc ou en plastique tout le mortier adhérent aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol.
- ✓ reprendre le malaxage et mettre 1/3d'eau +2/3d'adjuvant à grande vitesse pendant 90s.
- ✓ A la fin ajouter 1/3 d'adjuvant à la même vitesse précédant pendant 60s.



Figure N°24 : Malaxeur

II.3. Préparation des éprouvettes

II.3.1 / : Dimension des éprouvettes

- On utilise des moules prismatique de dimension 4×4×16 cm.
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage
- Mettre la pate cimentaire dans le moule
- Remplissage et vibration des éprouvettes 4×4×16 cm.

II.3.2 : Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24 heures, on procède au démoulage des éprouvettes. Ces éprouvettes sont conservées dans l'eau à la température de $20\pm 1^{\circ}$ C pendant 28 jours.

II.3.3. : Composition des différents mortiers

Les mortiers élaborés avec des différents dosages de chaque constituant sont représentés dans le tableau ci- dessous :

Tableau N °10 : Composition des différents mortiers

les variantes	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (ml)	Tempo12en solution (ml)	Adjuvant naturel en solution (ml)	Extrait sec (g)
M _T E/C=0,5	450	1350	225	/	/	/
M1 E/C=0,4	450	1350	180	15	/	4,5
M2 E/C=0,3	450	1350	135	30	/	9
M3 E/C=0,25	450	1350	112,5	45	/	13.5
M4 E/C=0,4	450	1350	135	/	90	378,9.10⁻⁴
M5 E/C=0,4	450	1350	112,5	/	112,5	473,625.10⁻⁴
M6 E/C=0,3	450	1350	112,5	/	112,5	473,625.10⁻⁴
M7 E/C=0,3	450	1350	90	/	135	568,35.10⁻⁴

Dans cette partie, l'objectif de cette étude est basé sur la détermination des caractéristiques physico-mécaniques des différentes compositions et la détermination de la quantité optimale d'adjuvant naturel nécessaire ainsi que la détermination de la meilleure variante qui présente de bonnes performances mécaniques.

III.1. Les caractéristiques à l'état frais

III.1.1. L'étalement

C'est un essai essentiel qui permet de caractériser l'état frais et déterminer la maniabilité du mortier, on fait cet essai à l'aide d'un mini cône sur une table à secousse.

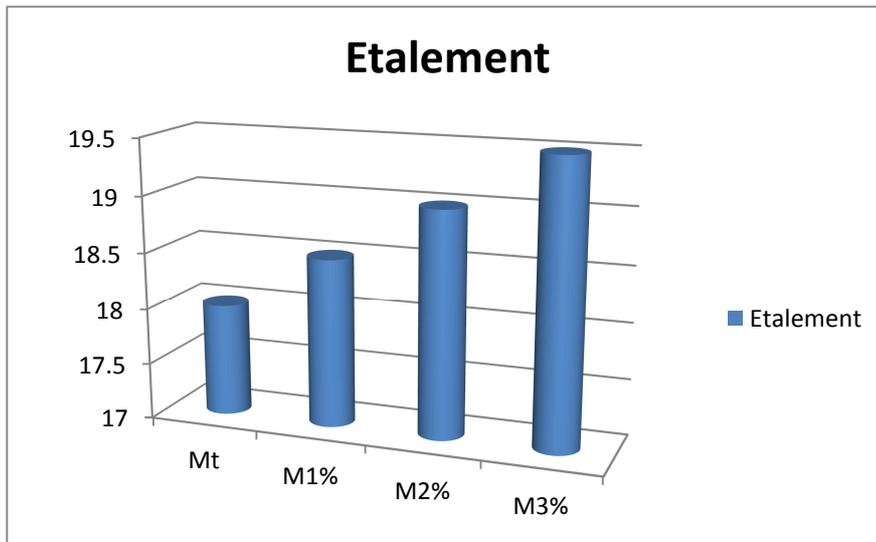


Figure N° 25 : Etalement des différentes formulations

Tableau N°11: Etalement des différentes formulations

Formulation	Etalement (cm)
Mt	18
M1	18.5
M2	19
M3	19.5

➤ Histogramme d'étalement de chaque mortier



Commentaire

Lorsqu'on augmente le pourcentage d'adjuvant artificiel, l'étalement augmente et la pâte devient beaucoup plus fluide. On utilise la table à secousses pour assurer l'étalement avec un seul régime de vibration. Ces étalements ont été obtenus après plusieurs essais en variant le pourcentage d'adjuvant, donc les meilleurs étalements, comparables au mortier témoin, sont 1% pour E/C=0,4 ; 2 % pour E/C=0,3 et 3 % pour E/C=0,25.

III.1.2. La masse volumique

On a déterminé la masse volumique à l'état frais par le rapport de la différence des masses des moules vides et remplis au volume du moule.

$$Mv = [(masse \text{ de mortier} / volume \text{ de moule}) / 3]$$

Avec : volume du moule = $3 (4 \times 4 \times 16) = 768 \text{ cm}^3$



Moule vide



Moule rempli

Caractérisation des mortiers élaborés

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau

Tableau N °12 : Masse volumique des différents mortiers à l'état frais et durci

Formulation	Etat frais (g /cm ³)	Etat durci (28 jours) (g /cm ³)
M _T	4.40	2.17
M1	4.44	2.22
M2	4.39	2.25
M3	4.40	2.29
M4 à 40%	4.43	2.28
M5 à 50%	4.49	2.26
M6 à 50%	4.50	2.28
M7 à 60%	4.52	2.31

- L'histogramme ci-dessous représente les masses volumiques des différents mortiers à l'état frais et durci après 28 jours.

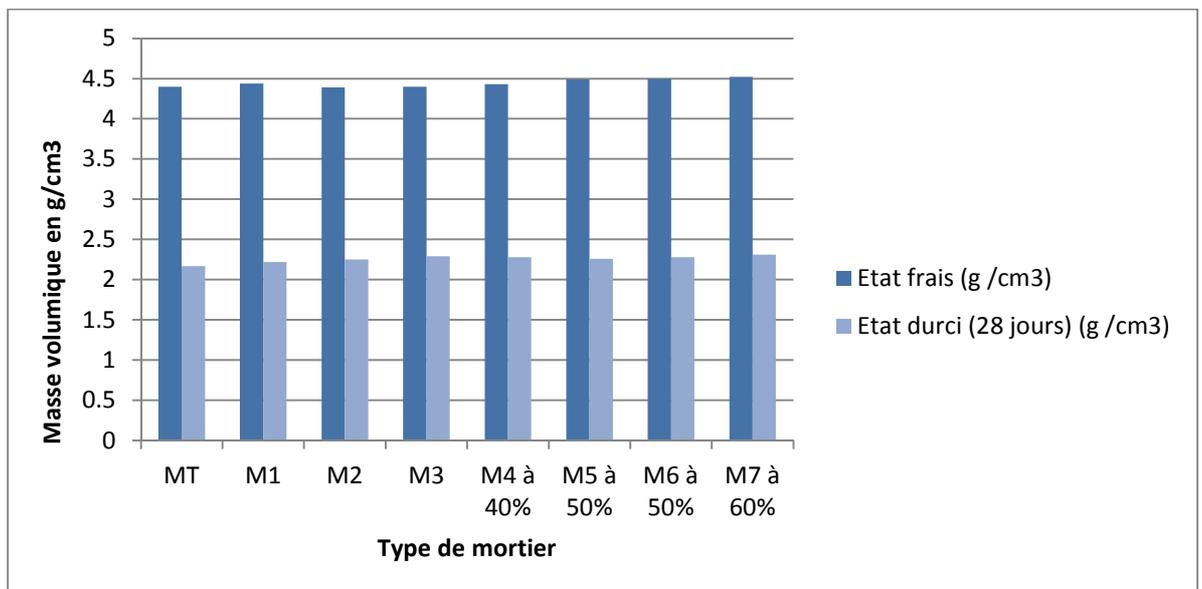


Figure N°26 : Masse volumique à l'état frais et durci des mortiers

Commentaire

Les masses volumiques obtenues sont différentes suivant le type d'adjuvant, on remarque que la masse volumique à l'état durci des différents mortiers augmente avec l'augmentation de la quantité de l'adjuvant artificiel qui devient le pouvoir de défloculer les particules de ciment et aussi de faciliter les réactions d'hydratation du ciment. En ce qui concerne l'action de l'adjuvant naturel sur les masses volumiques à l'état durci, il est clair que la quantité optimale de l'adjuvant doit être diminuée pour la variante M4 et M5 de E/C=0,4 puisque la masse volumique diminue en augmentant la quantité d'adjuvant, donc on doit utiliser 30 voire même 20% de la solution de lignine. Par contre pour la variante M6 et M7 de E/C=0,3, la masse

volumique augmente en augmentant le pourcentage de la quantité d'adjuvant naturel, donc le seuil est supérieur à 60%.

III.2. Les caractéristiques à l'état durci

La caractéristique mécanique concerne les types d'essais suivants :

- ✓ La résistance à la compression
- ✓ La résistance à la flexion

III.2.1. Résistances mécaniques à la flexion et à la compression

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture.



Figure N°27 : appareil de flexion et compression

Tableau N °13 : Résistance à la flexion des différents mortiers à base de tempo 12 à 28 jours.

Formulation	Flexion à 28 jours en MPa
M _T	10.5
M ₁	11
M ₂	12
M ₃	13

- L'histogramme suivant représente la résistance à la flexion de chaque formulation

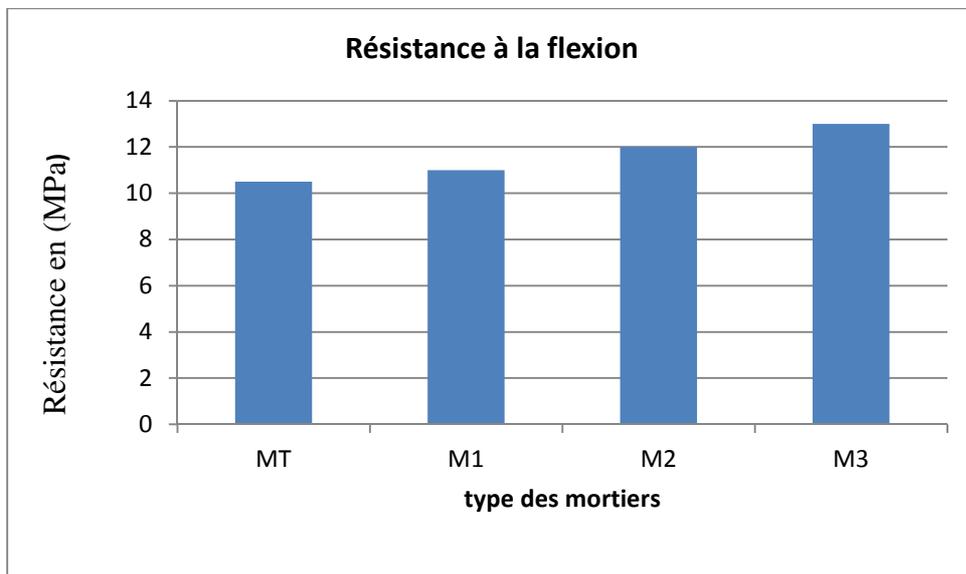


Tableau N°14 : Résistance à flexion des différents mortiers à base de lignine à 28 jours

Formulation	Resistance à flexion à 28 jours en MPa
Mt	10.5
M ₄ (40%)	10
M ₅ (50%)	9
M ₆ (50%)	9
M ₇ (60%)	10

- L'histogramme suivant représente la résistance à la flexion de chaque formulation

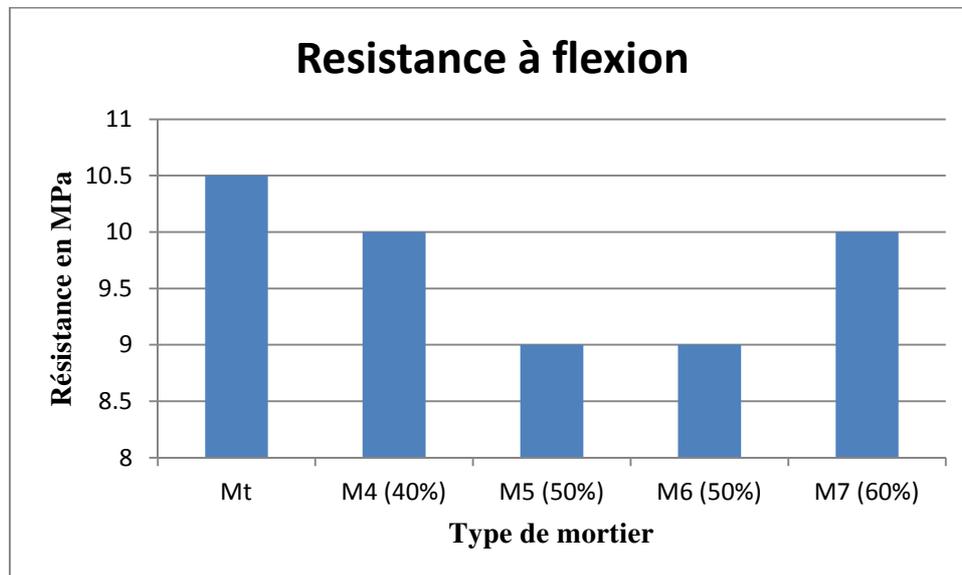


Tableau N°15 : Résistance à la compression des différents mortiers à 28 jours.

Formulation	Compression à 28 jours en MPa
M _T	43
M ₁	55
M ₂	65
M ₃	72

➤ L'histogramme suivant représente la résistance à la compression à 28 jours.

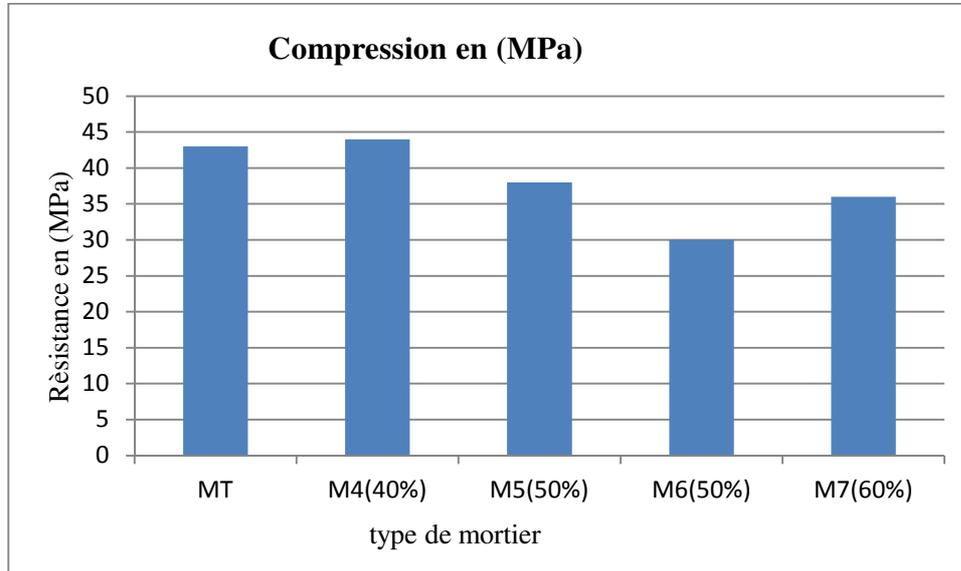
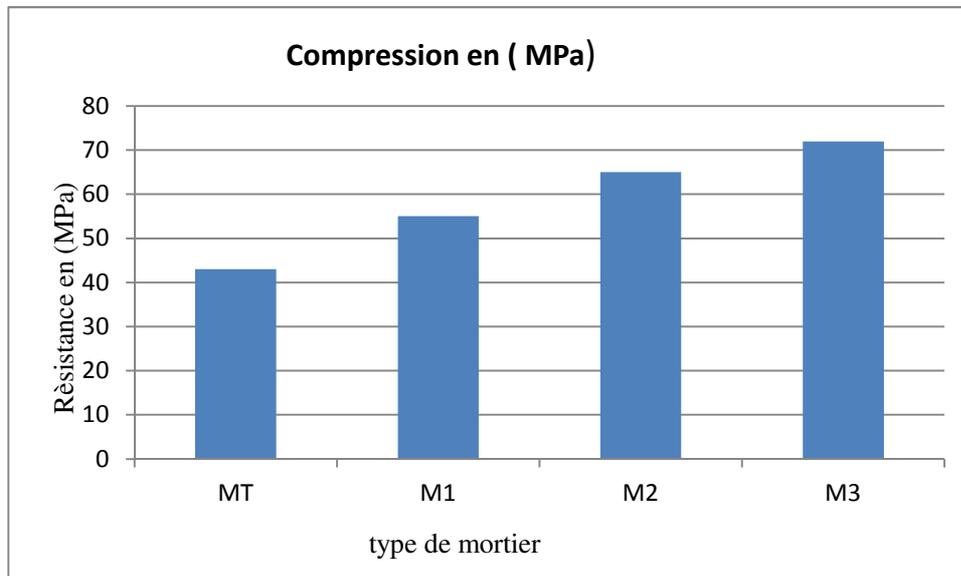


Tableau N°16 : Résistance à compression à 28 jours à base de lignine

Formulation	Résistance à compression à 28 jours en MPa
Mt	43
M ₄ (40%) E/C=0,4	44
M ₅ (50%) E/C=0,4	38
M ₆ (50%) E/C=0,3	30
M ₇ (60%) E/C=0,3	36

Pour déterminer le point de saturation, il faut faire plusieurs essais, pour un E/C fixe, d'étalement. A partir de ce tableau et dans un souci d'obtenir un mortier maniable, on peut conclure qu'il faut diminuer pour M4 la quantité de superplastifiant naturel à 30 voire à 20 % et augmenter pour M7 à plus de 70% de substitution d'eau.

- L'histogramme suivant représente la résistance à la compression à 28 jours.



On remarque que les mortiers fabriqués avec le tempo 12 sont beaucoup plus performants et atteignent une résistance à la compression de 72 MPa pour un $E/C=0,25$. Il est à noter que les résistances augmentent avec la diminution de la quantité d'eau, ce qui donne un mortier compact et moins poreux. Pour les mortiers fabriqués avec l'adjuvant naturel sont faibles, ceci est dû au manque ou à l'excès de la quantité d'adjuvant utilisée pour les variantes M4 (excès) et M7 (Manque).

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet du milieu de conservation tels que l'eau et une solution de lignine sur la durabilité et la résistance chimique des mortiers autoplaçants dans un milieu chimique agressif issu d'une base forte et d'un acide fort à savoir la solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4).

IV. Préparation des milieux

Milieux de conservation

Les éprouvettes (Mt ; M1 ; M2 et M3) sont émergées dans l'eau, après démoulage, pendant 28 jours à une température de 20 °C. Les mêmes éprouvettes de même composition (Mt ; M1 ; M2 et M3) sont conservées dans une solution de lignine très diluée pendant 28 jours, après démoulage à une température de 20 °C.

1. Milieu chimique agressif

Après 28 jours de conservation dans les deux milieux (eau et solution de lignine), ces éprouvettes sont ensuite introduites dans une solution chimique très agressive de sulfate de sodium à 5 % et le PH de la solution doit être maintenu constant durant toute la durée de l'attaque. Afin d'étudier et d'évaluer la durabilité et le degré de résistance vis-à-vis des attaques chimiques de ces mortiers issus de deux milieux de conservation différents, nous avons déterminé les paramètres suivants :

- 1- **Perte de masse** : les éprouvettes sont retirées chaque semaine, essuyées, séchées et pesées à $T = 60^\circ \text{C}$ jusqu'à une masse constante M_1 .

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_0 - M_1) / M_0] \times 100$$

M_0 : masse des éprouvettes saines obtenue par séchage et pesées jusqu'à une masse constante.

- 2- **Analyses Non destructives**

- Mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores par un appareil à ultrasons
- Mesure du temps parcouru à travers ces éprouvettes par un appareil à ultrasons

- 3- **-Résistances mécaniques** : mesure de résistance mécanique à la fin de durée de l'attaque



Figure N°28 : immersion des échantillons dans solution de lignine

(M_T, M₁, M₂, et M₃)

Après murissement dans l'eau et dans la solution de lignine, les échantillons sont introduits dans une solution chimique agressive pour une durée de 07 semaines (fig.) pour évaluer l'influence de la nature du milieu de conservation sur la résistance chimique et la durabilité de ces mortiers.



Figure N°29 : immersion des échantillons dans la solution de sulfate de sodium

(M_T et M₁ conservés dans l'eau, M₂, M₁, M₂, et M₃ conservés dans la solution de lignine)

Résultats et interprétations

1- Mesure de la perte de masse

Après chaque semaine d'attaque, les éprouvettes sont retirées du milieu agressif, lavées à l'eau, essuyées, séchées à l'étuve à une température de 60°C et pesées jusqu'à obtention d'une masse constante M_1 . Le degré de l'attaque est évalué par la formule suivante :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_0 - M_1) / M_0] \times 100$$

Avec M_0 et M_1 : les masses des éprouvettes avant et après attaque chimique. Les résultats sont regroupés dans le tableau N° et la figure N°....

Tableau N°17: Perte de masse des éprouvettes en fonction du temps d'attaque

Variante	Milieu de conservation	Perte de Masse (%)						
		1 ^{ère} semaine	2 ^{ème} semaine	3 ^{ème} semaine	4 ^{ème} semaine	5 ^{ème} semaine	6 ^{ème} semaine	7 ^{ème} semaine
Mt	Lignine	1.5	1.33	1.33	2.33	3.33	4.33	4.5
M1	Lignine	0.82	0.66	0.66	0.66	0.82	1.32	2.14
M2	Lignine	0.59	0.49	0.49	0.49	0.66	1.32	1.82
M3	Lignine	0.47	0.37	0.34	0.84	1.34	1.68	2.52
Mt	Eau	1.83	1.53	1.33	1.33	3.52	4.6	4.66
M1	Eau	1.27	1.17	1.13	1.33	1.47	1.51	2.59

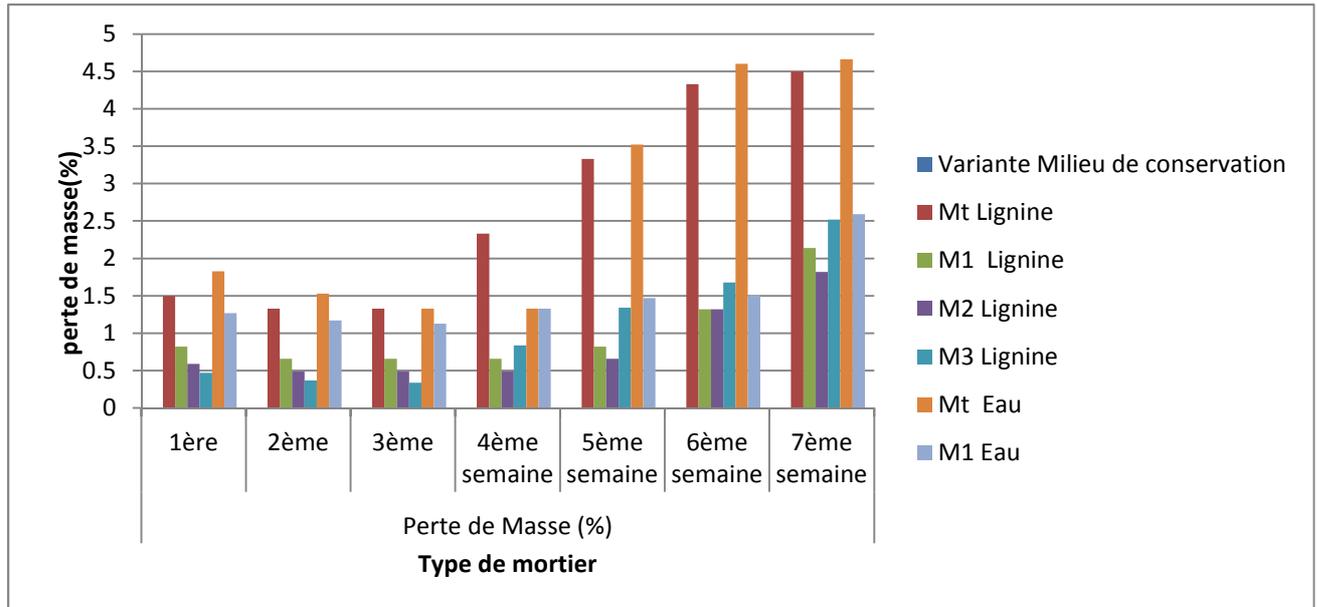


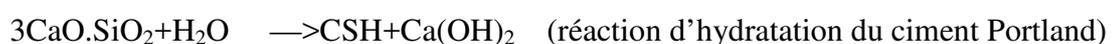
Figure N°30 : Pertes de masse des éprouvettes en fonction du temps d'attaque

La figure N°30 présente la perte de masse des mortiers étudiés en fonction du temps d'attaque dans le milieu agressif de solution de 5 % de sulfate de sodium Na_2SO_4 , issu d'une base forte (NaOH) et d'un acide fort (H_2SO_4). Donc ces éprouvettes sont exposées à un environnement hautement agressif. On remarque que pour tous les mortiers présentent des allures descendantes jusqu'à une perte minimale et puis après une augmentation de la perte en fonction du temps d'attaque. Les pertes de masse des mortiers conservés dans l'eau se dégradent beaucoup plus facilement par rapport à ceux conservés dans la solution de lignine.

Les pertes de masse diminuent avec la diminution du rapport E/C quelque soit la durée de l'attaque. Les explications qui peuvent être attribuées à ces observations se résument par:

- 1- Au début de l'attaque, les trois premières semaines, on assiste, en premier lieu, à la maturation et à l'hydratation complète de ces mortiers qui se traduit par une diminution de la perte de masse. En deuxième lieu, l'action de l'activité pouzzolanique de l'ajout (pouzzolane) contenu dans le ciment de Lafarge qui fait diminuer la quantité de portlandite. Ceci explique le ralentissement de la perte de masse des mortiers conservés dans la solution de lignine.

Les réactions pouzzolanique et hydraulique peuvent s'écrire globalement comme suit :



On constate donc que la réaction pouzzolanique consomme de l'hydroxyde de calcium ou de la Portlandite, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, contrairement à l'hydratation du clinker qui en libère.

- 2- Dans la deuxième partie de la courbe, on assiste donc à une augmentation de la perte de masse donc à la dégradation des différents mortiers.
- 3- Les éprouvettes conservées dans la solution de lignine se dégradent plus lentement suite à la formation d'une couche protectrice (imperméable), sous forme de film, et que ce polymère naturel s'infiltrerait même dans les capillaires et qui empêche la pénétration des agents chimiques agressifs.

2- ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Définition

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton. Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs. Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments. Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles. Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir : La résistance, l'homogénéité, la porosité, la durabilité

Avantages des ces méthodes

Les méthodes non destructives présentent les avantages suivants :

- La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée ;
- La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps ;
- Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction ;
- Une progression plus rapide et plus économique.

Essai d'auscultation dynamique

Introduction

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

Principe

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN[16], l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée. Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969)[17]. La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions. Ces facteurs représentent un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considérée, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique

additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage. A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984)[18]. Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminés.

Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons

Dans un milieu homogène et isotrope, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci-après.

Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton

La corrélation graphique entre de la vitesse de propagation V et la résistance à la compression R doit être établie au préalable pour un projet donné, sur la base du béton formulé pour ce chantier.

Paramètres influents la vitesse des ultrasons

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité. Cependant pour un granulats donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir : Le type de ciment ; Le dosage en ciment ; La nature des granulats; La granulométrie ; L'humidité du béton ; La maturité du béton ; Les adjuvants.

Les résistances des autres bétons qui diffèrent du béton standard pour lequel une courbe de calibrage a été établie, doivent être corrigés en affectant la résistance du béton de référence par des coefficients partiels d'influence correspondants.

➤ **Méthode de calcul la vitesse par ultrasons**

La méthode consiste à déterminer la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques à travers le mortier à l'aide d'un générateur et d'un récepteur, le mode de propagation des ondes étant de transmission directe (transducteurs disposés diamétralement opposés) sur les deux surface opposés, ensuite converties en vitesse puis en résistance.



Figure N°31 : Méthode de mesure de la vitesse par ultrasons

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau N°18... et sous forme de courbe de la vitesse de propagation en fonction du temps d'attaque (figure N°32...).

Tableau N° 18 : Variation de la vitesse de propagation en fonction du temps d'attaque

Vitesse de propagation des ultrasons (m/s)						
Milieu de conservation	Solution de Lignine				Eau	
Temps d'attaque	Variantes					
	Mt	M1	M2	M3	Mt	M1

1 Semaine	4323	4668	4805	4878	4120	4494
2 Semaines	4372	4742	4848	4895	4201	4554
3 Semaines	4424	4804	4910	4938	4244	4638
4 Semaines	4362	4738	4838	4878	4155	4564
5 Semaines	4332	4722	4845	4865	4140	4519
6 Semaines	4322	4710	4855	4878	4145	4509
7 semaines	4341	4733	4873	4895	4164	4523

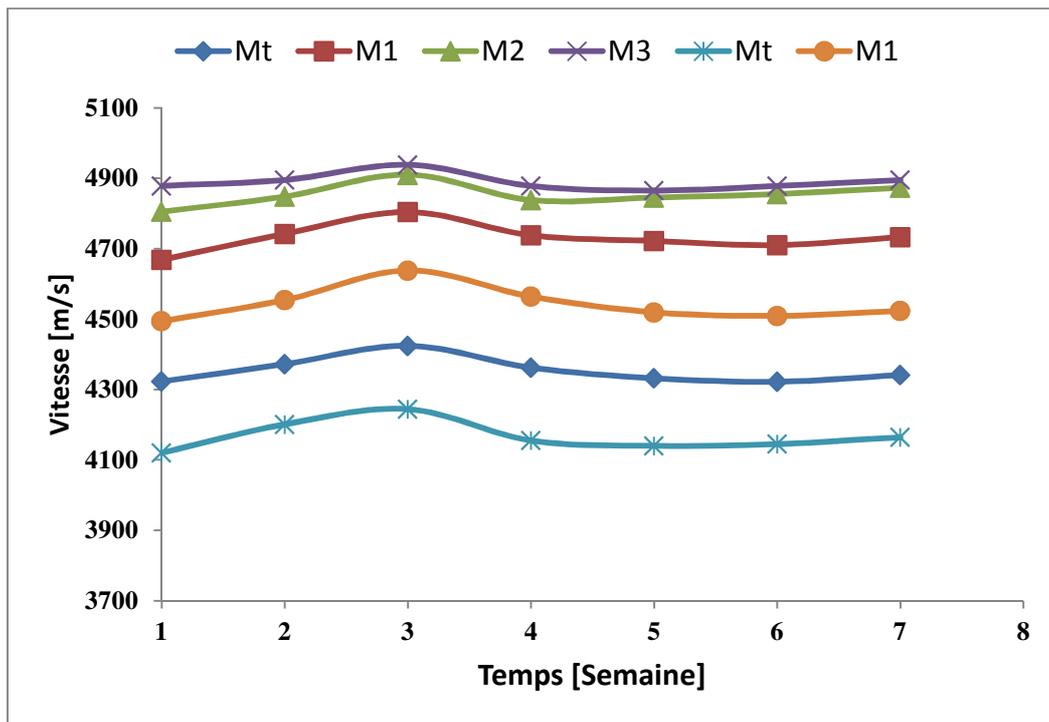


Figure N° 32 :Vitesse de propagation en fonction du temps d'attaque

Interprétation

En analysant les résultats représentés sur la figure N°32 et dans le tableau N°18, nous remarquons une augmentation de vitesse avec une forte pente jusqu'à un seuil et puis une diminution avec une pente lente, ceci peut être expliqué par le fait qu'au début d'attaque, il y a une continuation de l'hydratation des minéraux du ciment et maturation du mortier. Une fois cette maturation est complète, on remarque les effets de l'attaque sulfatique qui se traduit par la diminution de la vitesse ou par une augmentation de la perte de masse en fonction du temps d'attaque.

Les vitesses qui apparaissent en augmentation après la fin de la 7^{ème} semaine d'attaque est probablement l'activité pouzzolannique du ciment qui contient l'ajout pouzzolane se manifeste et procure les mortiers une augmentation de la résistance ou de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

Temps parcouru en fonction du temps d'attaque

De la même manière et afin de conforter nos résultats précédents, nous nous sommes intéressées à mesurer les temps parcourus par les ultrasons à travers les différentes éprouvettes soumises à l'attaque chimique, les résultats sont illustrés dans le tableau N°19 et la figure N°33.

Tableau N° 19: Temps parcouru en fonction du temps d'attaque

Temps parcouru par des ultrasons (μ s)						
Milieu de conservation	Solution de lignine				Eau	
Temps d'attaque	Variantes					
	Mt	M1	M2	M3	Mt	M1
1 semaine	37	34,5	33,3	31,2	39,6	35,6
2 semaines	36,6	34	32,8	34,3	38	33,8
3 semaines	34,6	32,3	32,4	32,4	38,5	32,4
4 semaines	35,6	33	32,6	33,2	38	32,6
5 semaines	33,7	32,2	31,9	32,2	37,3	32,4
6 semaines	32,6	32	32	31,3	36	32,6
7 semaines	31,7	30,7	29,9	29,4	39,8	36,4

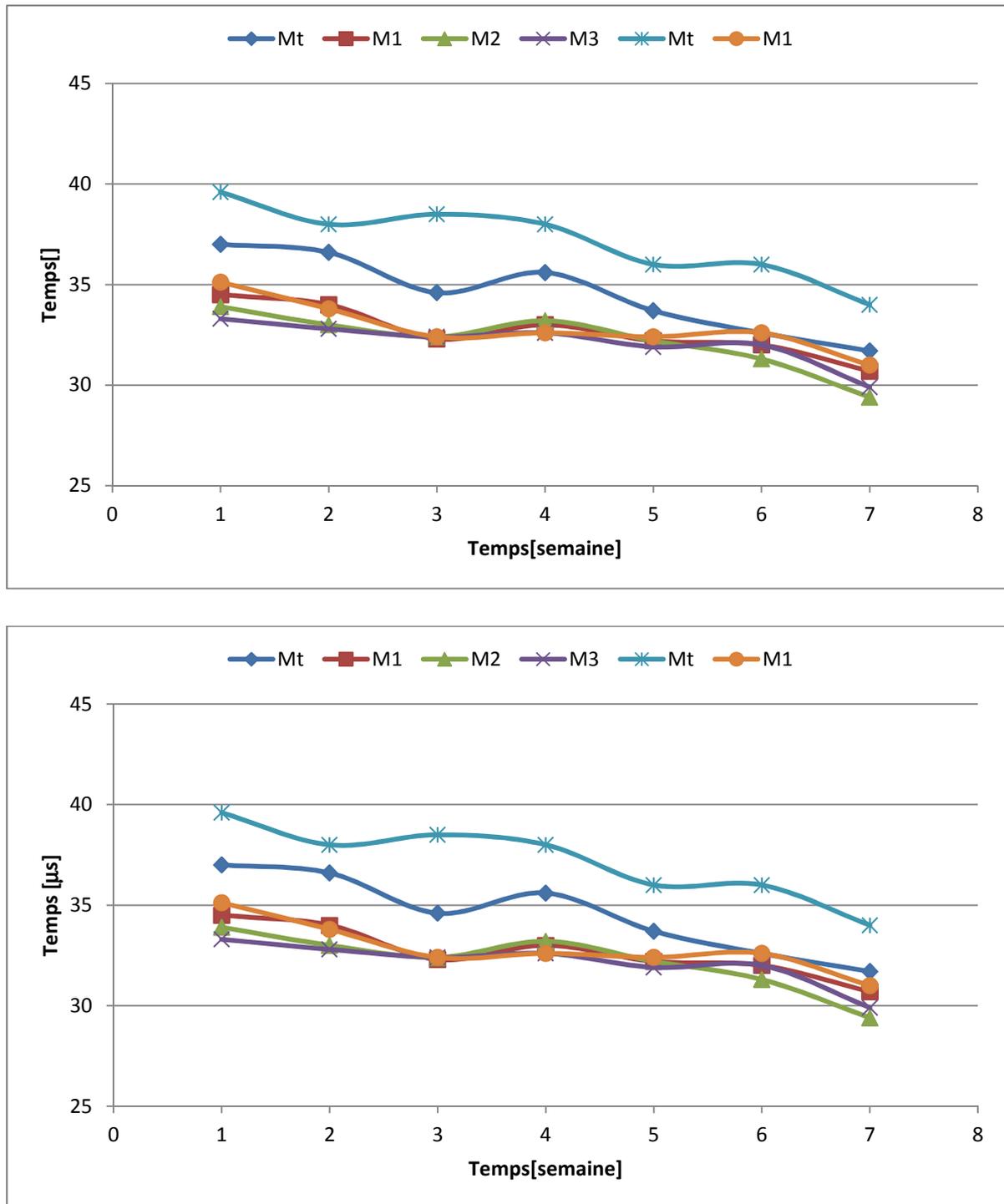


Figure N°33 :Temps parcouru par les ondes ultrasonores en fonction du tempsd'attaque

Interprétation

Nous pouvons faire les mêmes interprétations que pour les vitesses de propagation des ondes ultrasonores à l'intérieur de nos éprouvettes, sauf que la vitesse est inversement

proportionnelle au temps. Donc, durant les trois premières semaines d'attaque le temps de parcours diminue pour toutes les variantes avec une augmentation de la vitesse et de la résistance et croît avec une pente très faible jusqu'à la fin de la septième semaine qui se traduit par une diminution de la résistance.

Mesure des résistances mécaniques

Variantes	Milieu de conservation	Résistance à la compression après 07 semaines d'attaque chimique (MPa)	Résistance à la compression des mortiers sains conservés dans l'eau (MPa)
Mt	Solution de lignine	53	43
M1	Solution de lignine	67	55
M2	Solution de lignine	71	65
M3	Solution de lignine	76,8	72
Mt	Eau	35	43
M1	Eau	46	55

A

la fin de la période d'attaque chimique, la durabilité est évaluée par des essais mécaniques à la flexion et à la compression, de dégager les mortiers les plus résistants et de déterminer le milieu de conservation le plus adéquat pour minimiser la détérioration des mortiers et des bétons dans des environnements défavorables. Les résultats sont regroupés dans les tableaux N°20 et N°21 et les figures N°34 et N°35.

Tableau N°20 : Résistance à la compression après attaque chimique

Nous illustrons ces résultats de la résistance à la compression sous forme d'histogramme (fig N°34).

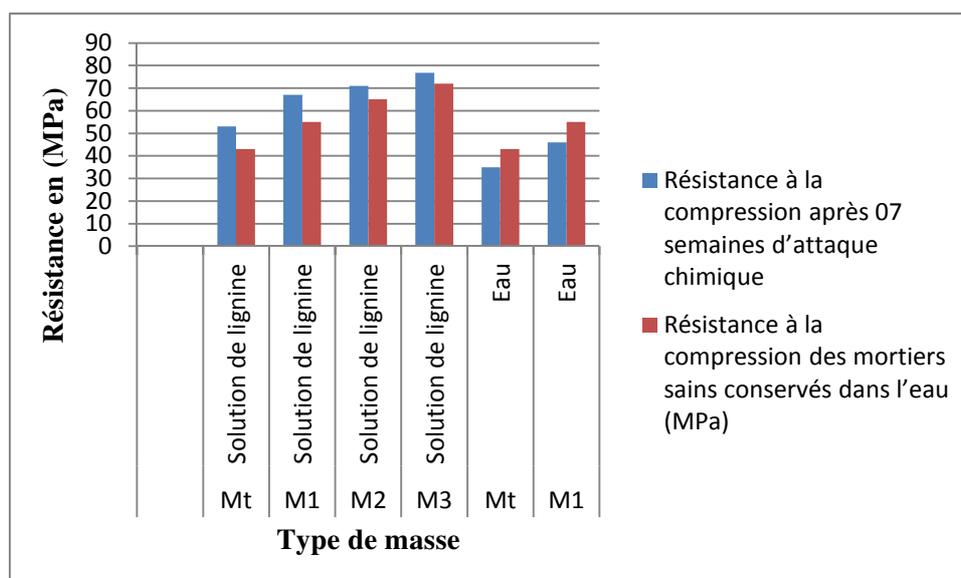


Figure N° 34 : Histogramme des résistances à la compression après 07 semaines d'attaque

Tableau N° 21: Résistance à la flexion des différents mortiers après attaque chimique

Variante	Milieu de conservation	Résistance à flexion après 07 semaines d'attaque chimique (MPa)	Résistance à flexion des mortiers sains conservés dans l'eau (MPa)
Mt	Solution de lignine	10.67	10,5
M1	Solution de lignine	11.71	11
M2	Solution de lignine	12.5	12
M3	Solution de lignine	13.7	13
Mt	eau	9.6	10,5
M1	eau	9.84	11

Les résultats de la résistance à la compression sont illustrés sous forme d'historgramme (figN°35)

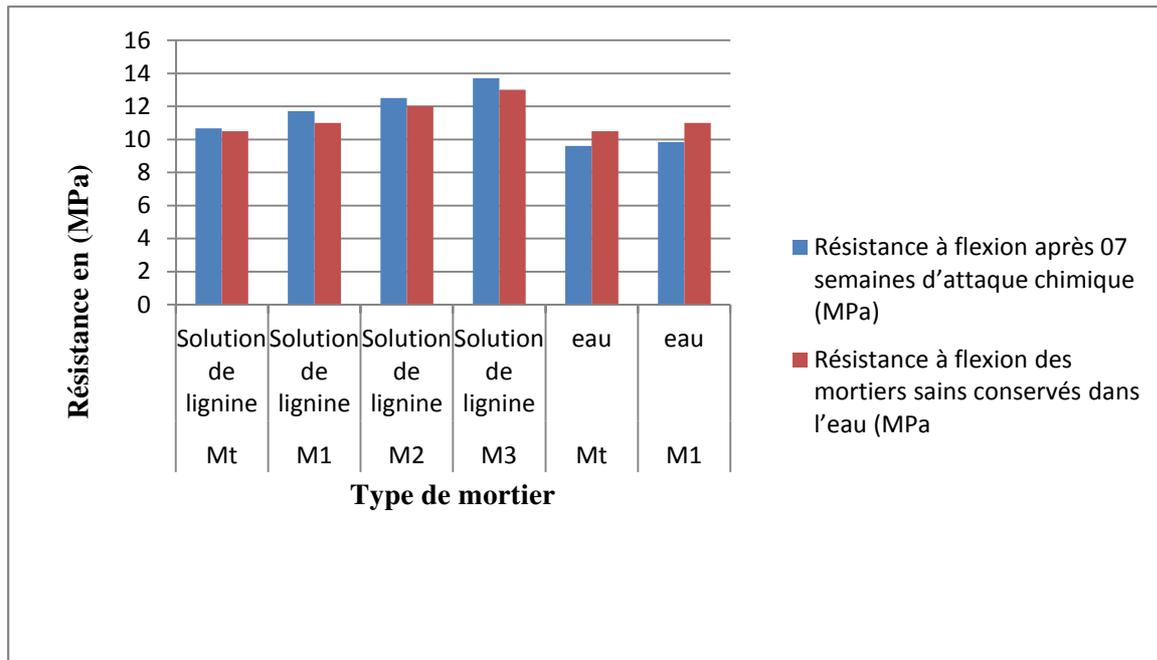


Figure N° 35: Histogramme de variation de la résistance à flexion après 07 semaines d'attaque

Interprétation

Les deux figures présentent la résistance des mortiers étudiés dans le milieu agressif (sulfate de sodium) pendant une durée de 07 semaines. Cependant, il est clair, les histogrammes montrent que la perte de résistance se confirme pour les mortiers conservés dans l'eau. Ces mortiers se dégradent suite à un environnement défavorable et la portlandite est directement exposée aux agents chimiques agressifs tels que les sulfates qui réagissent avec cette dernière pour former des composés expansifs qui font éclater le béton. Par contre, nous pouvons constater que les résistances des mortiers conservés dans la solution de lignine et ayant subi l'attaque chimique présentent des résistances (53; 67; 71 et 76,8 MPa) nettement supérieures à celles des mortiers sains conservés dans l'eau Mt; M1 ; M2 ; et M3 respectivement sont (43; 55; 65 et 72 MPa). De même pour les résistances à la flexion trois points. Ce constat peut être expliqué par le fait que les éprouvettes conservées dans la solution de lignine sont imperméables suite à la formation d'une couche protectrice infranchissable par les agents chimiques agressifs, la diminution de la porosité suite à la pénétration capillaire de la lignine qui joue le rôle de colle ou de résine et probablement grâce à l'effet de l'activité pouzzolanique de l'ajout contenu dans le ciment.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale

La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel il va être exposé durant la durée de vie d'un ouvrage. Certains ions, dans un environnement aqueux peuvent être néfastes pour le ciment hydraté et par conséquent pour l'intégrité du matériau béton.

En effet, le ciment hydraté est poreux et sa porosité est partiellement ou complètement saturée d'une solution dite interstitielle. L'observation de structures en béton dégradées ou des investigations expérimentales en laboratoire ont permis de mieux comprendre l'effet de ces attaques chimiques.

Il s'est avéré que les attaques du béton par les sulfates provoquent des fissurations et des éclatements et les attaques aux acides provoquent des dissolutions et des érosions et tous ces mécanismes peuvent à la limite compromettre l'aptitude au service des ouvrages concernés.

Dans ce contexte, il faut étudier les mécanismes de dégradation mis en jeu dans les systèmes à ambiances chimiques sévères afin de relier la durabilité et la résistance du matériau aux paramètres de composition imposés.

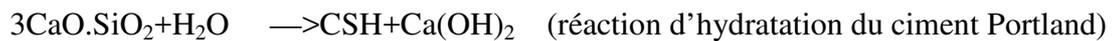
L'objectif de cette recherche repose sur la valorisation d'un polymère naturel issu du bois dans la formulation et la durabilité des mortiers et des bétons autoplaçants. A cet effet, ce polymères a été introduit comme adjuvant en vue de l'amélioration des performances mécaniques de ces matériaux et son utilisation comme élément dans une solution de conservation durant la période de maturation des mortiers pour les renforcer et les protéger d'un environnement agressif. Après conservation des éprouvettes dans deux milieux pendant 28 jours, elles sont soumises à des attaques chimiques dans une solution agressive de sulfate de sodium afin d'évaluer le degré de dégradation de ces mortiers et le rôle du milieu de conservation par des analyses de perte de masse, essais non destructifs à ultrasons et des essais mécaniques. Cette étude nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- Les mortiers fabriqués avec le tempo 12 sont beaucoup plus performants et atteignent une résistance à la compression de 72 MPa pour un E/C=0,25. Il est à noter que les résistances augmentent avec la diminution de la quantité d'eau, ce qui donne un mortier compact et moins poreux. Pour les mortiers fabriqués avec l'adjuvant naturel sont faibles, ceci est dû au manque ou à l'excès de la quantité d'adjuvant utilisée pour les variantes M4 (excès) et M7 (Manque), donc il faut une étude rhéologique pour déterminer le point de saturation.
- La perte de masse des mortiers étudiés en fonction du temps d'attaque dans le milieu agressif de solution de 5 % de sulfate de sodium Na_2SO_4 , issu d'une base forte (NaOH) et d'un acide fort (H_2SO_4) sont exposés à un environnement hautement agressif. On remarque que pour tous les mortiers présentent des allures descendantes jusqu'à une perte minimale et puis après une augmentation de la perte en fonction du temps d'attaque. Les pertes de masse des mortiers conservés dans l'eau se dégradent beaucoup plus facilement par rapport à ceux conservés dans la solution de lignine. Les pertes de masse diminuent avec la diminution du rapport E/C quel que soit la durée de l'attaque. Les explications qui peuvent être attribuées à ces observations se résument par:
 - 1- Au début de l'attaque, les trois premières semaines, on assiste en premier lieu, à la maturation et à l'hydratation complète de ces mortiers qui se traduit par une diminution de la perte de masse. En deuxième lieu, l'action de l'activité pouzzolanique de l'ajout (pouzzolane) contenu

Conclusion générale

dans le ciment de Lafarge qui fait diminuer la quantité de portlandite. Ceci explique le ralentissement de la perte de masse des mortiers conservés dans la solution de lignine.

Les réactions pouzzolanique et hydraulique peuvent s'écrire globalement comme suit :



On constate donc que la réaction pouzzolanique consomme de l'hydroxyde de calcium ou de la Portlandite, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, contrairement à l'hydratation du clinker qui en libère.

- 2- Dans la deuxième partie de la courbe, on assiste donc à une augmentation de la perte de masse donc à la dégradation des différents mortiers.
- 3- Les éprouvettes conservées dans la solution de lignine se dégradent plus lentement suite à la formation d'une couche protectrice (imperméable), sous forme de film, et que ce polymère naturel s'infiltré même dans les capillaires et qui empêche la pénétration des agents chimiques agressifs.
- 4- En analysant les résultats de cette études, nous avons une augmentation de vitesse avec une forte pente jusqu'à un seuil et puis une diminution avec une pente lente, ceci peut être expliqué par le fait qu'au début d'attaque, il y a une continuation de l'hydratation des minéraux du ciment et maturation du mortier. Une fois cette maturation est complète, on remarque les effets de l'attaque sulfatique qui se traduit par la diminution de la vitesse ou par une augmentation de la perte de masse en fonction du temps d'attaque.
- 5- Le temps parcouru par les ondes ultrasonores à travers chaque éprouvette, reflète les mêmes interprétations que pour les vitesses de propagation des ondes ultrasonores à l'intérieur de nos éprouvettes, sauf que la vitesse est inversement proportionnelle au temps. Donc, durant les trois premières semaines d'attaque le temps de parcours diminue pour toutes les variantes avec une augmentation de la vitesse et de la résistance et croit avec une pente très faible jusqu'à la fin de la septième semaine qui se traduit par une diminution de la résistance.
- 6- Il est clair que la perte de résistance se confirme pour les mortiers conservés dans l'eau. Ces mortiers se dégradent suite à un environnement défavorable et la portlandite est directement exposée aux agents chimiques agressifs tels que les sulfates qui réagissent avec cette dernière pour former des composés expansifs qui font éclater le béton. Par contre, nous avons constaté que les résistances des mortiers conservés dans la solution de lignine et ayant subi l'attaque

Conclusion générale

chimique présentent des résistances (53; 67; 71 et 76,8 MPa) nettement supérieures à celles des mortiers sains conservés dans l'eau Mt; M1 ; M2 ; et M3 respectivement sont (43; 55; 65 et 72 Mpa). De même pour les résistances à la flexion trois points. Ce constat peut être expliqué par le fait que les éprouvettes conservées dans la solution de lignine sont imperméables suite à la formation d'une couche protectrice infranchissable par les agents chimiques agressifs, la diminution de la porosité suite à la pénétration capillaire de la lignine qui joue le rôle de colle ou de résine et probablement grâce à l'effet de l'activité pouzzoulanique de l'ajout contenu dans le ciment.

Applications

- Ce polymère peut être appliqué comme une couche protectrice et imperméable aux mortiers de finition
- Ce polymère peut être utilisé comme adjuvant aux différents produits de revêtement

Cette étude doit être complétée par :

- La détermination de la concentration optimale de la solution de conservation
- Les analyses microstructurales tels que la DRX et le MEB
- L'augmentation de la durée l'attaque et la variation de la nature du milieu agressif.
- La productibilité des résultats en utilisant plusieurs échantillons.

Annexes

I. Les essais de caractérisation des granulats

I.1.Masse volumique

I.1.1.Définition

La masse volumique d'un matériau est la masse de ce matériau par de volume son symbole est désigné par M_V , comme le volume absolu est le volume apparent.

I.1.2.Détermination de la masse volumique absolue

I.1.2.1.Définition

La masse volumique absolu ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides prouvent exister dans ou entre des grains.

Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 ou en g/cm^3 . La masse volumique absolue moyenne des granulats est prise égale, en première approximation, à $2,65 g/cm^3$.

I.1.2.2.But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées

I.1.2.3. Méthode de l'éprouvette graduée

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume « V_1 » d'eau (figure : 01).
- Peser une masse « M » du corps (de l'ordre de 300g), et l'introduire dans l'éprouvette.
- Lire le nouveau volume « V_2 »
- Le volume absolu est $V=V_2- V_1$, et la masse volumique absolue :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Pour opérer de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de $500 cm^3$ de volume. La lecture des niveaux V_1 et V_2 doit faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sur la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque

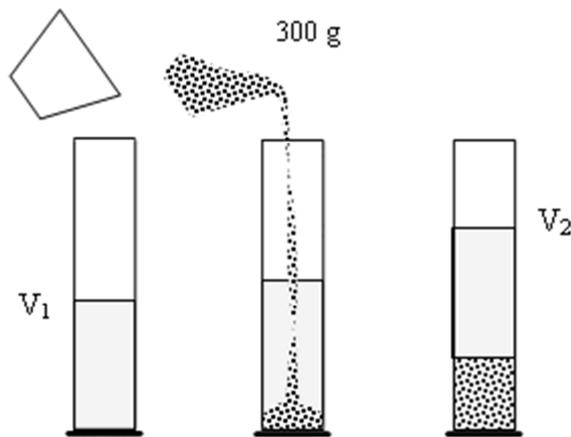


Figure 01 : méthode de l'éprouvette graduée

I.1.3. Détermination de la masse volumique apparente

I.1.3.1. Définition

Elle est comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière y compris les vides contenus

I.1.3.2. Principe de la méthode

- A l'aide d'un récipient, de masse et de volume bien déterminé, on prend le matériau, en remplissant le récipient à travers de mains, qui sont tendus formant un entonnoir à 10 cm environ au – dessus de niveau de récipient. on laisse tomber ce matériau, ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le corps, ce matériau doit s'effectuer au centre de ce récipient, jusqu' il déborde tout autour en formant un cône
- Araser à l'aide d'une réglette l'exé par rapport au niveau de récipient
- Peser le contenu

Donc, la masse de matériau et le volume de récipient :

$$Mvapp = \frac{M_{matériau}}{V_{récipient}}$$

I.2. Equivalent de sable

I.2.1. Principe

L'essai est fait sur «sable», on utilise que la fonction des granulats qui traverse tamis de 5mm. Laver l'échantillon, dans des conditions normalisées, et repasser. Après le temps prescrit, mesurer figure 02 :

- La hauteur h_{1sable} propre +éléments fins.

- La hauteur h_2 sable propre seulement .par définition, l'équivalent de sable est :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} 100 \%$$

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston)

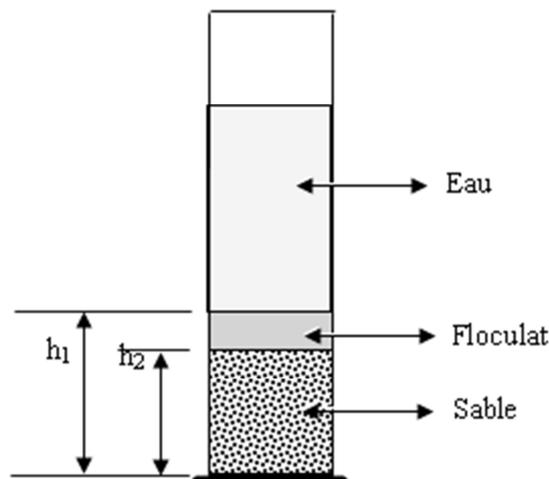


Figure 02 : essai équivalent de sable

I.3. Essai de los Angeles

I.3.1.Principe

L'essai consiste à mesurer la quantité de fines inférieures à 1.6mm produites en soumettant le matériau au choc de boulets normalisés dans la machine Los Angeles. La granulométrie du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires 4-6.3mm, 6.3-10mm, 10-25mm, 16-31mm, 25-50mm, la granulométrie du matériau tel qu'il sera mise en œuvre. La classe 10-25mm contient 60% de 10-16 mm, la classe 16-31mm contient 60% de 16-25mm, et la classe 25-50mm contient 60% de 25-40mm.

Si M est la masse de matériau soumise à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par choc s'exprime par $100Mm$

Cette quantité est appelée le coefficient Los Angeles de matériau (**LA**).

I.3.2. Préparation de l'échantillon

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand

- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à une masse constante.
- La masse de l'échantillon pour l'essai sera de 5000±5g

I.3.3. Mode opératoire

- Introduire avec précaution la charge de boulet correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour l'essai
- Faire effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière 30 à 33 tr/min.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm.
- Laver le refus au tamis de 1.6mm, égoutter et sécher à 105°C jusqu'à une masse constante.
- Peser ce refus une fois séché, soit m1 le résultat de la peser.

I.3.3. Expression des résultats

Le coefficient los Angeles (LA) est par définition le rapport : $\frac{m}{5000} \times 100$

Ou : $m = 5000 - m1$

m est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm en gramme.

I.4. Essai Micro Deval

I.4.1. Principe

L'essai consiste à introduire un échantillon en présence d'une charge abrasive dans des cylindres en rotation pour mesurer à la fin l'usure des granulats

I.4.2. Préparation de l'échantillon

L'essai doit être effectué sur lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires types.

Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence de l'eau :

- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'une masse constante
- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie
- La masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ±2g

I.4.3. Mode opératoire

- Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive puis 500g de matériau préparé. la charge est fixée conformément aux indications du tableau ci –après

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4-6.3	2000±5g
6.3-10	4000±5g
10-14	5000±5g

Pour effectuer un essai en présence d'eau on ajoutera 2.5 litre.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100±5) tr/min pendant 2 heures ou 12000 tr .
- Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat. Laver soigneusement l'intérieur de cylindre.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive.
- Sécher le refus à 1.6mm à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus au gramme près ; soit m_0 le résultat de la pesée.

I.4.4. Expression des résultats

Le coefficient Micro Deval est par définition le rapport : $\frac{m}{500} \times 100$.

Ou :

$M = 500 - m_0$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm

On a donc : le coefficient Miro Deval (MDE) = $\frac{500 - m_0}{500} \times 100$.

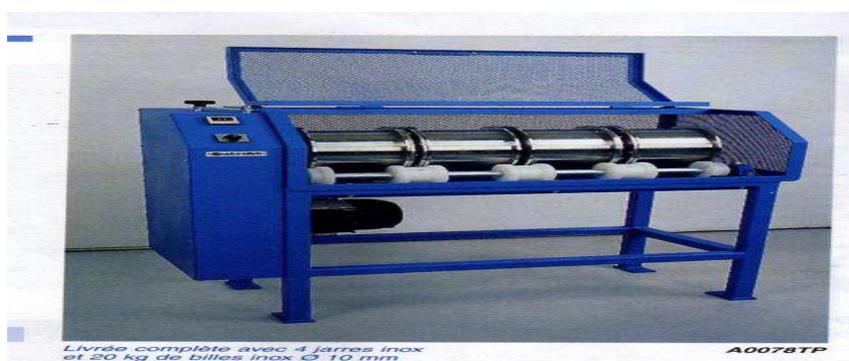


Figure 04 : Essai miro deval

II. Essai de caractérisations du ciment

Il existe des essais de caractérisation qui se font le ciment, sur pate (ciment +eau) et sur mortier normalisé (ciment +sable CEN +eau).

II.1. Sur ciment :

- Finesse – méthode Blaine (EN 196-6 / NF P 15-476)
- Masse volumique
- Granulométrie laser
- Tamisage alpine – refus à $40\mu\text{m}$ et $80\mu\text{m}$
- Colorimétrie – Niveau de gris

II.1.1. Masse volumique

On utilise un pycnomètre a fin de travailler à volume constant .le liquide utilisé est non réactif avec le ciment : toluène, cyclohexane

La masse volumique des ciments varient de 2.85 à $3.21\text{g}/\text{cm}^3$

II.1.2. Méthode Blaine

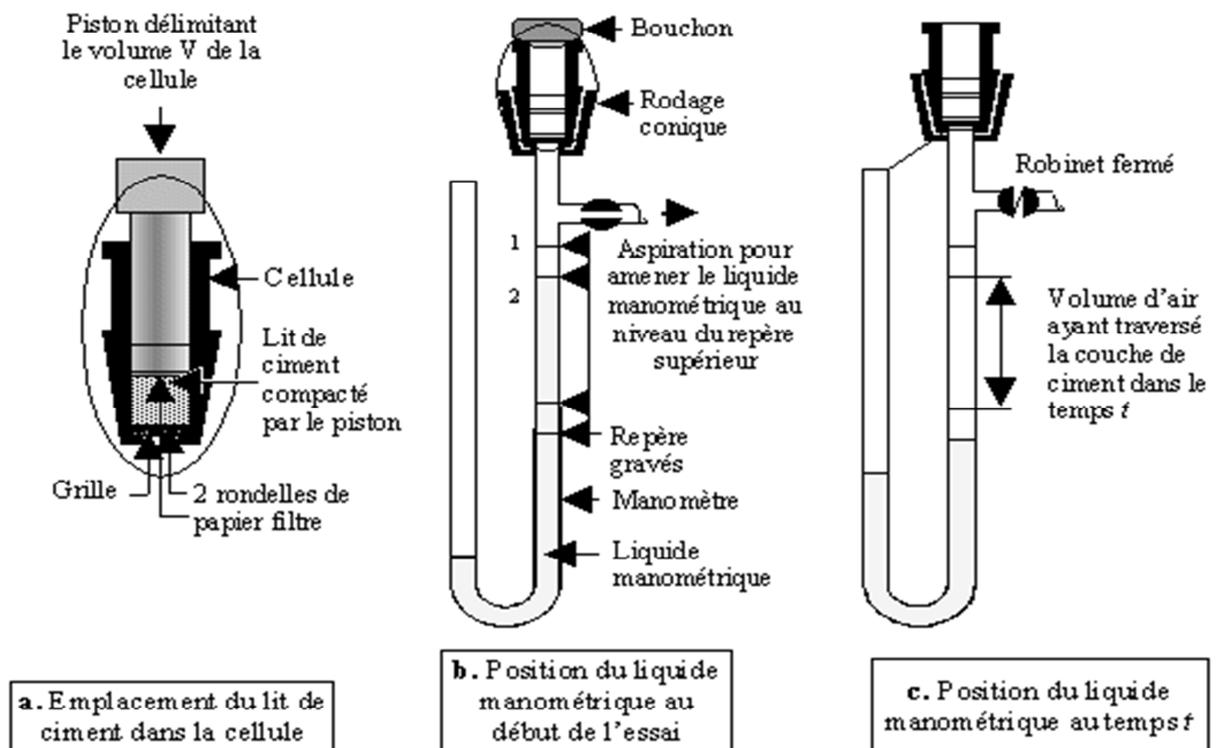


Figure 05 : Appareil de Blaine

II.2.3.Mode opératoire :

L'appareil de Blaine se compose d'une cellule de mesure, d'un piston et une grille en métal inoxydable, ainsi que d'un tube en verre en forme de U l'appareil est étalonné avec une poudre d'étalonnage.

Ce que l'on mesure, c'est le temps que met l'air, filtrant à travers la couche de ciment tassé pour que le niveau d'un liquide non volatile de faible densité mis préalablement en dépression jusqu'à un repère supérieur de tube manométrique, redescende jusqu'au niveau d'un repère inférieur de ce tube

La surface spécifique est calculée par la formule suivante :

$$SSB = K \frac{\sqrt{e^3 T}}{P(1 - e) \cdot \sqrt{\eta}}$$

Dans laquelle :

S : surface spécifique (cm²/g).

K : constante de l'appareil.

e : porosité de la couche tassée.

T : temps mesuré en secondes.

ρ : masse volumique de grains g/cm³.

η : viscosité de l'air à la température d'essai (en poise).

II.2.1. Sur la pate

II.2.1. Consistance normalisée

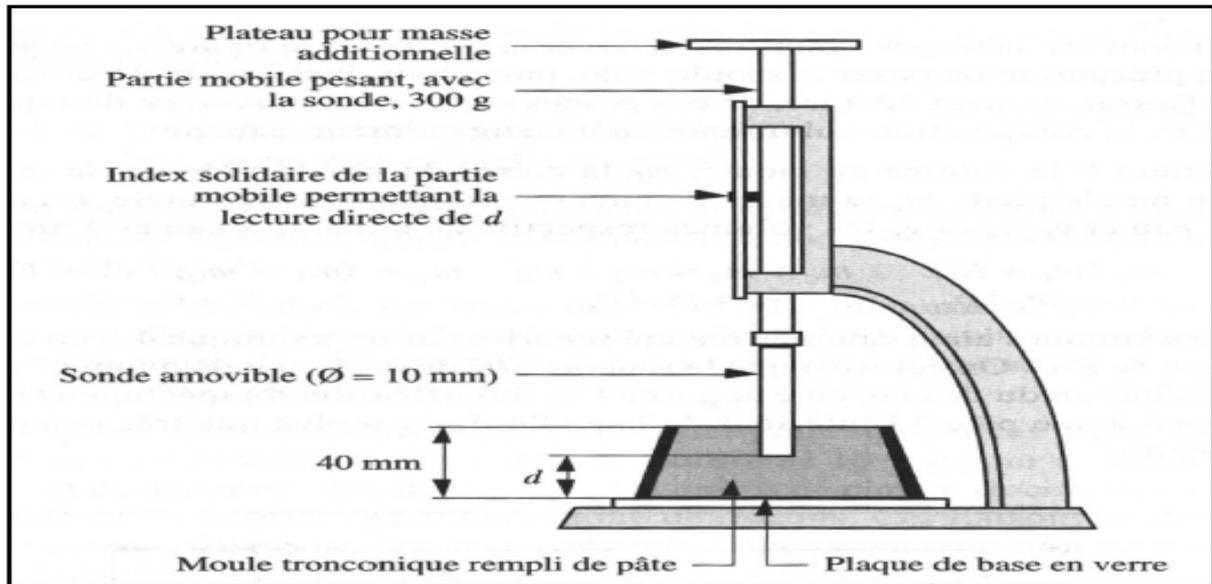


Figure 05 : consistance normale du ciment

Trouver le rapport E/C pour lequel la sonde de consistance s'arrête à :

$$d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$$

La demande en eau varie de 28% selon les ciments.

II.2.2. Temps de prise

On fait la mesure sur une pate à consistance normalise. le temps de début de prise correspond au temps au about duquel l'aiguille de Vicat s'arrête à $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ du fond.

On retour le moule tronconique. le temps de prise de fin de prise correspond au temps au bout duquel l'aiguille de Vicat munie de son accessoire annulaire ne s'enfonce plus que de 0.5mm dans la pate

$$CN = \frac{V_e}{P_c}$$

Où :

V_e : volume d'eau de gâchage.

P_c : poids de ciment.

III. Essai sur le béton

III.1. Résistance mécanique a la flexion

III.1.1.Définition :

L'éprouvette utilisée dans l'essai de flexion est une éprouvette prismatique $4 \times 4 \times 16$ en mortier . La rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif à trois rouleaux

III.1.2.Dispositif de l'essai :

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 100 ou de 106,7 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage,et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F.

Pour transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoire osciller légèrement de leur centre dans le plans vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette.

III.1.3.Machine d'essai :

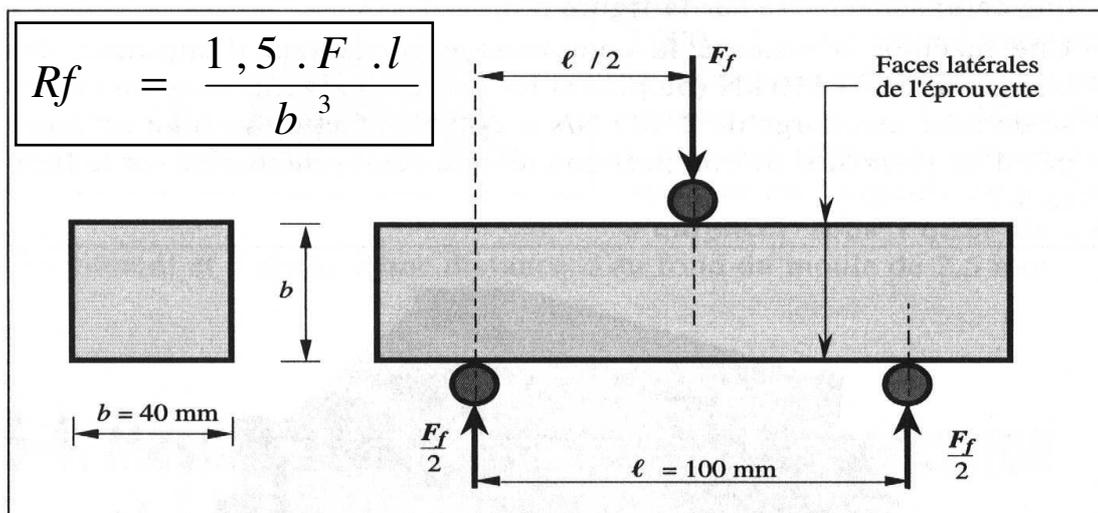


Figure N°06 : Essai mecanique de rupture par flexion

- Le dispositif à rouleaux est adapté dans une machine d'essai permettant d'exercer et de mesurer de faibles charges (inférieure à 1000 daN) avec une précision de 1% . La charge F doit croître progressivement de $5 + 1 \text{ daN / s}$.

III.2. Résistance mécanique a la compression :

III.2.1. Définition :

L'essai de compression est exécuté sur une presse pour matériaux durs, sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Si la compression a lieu plus de 20mm après celui de la flexion, il faut conserver les demi éprouvettes dans l'armoire humide.

III.2.2. Dispositif de l'essai :

Chaque demi prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40 × 40 mm, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40 ± 10,1mm de largeur, de longueur supérieur à 40mm et dont la tolérance de plénitude est de 0,01mm. Ces plaques sont en acier dur d'une dureté Vickers d'au moins 600, ou de préférence en carbure de tungstène.

Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm.

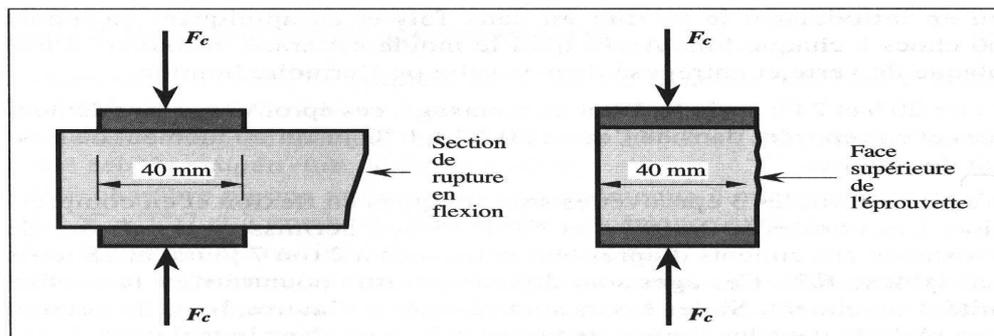


Figure N° 07 : Résistance mécanique a la compression

$$Rf = \frac{F_c}{b^2}$$

III.2.2. Machine d'essai :

L'ensemble du dispositif et de l'éprouvette est lacé entre les plateaux d'une presse répondant aux spécifications du fascicule de documentation FD P n°18-308 « Spécification de construction, d'emploi et de contrôle des presses destinées à l'essai de compression des matériaux durs ».

- **Contrainte de rupture à la compression :**

La charge doit croître jusqu'à la rupture à une vitesse telle que l'accroissement de contrainte soit compris entre 10 et 20 bars /s. Toutefois, jusqu'à la moitié de la charge de rupture présumée, la charge peut croître rapidement. La contrainte de rupture par compression. La valeur retenue pour chacune des éprouvettes est la médiane des résultats élémentaires.

1-Préparations des Epreuves :

Les éprouvettes sont destinées aux essais mécaniques soit à l'essai de retrait et de gonflement.

Pour préparer 3 éprouvettes 40x40x160 :

Sable normalisé = 1350g.

Ciment = 450g.

Eau = 225ml.

2- Mode opératoire :

- Mettre le malaxeur en position de fonctionnement.
- Verser l'eau dans le récipient, puis ajouter le ciment.
- Mettre le malaxeur en marche à une vitesse lente pendant une minute, dans les 30 secondes introduire le sable.
- Mettre le malaxeur à la vitesse rapide pendant deux minutes.

3- Essai de rupture par flexion :

Placer l'éprouvette dans l'appareil veillez à ce que les arêtes de l'éprouvette soient bien perpendiculaires aux rouleaux et à ce que le rouleau supérieur équidistant des rouleaux inférieurs.

La formule de calcul de la résistance à la flexion est donnée par :

$$RF = \frac{3xPxL}{2xbxh} [Kgf/cm^2]$$

P : la force (Kgf).

4- Essai de rupture par compression :

Placer le dispositif de compression et l'éprouvette entre les plateaux de la presse.

L'éprouvette soit comprimée par ses faces latérales de moulage sous une section de (4x4) cm.

L'axe de la rotule du plateau supérieur passe par le centre des surfaces comprimées.

$$RC = \frac{Px10^2}{16} [Kgf / cm^2]$$

P: la force en (Kgf).

Teneur en ions Cl⁻ ≤ 0,1 %

Conditions d'application

Dosage

Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

Mise en œuvre

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Précautions d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Consulter la fiche de données de sécurité sur Internet www.sika.fr

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Notice produit
Edition 06/ 2010
Numéro 2.11
Version n°2010.087
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

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

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



Présentation

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

Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

Caractères généraux

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

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



Caractéristiques

Aspect

Liquide brun clair

Conditionnement

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

Stockage

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

Conservation

1 an en emballage intact

Données techniques

densité

1,06 ± 0,01

pH

4,5 à 6,5

Teneur en Na₂O Eq.

≤ 1 %

Extrait sec

28,0 à 31,0 %