



MÉMOIRE
Présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
MASTER EN GENIE CIVIL

Spécialité: **Génie Civil**

Option: Géotechnique et matériaux

Présenté par

Diffalah Mohamed & Slimani Youcef

Intitulé

Effets des différents régime du durcissement sur la résistance à la pénétration des ions chlorures d'un bétonautoplaçant a base de divers types de sables

Soutenu le : 15/06/2017

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. Mohamed OMRANE	MAA	Univ. Djelfa
Mr. Taha-Hocine DOUARA	MAA	Univ. Djelfa
Dr. Rebih ZAITRI	MAA	Univ. Djelfa

PRÉSIDENT
ENCADREUR
EXAMINATEUR

Remerciement

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللهم صل على محمد وعلى آل محمد كما صليت على إبراهيم وعلى آل إبراهيم وبارك على محمد وعلى آل محمد كما باركت على إبراهيم وعلى آل إبراهيم في العالمين إنك حميد مجيد.

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, nous avons remercié avant tous ALLAH tous puissant, de m' avoir accordé la santé, guidé vers le bon chemin et de m'avoir permis d'accomplir la présente recherche..

*Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. **Douara Taha .H**, pour tous les efforts qu' il a fournis pour nous faciliter et aider à accomplir notre travail, nous le remercions pour ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible
Nos remerciements vont également à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement surtout djaran Ali ingénieur travaux publics **DTP HBB** et monsieur **Belkacem GAM** et monsieur **Mohamed PATO** Qu' ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nous remercions également le **Mme. Razika ssaihi** chef du laboratoire chimie dans le département science matière.*

Nous remercions nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous puisse terminer nos études.

Nous voudrions remercier tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation dans cette université.

Que tous les membres du jury trouvent ici l'expression de nos profonds respects pour avoir pris la peine d'examiner le manuscrit.

Dédicaces

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux
Tout d'abord je tiens à remercier le Tout Puissant de m'avoir
donné le courage et la patience pour arriver à ce stage afin de
réaliser ce travail que je dédie :*

*Mes très chers parents qui m'ont soutenu et
encouragé durant toute ma scolarité,*

Mes très chers grands parents,

*Mes chers frères, cousins et
cousines, Ma famille,*

Mes professeurs,

Ainsi que tous mes amis.

À ma meilleures amies.

A mes très chers parents que je chéri tant.

A mes frères et sœurs qui m'ont soutenu et encouragé

A tous mes amis, sans exception.

A mon binôme S. youcef

*A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la
réalisation de ce mémoire.*

Enfin, à tous ceux qui me reconnaîtront.

D.Mohamed

Dédicaces

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux
Tout d'abord je tiens à remercier le Tout Puissant de m'avoir
donné le courage et la patience pour arriver à ce stage afin de
réaliser ce travail que je dédie :*

*Mes très chers parents qui m'ont soutenu et
encouragé durant toute ma scolarité,*

Mes très chers grands parents,

*Mes chers frères, cousins et
cousines, Ma famille,*

Mes professeurs,

Ainsi que tous mes amis.

À ma meilleures amies .

A mes très chers parents que je chéris tant.

A mes frères et sœurs qui m'ont soutenu et encouragé

A tous mes amis, sans exception.

A mon binôme D.mohamed,

*A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la
réalisation de ce mémoire.*

Enfin, à tous ceux qui me reconnaîtront.

S.Youcef

ملخص

هذه الدراسة هي جزء من مشروع بحث معتمد من طرف (CNEPRU) تحت رقم J0402820140001 بعنوان دراسة السلوك (الانسيابية و الميكانيكية و الديمومة) في الخرسانة ذاتية التسوية باستخدام مواد محلية .

و كان الهدف من هذا العمل هو دراسة و مدى تأثير انواع الرمل المختلفة (رمل الوديان SO، رمل المقالع SC، رمل الكثبان SD) في اختراق ايونات الكلوريد على الخرسانة ذاتية التسوية ، استنادا الى غمر جزئي للعينات في محلول كلوريد الصوديوم بتركيز 3% ، ل 7 ايام و 28 و 56 يوم .

استعمال 30% من رمل الكثبان SO مع رمل الوديان SD يعطينا أفضل مقاومة اختراق ضد ايونات الكلوريد في جميع وسائل المحافظة .

كلمات مفتاحية : خرسانة ، الديمومة ، اختراق ، ايونات الكلوريد ، رمل الوديان SO، رمل الكثبان SD، رمل المقالع SC.

Résumé

L'étude présente est une partie d'un projet de recherche CNEPRU agréé sous code J0402820140001 intitulé "étude des comportements rhéologiques, mécaniques et durabilités des bétons autoplaçants: valorisation des matériaux locaux, recyclage et modélisation".

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de régimes de durcissement sur la pénétration des ions chlorures d'un béton autoplaçant préparés par divers types de sables (Sable concassé SC, Sable Alluvionnaire ou oued SO et Sable de dune SD).

L'étude basée sur l'immersion partielle (Partial Immersion Test) (PIT) des éprouvettes des bétons dans une solution NaCl concentrée à 3%, puis en suite la pénétration des ions chlorures à 7, 28, et 56 jours.

La substitution de 30% de sable d'oued SO par celle de dune SD présente la meilleure résistance vis-à-vis la pénétration des ions chlorure dans tous les milieux de conservation.

Mot clé : béton , durabilités , pénétration , ions chlorures , Sable concassé SC, Sable Alluvionnaire ou oued SO et Sable de dune SD .

Abstract

The present study is part of a CNEPRU research project approved under code J0402820140001 entitled "Study of the rheological, mechanical and durability behavior of self-compacting concretes: valorisation of local materials, recycling and modeling". The objective of this work is to study the effect of hardening regimes on the penetration of chloride ions of a self-mixing concrete prepared by various types of sand (SC sand, Alluvial Sand or Wad SO and SD desert sand) . The Partial Immersion Test (PIT) study of the concrete samples in a 3% NaCl solution, followed by the penetration of chloride ions at 7, 28, and 56 days.

The substitution of 30% SO sand with that of SD desert sand has the best resistance to the penetration of chloride ions in all storage media.

Key words: concrete, durability, penetration, chloride ions ,SC sand, Alluvial Sand or Wad SO and SD sand .

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I.1 : Phénomène de blocage des granulats aux droits d'un obstacle</i>	4
<i>Figure (I.2.) : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP</i>	5
<i>Figure (I.3) : Phénomène de ressuage</i>	6
<i>Figure I.4. : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré</i>	8
<i>Figure I.4. : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré</i>	8
<i>Figure I.6 : essai d'étalement au cône (slump flow)</i>	9
<i>Figure I.7 : Entonnoir en forme V (V funnel)</i>	10
<i>Figure I.8 : Essai de la boîte en L (L-box test) [self]</i>	10
<i>Figure I.9 : essai en U (a gauche), essai de caisson (a droite)</i>	11
<i>Figure I.10 : Essai de stabilité au tamis</i>	12
<i>Figure I.11 : Essai de ressuage à l'aéromètre</i>	12
<i>Figure I.12 : évolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (BEF) correspondant</i>	13
<i>Figure I.13 : résistance mécanique d'un béton vibré et deux BAP (deux formulations différentes)</i>	13
Figure.II.1 : Illustration des profondeurs de pénétration des ions chlorures	20
Figure.II.2 : Eprouvettes affectées par les ions chlorures	20
Figure III.1: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de sables	23
Figure III.2: Courbes granulométriques de différents types de sables	26
Figure III.3: Comparaison du module de finesse entre les différents types des sables	28
Figure III.4: Comparaison de l'équivalent de sable entre les différents types des sables	28
Figure III.5: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de graviers	30
Figure III.6: Courbes granulométriques de différents types de graviers	32
Figure III.7: comparaison de coefficient de dureté entre les différents types de graviers	33
Figure IV.1 : Immersion totale des échantillons dans une solution de 3% NaCl	37
Figure IV.2: Coupes schématiques de l'échantillon pour mesurer de la profondeur de pénétration d'ion chlore	37
Figure IV.3 : variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en fonction de l'âge et en fonction de sable	39

Figure IV.4 : pourcentage de la variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ entre 7, 28 et 56 jours en fonction de sable	40
Figure IV.5 : Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables	40
Figure IV.6 : pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables	41
Figure IV.7: Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables	41
Figure IV.8: pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables	42
Figure IV.9 : variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en fonction de l'âge et en fonction de sable	43
Figure IV.10 : pourcentage de la variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ entre 7, 28 et 56 jours en fonction de sable	43
Figure IV.11 : Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables	44
Figure IV.12 : pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables	44
Figure IV.13: Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables	45
Figure IV.14: pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables	45
Figure IV.15: comparaison de la variation de profondeur de pénétration des ions Cl⁻ des compositions en fonction de mode de conservation	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1: Essai de la masse volumique apparente des sables	22
Tableau III.2: Essai de la masse volumique absolue des sables	23
Tableau III.3: résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune	23
Tableau III.4: résultats de l'analyse granulométrique de sable de carrière	24
Tableau III.5: résultats de l'analyse granulométrique de sable de Oued	25
Tableau III.6: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de dune	25
Tableau III.7: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de carrière	27
Tableau III.8: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de Oued	27
Tableau III.9: résumé des résultats	27
Tableau III.10: Essai de la masse volumique apparente des graviers	28
Tableau III.11: Essai de la masse volumique absolue des graviers	29
Tableau III.12: résultats de l'analyse granulométrique de gravier 3/8	30
Tableau III.13: résultats de l'analyse granulométrique de gravier 8/15	31
Tableau III.14: résultats de l'essai d'absorption	32
Tableau III.15: résultats de l'essai de dureté Los Angeles	33
Tableau III.16: résumé des résultats	33
Tableau III.17. Composition chimique et minéralogique du ciment (%)	34
Tableau III.18. Propriétés physico – mécaniques du ciment	34
Tableau III.19. Caractéristiques du superplastifiant	34
Tableau IV.1 : Profondeur de la pénétration des ions chlorure du groupe 1	39
Tableau IV.2 : Profondeur de la pénétration des ions chlorure du groupe 2	43

SOMMAIRE

Introduction générale :	1
Chapitre I : Bibliographie sur le BAP	
I.1 Introduction :.....	3
I.2 Modes de formulation des BAP :	3
I.2.1. Cahier des charges minimum à l'état frais :	4
I.2.2. Particularités de la composition des BAP	5
I.3. Caractérisation du béton à l'état frais :	8
I.3.1. caractéristiques rhéologiques des BAP :	8
I.3.2. essais de caractérisations d'un BAP :	9
I.4. Propriétés du béton durci :	13
I.5. Conclusion :.....	13
Chapitre II : durabilité sur BAP	
II.1. Introduction	16
II. 2. Durabilité et économie	16
II. 3. Béton durable et béton résistant	17
II.4. Attaque par les ions chlorure.....	18
II.4.1. Définition	18
II.4.2.Source de l'attaque des ions chlores :	18
II.4.3.Les essais de pénétration des ions de chlores	18
II.5.Conclusion	20
Chapitre III : Caractéristiques des Matériaux utilisés	
III.1. Introduction :	22
III.2. Caractéristiques des matériaux :	22
III.2.1. Les sables	22
III.2.2. Les graviers:	29
III.2.3. Ciment :	34
III.2.4. Superplastifiant	34

III.2.5. EAU	34
III.3. Conclusion :	35
Chapitre IV : Analyse des résultats	
IV.1. Introduction :	37
IV.2. Programme expérimental :	37
IV.2.1. Première étape : préparation des éprouvettes	37
IV.2.2. Deuxième étape : Essai d'immersion partielle	37
IV.3. Résultats et discussion:	39
IV.3.3. Comparaison entre les deux milieux de conservation :	48
IV.4. Conclusion:	50
Conclusion générale:	51

INTRODUCTION GENERALE

L'étude présente est une partie d'un projet de recherche CNEPRU agréé sous code J0402820140001 intitulé "étude des comportements rhéologiques, mécaniques et durabilités des bétons autoplaçants: valorisation des matériaux locaux, recyclage et modélisation".

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de régimes de durcissement sur la pénétration des ions chlorures d'un béton autoplaçant préparés par divers types de sables (Sable concassé SC, Sable Alluvionnaire ou oued SO et Sable de dune SD).

L'étude basée sur l'immersion partielle (Partial Immersion Test) (PIT) des éprouvettes des bétons dans une solution NaCl concentrée à 3%, puis en suite la pénétration des ions chlorures à 7, 28, et 56 jours.

Avant d'examiner la résistance à la pénétration des ions Cl⁻, les éprouvettes sont passées par deux régimes de durcissement : le premier c'est la conservation dans l'eau durant 28 jours après le décoffrage ; le deuxième c'est la conservation à l'air libre pendant 28 jours.

Ce mémoire recouvre à la fois deux aspects : une partie bibliographique et autre expérimentale.

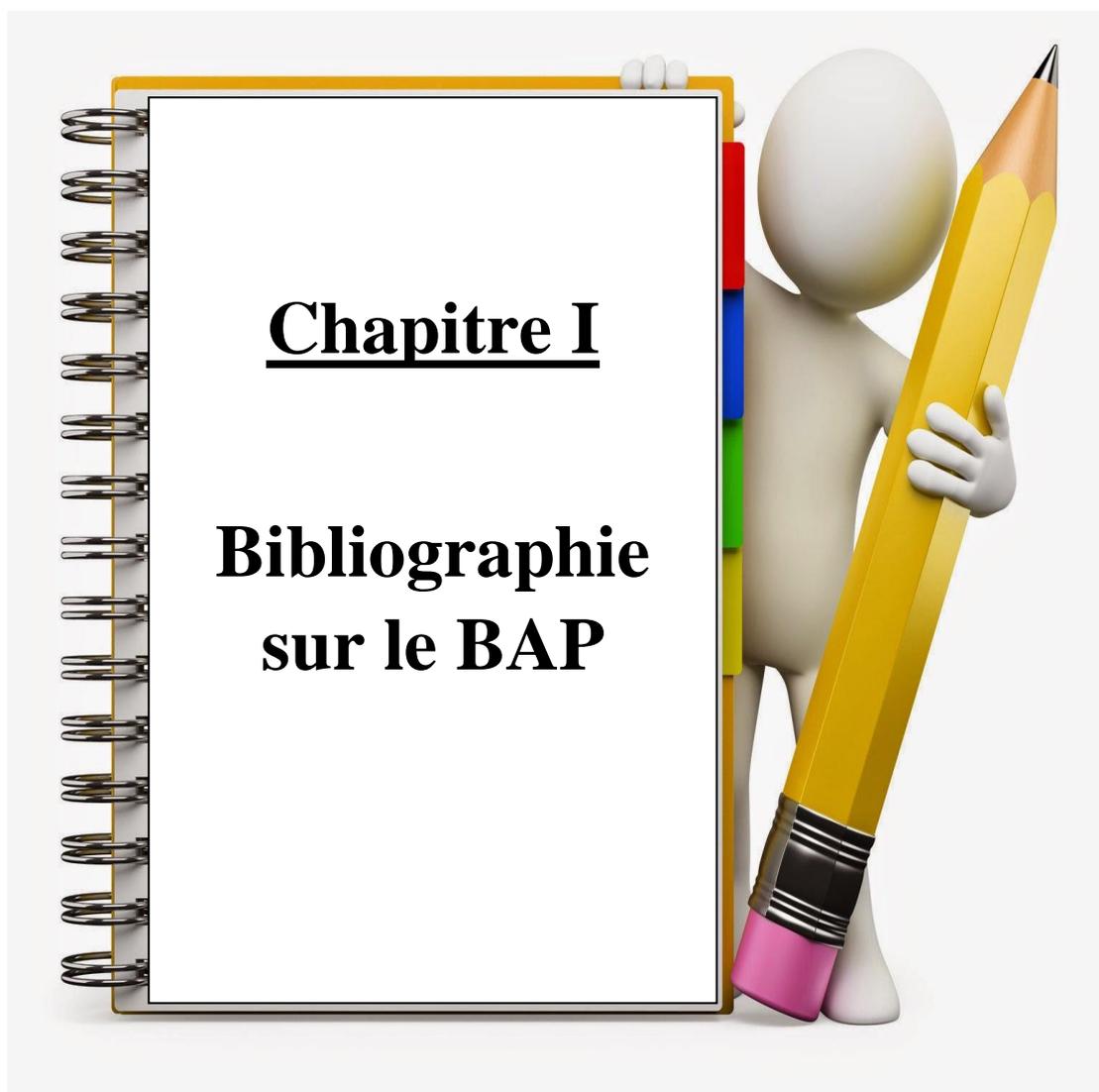
La partie bibliographique contient deux chapitres : le premier chapitre '*chapitre I*' regroupe les caractéristiques d'un béton autoplaçant BAP et la particularité de sa composition, ainsi que les différents essais caractérisant un BAP.

En deuxième chapitre '*chapitre II*' nous avons traité l'aspect de durabilité des bétons BAP. Nous avons mis le point sur le transfert des ions chlorure dans un BAP.

La partie expérimentale comporte deux chapitres le premier nommé '*chapitre III*' qui regroupe les caractéristiques physiques chimiques des matériaux utilisés ainsi que l'interprétation de tous les résultats obtenus.

Le dernier chapitre '*chapitre IV*' présente une analyse et discussion sur les résultats trouvés. Dans ce chapitre nous avons expliqué en détail le processus expérimental pour mesurer la résistance à la pénétration des ions Cl⁻, ainsi que l'interprétation de résultats concernant l'influence de divers type de sables et le milieu de conservation sur le transfert des ions chlorure dans le béton.

A la fin de ce mémoire nous avons établi une conclusion générale qui résume les principaux résultats extraits lors de cette étude.



Chapitre I

Bibliographie sur le BAP

I.1 Introduction :

Les bétons autoplaçants (en anglais Self-compacting concrete) sont découverts depuis les années 1980 au Japon, ces bétons se caractérisent par, une grande fluidité, une homogénéité et sa mise en place correcte par gravitation et sans vibration [01].

Ces bétons se développent maintenant dans le monde et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : absence de nuisances sonores en milieu urbain, possibilité de bétonner des zones fortement ferraiées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du béton d'une part, diminution du temps de personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels, d'autre part.

Ces bétons présentent plusieurs propriétés qui justifient l'intérêt nouveau que leurs portent les industriels [02] :

- Absence de vibration qui réduit les nuisances sonores,
- Bétonnage de zones fortement ferraiées et à géométrie complexe,
- Pénibilité du travail moindre,
- Réduction du coût de la main d'oeuvre, durée de construction plus courte.

Cependant, ces avantages s'accompagnent fatalement de certains inconvénients :

- Augmentation du coût des matières premières (additions, adjuvants),
- Modifications des outils de fabrication (outils de mise en place).

I.2 Modes de formulation des BAP :

Par définition, un béton autoplaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, qui se met en place par gravitation et sans vibration. Il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique. Le terme de béton autonivelant (BAN) peut aussi être utilisé mais il concerne plutôt des applications horizontales (dallage par exemple).

Le grand problème de ce type de béton est de trouver une méthode de formulation, il existe plusieurs approches de formulation qui ont été élaborées à travers le monde (approche Japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton [03]

Deux grandes familles prévalent actuellement [03] :

- la première [04] [05] concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à

600 kg/m³) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreuses et mal adaptés à des ouvrages courants.

- une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales [06]. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène. La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables.

I.2.1. Cahier des charges minimum à l'état frais :

Plusieurs spécificités de composition des BAP découlent de ces diverses approches.

- Un BAP doit s'écouler naturellement sous son poids propre (avec un débit suffisant), c'est à dire avoir un étalement et une vitesse d'étalement importants.
- Un BAP doit aussi pouvoir remplir, sans vibration, des zones confinées et une grande fluidité du béton peut ne pas être suffisante pour cela. En effet, lors de son écoulement au droit d'un obstacle, les gravillons cisailent le mortier et ont tendance à entrer en contact les uns avec les autres si ce dernier ne résiste pas suffisamment au cisaillement (figure 1.1). Ainsi, des arches peuvent se former et interrompre l'écoulement par colmatage. Pour éviter ceci, il est nécessaire qu'un BAP ait une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement en zone confinée.

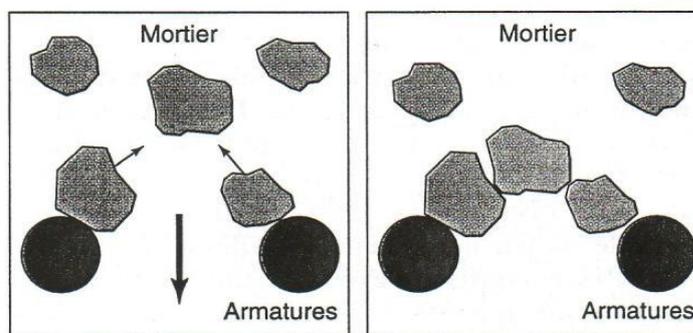


Figure I.1 : Phénomène de blocage des granulats aux droits d'un obstacle [03].

- Un BAP doit présenter une bonne résistance à la ségrégation statique jusqu'à la prise du béton, pour des raisons évidentes d'homogénéité de ses propriétés mécaniques.
- De plus, le ressuage d'un BAP ne doit pas être trop fort car ceci peut générer une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées, par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage, ainsi que l'apparition de fissures [07].

En résumé, le principal problème dans la formulation d'un BAP est de concilier des propriétés a priori contradictoires comme la fluidité et la résistance à la ségrégation et au ressuage du béton.

Pour parvenir à ce cahier des charges, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (figure I.2). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. [08]

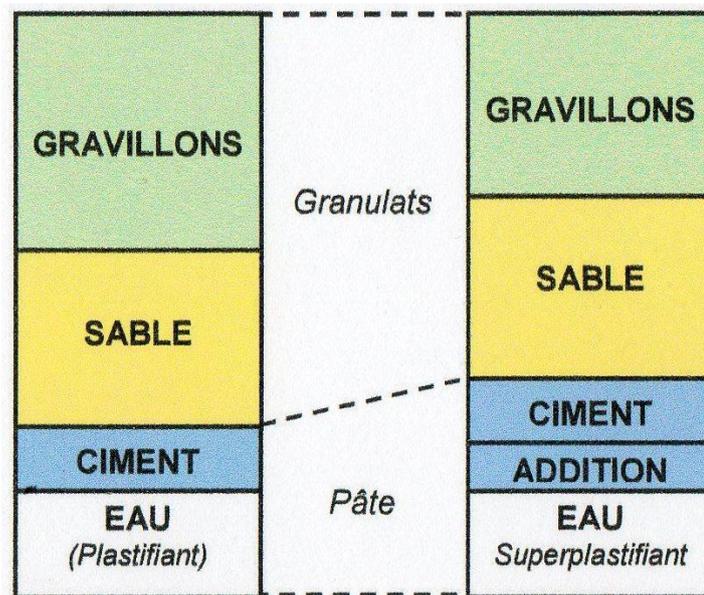


Figure (I.2.) : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [08].

I.2.2. Particularités de la composition des BAP

Malgré les différentes méthodes de formulation existantes, certaines caractéristiques demeurent intrinsèques aux BAP mais peuvent légèrement différer d'une approche à l'autre.

I.2.2.1. Un volume de pâte élevé

Les frottements entre granulats sont source de limitations vis-à-vis de l'étalement et de la capacité au remplissage des bétons. Le rôle de la pâte (ciment + addition + eau efficace + air) est de séparer les gravillons pour limiter les contacts, en particulier dans les milieux ferraillés, et ainsi prévenir la formation de voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement, son volume est donc élevé (330 à 400 l/m³) [08] [03].

I.2.2.2. Une quantité de fines ($\varnothing < 80 \mu\text{m}$) importante

Les compositions de BAP comportent une grande quantité de fines (environ 500 Kg/m³) pour limiter les risques de ressuage (figure I.3), et de ségrégation. Toutefois, le liant est fréquemment un mélange de deux pour éviter des chaleurs d'hydratation trop grandes [03].

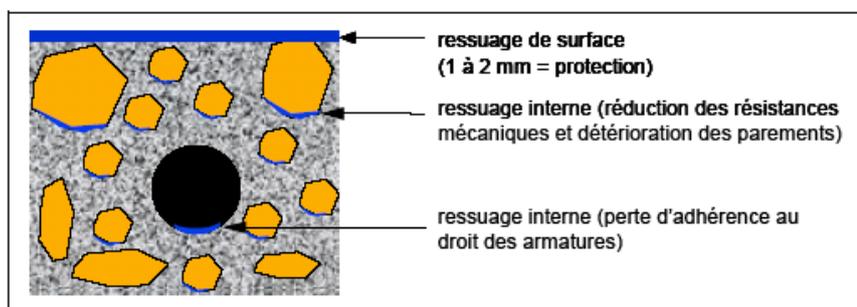


Figure (I.3) : Phénomène de ressuage.

Ce sont les exigences de résistance à la compression, les critères de durabilité (normes XP P 18-305 ou EN 206, etc.) et les paramètres d'ouvrabilité qui déterminent le choix de ces additions (cendre volante, laitier de haut fourneau, filler calcaire, etc. le filler étant l'une des additions fréquemment rencontrées dans les formulations de BAP) et leur proportion respective.

L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et influence sur les caractéristiques mécaniques et autoplçantes du béton.

I.2.2.3. L'emploi d'un superplastifiant :

La fluidité des BAP est obtenue en ajoutant des superplastifiants. Ces fluidifiants sont identiques à ceux employés pour les autres types de béton, à savoir des polymères de type polycarboxylate, polyacrylate/ polyacrylate ester acrylique. Cette adjuvantation ne doit pas être trop élevée (proche de dosage de saturation) de peur d'augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et ressuage.

Les superplastifiants interagissent avec les particules du ciment et des fines en s'absorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation au contact de l'eau.

I.2.2.4. L'utilisation éventuelle d'un agent de viscosité (rétenteur d'eau)

L'ajout d'un superplastifiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, fin de minimiser ce dernier point, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides, des colloïdes naturels ou des suspensions de particules siliceuses, qui interagissent avec l'eau et augmentent la viscosité de celle-ci. Il sont pour but d'empêcher le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse et en conservant une répartition homogène des différents constituants.

Ces produits semblent utiles pour des bétons ayant des rapports eau/liant (E/L) élevés, les fines n'étant alors pas suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. En revanche, leur utilisation ne se justifie pas pour des BAP ayant des rapports E/L faibles (rapport eau/fines < 0.3). Pour les bétons intermédiaires, leur utilisation doit être étudiée au cas par cas.

Les agents de viscosité ont aussi la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations de la teneur en eau à l'égard des problèmes de ressuage et de ségrégation, mais ils peuvent conduire à des entraînements d'air et à une diminution de la fluidité [09]

I.2.2.5. Un faible volume de gravillon

Les BAP peuvent être formulés avec des granulats roulés ou concassés. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, il faut en limiter le volume car les granulats sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée (figure I.4). Toutefois, comme ils conduisent par ailleurs à une augmentation de la compacité du squelette granulaire du béton, ils permettent de réduire la quantité de liant nécessaire à une bonne ouvrabilité et une résistance souhaitée.

Ces deux facteurs conduisent à prendre pour les BAP un rapport gravillon/sable (G/S) de l'ordre de 1, qui peut être corrigé suivant le confinement de la structure étudiée.

Le diamètre maximal des gravillons (D_{max}) dans un BAP est compris classiquement entre 10 et 20, mais comme les risques de blocage pour un confinement donné augmentent avec D_{max} , cela conduit à diminuer le volume de gravillon.

En résumé, les composants de base d'une formulation de BAP sont identiques à ceux d'une formulation de béton vibré mais leurs proportions sont différentes (figure I.4). Afin d'obtenir les propriétés requises à l'état frais d'un BAP, une importante quantité de fines et l'incorporation d'adjuvants (notamment les superplastifiants) sont nécessaires.

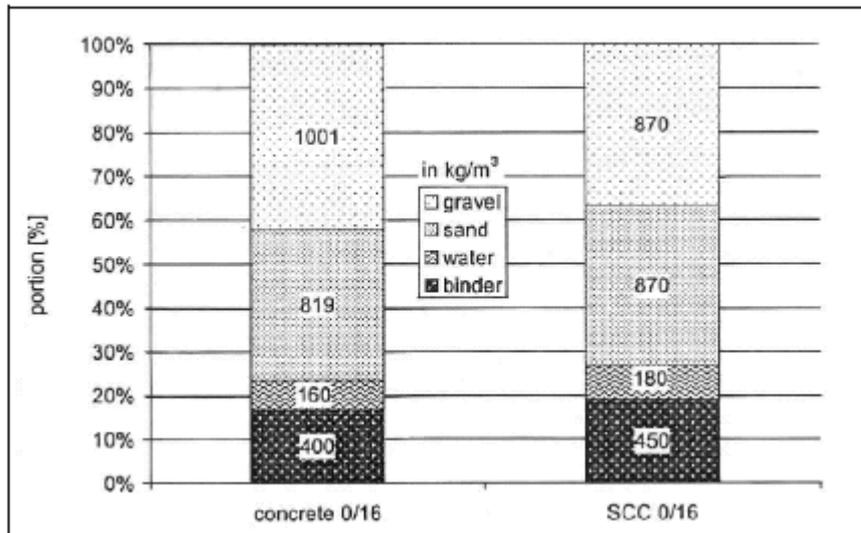


Figure I.4. : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré (d'après [10])

I.3. Caractérisation du béton à l'état frais :

I.3.1. caractéristiques rhéologiques des BAP :

La caractérisation du béton à l'état frais peut se faire grâce à l'étude des propriétés rhéologiques fondamentales telles que le seuil de cisaillement ou la viscosité plastique.

Le comportement rhéologique d'un matériau (figure I.5) est dit viscoplastique si son écoulement ne se produit qu'au-delà d'une certaine valeur des contraintes appliquées, appelée seuil de cisaillement, τ_0 .

Le fluide est considéré comme *binghamien* si la courbe d'écoulement est une droite, qui a pour équation :

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}^b$$

avec τ la contrainte de cisaillement (Pa), τ_0 le seuil de cisaillement (Pa), η_p la viscosité plastique ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) et $\dot{\gamma}$ la vitesse de déformation (s^{-1}).

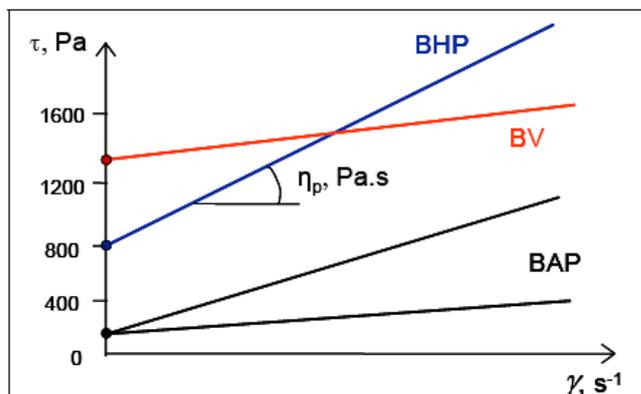


Figure I.5 : Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton [03]

En ce qui concerne les bétons autoplaçants, certains auteurs ont montrés que leur équation de comportement suit le modèle de *Herschel-Bulkley* dont l'équation de comportement est la suivante :

$$\tau = \tau_0 + a\gamma^b$$

Où a et b sont des constantes de comportement.

Toutefois, ce modèle est plus exigeant que celui de Bingham car il nécessite la détermination d'un paramètre supplémentaire.

I.3.2. essais de caractérisations d'un BAP :

Les bétons autoplaçants sont caractérisent à l'état frais par trois essais essentielles (selon les recommandations de AFGC [07]) :

- Essai d'étalement
- Essai de boîte en L
- Essai de stabilité au tamis.

I.3.2.1. L'essai d'étalement (slump flow):

L'essai le plus courant permettant de caractériser la mobilité en milieu confiné est l'essai d'étalement (slump flow) à l'aide du cône d'Abrams (figure I.6). En effet, la valeur de l'étalement, donnée par la mesure du diamètre de la galette de béton, s'avère être plus représentative que celle de l'affaissement.

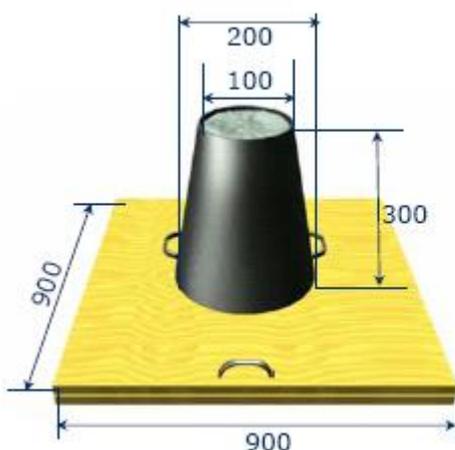


Figure I.6 : essai d'étalement au cône (slump flow)

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm, sans auréole de laitance ou d'amoncellement de gros granulats au centre en fin d'essai [07]. La vitesse d'étalement du

béton est également une indication souvent prise en compte (t_{50} par exemple : temps pour atteindre une galette de diamètre 50 cm).

D'autres essais permettent d'évaluer la mobilité du béton en milieu non confiné comme celui de l'entonnoir en forme de V (V funnel) (figure I.7) [01].

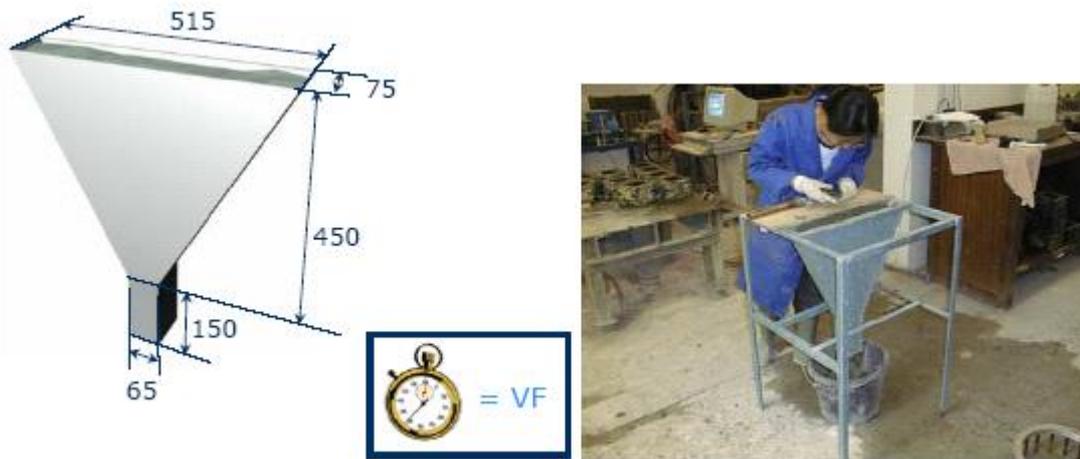


Figure I.7 : Entonnoir en forme V (V funnel)

I.3.2.2. L'essai boîte en L (L-box test) :

Cet essai a pour but de caractériser la mobilité du béton en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique. Cette caractérisation est traduite par la capacité de ce béton à s'écouler dans une zone confinée. Ils peuvent permettre de détecter des problèmes de blocage (par formation de voûtes des granulats) lors de l'écoulement.

L'essai de la boîte en L (figure I.8) fait partie de ces essais. La partie verticale du L est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres $\phi 14$) qui correspond à des ouvrages très ferrailés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre 2 barres) [07].

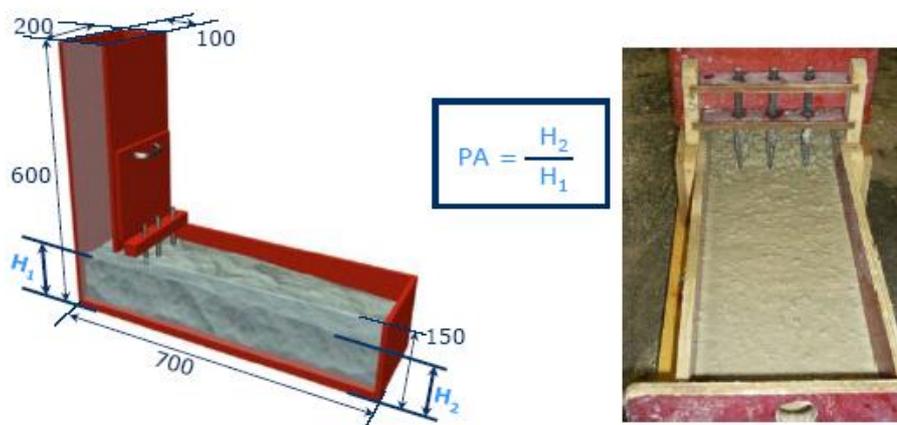


Figure I.8 : Essai de la boîte en L (L-box test) [self]

Pour que le BAP soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en U (rapport des hauteurs H_2/H_1 , voir figure I.8) doit être supérieur à 0,8 [07]. Des temps d'écoulement peuvent aussi être mesurés pour apprécier la viscosité du béton.

Il existe d'autres essais qui permettent de caractériser la ségrégation dynamique et donnent un autre aspect de la capacité de remplissage des BAP. Les essais sont (figure I.9) :

- L'essai de tube en U.
- L'essai de caisson.
- Essai de la passoire.

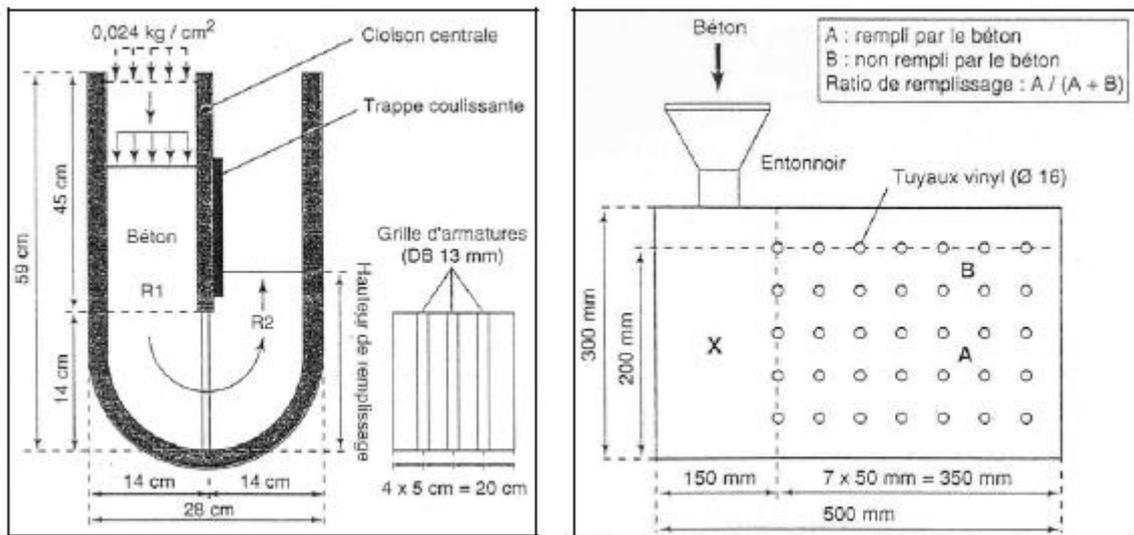


Figure I.9 : essai en U (à gauche), essai de caisson (à droite)

I.3.2.3 l'essai de stabilité

L'aptitude d'un BAP à rester homogène une fois coulé ; est aussi importante que celle durant la mise en place. L'homogénéité du matériau conditionne en effet ses propriétés à l'état durci (résistance mécanique, retrait, durabilité, etc.). Le béton doit donc être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée.

a. Résistance à la ségrégation

L'essai de stabilité de référence n'existe pas encore mais la résistance à la ségrégation statique d'un BAP doit impérativement être caractérisée. Différents tests peuvent être utilisés pour caractériser cette capacité d'un BAP à rester homogène après sa mise en place jusqu'au début de prise.

Un de ces essais est celui dit de « stabilité au tamis », développé par GTM (figure I.10) [07], qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (noté P_{LAITANCE} par la suite) d'un

échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en trois classes :

- $0\% < P_{\text{LAITANCE}} < 15\%$: stabilité satisfaisante,
- $15\% < P_{\text{LAITANCE}} < 30\%$: stabilité critique (essai de ségrégation à réaliser sur site),
- $P_{\text{LAITANCE}} > 30\%$: stabilité très mauvaise (ségrégation systématique, béton inutilisable).

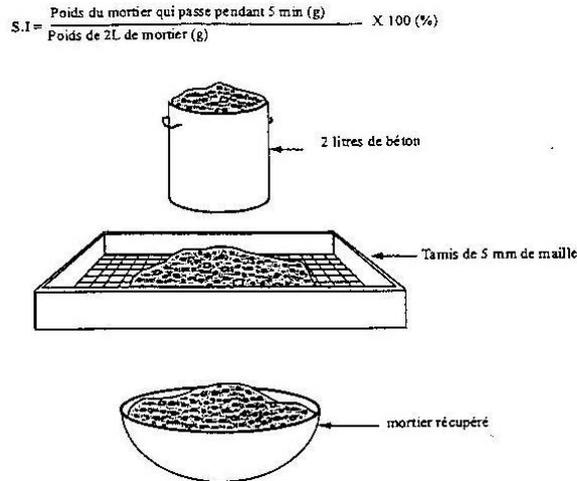


Figure I.10 : Essai de stabilité au tamis

b. Ressuage

La capacité de ressuage peut être mesurée par l'essai à l'aéromètre modifié (développé par le LCPC, figure 1.11) : le volume d'eau libéré par l'échantillon de béton remonte au-dessus du perchloroéthylène (dont la densité est supérieure à celle de l'eau : 1,59) dans une colonne graduée où il est facile de l'estimer [07]. Ce test semble cependant peu pratique à être utilisé étant donné la nocivité du produit employé.

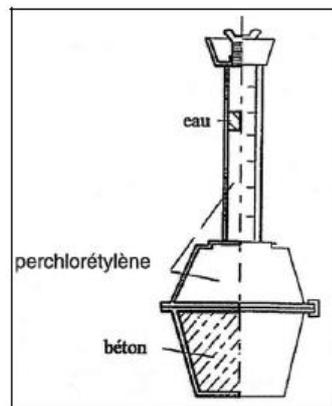


Figure I.11 : Essai de ressuage à l'aéromètre [07]

I.4. Propriétés du béton durci :

Résistance mécanique :

Les bétons autoplaçants présentent une même résistance mécanique que celui d'un béton ordinaire (béton vibré) figure I.12.

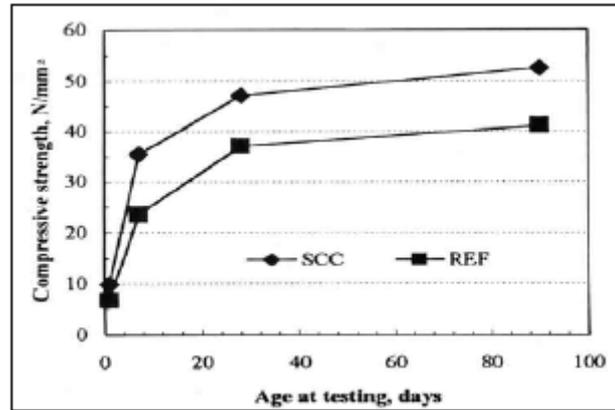


Figure I.12 : évolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant [11].

Les travaux de [12] [13] montrent que la résistance mécanique s'accélère aux jeunes âges en utilisant les fillers. Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite.

De plus, certains auteurs [14] affirment que cette augmentation de résistance est d'autant plus marquée pour les BAP que la finesse du filler (exprimée en valeur Blaine) est grande (figure I.13). Cet effet tend lui aussi à s'annuler au-delà de 28 jours.

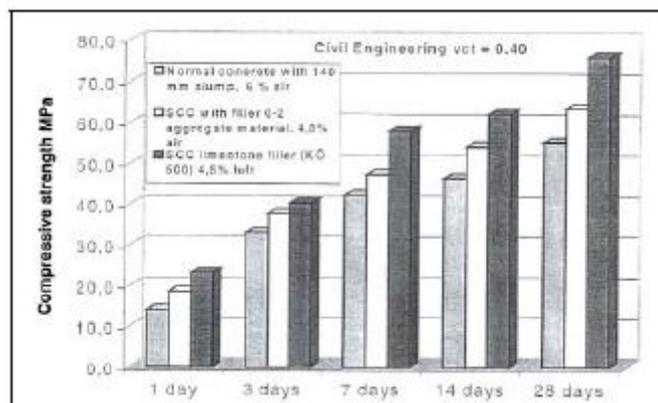


Figure I.13 : résistance mécanique d'un béton vibré et deux BAP (deux formulations différentes) [14]

Le dosage en adjuvant, dans la formulation des BAP, peut aussi influencer sur l'évolution de la résistance mécanique du béton.

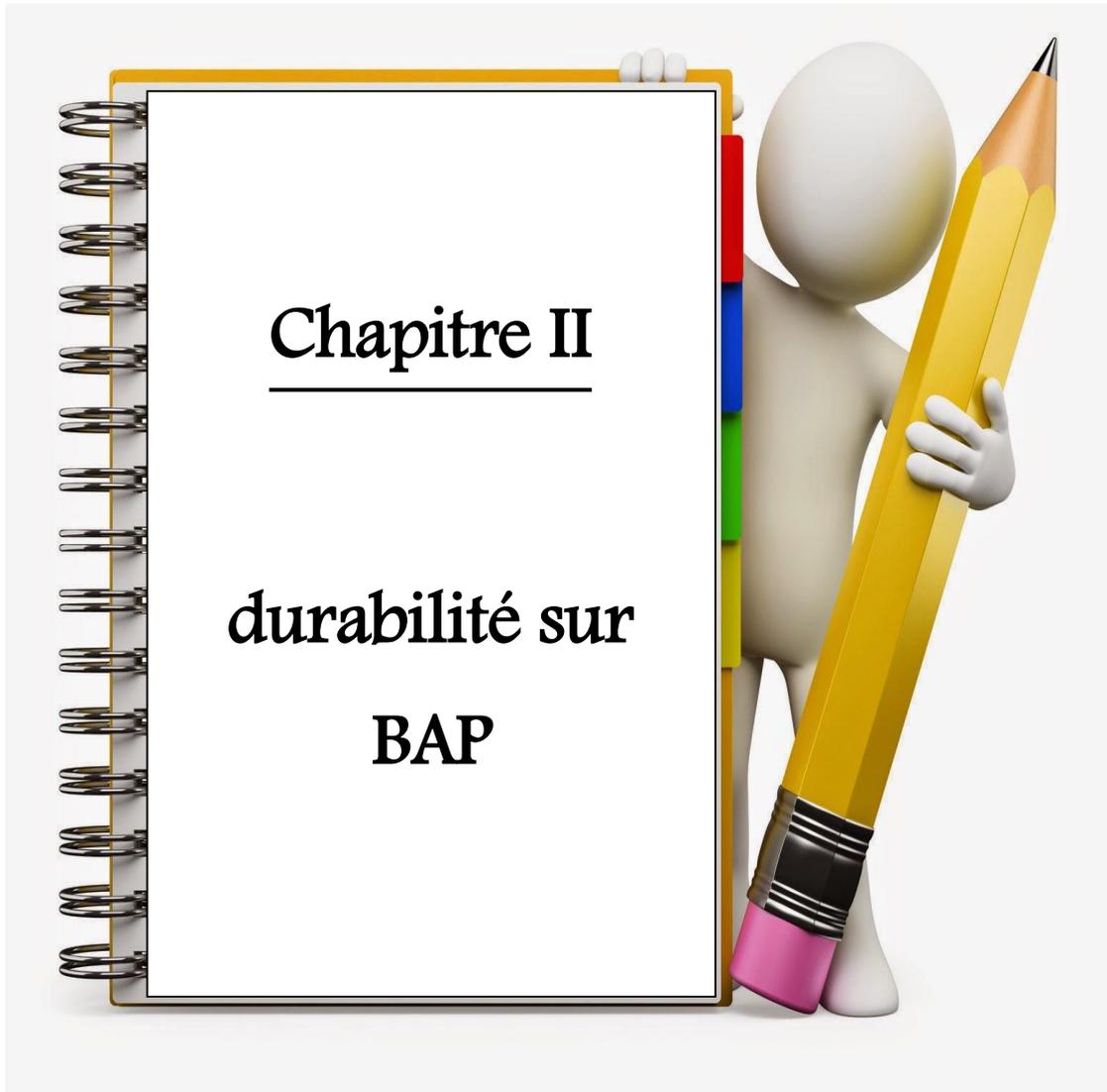
Ainsi, l'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges [15].

I.5. Conclusion:

Les BAP se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques: absence de nuisances sonores en milieu urbain, possibilité de bétonner des zones fortement ferraillées ou à géométrie complexe et l'obtention d'une meilleure qualité du béton (pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps de personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels, d'autre part.

Malgré les aspects intéressants que les BAP proposent, en particulier à l'état frais et leur utilisation en constante augmentation, les BAP ne disposent pas encore une bonne connaissance sur leurs propriétés à l'état durci, son développement est freinée par une formulation complexe et un comportement sous sollicitations extrêmes (comportement différé, comportement au feu, durabilité) mal connu.

Alors que de nombreuses études visant à développer l'utilisation du BAP étaient (et sont encore) menées par différentes entreprises ou laboratoires universitaires, plusieurs questions posées par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre restaient sans réponse.



Chapitre II

**durabilité sur
BAP**

II.1. Introduction

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations. [16]

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

- ❖ L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- ❖ Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- ❖ La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton. [17].

II. 2. Durabilité et économie

La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et le métier de ce dernier consiste à atteindre les objectifs fixés au moindre coût. IL en résulte deux règles qui permettent de concilier au mieux économie et durabilité.

Règle 1 : l'expérience du temps : Toute innovation doit être évaluée par comparaison avec ce qui est connu pour avoir subi avec succès l'épreuve du temps.

Règle 2 : la communication des règles de comparaison : Les règles de comparaison entre L innovant et le traditionnel doivent donner lieu à une délibération intra et interprofessionnelle en vue de déterminer celle qui, à chaque époque, paraissent les mieux adaptées.

De nos jours, l'application de la règle 1 se fait principalement dans les laboratoires et la règle 2 se traduit par l'élaboration de normes, de codes et de règlements. Le fondement d'une approche économique de la durabilité réside donc dans le lien nécessaire entre les résultats expérimentaux et le cadre normatif.

II. 3. Béton durable et béton résistant

La porosité est le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du béton ; ce n'est pas évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique.

La résistance aux efforts de compression est la propriété principale du béton, celle qui permet son utilisation comme matériau de construction. Plus faible est la porosité, plus grande est la résistance. Mais presque toutes les autres propriétés du béton dépendent de ce même paramètre de premier ordre. Toutes choses égales par ailleurs, le béton le plus résistant sera aussi le plus rigide, le plus dur, etc. Serait-ce aussi le plus durable ?

Pour évaluer expérimentalement la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis-à-vis d'un certain nombre de mécanismes susceptibles de le dégrader. On peut traiter la question comme la durabilité du béton face au gel-dégel, à l'alcali-réaction, aux environnements agressifs.

Une façon pratique d'y parvenir est de toujours partir de la résistance aux efforts de compression pris comme critère global et de discuter de la durabilité en deux temps :

- ❖ toutes choses égales par ailleurs, en comparant des bétons qui ne diffèrent que par leur résistance ;

- ❖ puis à résistance constante, en examinant les paramètres spécifiques de la durabilité.

Il y a donc avantage, en vue de l'objectif de durabilité, à choisir la classe de résistance du béton en fonction de l'agressivité du milieu, d'autant plus élevée que le milieu est plus agressif. D'un point de vue pratique, cela signifie que c'est l'exigence de durabilité qui peut, parfois, déterminer la résistance à prendre en compte dans le calcul de l'ouvrage.

Considérations. On peut considérer qu'un niveau de résistance adapté au milieu environnant est un premier critère de qualité qui doit être complété par d'autres conditions. En effet, tous les bétons de même résistance à la compression ne sont pas également durables. A résistance égale, il existe des différences parfois importantes, entre les bétons. Au simple critère de résistance, il faut ajouter d'autres

D'abord, la résistance (et ainsi la porosité) n'est qu'un critère de premier ordre qui doit être complété par d'autres mesures comme, par exemple, la perméabilité ou la diffusion, la distribution des tailles de pores. En effet, un autre facteur majeur est la dimension des pores. A porosité égale, les agents agressifs pénètrent d'autant plus difficilement que les pores sont fins. Or, la finesse des pores dépend du rapport E/C, du ciment (CHF-CEM III/A, CLC-CEM V/A et B, CLK-CEM III/C comparés au CPA-CEM I et CPJ-CEM II/A [43]), des additions

minérales (cendres volantes, laitiers), de L'exposition du béton (dessiccation, carbonatation) et même de la dimension et de la nature des granulats [18].

II.4. Attaque par les ions chlorure

II.4.1. Définition

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dépassivant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est autocatalytique. [19]

II.4.2. Source de l'attaque des ions chlorures :

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- ❖ Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle
- ❖ Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores. [19] On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures.

II.4.3. Les essais de pénétration des ions de chlorures

II.4.3.1. Protocole d'essai

Par rapport à la carbonatation, la diffusion des ions chlorures entraîne des dissolutions locales dans la couche passive des aciers. De faibles concentrations en chlorures peuvent modifier la structure de cette couche.

Le protocole d'essai consiste à déterminer le coefficient de migration des ions chlorures en régime non stationnaire sur échantillons durcis, à l'âge de 28 jours, sous forme de disques de

100 mm de diamètre et 50 mm d'épaisseur, obtenus par sciage à partir d'une éprouvette cylindrique de 100 mm de diamètre et de 220 mm de longueur.

Les éprouvettes ont été conservées dans l'eau pendant 28 jours à une température de (20 ± 2) °C. Ces spécimens subissent une mise sous vide sous une pression de 1 à 5 kPa pendant quelques minutes. Les échantillons sont par la suite conservés dans une solution saturée en Ca(OH)_2 pendant 24 heures, période à l'issue de laquelle, les mesures sont entamées.

Le coefficient de migration des ions chlorures en régime non stationnaire (non- steady- state migration coefficient) D_{nssm} est donné par la relation :

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left[x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)Lx_d}{U - 2}} \right] [10^{-12} m^2/s]$$

Où :

U : est la différence de potentiel appliquée, en Volt ;

T : est la température moyenne de la solution, en °C ;

L : épaisseur du spécimen, en mm ;

x_d : valeur moyenne de la profondeur de pénétration des ions, en mm ;

t : durée du test, en heure.

Cette méthode dite NT BUILD 492 appelée méthode CTH (Chalmers University of Technology, ou essai Tang Luping) (Tang, 2001) [20], est un compromis entre la représentativité de l'essai et la vitesse réelle de la diffusion.

Le mouvement de migration des ions est opéré sous champ électrique extérieur (25 V) pendant 24 heures. La diffusion des ions est effectuée sous gradient de concentration, ou plus précisément avec un potentiel chimique, d'une zone à haute concentration en ions chlorures vers une zone de faible concentration (béton).

Le potentiel électrique est exécuté axialement à travers la surface circulaire du spécimen. Lequel potentiel, force les ions chlorures à migrer à l'intérieur de l'échantillon. Le schéma de principe est illustré par la figure 4.

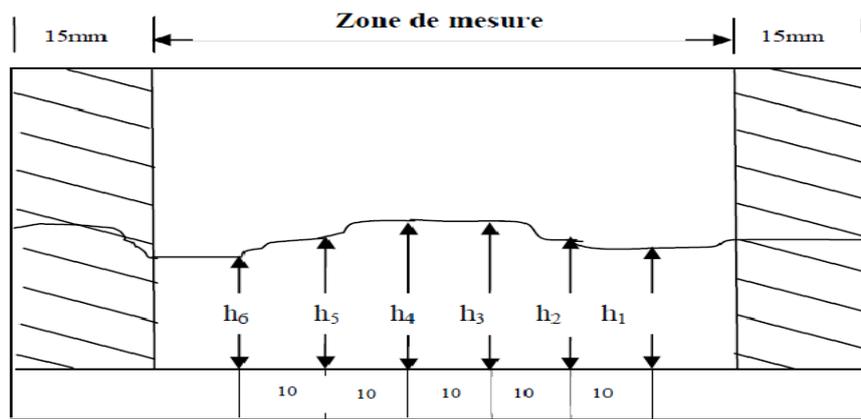


Figure.II.1 : Illustration des profondeurs de pénétration des ions chlorures

A l'issue de l'essai, le spécimen est fendu et on détermine la profondeur de pénétration des ions chlorures au moyen d'un indicateur calorimétrique à base de nitrate d'argent. A partir de cette profondeur, on détermine le coefficient de diffusion apparent.

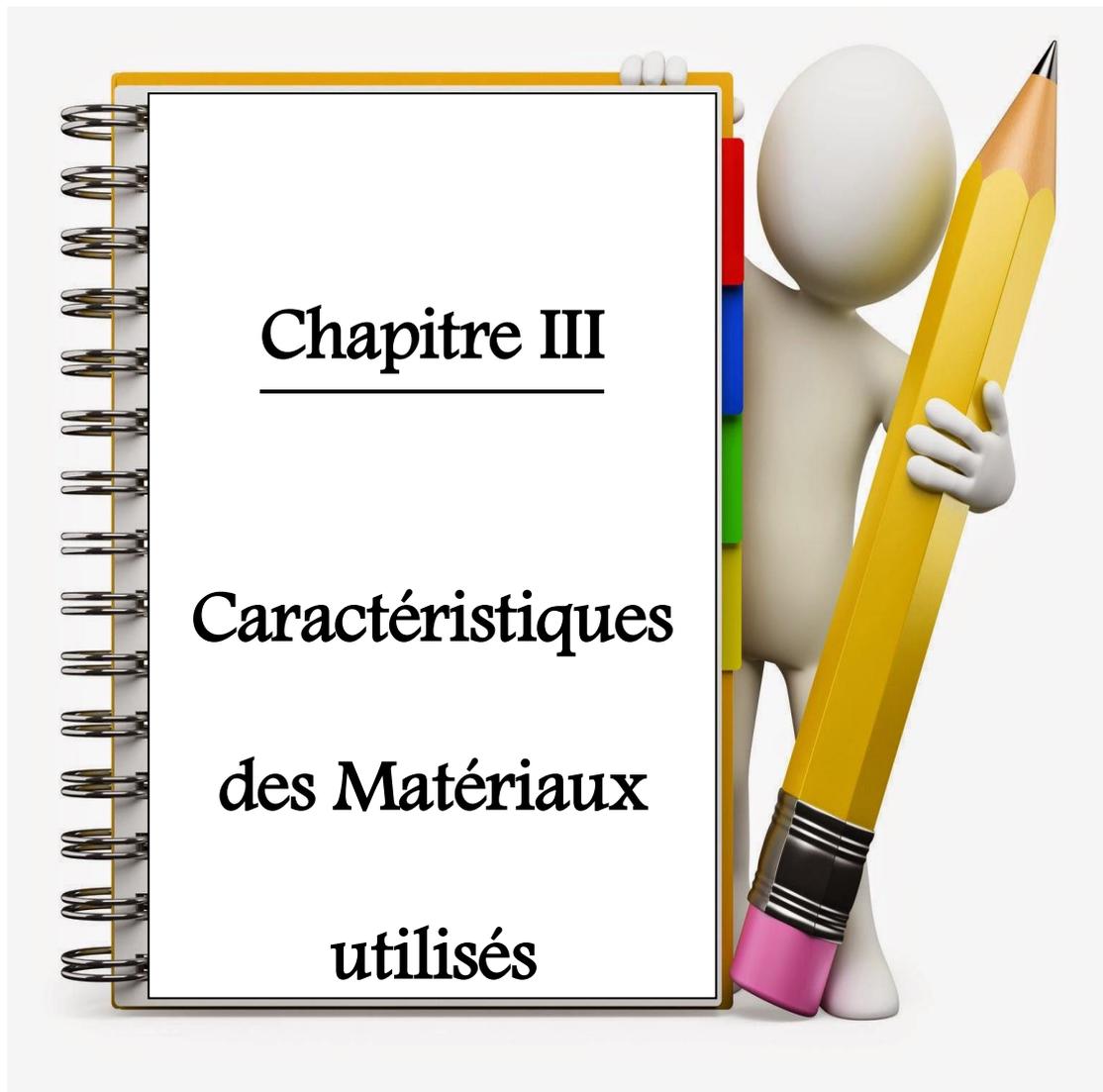
Le profil des profondeurs de pénétration des ions chlorures est illustré par la figure 1 et l'aspect visuel peut être apprécié par la figure 11. La couche dégradée est caractérisée par une couleur grisâtre, quant aux zones affectées, elle varie selon la profondeur.



Figure.II.2 : Eprouvettes affectées par les ions chlorures

II.5.Conclusion

La durabilité d'un béton n'est pas une de ses caractéristiques, mais plutôt sa réponse aux charges en service et aux conditions environnementales. Ainsi, la durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, mais aussi de l'agressivité de son environnement.



III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les différentes caractéristiques des matériaux utilisés:

- Les caractéristiques physiques
- Les caractéristiques chimiques
- Les caractéristiques minéralogiques.

Les matériaux utilisés dans ce projet sont: Le ciment, sable de Oued, sable de carrière, sable de dune, gravier 3/8, gravier 8/15, ajouts de calcaire <80 μm , l'eau et l'adjuvant superplastifiant.

III.2. Caractéristiques des matériaux :

III.2.1. Les sables

Nous avons utilisé trois types de sable de même classe granulaire 0/3 :

- Sable de Oued (SO) provenant de Oued Messad (80 Km au sud Est de Djelfa)
- Sable de Carrière (SC) provenant de carrière de Oued Sdar (30 Km au sud de Djelfa)
- Sable de Dune (SD) provenant de la région El Mosrane (40 Km au Nord de Djelfa)

A. La masse volumique :

A.1. La masse volumique apparente : le volume de récipient $v = 188.55\text{ml}$

Tableau III.1: Essai de la masse volumique apparente des sables

	La masse de récipient[g]	La masse de récipient+ matière [g]	La masse de matière [g]	La masse volumique [g/ml]	La masse volumique [g/ml]
Sable de carrière	45	343.4	298.4	1.58	1.51
	45	328.2	283.2	1.50	
	45	318.8	273.8	1.45	
Sable de dune	45	295.1	250.1	1.32	1.26
	45	273.8	228.8	1.21	
	45	280.6	235.6	1.24	
Sable de oued	45	360.8	315.8	1.67	1.61
	45	341.2	296.2	1.57	
	45	348.4	303.4	1.60	

A.2. La masse volumique absolue :

Tableau III.2: Essai de la masse volumique absolue des sables

	La masse de matière [g]	Le Volume V_1 [ml]	Le volume V_2 [ml]	La masse volumique M_{v_a} [g/ml]	La masse volumique M_{v_a} [g/ml]
sable de carrière	200	1000	1085	2.35	2.35
	200	1000	1085	2.35	
	200	1000	1085	2.35	
Sable de dune	200	1000	1070	2.85	2.85
	200	1000	1070	2.85	
	200	1000	1070	2.85	
Sable oued	200	1000	1080	2.5	2.5
	200	1000	1080	2.5	
	200	1000	1080	2.5	

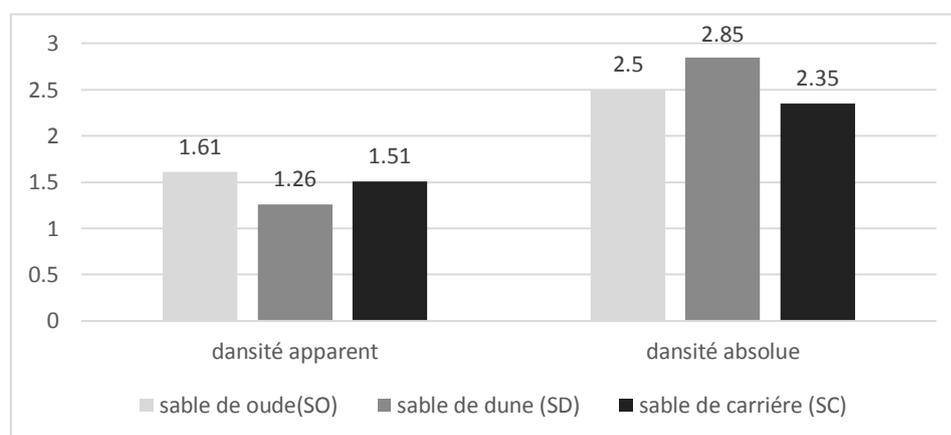


Figure III.1: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de sables

D'après les tableaux III.1 et III.2 et la figure III.1 on peut tirer les remarques suivantes:

1. Toutes les valeurs des masses volumiques sont acceptables
2. En ce qui concerne la masse volumique apparente (la densité apparente):

Les deux sables oued et carrière ayant une densité apparente proche l'un de l'autre (1.59 et 1.50 respectivement). La petite différence (environ de 6%) est attribuée à la forme des grains de chaque sable, la forme des grains du sable de oued est arrondie avec présence de plusieurs tailles ce qui crée un minimum de vide entre eux, d'un côté, de l'autre côté la forme angulaire de sable carrière augmente l'espace entre ces grains et par effet un abaisse de le valeur de densité.

D'autre part, le sable de dune présente une valeur de 1.25 moins que les autres (diminution de 21% par rapport au sable oued et 17% par rapport au sable carrière),

cette diminution est due à la forme des grains de ce dernier, rappelons que tous les grains de sable de dune ayant une forme sphérique uniforme ce qui crée un plus de vide entre les particules et par conséquent en aura une abaisse de la masse volumique apparente.

3. En ce qui concerne la masse volumique absolue (La densité absolue):

La densité absolue de sable de oued et sable de carrière sont identiques (2.50 de chacun) par contre le sable de dune présente une valeur un peut élevée par rapport aux autres (d'ordre de 2.67). la différence est d'ordre 6%, cette différence est due toujours à la forme de chaque types de sable.

B. L'analyse granulométrique :

B.1. Sable de dune : La masse initiale $m=1000g$

Tableau III.3 : résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune

Tamis	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat refus	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamisat
5	758.5	760,2	1,7	0,17%	0,17%	99,83%
2.5	694.2	696,5	2,3	0,23%	0,40%	99,60%
1.25	652.2	825,1	172,9	17,29%	17,69%	82,31%
0.63	626.4	1159,3	532,9	53,29%	70,98%	29,02%
0.315	586.8	823,8	237	23,70%	94,68%	5,32%
0.160	545.4	590,3	44,9	4,49%	99,17%	0,83%
0.08	532.5	538,2	5,7	0,57%	99,74%	0,26%
fond	550.8	553,4	2,6	0,26%	100,00%	0,00%

B.2. Sable de carrière : La masse initiale $m=1000$ g**Tableau III.4 : résultats de l'analyse granulométrique de sable de carrière**

tamis	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat refus	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamisat
5	758.5	1104	345,5	34,55%	34,55%	65,45%
2.5	694.2	864,6	170,4	17,04%	51,59%	48,41%
1.25	652.4	822	169,8	16,98%	68,57%	31,43%
0.63	626.4	926,7	300,3	30,03%	98,60%	1,40%
0.315	586.8	595,6	8,8	0,88%	99,48%	0,52%
0.160	545.4	549	3,6	0,36%	99,84%	0,16%
0.08	532.5	533,7	1,2	0,12%	99,96%	0,04%
fond	550.8	551,2	0,4	0,04%	100,00%	0,00%

B.3. sable de oued : La masse initiale $m=1000$ g**Tableau III.5 : résultats de l'analyse granulométrique de sable de Oued**

tamis	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat refus	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamist
5	758.5	808,8	50,3	5,03%	5,03%	94,97%
2.5	694.2	1404,4	710,2	71,02%	76,05%	23,95%
1.25	652.2	857,3	205,1	20,51%	96,56%	3,44%
0.63	626.4	646,1	19,7	1,97%	98,53%	1,47%
0.315	586.8	592,9	6,1	0,61%	99,14%	0,86%
0.16	545.4	550,4	5	0,50%	99,64%	0,36%
0.08	532.5	534,4	1,9	0,19%	99,83%	0,17%
fond	550.2	552,5	1,7	0,17%	100,00%	0,00%

Les valeurs données sur les différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de sables, voir figure III.2

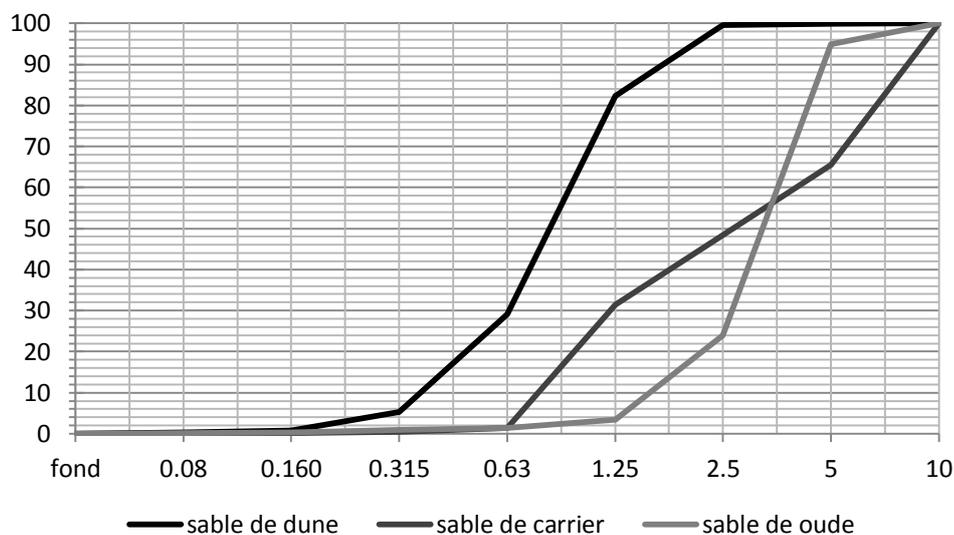


Figure III.2 : Courbes granulométriques de différents types de sables

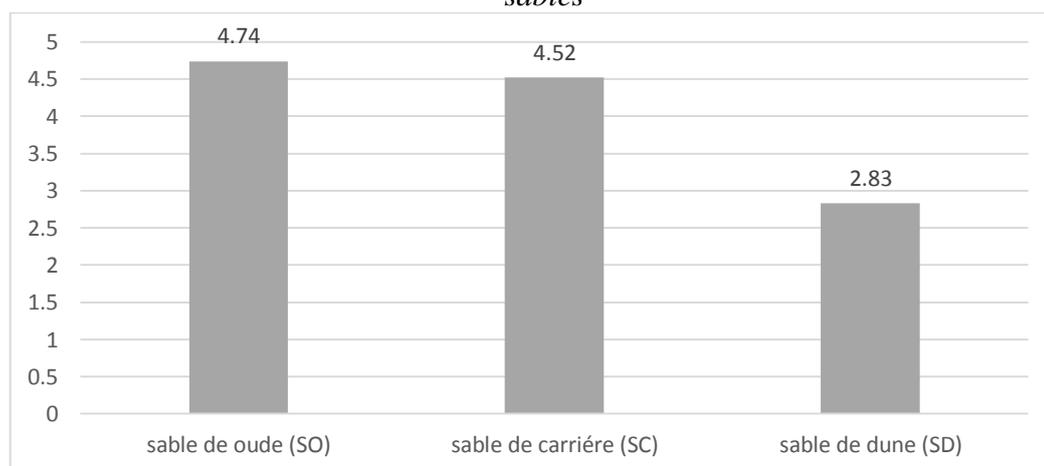


Figure III.3 : Comparaison du module de finesse entre les différents types des sables

Les tableaux III.3, III.4 & III.5 et les figures III.2 & III.3, illustrent la distribution granulaire et la finesse de trois sables.

D'après les tableaux et les figures précédentes on constate les suivantes :

- Les courbes granulométriques de tous les sables sont continues.
- Le sable de dune est un sable un peu grossier de module de finesse égale à 2.85, donc est un sable admissible pour la fabrication de béton

- Par contre le sable de carrière et de oued sont des sables grossiers avec des modules de finesse de 4.5 et 4.75 respectivement, donc l'utilisation de ces deux sables conduit à une correction de finesse et/ou l'utilisation des fines (ci comme notre cas d'étude).

C. Equivalant de sable :

C.1.sable de dune :

Tableau III.6 : résultats de l'essai équivalent de sable du sable de dune

N° de l'essai	h ₁	h ₂	h ₃	ES _v %	ES _p %
1	12.8	9.6	7.9	75	61.71
2	12.7	9	8.8	70.86	69.30
3	12.2	8.8	8.4	72.13	68.90
Moyen				72.66	66.63

C.2.sable de carrière

Tableau III.7 : résultats de l'essai équivalent de sable du sable de carrière

N° de l'essai	h ₁	h ₂	h ₃	ES _v %	ES _p %
1	7.1	5.2	4.9	73.23	69.01
2	7.1	5	4.8	70.42	67.60
3	7.1	4.9	4.9	69.01	69.01
Moyen				70.89	68.54

C.3.sable de oued :

Tableau III.8 : résultats de l'essai équivalent de sable du sable de Oued

N° de l'essai	h ₁	h ₂	h ₃	Esv %	Esp %
1	10.8	8.3	8.1	76.85	75
2	10.8	8	8	74.07	74.07
3	10.8	8.1	7.9	75	73.14
Moyen				75.30	74.07

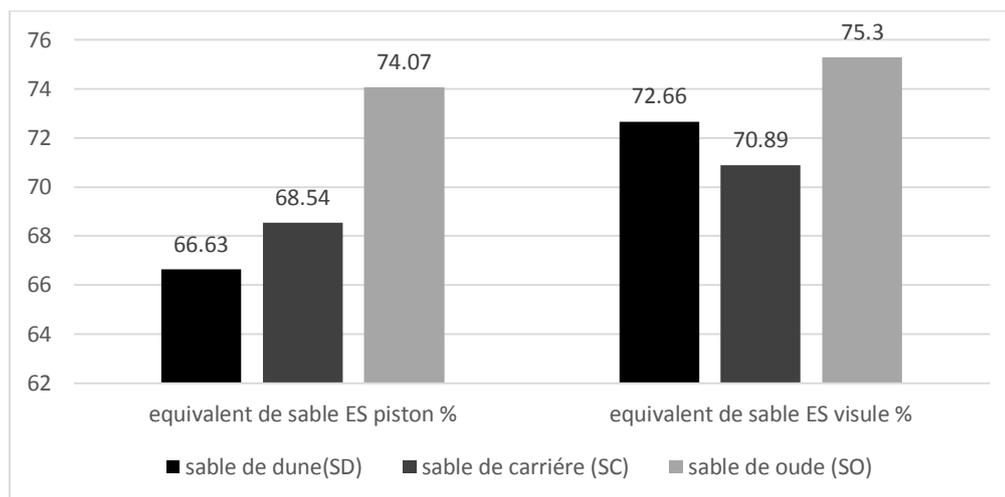


Figure III.4 : Comparaison de l'équivalent de sable entre les différents types des sables

Les tableaux III.6 à III.8 montrent les résultats de l'essai équivalent de sable, et la figure III.4 représente la comparaison entre les différents résultats de cet essai.

Nous voyons à travers les résultats que tous les types de sables avaient une propreté adéquate située dans l'intervalle [65-75%] (ES visuel), les sables sont des sables légèrement argileux admissibles pour des bétons de qualité courante.

Cependant, la mesure de propreté par piston indique que les deux sables de carrière et de dune restent de même qualité si en fait la mesure visuelle, par contre le sable de oued donne une propreté élevée située dans l'intervalle [70-80%] donc c'est un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité.

- **Résumé des résultats**

Le tableau III.9 ci-après regroupe tous les résultats précédents :

Tableau III.9 : résumé des résultats

Caractéristiques physique	Sable de oued (SO)	Sable de carrière (SC)	Sable de dune (SD)
Densité apparente	2.5	2.35	2.85
Densité absolue	1.61	1.51	1.26
Module de finesse	4.74	4.52	2.83
Equivalent de sable (%) piston	74.07	68.54	66.63
Equivalent de sable (%) Visuel	75.30	70.89	72.66

III.2.2. Les graviers :

Nous avons utilisé des graviers concassé de type calcaire, extraite de carrière Oued Sadar (sud de Djelfa), leurs classes granulaires sont 3/8 et 8/15.

A. La masse volumique :

A.1. La masse volumique apparente : le volume de récipient $v = 188.55\text{ml}$

Tableau III.10 : Essai de la masse volumique apparente des graviers

	La masse de récipient [g]	La masse de récipient+ matière [g]	La masse de matière [g]	La masse volumique [g/ml]	La masse volumique [g/ml]
Gravier 3/8	45	309.4	264.4	1.40	1.36
	45	300	255	1.35	
	45	299.2	254.4	1.34	
Gravier 8/15	45	308.4	263.4	1.39	1.39
	45	305	260	1.37	
	45	309.8	264.8	1.40	

A.2. La masse volumique absolue :

Tableau III.11 : Essai de la masse volumique absolue des graviers

	La masse de matière [g]	Le Volume V_1 [ml]	Le volume V_2 [ml]	La masse volumique Mv_a [g/ml]	La masse volumique Mv_a [g/ml]
Gravier 3/8	200	1000	1078	2.56	2.56
	200	1000	1078	2.56	
	200	1000	1078	2.56	
Gravier 8/15	200	1000	1078	2.56	2.55
	200	1000	1078	2.56	
	200	1000	1078	2.56	

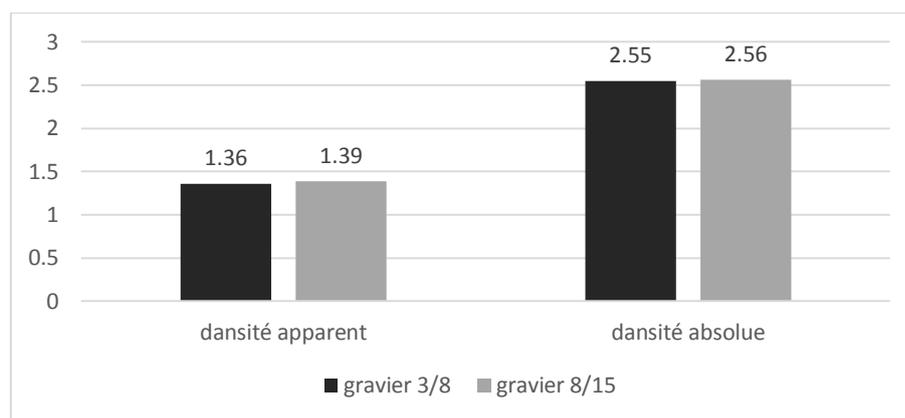


Figure III.5 : Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de graviers

Les tableaux III.10 & III.11 représentent les résultats de mesure de la densité apparente et absolue pour les deux graviers 3/8 et 8/15. Ainsi que la figure III.5 qui illustre la comparaison entre les deux graviers de point de vue densités.

D'après les tableaux et la figure on observe que Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (apparente et absolue) qui répondent aux spécifications de la norme NF EN 12620.

B. L'analyse granulométrique :

B.1.gravier 3 /8 : La masse initiale $m=2000g$

Tableau III.12 : résultats de l'analyse granulométrique de gravier 3/8

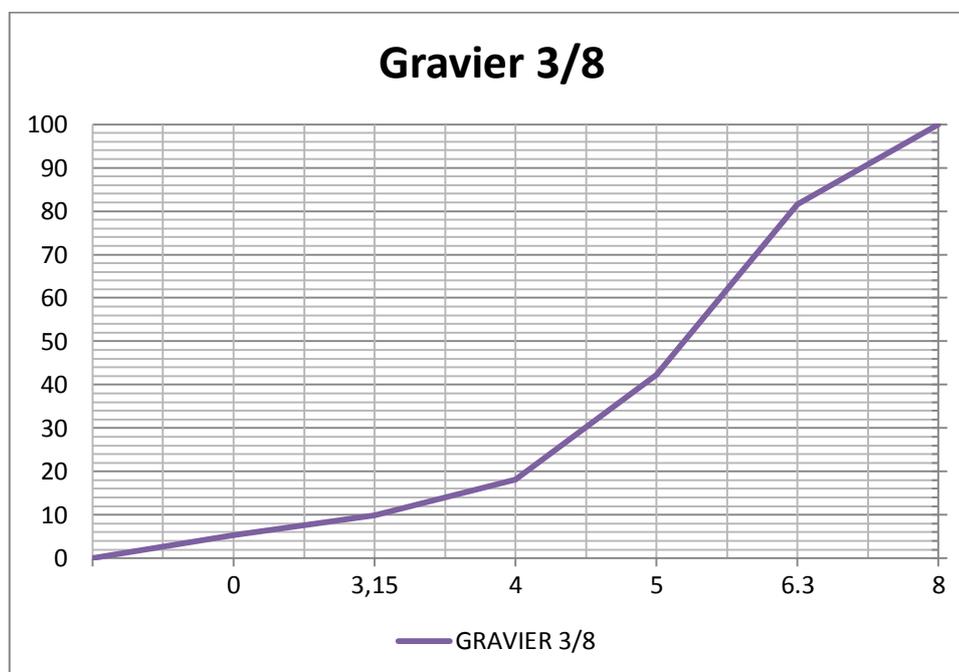
Tamis	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat refus	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamisat
8	777.4	1146,3	368,9	18,45%	18,45%	81,55%
6.3	833.7	1619,4	785,7	39,29%	57,74%	42,26%
5	757.5	1240,5	482,8	24,14%	81,88%	18,12%
4	769.5	934,7	165,2	8,26%	90,14%	9,86%
3.15	738.1	828,7	90,6	4,53%	94,67%	5,33%
fond	550.8	657,5	106,7	5,34%	100,00%	0,00%

B.2. gravier 8/15 : La masse initiale $m=3500g$ **Tableau III.13** : résultats de l'analyse granulométrique de gravier 8/15

tamis	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat refus	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamisat
16	816.2	906,6	90,4	2,58%	2,58%	97,42%
12.5	783.9	1550,7	766,8	21,91%	24,49%	75,51%
10	848.2	2056,9	1208,7	34,53%	59,02%	40,98%
8	777.5	1865	1087,5	31,07%	90,09%	9,91%
fond	550.8	897,4	346,6	9,90%	100,00%	0,00%

Les valeurs données sur les différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de graviers, voir figure III.6.

Les deux classe granulaires telles que 3/8 et 8/15, montre que les graviers sont à granulométrie continue.



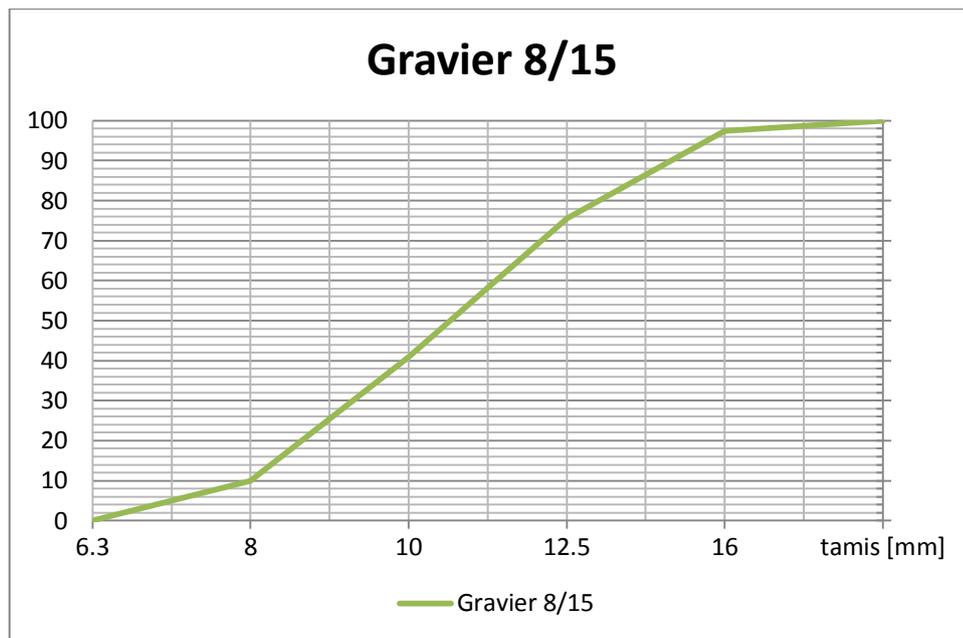


Figure III.6 : Courbes granulométriques de différents types de graviers

C. coefficient d'absorption :

L'essai d'absorption consisté à déterminer le taux d'absorption d'eau des granulats secs durant 24 heures; Le tableau III.14 ci-dessous illustre les résultats obtenus.

Tableau III.14 : résultats de l'essai d'absorption

	Coefficient d'absorption [%]
Gravier 3/8	0.48
Gravier 8/15	0.48

Les résultats sur le tableau montre que les deux classe granulaires ont une faible absorption d'eau. ce qui traduit une faible influence sur la quantité d'eau de gâchage.

D. Essai de dureté des graviers (coefficient los Angeles LA):

Cet essai consiste à quantifier la résistance des gravier aux chocs, le tableau III.15 et la figure III.7 regroupent les résultats trouvé de cet essai.

Tableau 3.15 : résultats de l'essai de dureté Los Angeles

Type de gravier	La masse initiale	La masse de refus	Coefficient LA
Gravier 3/8	M=5000	m=1936.2	LA=32.50
Gravier 8/15	M=5000	m=1512.4	LA=30.25

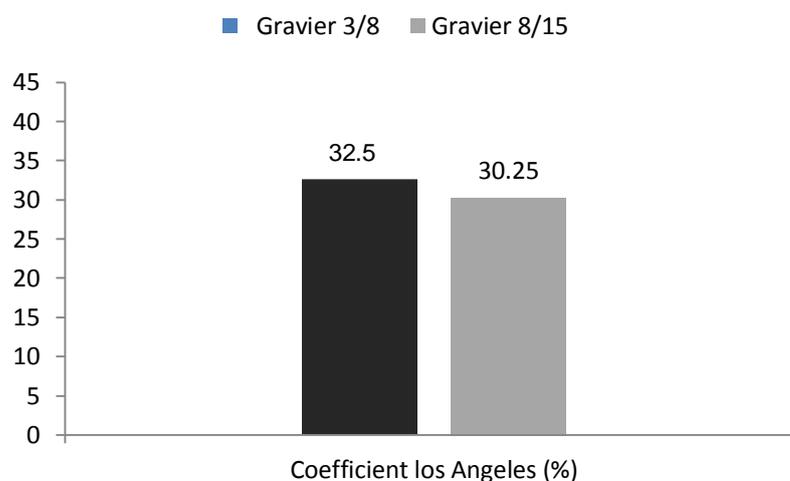


Figure III.7 : comparaison de coefficient de dureté entres le différents types de graviers

D'après les résultats précédents on constate que les deux fractions granulaires présente une bonne résistance aux chocs plus de 30%, ce qui nous permet l'utilisation de ces matériaux dans la fabrication de béton de bon comportement mécanique.

- **Résumé des résultats**

Tableau III.16 : résumé des résultats

Caractéristique physique	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Densité apparente	1.36	1.39
Densité absolue	2.55	2.56
Coefficient d'absorption(%)	0.48	0.48
Coefficient los Angeles (%)	32.5	30.25

III.2.3. Ciment :

Pour cette étude nous avons utilisé un ciment portland CPJ-CEM II 42,5 provenant de la cimenterie LAVARGE à M'sila. La composition chimique de ciment est présentée dans le tableau suivant

Tableau III.17. Composition chimique et minéralogique du ciment (%)

ELEMENT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CL	L.O.I
TENEUR	21.36	4.98	3.63	65.86	2.06	0.93	0.08	0.77	0.02	2.48

Tableau III.18. Propriétés physico – mécaniques du ciment.

Surface spécifique Blaine (cm²/g)	3917
Consistance (%)	27.48
Début de prise (mn)	140
Fin de prise (mn)	203
MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE (Kg/m ³)	3100
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE(Kg/m ³)	1130

III.2.4. Superplastifiant

Nous avons utilisé superplastifiant liquide sous le nom MEDAFLOW 30 .Sa densité absolue est 1.07 (voir la fiche technique de produit)

Les caractéristiques de ce superplastifiant sont donné par le tableau III-18

Tableau.III.19: Caractéristiques du superplastifiant

Masse volumique	1100 kg/m ³
pH	6- 6.5
Teneur en chlore	< 0,1 g/l
Pourcentage d'extrait sec en masse	30%
Plage du dosage Recommandée	0.5 à 2.0%

III.2.5. EAU

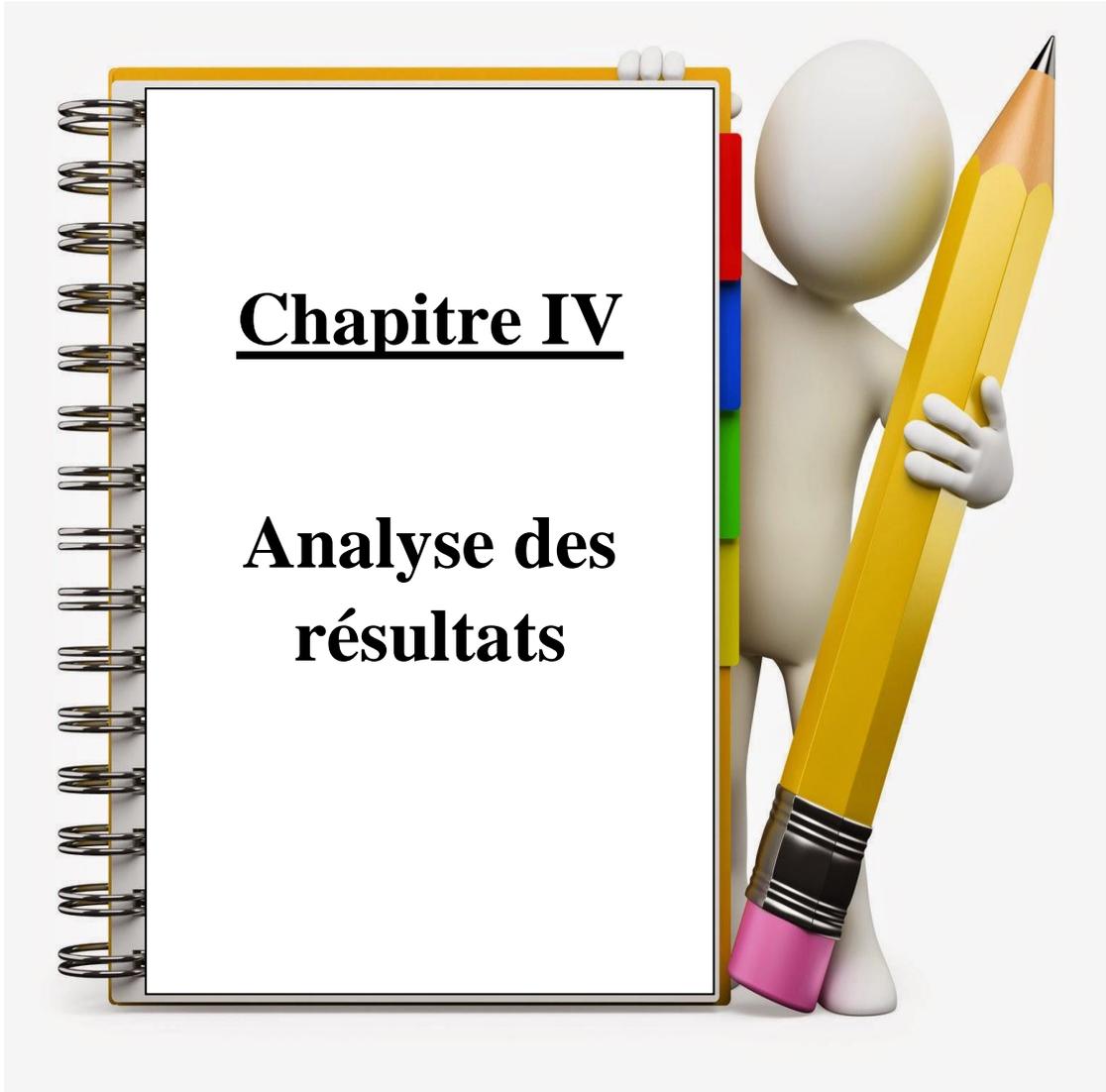
En utilise l'eau de robinet de laboratoire de matériaux de génie civil à l'université de Djelfa.

III.3. Conclusion :

A la fin de ce chapitre on peut dire que les sables qu'on va utiliser ont présenté des caractéristiques proches ; sauf la finesse qui est le paramètre le plus intéressant dans la confection de béton autoplaçant, nous nous attendons que cette différence de finesse va influencer sur le comportement rhéologique des bétons autoplaçant et par conséquent sur le comportement à l'état durci.

Chapitre IV

Analyse des résultats



IV.1. Introduction :

L'attaque par les chlorures se distingue par le fait qu'elle entraîne la corrosion des armatures et que seulement ensuite, comme conséquence de ce phénomène, le béton environnant est dégradé. La corrosion des armatures est l'une des causes principales de la détérioration des structures en béton armé partout à travers le monde. Le sujet de la corrosion de l'acier noyé dans le béton dépasse toutefois le cadre du présent mémoire et on limitera à l'étude à l'examen des propriétés du béton influençant la corrosion, en mettant l'accent sur le transfert des chlorures.

A cet effet, ce chapitre traite la résistance à la pénétration d'ions chlorures dans bétons autoplaçant à base de divers types de sable (sable de oued SO, sable de carrière SC et sable de dune SD) qui sont exposés à deux milieux de durcissement différents dans l'eau et à l'air libre.

Pour cela nous avons mesuré la profondeur de la pénétration d'ions chlorure à 7, 28 et 56 jours sur des éprouvettes cubiques 10×10×10 cm. Les éprouvettes sont immergées partiellement dans une solution NaCl concentré à 3%. La section suivante explique le détaille expérimentale.

IV.2. Programme expérimental :

IV.2.1. Première étape : préparation des éprouvettes

Après le passage du contrôle des BAP vis-à-vis l'étalement, boîte L et la stabilité au tamis six (06) éprouvettes cubiques 10×10×10 cm ont été préparées pour chaque composition.

Afin d'étudier l'effet de régimes de durcissement sur la durabilité des BAP les éprouvettes ont été décoffrées après 24H de confection, en suite trois (03) éprouvettes parmi les six sont immergé dans l'eau durant 28 jours et les trois restes sont exposés à l'air libre avant de passer à l'essai de pénétration.

IV.2.2. Deuxième étape : Essai d'immersion partielle (Partial Immersion Test) (PIT)

Dans cet essai, les faces latérales des échantillons sont recouvertes par de la résine époxy pour rendre les facettes imperméable ainsi la pénétration des ions chlorure ne se fait que dans un seul sens selon la face (de dessous).

Ensuite les échantillons sont introduits partiellement dans une solution de NaCl concentré à 3%, Figure IV.1.

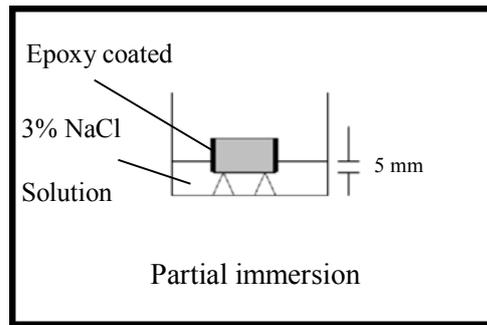


Figure IV.1 : Immersion totale des échantillons dans une solution de 3% NaCl

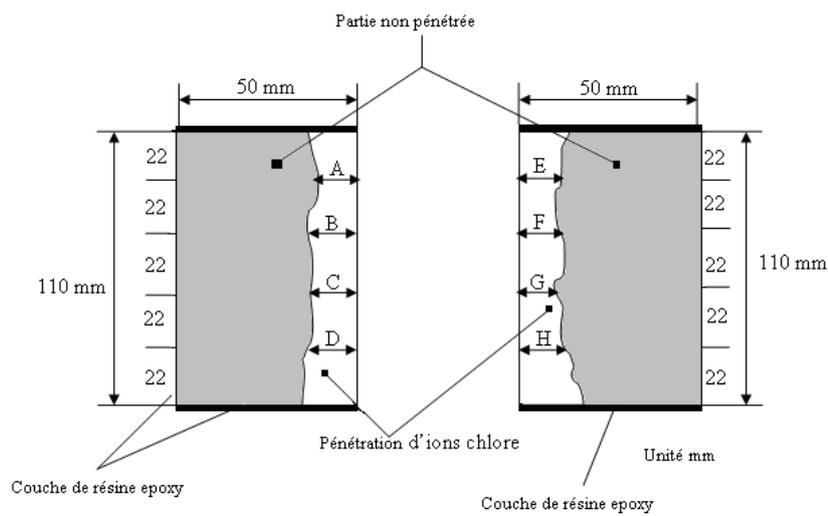


Figure IV.2: Coupes schématiques de l'échantillon pour mesurer de la profondeur de pénétration d'ion chlore.

La profondeur de pénétration (X) est la moyenne de toutes les lectures (A, B, C, D, E, F, G, H).

La profondeur de pénétration d'ion chlorure

IV.3. Résultats et discussion

IV.3.1. Groupe 1 : les échantillons placés dans un milieu humide (dans l'eau) pendant une période de 28 jours avant l'immersion

Tableau IV.1 : Profondeur de la pénétration des ions chlorure du groupe 1

compositions		100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
profondeur de la pénétration [mm]	7 Jours	5,6	5,3	5,9	5,5	5,2	3,8	4,3	4,7	3,6	4,1	5,8	3,5
	28 Jours	9,6	9,5	9,8	9,9	9,1	8,9	8,2	8,7	8,3	9,3	9,7	8,4
	56 jours	13,9	13,7	14	14,2	13,1	12,9	12,2	12,7	12,5	13,5	14,4	12

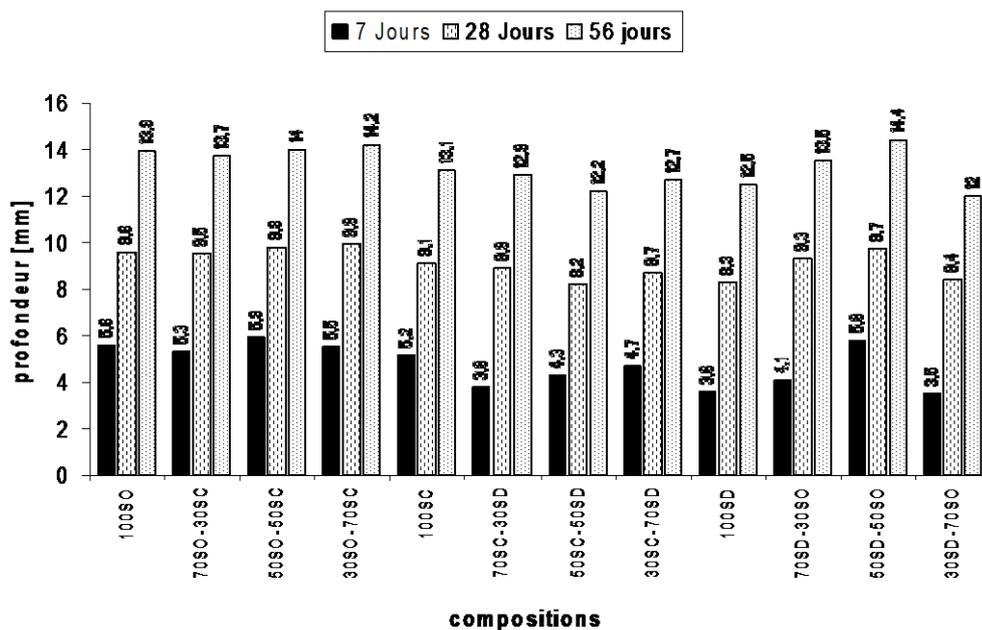


Figure IV.3 : variation de la profondeur de pénétration des ions Cl- en fonction de l'âge et en fonction de sable

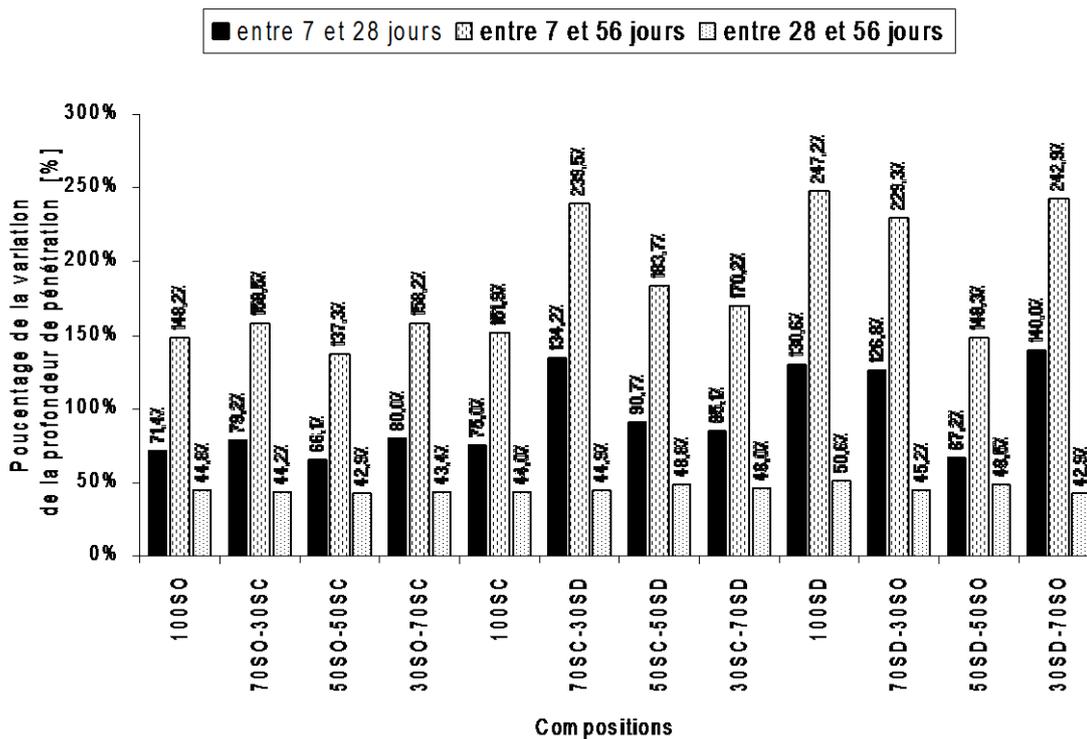


Figure IV.4 : pourcentage de la variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ entre 7, 28 et 56 jours en fonction de sable.

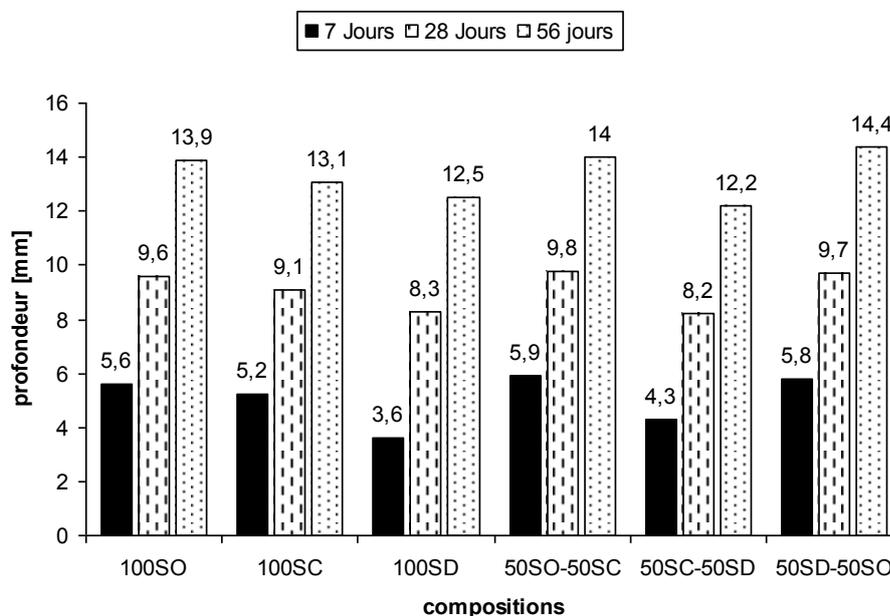


Figure IV.5 : Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables.

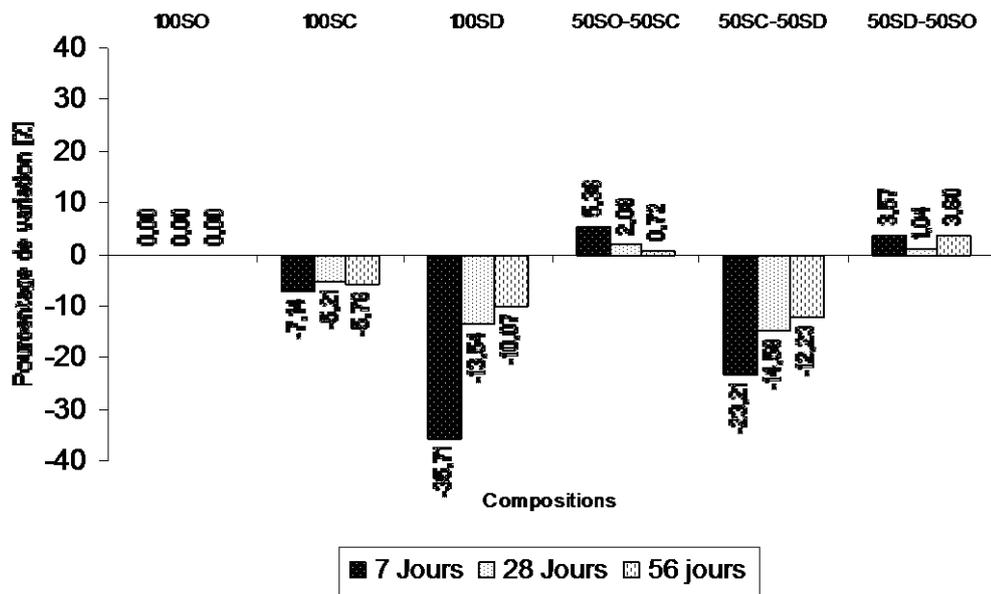


Figure IV.6 : pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables.

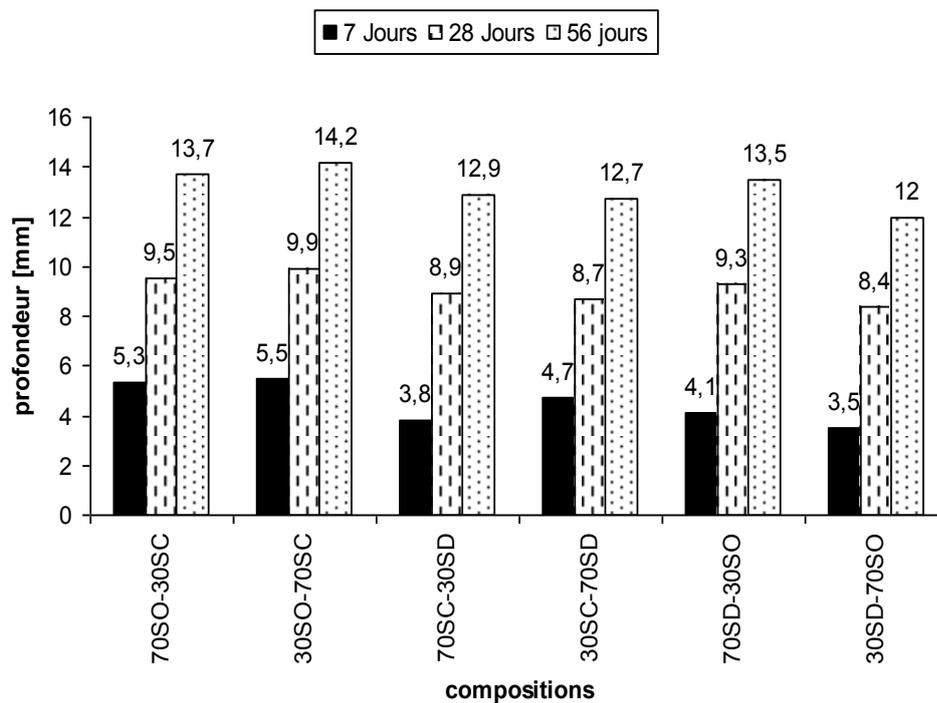


Figure IV.7: Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables.

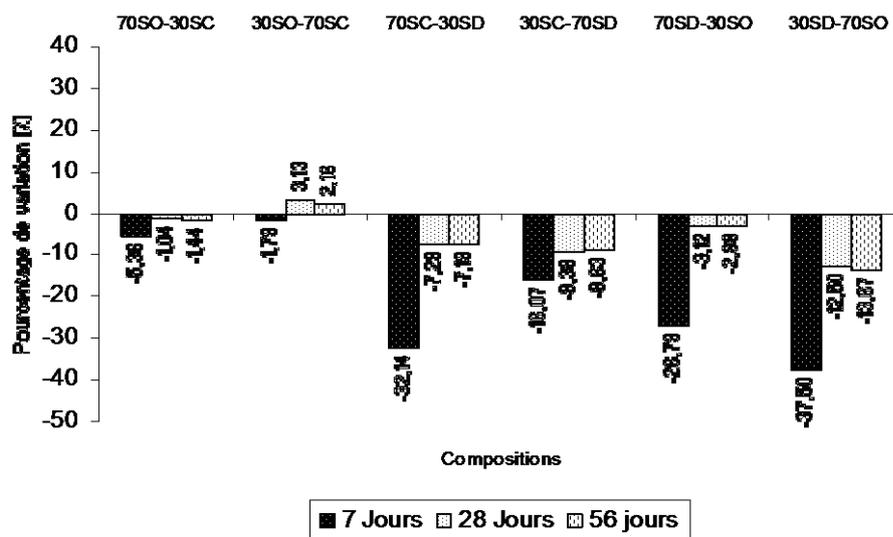


Figure IV.8: pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl^- en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables.

Le tableau IV.1 et les figures IV.1 à IV.8, représentent la variation de la profondeur de pénétration des BAP du 1^{er} groupe en fonction du temps et en fonction de sable.

L'aperçu général sur les résultats nous amène à dire que la profondeur de pénétration des ions chlorure augmente avec l'âge, ceci est dû à deux choses : premièrement à la période d'immersion du béton dans la solution et par conséquent la remonté capillaire de solution dans le béton ; deuxièmes dû au développement de la porosité du béton avec l'âge de béton. Nous voyons sur la figure IV.2 que l'augmentation est plus élevée entre 7 et 56 jours (varie entre 137% et 247%), aussi la comparaison entre le taux de l'augmentation de profondeur dans les premiers jours (entre 7 et 28 jours) et de l'autre (entre 28 et 56 jours) nous a permis de dire que le taux d'augmentation reste stable (entre 42 et 50%) après 28 jours par contre la variation entre 7 et 28 jours est différente d'une composition à l'autre.

Les figures IV.5 et IV.6 représentent la variation de la profondeur de pénétration des compositions contenant la totalité de sable et la substitution par moitié 50-50, d'après la figure on constate que la substitution totale de sable SO par sable SC influe sensiblement sur la profondeur de pénétration par contre on aura une diminution importante de pénétration à 7 jours lorsque on remplace le SO par sable de dune SD (diminution d'ordre 36%).

Le remplacement partiel de 50% de sable SO par sable concassé SC ou sable de dune SD augmente toujours la profondeur de la pénétration des ions entre 0.72% à 5.35% en comparaison au témoin 100SO et en comparaison à celle 100SC ou 100SD, l'augmentation est

d'ordre 7% à 61% (61% pour 50SO-50SD en comparaison à 100SD). Toutes ces variations sont attribuées à la forme de sable SC qui favorise le vide entre grains de granulats et à la forme homométrique de sable de dune SD qui influe négativement sur la compacité de béton

Bien que le mélange de deux sable SC et SD par partie équivalente améliore la résistance à la pénétration d'une manière remarquable de 6.7 à 23% en comparaison à celles 100SO et 100SC. En comparaison à celle 100SD à 7 jours la résistance est diminué significativement d'ordre 19%, mais à 28 et 56 jours en remarque une légère amélioration (1.2% et 2.4% respectivement).

Le remplacement partiel par 30 ou 70% de sable SO par sable SC, influe légèrement sur la résistance à la pénétration des ions (figures IV.7 et IV.8) ; par contre le mélange de deux sables SC et SD par 30 ou 70% diminue la profondeur de pénétration de 7 à 32% selon l'âge.

Néanmoins la substitution de 70% du SO par SD améliore la résistance d'une manière significative à 7 jours (environ 27%) et légèrement à 28 et 56 jours, mais lorsqu'en remplace 30% du sable SO par sable de dune on aura une diminution très importante environ 37% à 7 jours et de 12 à 14% dans 28 et 56 jours.

IV.3.2. Groupe 2 : Les échantillons conservés dans un milieu sec (à l'air libre) pendant une période de 28 jours avant l'immersion

Tableau IV.2 : Profondeur de la pénétration des ions chlorure du groupe 2

Compositions		100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
profondeur de la pénétration [mm]	7 Jours	5,7	5,4	5,9	5,6	5,3	4,3	4,7	4,9	4,1	4,5	6	3,8
	28 Jours	9,7	9,6	9,9	10	9,2	9	8,3	8,8	8,4	9,4	9,8	8,5
	56 jours	14,1	14	14,2	14,5	13,5	13,1	12,3	12,8	12,6	13,9	14,6	12,2

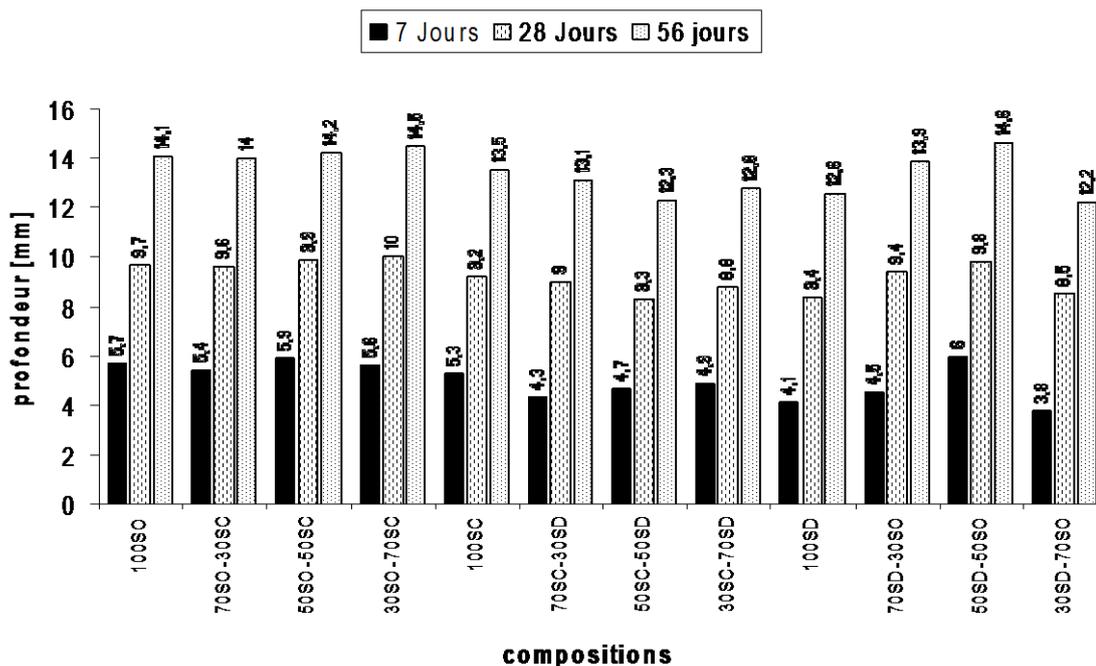


Figure IV.9 : variation de la profondeur de pénétration des ions Cl- en fonction de l'âge et en fonction de sable

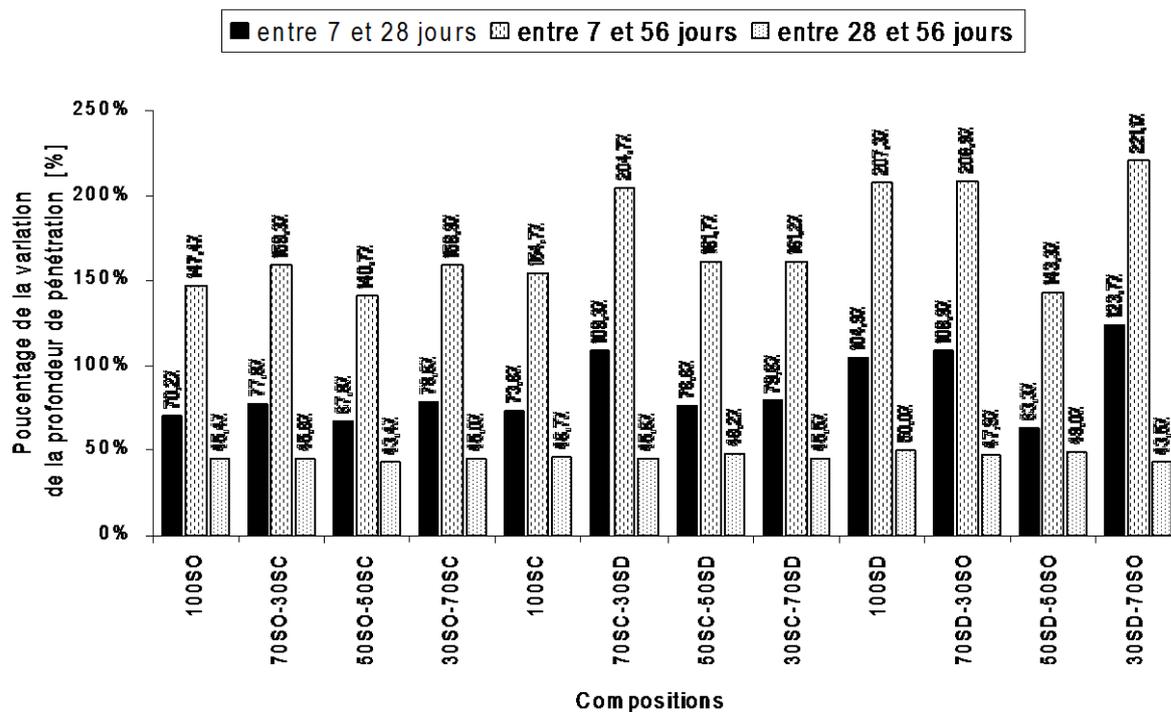


Figure IV.10 : pourcentage de la variation de la profondeur de pénétration des ions Cl- entre 7, 28 et 56 jours en fonction de sable.

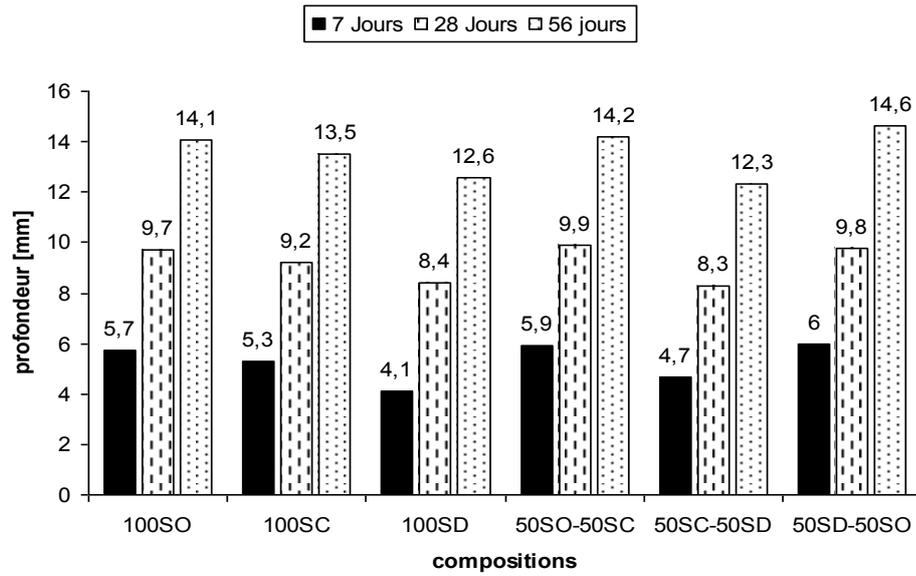


Figure IV.11 : Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables.

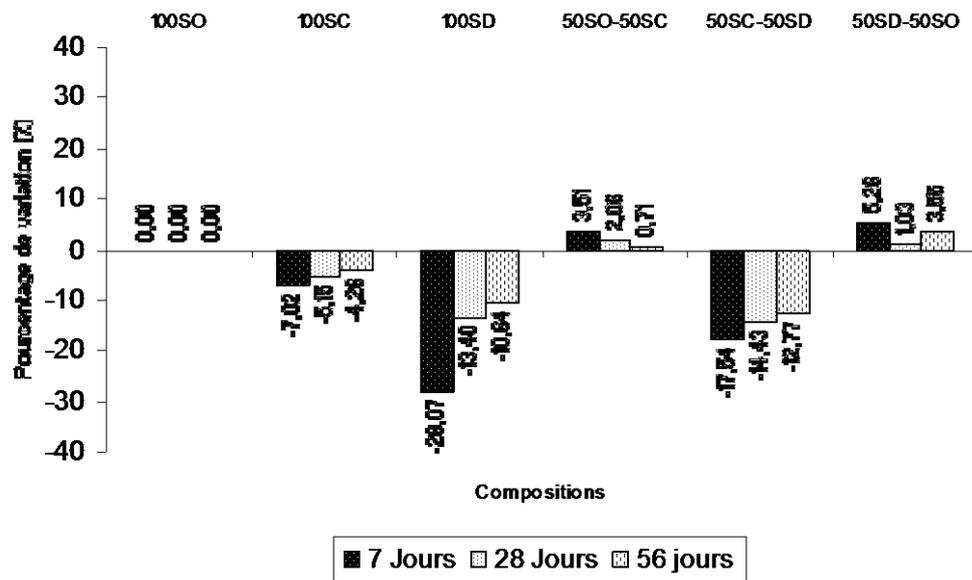


Figure IV.12 : pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 100% et 50% de sables.

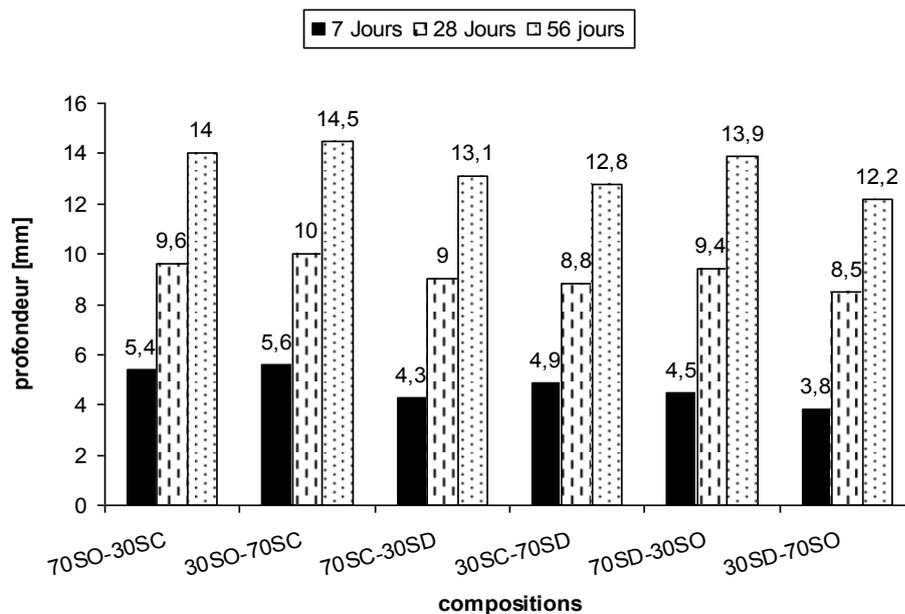


Figure IV.13: Profondeur de pénétration des ions Cl⁻ à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables.

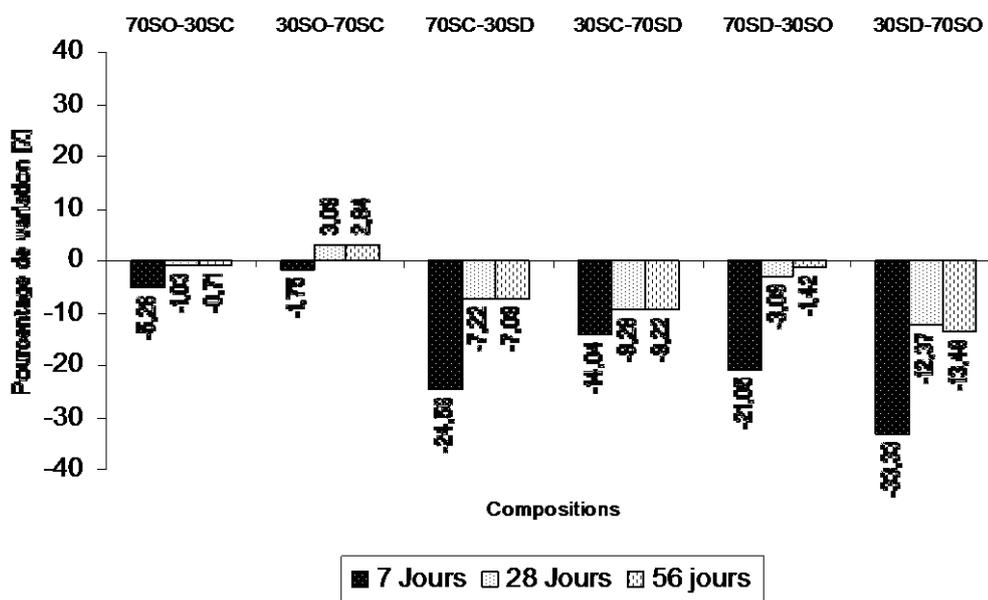


Figure IV.14: pourcentages de variation de la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ en comparaison au témoin à 7, 28 et 56 jours des compositions 30% et 70% de sables.

Le tableau IV.2 et les figures IV.9 à IV.14, représentent la variation de la profondeur de pénétration des BAP du 2^{er} groupe (éprouvettes exposés à l'air libre avant test de pénétration) en fonction du temps et en fonction de sable.

La lecture générale des résultats nous amène à dire que la profondeur de pénétration des ions chlorure augmente avec l'âge. Nous voyons sur la figure IV.10 que l'augmentation est plus élevée entre 7 et 56 jours (varie entre 140% et 221%), aussi la comparaison entre le taux de l'augmentation de profondeur dans les premiers jours (entre 7 et 28 jours) et de l'autre (entre 28 et 56 jours) nous a permis de dire que le taux d'augmentation reste stable (entre 43 et 50%) après 28 jours par contre la variation entre 7 et 28 jours est différente d'une composition à l'autre.

Les figures IV.11 et IV.12 représentent la variation de la profondeur de pénétration des compositions contenant la totalité de sable et la substitution par moitié 50-50, d'après la figure on constate que la substitution totale de sable SO par sable SC influe sensiblement sur la profondeur de pénétration par contre on aura une diminution importante de pénétration à 7 jours lorsque on remplace le SO par sable de dune SD (diminution d'ordre 28%).

Le remplacement partiel de 50% de sable SO par sable concassé SC ou sable de dune SD augmente toujours la profondeur de la pénétration des ions entre 0.71% à 5.26% en comparaison au témoin. Toutes ces variations sont attribuées à la forme de sable SC qui favorise le vide entre grains de granulats et à la forme homométrique de sable de dune SD qui influe négativement sur la compacité de béton.

Bien que le mélange de deux sables SC et SD par partie équivalente améliore la résistance à la pénétration d'une manière remarquable de 9 à 17% en comparaison à celles 100SO et 100SC quel que soit l'âge. En comparaison à celle 100SD à 7 jours la résistance est diminuée significativement d'ordre 15%, mais à 28 et 56 jours on remarque une légère amélioration (1.2% et 2.4% respectivement).

Le remplacement partiel par 30 ou 70% de sable SO par sable SC, influe légèrement sur la résistance à la pénétration des ions (figures IV.13 et IV.14) ; par contre le mélange de deux sables SC et SD par 30 ou 70% diminue la profondeur de pénétration de 7 à 24% selon l'âge.

Néanmoins la substitution de 70% du SO par SD améliore la résistance d'une manière significative à 7 jours (environ 21%) et légèrement à 28 et 56 jours, mais lorsqu'on remplace 30% du sable SO par Sable de dune on aura une diminution très importante (33% à 7 jours, 12 à 13.5% à 28 et 56 jours).

En remarque d'après les résultats précédentes que l'introduction de sable de dune SD dans la matrice cimentaire améliore d'une manière à une autre la résistance à la pénétration des ions de chlorure ceci est due à la forme géométrique de ce type de sable qui améliore la compacité du béton du fait qu'il remplit les pores inter granulaire à cause de sa finesse et de sa forme sphérique.

IV.3.3. Comparaison entre les deux milieux de conservation :

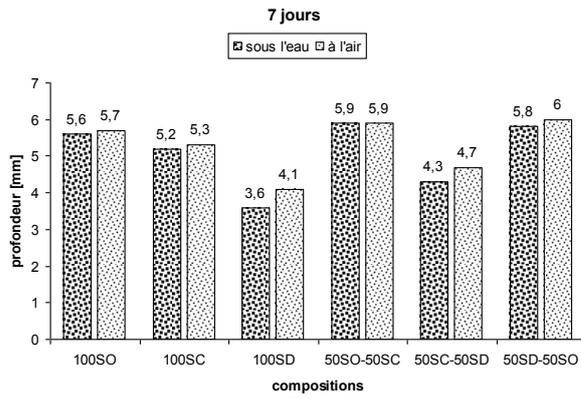
La figure IV.15 représente la comparaison entre le milieu de cure humide ou sec de la profondeur de pénétration des ions chlorure en fonction de l'âge et en fonction de type de sable.

D'après les figures on constate que le milieu sec joue un rôle négatif sur la profondeur de pénétration des ions de chlorure, c'est-à-dire les éprouvettes placées dans l'air libre présentent une profondeur de pénétration un peu plus grande que celles conservées dans l'eau, c'est tout à fait clair car les bétons conservés dans l'eau sont moins poreux en comparaison à ceux conservés dans l'air libre.

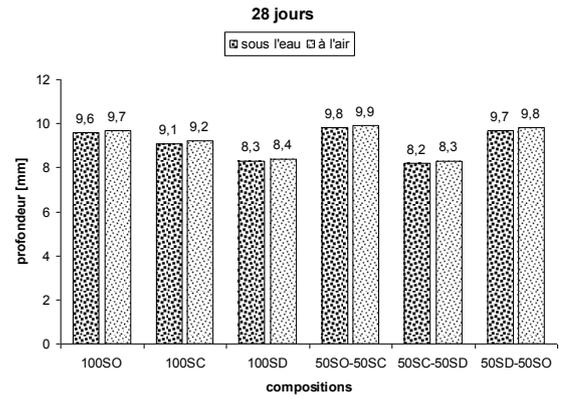
Généralement il n'y a pas de changement significatif de comportement des BAP vis-à-vis la pénétration des ions Cl⁻ concernant le milieu de conservation (soit humide ou sec)

La deuxième des choses, les bétons contenant le sable de dune SD présentent toujours une profondeur de pénétration moins que celles contenant le sable d'oued SO ou sable concassé SC quel que soit l'âge du béton.

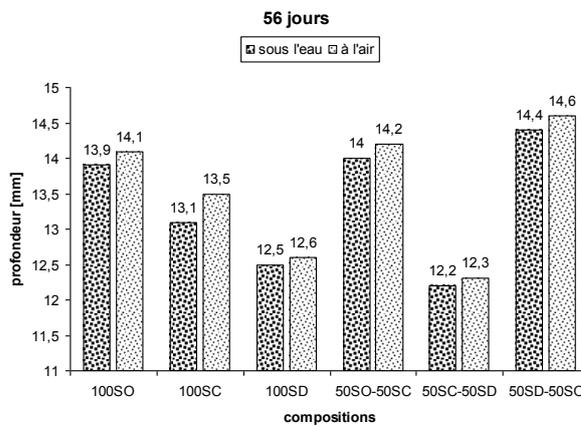
La remarque importante qu'on peut tirer c'est que la substitution de 30% de sable d'oued SO par celle de dune SD présente la meilleure résistance vis-à-vis la pénétration des ions chlorure.



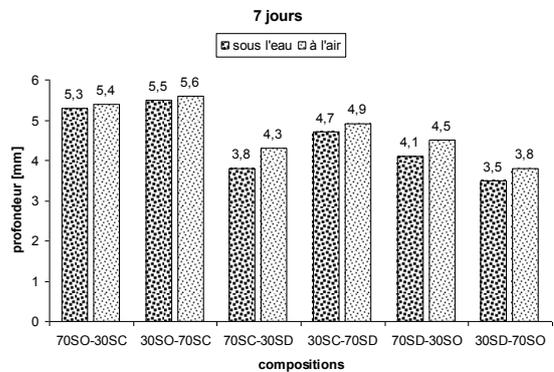
(a)



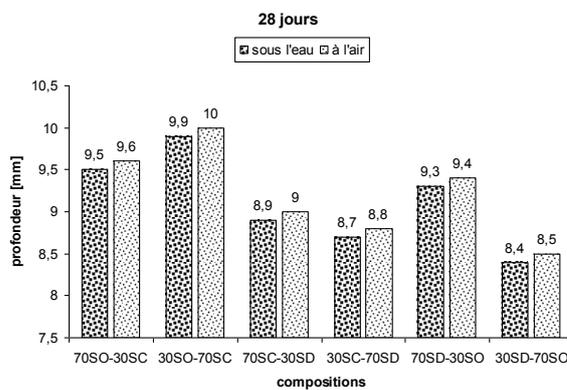
(b)



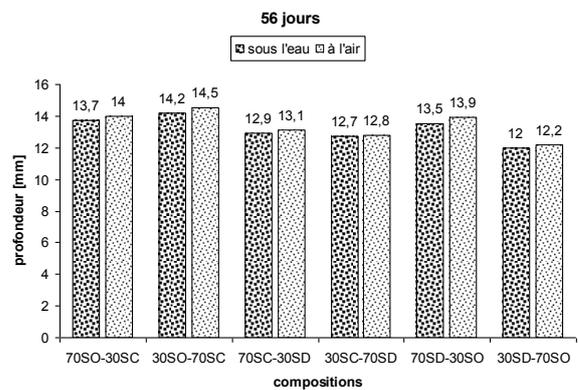
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure IV.15: comparaison de la variation de profondeur de pénétration des ions Cl⁻ des compositions en fonction de mode de conservation.

IV.4. Conclusion :

Suite aux résultats de ce chapitre, nous pouvons tirer les points suivants :

- La profondeur de pénétration des ions Cl⁻ augmente avec l'âge de 7 à 56 jours, ceci est dû à deux choses : premièrement à la période d'immersion du béton dans la solution et par conséquent la remonté capillaire de solution dans le béton ; deuxièmes dû au développement de la porosité du béton avec l'âge de béton.
- La substitution totale ou partielle (par 50%) de sable SO par sable SC ou SD influe négativement sur la profondeur de pénétration sauf le remplacement totale par sable de dune SD qui diminue la profondeur de pénétration à 7 jours d'ordre 36%. Comparaison au témoin.
- L'introduction de sable de dune SD dans la matrice cimentaire améliore d'une manière ou une autre la résistance à la pénétration des ions de chlorure ceci est due à la forme géométrique de ce type de sable qui améliore la compacité du béton du fait qu'il remplisse les pores inter granulaire à cause de sa finesse et de sa forme sphérique.
- Le milieu sec jeu un rôle négatif sur la profondeur de pénétration des ions de chlorure.
- La substitution de 30% de sable d'oued SO par celle de dune SD présente la meilleure résistance vis-à-vis la pénétration des ions chlorure dans tous les milieux de conservation.

CONCLUSION GENERALE :

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de l'utilisation de divers types de sables et le mode de conservation sur le comportement d'un BAP vis-à-vis la pénétration des ions Cl⁻. Les principaux résultats qu'on peut tirer de cette étude sont :

- La profondeur de pénétration des ions Cl⁻ augmente avec l'âge de 7 à 56 jours, ceci est dû à deux choses : premièrement à la période d'immersion du béton dans la solution et par conséquent la remonté capillaire de solution dans le béton ; deuxièmes dû au développement de la porosité du béton avec l'âge de béton.
- La substitution totale ou partielle (par 50%) de sable SO par sable SC ou SD influe négativement sur la profondeur de pénétration sauf le remplacement totale par sable de dune SD qui diminue la profondeur de pénétration à 7 jours d'ordre 36%. Comparaison au témoin.
- L'introduction de sable de dune SD dans la matrice cimentaire améliore d'une manière ou une autre la résistance à la pénétration des ions de chlorure ceci est due à la forme géométrique de ce type de sable qui améliore la compacité du béton du fait qu'il remplit les pores intergranulaire à cause de sa finesse et de sa forme sphérique.
- Le milieu sec joue un rôle négatif sur la profondeur de pénétration des ions de chlorure.
- La substitution de 30% de sable d'oued SO par celle de dune SD présente la meilleure résistance vis-à-vis la pénétration des ions chlorure dans tous les milieux de conservation.

Bibliographie

- [01] Okamura H., Ouchi M.; “Self-compacting concrete”, journal of advanced concrete Technology, Vol. 1, No. 1, pp 5-15, April 2003.
- [02] Okamura H. and Ouchi M., “Self-compacting concrete. Development, present and future”, Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 3-14, 13-15 September 1999.
- [03] Assié S., « DURABILITE DES BETONS AUTOPLAÇANT », thèse de Doctorat INSA-UPS de Toulouse, N° d’ordre: 747, soutenue le 29 Octobre 2004.
- [04] Hayakawa M., Matsuoka Y. and YOKOTA K., “Application of superworkable concrete in the construction of 70-story building in Japan”, Second CANMET/ACI on advances in concrete technology, Las Vegas, ACI 154-20, pp. 381-397, 1995.
- [05] Nagataki S. and Fujiwara H., “Self compacting property of highly flowable concrete”, Second CANMET/ACI on advances in concrete technology, Las Vegas, ACI 154-20, pp. 301-314, 1995.
- [06] Petersson Ö., Billberg P. and Van B.K., “A model for Self-Compacting Concrete”, International Rilem Conference on ‘Production methods and workability of concrete’, RILEM Proceedings 32, 1996.
- [07] Association Française de Génie Civil, « Bétons autoplaçants -Recommandations provisoires », Annales du bâtiment et des travaux publics, juin 2000.
- [08] Turcry P., « Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants Influence de la Formulation », Thèse Doctorat
Ecole centrale de Nantes, N° ED 036-11, soutenue le 03 Février 2004.
- [09] Sedran T., « Les Bétons Autonivelants », bulletin LCPC 196, réf. 3889, pp. 53-60, mars-avril 1995.
- [10] Jacobs F. and Hunkeler F., “Design of self-compacting concrete for durable concrete structures”, Proceedings of First International Symposium on Self-Compacting Concrete, (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 397-407, 13-15 septembre 1999.
- [11] Gibbs J.C. and Zhu W., “ Strength of hardened self-compacting concrete ”, Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO7), Stockholm, Suède, pp. 199-209, 13-15 September 1999.
- [12] De larrard F., “Concrete mixture-proportioning - A scientific approach”, Modern Concrete Technology Series, N°9, E&FN SPON, 1999.

- [13] Pera J., Husson S. and GUILHOT B., "Influence of finely ground limestone on cement hydration", *Cement and Concrete Composites*, pp. 99-105, 1999.
- [14] Petersson Ö., "Limestone powder as filler in self-compacting concrete–Frost resistance and compressive strength", *Proceedings of 2nd International Symposium on Self-Compacting Concrete*, Tokyo, Japon, pp. 277-284, 23-25 octobre 2001.
- [15] Felekoglu B., Yardimci M. Y. and Baradan B., "A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete", *Proceedings of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 33)*, Reykjavik, Iceland, pp. 446-456, 17-20 Août 2003.
- [16] Yassine SENHADJI: L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfatiques) (Mémoire de Magister- USTMB d'Oran -2006).
- [17] richard gagné : GCI 714 – durabilité et réparation du béton : cours de génie civil (Université de Sherbrooke)
- [18] Okamura H., Ouchi M.; "Self-compacting concrete", *journal of advanced concrete Technology*, Vol. 1, No. 1, pp 5-15, April 2003.
- [19] BERRAIH MIMOUN: Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre (Mémoire de Magister- l'ENSET d'Oran-2010).
- [20] Tang L., Sorensen H E., "Precision of the Nordic test methods for measuring the chloride diffusion/ migration coefficients of concrete", *Materials and Structures/ Matériaux et constructions*, Vol. 34, octobre 2001, pp. 479-485.
- [21] Bentouati M., "Perméabilité aux liquides et gaz des bétons autoplaçants", *Mémoire de Magister*, janvier 2010. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO) MOHAMED BOUDIAF.
- [22] Audenaert K., De Schutter G., "Influence of moisture on the carbonation of SCC", *Proceeding (SP212) of the 6 th CANMET/ACI. International Conference on Durability of Concrete*, Greece, pp. 451- 465, June 2003.
- [23] Assié S., "Durabilité des bétons autoplaçants", *laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC)*, Institut des sciences Appliquées (INSA), Toulouse, octobre 2004.