



Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté au

Département : des Sciences Technologiques
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Civil
Spécialité : Géotechnique & Matériaux

Réalisé par

Belkacem BENCHOULA & Mohamed BEN HAMAMA

Pour l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Intitulé

*Etude des performances d'un béton autoplaçant à base
des sables binaires*

Soutenue le : 28/06/2016
Devant le jury de soutenance composé de :

Mr. Rebih ZAITRI	MAA	Univ. Djelfa	Président
Mr. Taha-Hocine DOUARA	MAA	Univ. Djelfa	Encadreur
Mr. Mohamed OMRANE	MAA	Univ. Djelfa	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



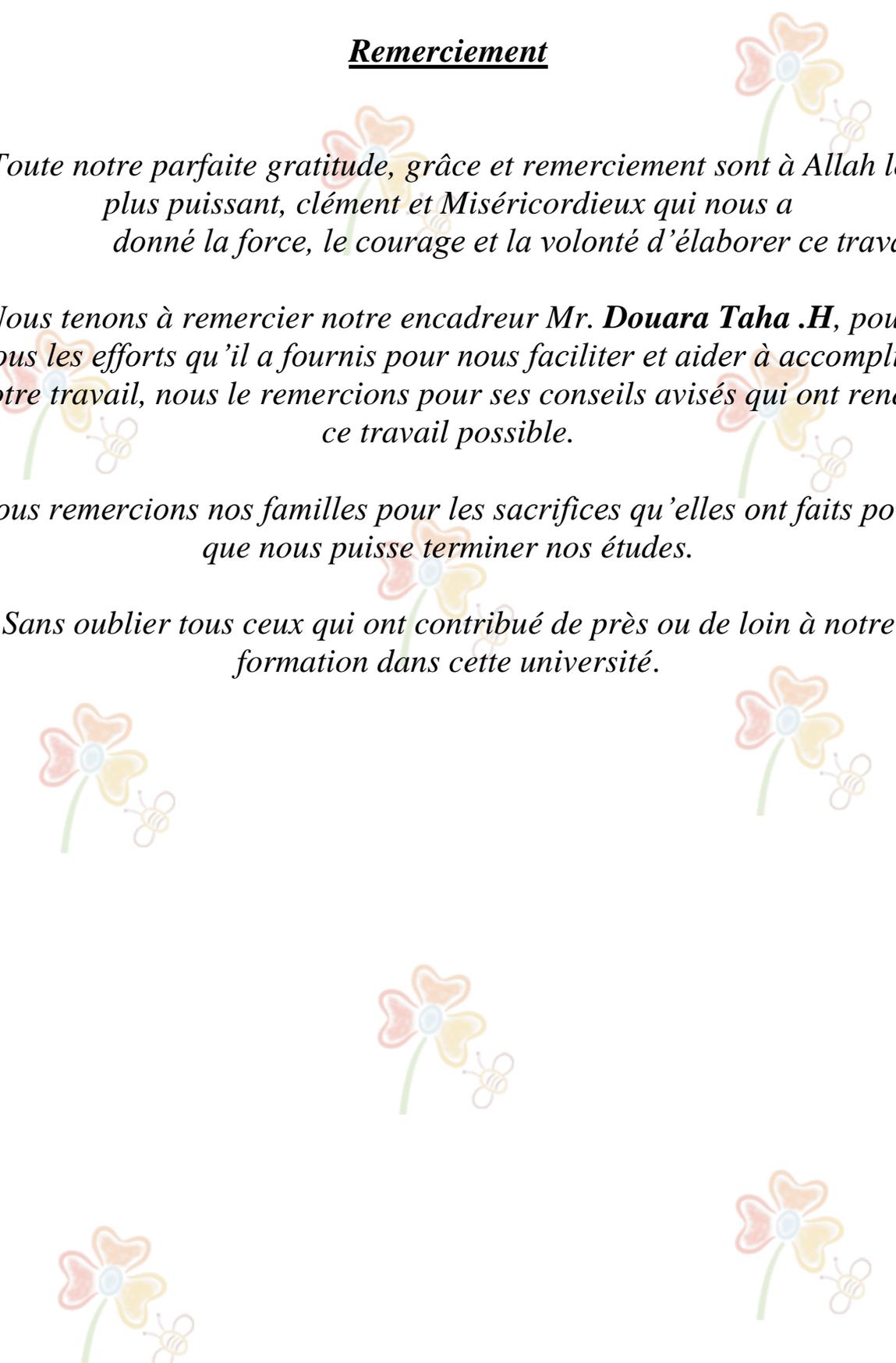
Remerciement

Toute notre parfaite gratitude, grâce et remerciement sont à Allah le plus puissant, clément et Miséricordieux qui nous a donné la force, le courage et la volonté d'élaborer ce travail.

*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.*

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

Sans oublier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation dans cette université.





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 :

*A mes très chers parents que je chéri tant.
A mes frères et sœurs qui m'ont soutenu et encouragé*

*A M'aïzaz et Ba'ziz qui m'ont soutenu
A tous mes amis, sans exception.*

A mon binôme B.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.

B.Belkacem





Dédicaces

*Au nom d'ALLAH, le tout Miséricordieux, le très
Miséricordieux*

*Je remercie ALLAH le tout Puissant, clément et
Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste
travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont
encouragé*

je dédie mes très chers parents que je chéri tant.

A mes frères et sœurs

A Mes Tante Et Mes Oncle, Mes Cousins Sans Exception

A mon binôme et confrère : B.Belkacem

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

Enfin, à tous ceux qui me reconnaîtront.

B.Mohamed



ملخص

الخرسانة ذاتية التسوية (أو ذاتية الرص) هي الخرسانة السائلة، تنتشوه للغاية، متجانسة ومستقرة، والتي تستعمل دون استخدام وسائل الاهتزاز أو الرص. وتستعمل في الهياكل ذات الأشكال المعقدة، فانفصال الحبيبات غير وارد فيها، يجب أن تكون الصفات مماثلة لتلك التي في الخرسانة التقليدية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق عدد معين من الخرسانة ذاتية التسوية (ذاتية الرص) باستعمال أنواع متعددة من الرمال (رمل الوديان SO، رمل المقالع SC و رمل الكثبان SD) وكذلك دراسة مدى تأثير هذه الأنواع على سلوك الخرسانة ذاتية التسوية في الحالتين الرطبة و الجافة.

إن التعويض الجزئي بنسبة 30% بإحدى الرملين : رمل الوديان أو رمل المقالع برمل الكثبان أعطى تركيبات لخرسانة ذاتية التسوية والتي تحترم جميع توصيات الجمعية الفرنسية للهندسة المدنية AFGC.

- **كلمات مفتاحية:** خرسانة، سائلة، متجانسة، مستقرة، رمل، الكثبان، المقالع.

Résumé

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 remplit parfaitement les formes des coffrages les plus complexes et/ou fortement ferrailé, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique.

L'objectif de cette recherche est de développer un certain nombre de formulations de bétons autoplaçant à base de divers types de sables (Sable Oued SO, sable de Carrière SC et sable de Dune SD), d'étudier l'influence de l'incorporation de ces types de sables sur le comportement de BAP à l'états frais et l'état durci.

La substitution partiel de 30% de l'un des deux sables: oued ou concassée par sable dune donne un béton autoplaçant qui respecte toutes les recommandations proposée par l'association française de génie civil AFGC.

- **Mots clés :** béton, fluide, homogène, stable, sable, dune, concassée.

Abstract

A self-compacting concrete (SCC) is a fluid concrete, highly deformable, homogeneous and stable, which is taking place by gravity and without the use of a vibrating means. He fills perfectly to the shape of the most complex forms, it must not be subjected to segregation and must have qualities similar to those of a conventional vibrated concrete.

The objective of this research is to develop a number compositions of self-compacting concrete based on various types of sands (river sand SO, crushed sand SC and desert sand SD), to study also the influence of the incorporation of these types of sands on behavior of self-compacting concrete at the fresh and hardened states.

The substitution of 30% of river or crushed sand by desert sand provides a self-compacting concrete that meets all the recommendations proposed by the French association of civil engineering AFGC.

- **Key words:** concrete, fluid, homogeneous, stable, sand, desert, crushed.

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I.1 : Phénomène de blocage des granulats aux droites d'un obstacle [03]</i>	5
<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 [08]</i>	6
<i>Figure I.3 : Phénomène de ressuage</i>	7
<i>Figure I.4. : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré (d'après[10])</i>	8
<i>Figure I.5 : Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton[03]</i>	9
<i>Figure I.6 : essai d'étalement au cône (slump flow)</i>	10
<i>Figure I.7 : Entonnoir en forme V (V funnel)</i>	11
<i>Figure I.8 : Essai de la boîte en L (L-box test) [self]</i>	11
<i>Figure I.9 : essai en U (a gauche), essai de caisson (a droite)</i>	12
<i>Figure I.10 : Essai de stabilité au tamis</i>	13
<i>Figure I.11 : Essai de ressuage à l'aéromètre [07]</i>	13
<i>Figure I.12 : évolution de la résistance mécanique d'un BAP(SCC) et d'un dgrBV (BEF) correspondant[11]</i>	14
<i>Figure I.13 : résistance mécanique d'un béton vibré et deux BAP (deux formulations différentes) [14]</i>	14
<i>Figure II.1: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de sables</i>	18
<i>Figure II.2: Courbes granulométriques de différents types de sables</i>	20
<i>Figure II.3: Comparaison du module de finesse entre les différents types des sables</i>	21
<i>Figure II.4: Comparaison de l'équivalent de sable entre les différents types des sables</i>	22
<i>Figure II.5: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de graviers</i>	24
<i>Figure II.6: Courbes granulométriques de différents types de graviers</i>	26
<i>Figure II.7: comparaison de coefficient de dureté entres le différents types de graviers</i>	27
<i>FigureIII.1: variation de l'étalement en fonction de type de sables</i>	33
<i>Figure III.2: variation de l'étalement par rapport à la composition témoin 100% sable de oued</i>	33

Figure III.3: variation de taux de remplissage en fonction de type de sables.....	36
Figure III.4: variation de taux de remplissage par rapport à la composition témoin 100% sable de oued.....	36
Figure III.5: variation de la stabilité de BAP en fonction de type de sables.....	38
Figure III.6: variation de la stabilité par rapport à la composition témoin 100% sable de oued.....	38
Figure III.7: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jours en fonction 100% de chaque sable	40
Figure III.8: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 jours en fonction de % de sable	40
Figure III.9: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 28 jours en fonction de % de sable	41
Figure III.10: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jours de mélange de deux sables SC et SD	41
Figure III.11: Comparaison globale de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7et 28 jours de toutes les compositions	42
Figure III.12: pourcentage de la variation de la résistance mécanique à la compression entre 7et 28 jours.....	42

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau II.1: Essai de la masse volumique apparente des sables.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau II.2: Essai de la masse volumique absolue des sables.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau II.3: résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau II.4: résultats de l'analyse granulométrique de sable de carrière.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau II.5: résultats de l'analyse granulométrique de sable de Oued</i>	<i>20</i>
<i>Tableau II.6: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de dune.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau II.7: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de carrière.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau II.8: résultats de l'essai équivalent de sable du sable de Oued.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau II.9: résumé des résultats</i>	<i>23</i>
<i>Tableau II.10: Essai de la masse volumique apparente des graviers.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau II.11: Essai de la masse volumique absolue des graviers.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau II.12: résultats de l'analyse granulométrique de gravier 3/8</i>	<i>25</i>
<i>Tableau II.13: résultats de l'analyse granulométrique de gravier 8/15.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau II.14: résultats de l'essai d'absorption</i>	<i>26</i>
<i>Tableau II.15: résultats de l'essai de dureté Los Angeles</i>	<i>27</i>
<i>Tableau II.16: résumé des résultats</i>	<i>27</i>
<i>Tableau II.17. Composition chimique et minéralogique du ciment (%)</i>	<i>28</i>
<i>Tableau II.18. Propriétés physico – mécaniques du ciment.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau III.1: composition préparée dans 1 m³.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau III.2: Combinaisons de sables.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau III.3: résultats de l'essai à la boîte en L.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau III.4: Résultats de l'essai d'étalement.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau III.5: résultats de l'essai à la boîte en L.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau III.6: résultats de la résistance à la ségrégation.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III.7: résultats de la résistance mécanique à la compression.....</i>	<i>39</i>

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

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	6
I.2.2.1. Un volume de pâte élevé.....	6
I.2.2.2. Une quantité de fines ($\varnothing < 80 \mu\text{m}$) importante.....	6
I.2.2.3. L'emploi d'un superplastifiant	7
I.2.2.4. L'utilisation éventuelle d'un agent de viscosité (rétenant d'eau)	7
I.2.2.5. Un faible volume de gravillon	8
I.3. Caractérisation du béton à l'état frais	9
I.3.1. caractéristiques rhéologiques des BAP	9
I.3.2. essais de caractérisations d'un BAP	10
I.3.2.1. L'essai d'étalement (slump flow).....	10
I.3.2.2. L'essai boîte en L (L-box test).....	11
I.3.2.3 l'essai de stabilité	12
I.4. Propriétés du béton durci	14
I.4.1. Résistance mécanique	14

CHAPITRE II : Caractéristiques des Matériaux utilisés

II.1. Introduction	17
II.2. Caractéristiques des matériaux	17

Table de matières

<i>II.2.1. Les sables</i>	17
<i>II.2.2. Les graviers</i>	23
<i>II.2.3. Ciment</i>	28
<i>II.2.4. Superplastifiant</i>	28
<i>II.2.5. EAU</i>	28
II.3. Conclusion	28

Chapitre III: Analyse des résultats

III.1. Introduction	30
III.2. Compositions de bétons préparées	30
III.3. Résultats et discussions	31
III.3.1. Etude de comportement des BAP à l'état frais	31
III.3.2. Etude de comportement des BAP à l'état durci	39
Conclusion générale	44
Bibliographie	

Introduction générale

Le sable est un matériaux indispensable dans le domaine de travaux publics et de génie civil surtout dans la fabrication de béton. Il existe plusieurs types de sable tel que : sable de mer, sable de Oued, sable de carrière (concassé), sable recyclé et sable de dune; ce dernier n'est pas encore utilisable car sa distribution granulaire est homométrique il faut donc le corriger pour exploiter dans le béton.

En plus, les problèmes du béton ordinaire nécessitent des moyens de vibrations, d'où des moyens et coûts supplémentaires pour le maître d'ouvrage. Le béton autoplaçant est une solution pour faciliter l'écoulement du béton à travers les armatures dans les sections fortement ferraillées. Ce béton (BAP) ayant une composition particulière traduite par la présence d'une grande quantité des ajouts et d'adjuvants.

Cette étude a été menée pour répondre à deux préoccupations principales, la possibilité de formuler des BAP à base de divers types de sables (sable de carrière SC, oued SO et sable de dune SD) et d'étudier leurs influences sur les caractéristiques de BAP a l'état frais (mobilité dans un milieu non confiné –essai d'étalement-, mobilité dans un milieu confiné – essai boîte L- et la stabilité à la ségrégation statique –essai stabilité au tamis) et à l'état durci (résistance mécanique en compression).

Pour cela on a organisé ce mémoire en deux parties : partie bibliographique et partie expérimentale.

La partie bibliographie contient un chapitre qui traite l'historique des béton autoplaçant et leurs caractéristiques à l'état frais et à l'état durci, ainsi que les différents essais caractérisant un BAP.

La partie expérimentale comporte deux chapitres le premier nommé chapitre 2 qui regroupe les caractéristiques physiques chimiques des matériaux utilisés ainsi que l'interprétation de tous les résultats obtenus.

Le dernier chapitre (chapitre3) présente une analyse et discussion sur les résultats trouvés sur l'influence de types de sables sur un BAP.

A la fin de ce mémoire nous avons établi une conclusion générale qui résume les principaux résultats trouvés 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.

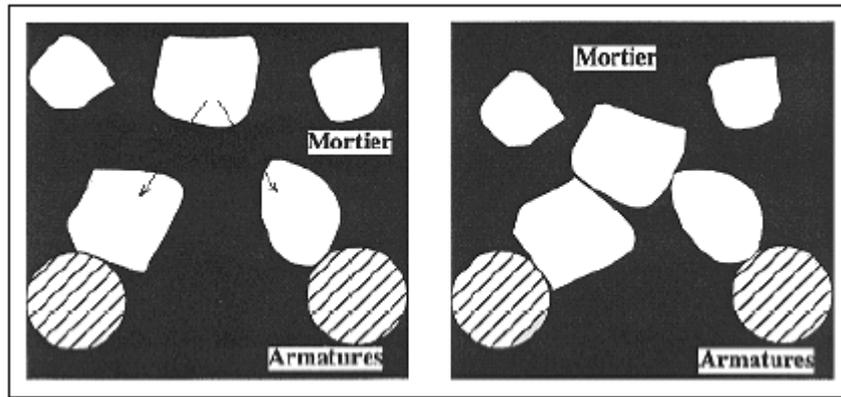


Figure I.1 : Phénomène de blocage des granulats aux droits d'un obstacle [03].

- 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]

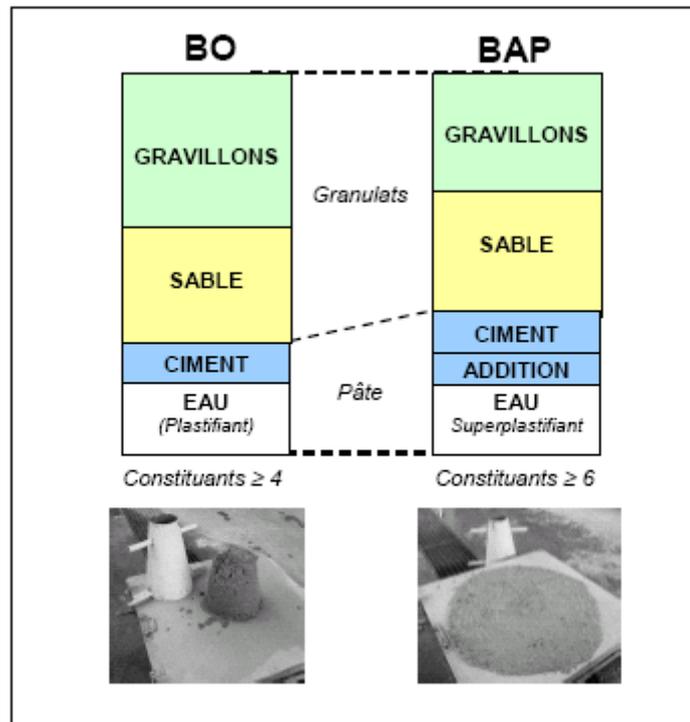


Figure (I.2.) : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [08].

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 ferrailés, 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].

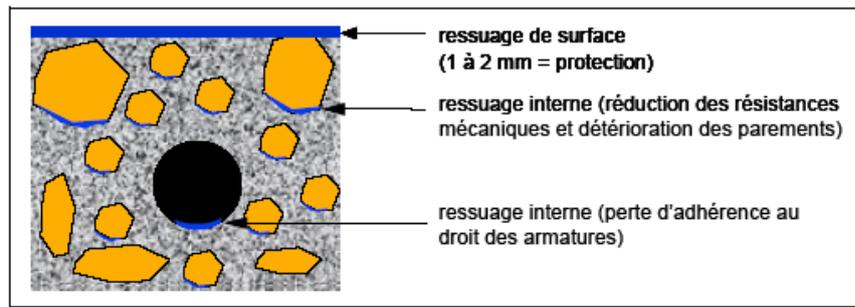


Figure (I.3) : Phénomène de ressuage.

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 autoplaçantes 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 celluloseux, 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.

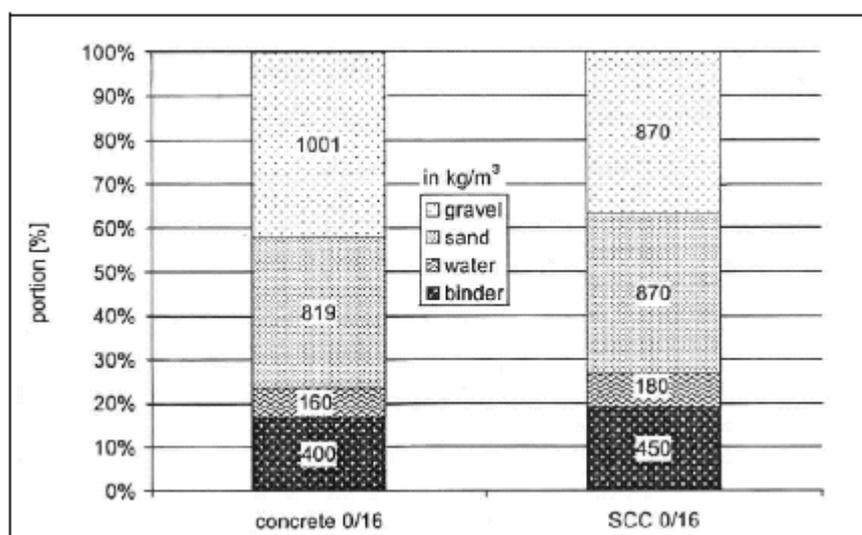


Figure I.4. : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré (d'après [10])

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 :

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

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 γ la vitesse de déformation (s^{-1}).

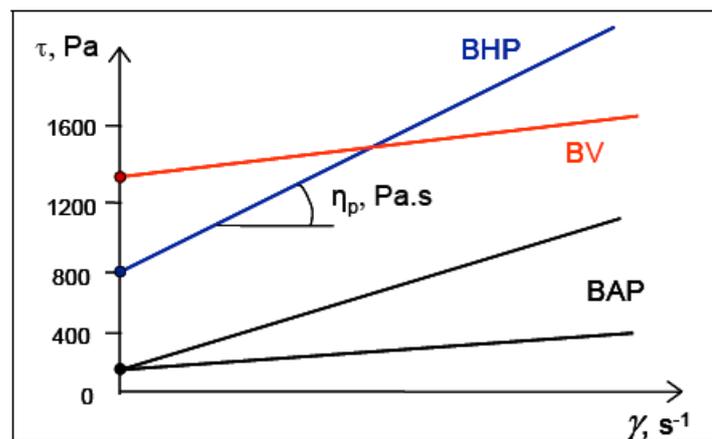


Figure I.5 : Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton [03]

En ce qui concerne les bétons autoplaçants, certains auteurs ont montré 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 caractérisés à l'état frais par trois essais essentiels (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.

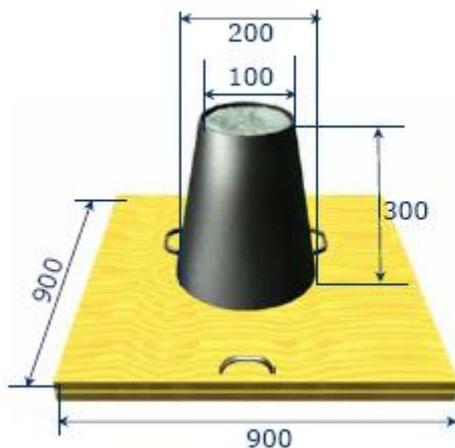


Figure I.6 : essai d'étalement au cône (slump flow)

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].

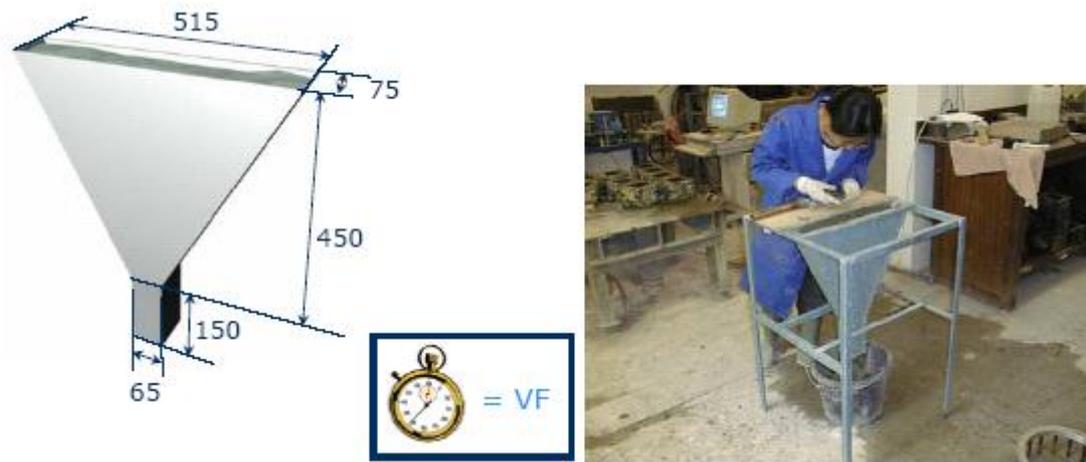


Figure I.7 : Entonnoir en forme V (V funnel)

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 déceler 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 ϕ 14) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre 2 barres) [07].

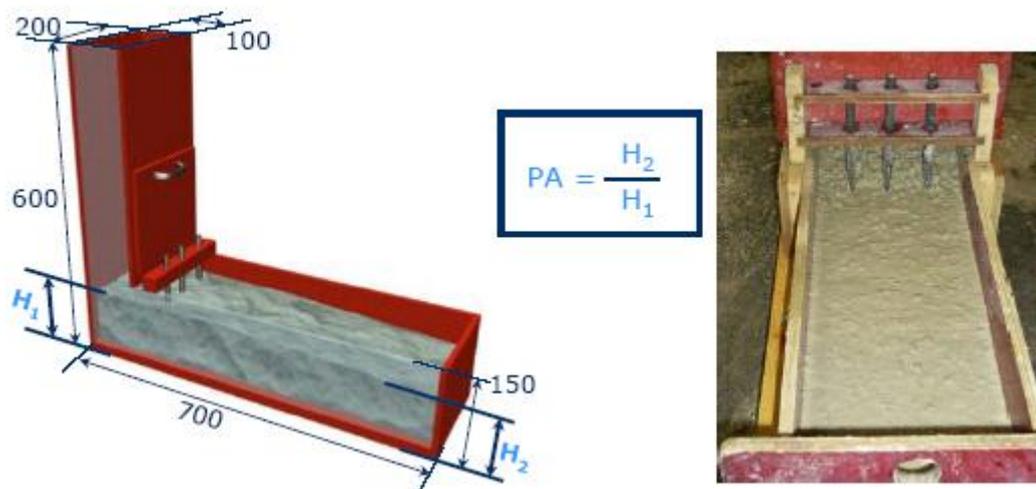


Figure I.8 : Essai de la boîte en L (L-box test) [self]

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.

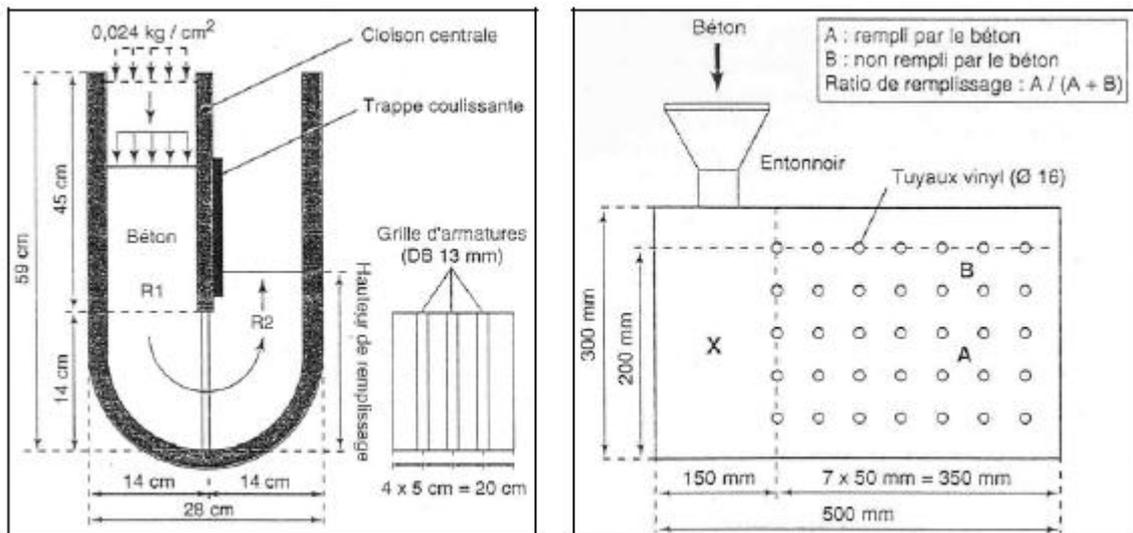


Figure I.9 : essai en U (à gauche), essai de caisson (à droite)

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).

$$S.I = \frac{\text{Poids du mortier qui passe pendant 5 min (g)}}{\text{Poids de 2L de mortier (g)}} \times 100 (\%)$$

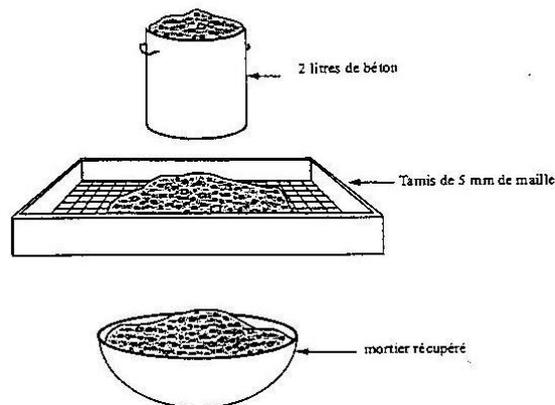


Figure I.10 : Essai de stabilité au tamis

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.

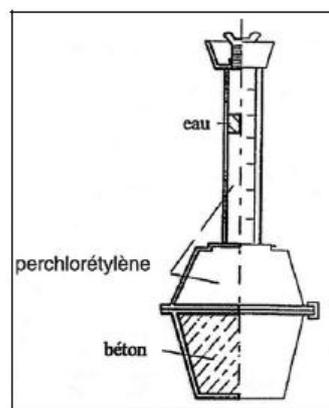


Figure I.11 : Essai de ressuage à l'aéromètre [07]

I.4. Propriétés du béton durci :

I.4.1. Résistance mécanique :

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

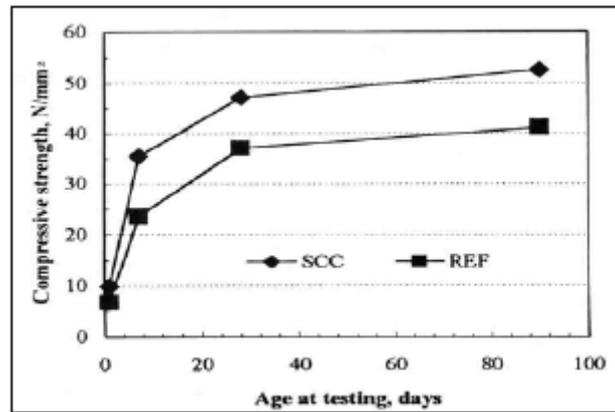


Figure I.12 : évolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant [11].

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.

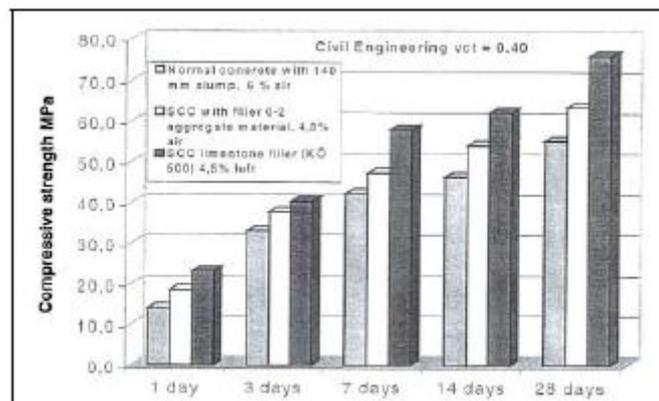


Figure I.13 : résistance mécanique d'un béton vibré et deux BAP (deux formulations différentes) [14]

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].

CHAPITRE II :
Caractéristiques des
Matériaux utilisés

II.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.

II.2. Caractéristiques des matériaux :

II.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 II.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	46.9	347.6	300.7	1.59	1.50
	46.9	327.6	280.7	1.48	
	46.9	313.9	267	1.42	
Sable de dune	46.9	290.9	244	1.29	1.25
	46.9	277.6	230.7	1.22	
	46.9	281.6	234.7	1.24	
Sable de oued	46.9	355.8	308.9	1.63	1.59
	46.9	343.7	296.8	1.54	
	46.9	348.4	301.5	1.60	

A.2. La masse volumique absolue :

Tableau II.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 Mv_a [g/ml]	La masse volumique Mv_a [g/ml]
sable de carrière	200	1000	1080	2.5	2.5
	200	1000	1080	2.5	
	200	1000	1080	2.5	
Sable de dune	200	1000	1075	2.67	2.67
	200	1000	1075	2.67	
	200	1000	1075	2.67	
Sable de oued	200	1000	1080	2.5	2.5
	200	1000	1080	2.5	
	200	1000	1080	2.5	

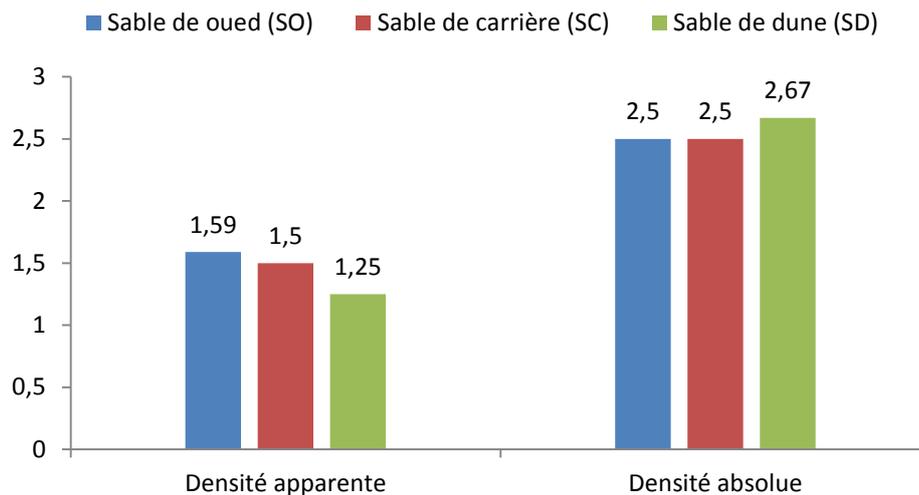


Figure II.1: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de sables

D'après les tableaux II.1 et II.2 et la figure II.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 mois 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 conséquence 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 II.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	759.6	1.1	0.11	0.11	99.89
2.5	694.2	695.7	1.5	0.15	0.26	99.74
1.25	652.2	840.1	187.9	18.86	19.12	80.88
0.63	626.4	1152.6	526.2	52.82	71.94	28.06
0.315	586.8	814.8	228	22.88	94.82	5.18
0.160	545.4	591.6	46.2	4.64	99.46	0.54
0.08	532.5	536	3.5	0.35	99.81	0.19
fond	550.8	552.7	1.9	0.19	100	0

B.2. Sable de carrière: La masse initiale $m= 1000 g$

Tableau II.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	1097.1	338.6	33.94	33.94	66.06
2.5	694.2	866.4	172.2	17.26	51.2	48.8
1.25	652.4	825.8	173.6	17.4	68.6	31.4
0.63	626.4	929.3	302.9	30.36	98.96	1.04

0.315	586.8	593.7	6.9	0.69	99.65	0.35
0.160	545.4	548.0	2.6	0.26	99.91	0.09
0.08	532.5	533.1	0.6	0.06	99.97	0.03
fond	550.8	550.9	0.1	0.01	99.98	0.02

B.3. sable de oued : La masse initiale $m=1000g$

Tableau II.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 tamis
5	758.5	801.5	43	4.3	4.3	95.7
2.5	694.2	1444.3	717.1	71.71	76.01	23.99
1.25	652.2	859.9	207.7	20.77	96.78	3.22
0.63	626.4	646.6	20.2	2.02	98.8	1.2
0.315	586.8	593.3	6.5	0.65	99.45	0.55
0.16	545.4	548.4	3	0.3	99.75	0.25
0.08	532.5	532.8	0.3	0.03	99.78	0.22
fond	550.2	550.9	0.7	0.07	99.85	0.15

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

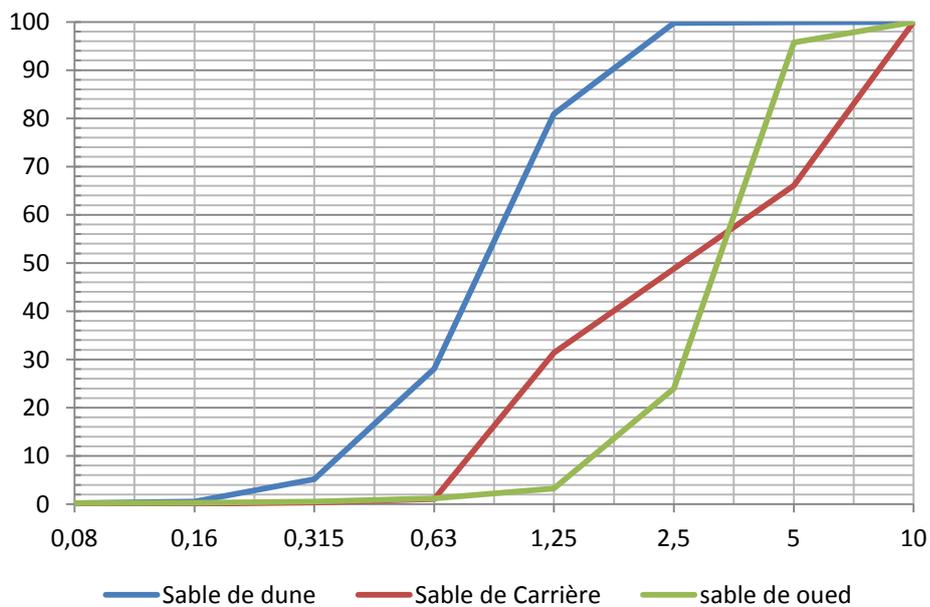


Figure II.2: Courbes granulométriques de différents types de sables

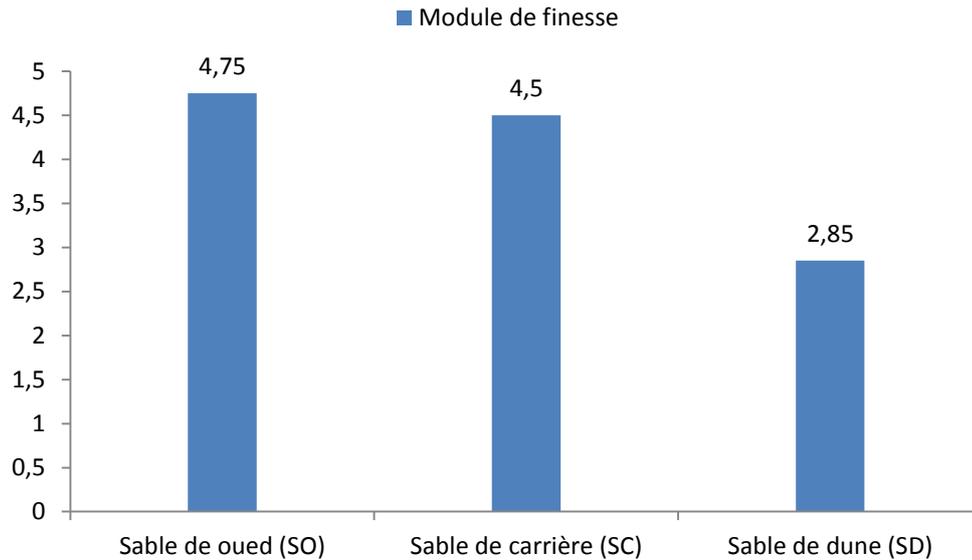


Figure II.3: Comparaison du module de finesse entre les différents types des sables

Les tableaux II.3, II.4 & II.5 et les figures II.2 & II.3, illustrent la distribution granulométrique 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 II.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	12.9	9.4	7.8	72.87	60.45
2	12.8	8.9	8.5	69.53	66.40
3	12.4	8.7	8.2	70.16	66.13
			Moyen	70.85	64.33

C.2.sable de carrière

Tableau II.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	7.2	5	4.7	69.44	65.27
2	7.2	4.8	4.8	66.67	66.66
3	7.2	4.9	4.7	68.05	65.27
Moyen				68.05	65.73

C.3.sable de oued :

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

N° de l'essai	h1	h2	h3	Esv %	Esp %
1	10.9	8.1	8.0	74.31	73.39
2	10.8	7.9	7.9	73.15	73.15
3	10.8	8.0	7.9	74.07	73.15
Moyen				73.84	73.23

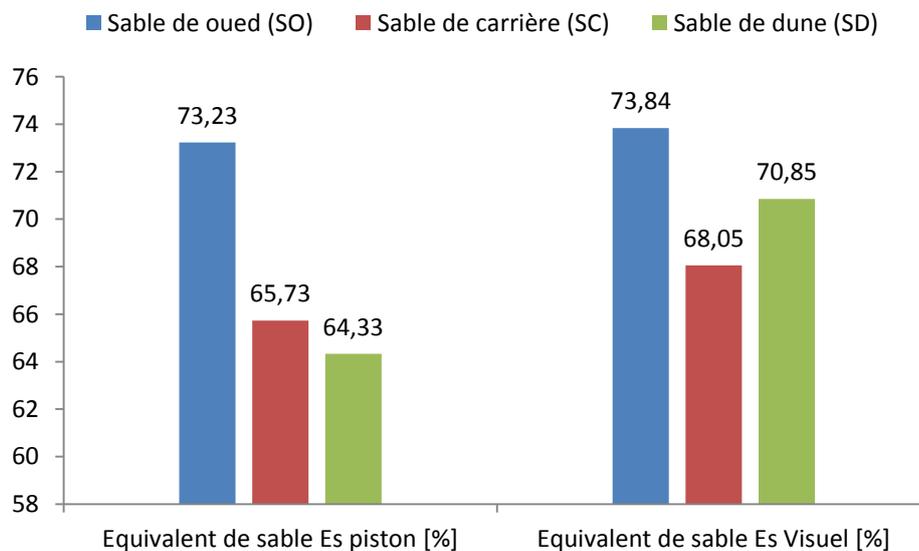


Figure II.4: Comparaison de l'équivalent de sable entre les différents types des sables

Les tableaux II.6 à II.8 montrent les résultats de l'essai équivalent de sable, et la figure II.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 admissible pour des bétons de qualité courante.

Cependant, la mesure de propreté par piston indique que les deux sables de carrière et de dune sont de même qualité si on 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 II.9 ci-après regroupe tous les résultats précédentes:

Tableau II.9: résumé des résultats

Caractéristiques physique	Sable de oued (SO)	Sable de carrière (SC)	Sable de dune (SD)
Densité apparente	1.59	1.50	1.25
Densité absolue	2.5	2.5	2.67
Module de finesse	4.75	4.50	2.85
Equivalent de sable (%) piston	73.23	65.73	64.33
Equivalent de sable (%) Visuel	73.84	68.05	70.85

II.2.2. Les graviers:

Nous avons utilisé des graviers concassés de type calcaire, extraits 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 II.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	46.9	310.9	264	1.40	1.33
	46.9	301	254.1	1.35	
	46.9	300.3	253.4	1.25	
Gravier 8/15	46.9	308.4	261.5	1.39	1.38
	46.9	305	258.1	1.37	
	46.9	309.8	262.9	1.39	

A.2. La masse volumique absolue :

Tableau II.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	1080	2.5	2.52
	200	1000	1080	2.5	
	200	1000	1080	2.5	
Gravier 8/15	200	1000	1080	2.5	2.5
	200	1000	1080	2.5	
	200	1000	1080	2.5	

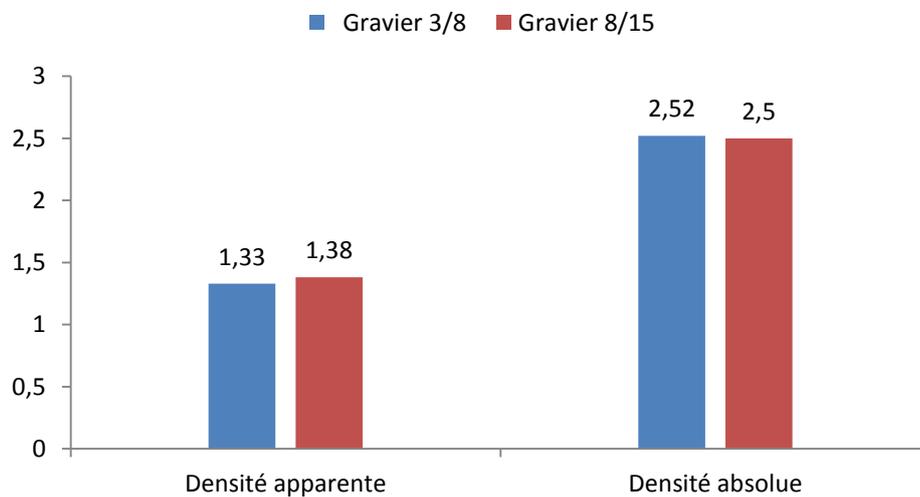


Figure II.5: Comparaison de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue entre les différents types de graviers

Les tableaux II.10 & II.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 II.5 qui illustre la comparaison entre les deux graviers de point de vu 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 II.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	1134.6	357.2	18.35	18.35	81.65
6.3	833.7	1618.3	784.6	40.30	58.65	41.35
5	757.5	1246.8	489	25.12	83.77	16.23
4	769.5	919.8	150.3	7.72	91.49	8.51
3.15	738.1	813.5	75.4	3.87	95.35	4.65
fond	550.8	641.2	90.4	4.64	100	0

B.2. gravier 8/15 : La masse initiale $m=3500g$ **Tableau II.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	896.7	80.5	2.36	2.36	97.64
12.5	783.9	1526.4	742.5	21.75	24.11	75.89
10	848.2	1974.2	1126	32.98	57.09	42.91
8	777.5	1842.1	1064.6	31.19	88.28	11.72
fond	550.8	951	400.2	11.72	100	0

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

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

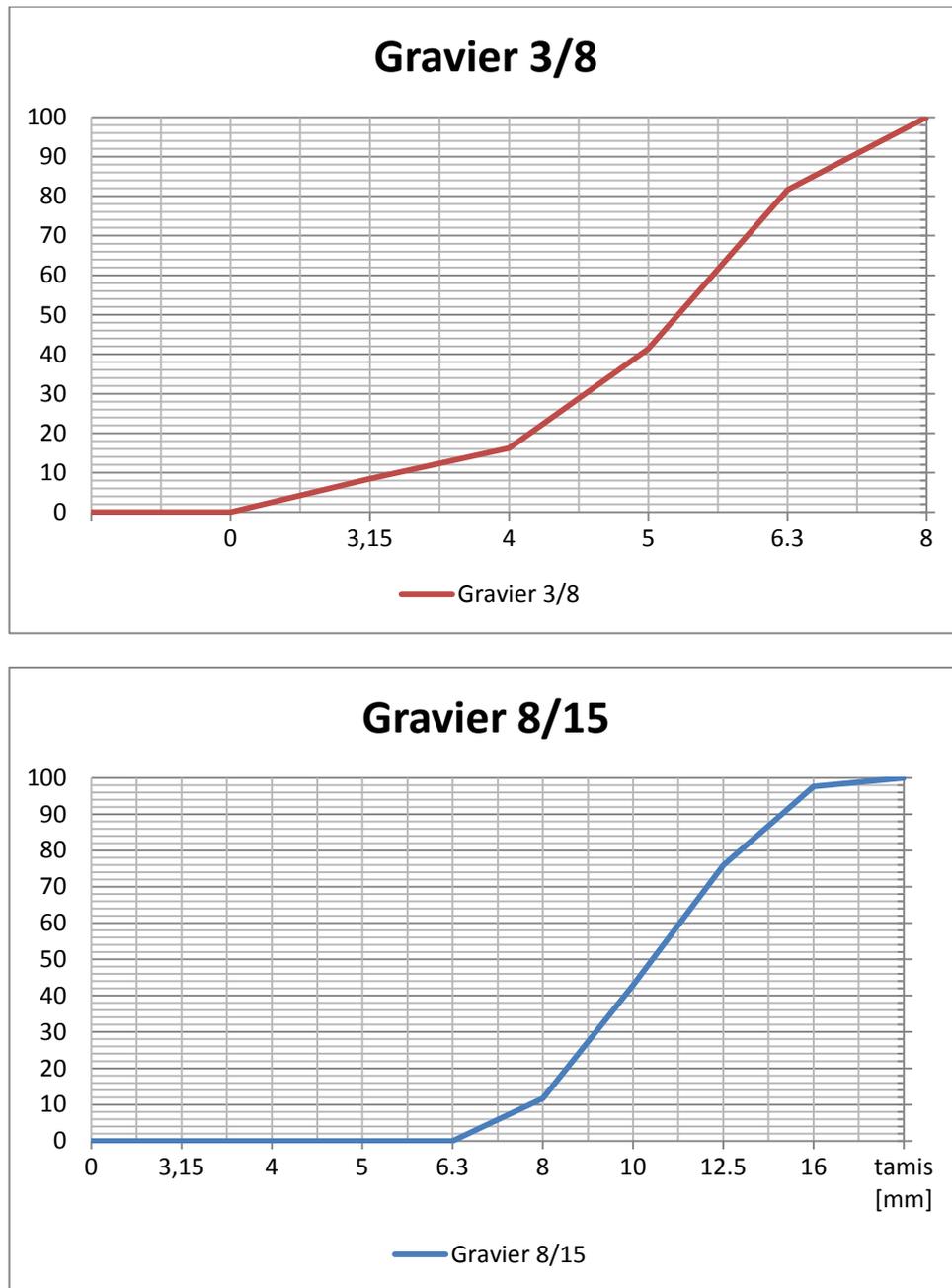


Figure II.6: Courbes granulométriques de différents types de graviers

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 II.14 ci-dessous illustre les résultats obtenus.

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

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

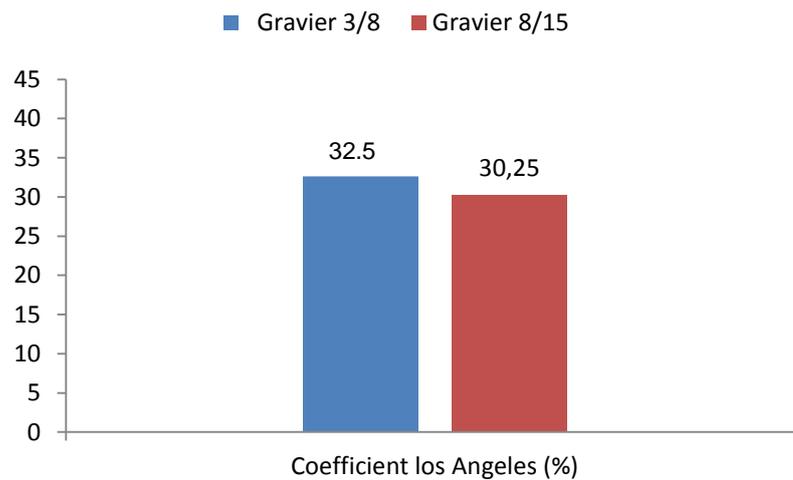
Les résultats sur le tableau montre que les deux classe granulaires ont une faible absorption d'eau. ce qui traduit une faible influence sur la quantité d'eau de gâchage.

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

Cet essai consiste à quantifier la résistance des gravier aux chocs, le tableau II.15 et la figure II.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=38.72
Gravier 8/15	M=5000	m=1512.4	LA=30.25

**Figure II.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 II.16: résumé des résultats

Caractéristique physique	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Densité apparente	1.33	1.38

Densité absolue	2.52	2.50
Coefficient d'absorption(%)	0.48	0.48
Coefficient los Angeles (%)	32.5	30.25

II.2.3. Ciment :

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

Tableau II.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 II.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

3.2.4. Superplastifiant

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

3.2.5. EAU

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

3.3. Conclusion :

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

Chapitre III: *Analyse des résultats*

III.1. Introduction:

Ce chapitre est intéressé par la confection des bétons autoplaçant BAP à base de différents types de sables. D'étudier l'influence le mélange de deux sables sur le comportement des BAP à l'état frais qui traduit par l'essai d'étalement au cône d'Abrams, l'écoulement dans la boîte en L et la stabilité au tamis, ainsi l'influence sur la résistance mécanique à la compression.

III.2. Compositions de bétons préparées:

Les formules du béton sont calculées en utilisant la méthode des volumes absolus, cette méthode est basée sur le volume de pâte et le volume des agrégats, mélangé sec pour un (01) mètre cube de béton.

$$1m^3 = 1000 \text{ litres} = V_{p\grave{a}te} + V_{Granulats}$$

$$V_{p\grave{a}te} = V_{ciment} + V_{Fines} + V_{Adjuvant} + V_{Eau}$$

$$V_{Granulats} = V_{G3/8} + V_{G8/15} + V_{Sables}$$

Les quantités suivantes sont constantes:

- E/L= 0.45 (ciment=400Kg , fines=90Kg et eau=220.5L)
- G/S =1 (50% graviers + 50% sables)
- Une quantités d'adjuvant superplastifiant 0.8%

Le tableau III.1 suivant représente la composition par mètre cube de béton:

Tableau III.1: composition préparée dans 1 m³

	Volumes (L)	Masses (kg)
ciment	129.03	400
Les fines	33.96	90
Eau	220.5	220.5 L
Adjuvant	1.032	3.2 ml
Gravier (3/8)	153.87	407.76
Gravier (8/15)	153.87	407.75
Sables	307.74	815.51

L'idée de cette étude est basée sur la substitution du sable de oued SO par l'un des deux sables: sable de carrière SC ou sable de dune SD par différents pourcentages 30,50,70 et 100% ; le tableau III.2 et III.3 représentent respectivement les combinaisons et les quantités de sables de chaque composition.

Tableau III.2: Combinaisons de sables

	100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
SO (%)	100	70	50	30	-	-	-	-	0	30	50	70
SC (%)	0	30	50	70	100	70	50	30	-	-	-	-
SD (%)	-	-	-	-	0	30	50	70	100	70	50	30

Tableau III.3: Quantité des sables pour chaque combinaison

	SO (kg)	SC (kg)	SD (kg)
100SO	815.51	0	-
70SO-30SC	570.86	244.65	-
50SO-50SC	407.76	407.76	-
30SO-70SC	244.65	570.86	-
100SC	-	815.51	0
70SC-30SD	-	570.86	244.65
50SC-50SD	-	407.76	407.76
30SC-70SD	-	244.65	570.86
100SD	0	-	815.51
70SD-30SO	244.65	-	570.86
50SD-50SO	407.76	-	407.76
30SD-70SO	570.86	-	244.65

SO: Sable Oued SC: Sable de Carrière SD: Sable de Dune

III.3. Résultats et discussions:

III.3.1. Etude de comportement des BAP à l'état frais:

Comme nous avons indiqué dans le premier chapitre, il existe plusieurs testes pour caractériser les propriétés rhéologiques des BAP. Ces essais sont [AFGC 2008] :

- L'essai d'étalement au cône d'Abrams : contrôle de l'écoulement du béton dans un milieu non confiné.
- L'essai à la boîte en L: contrôle de l'écoulement du béton dans un milieu confiné.
- Essai stabilité au tamis: contrôle de la résistance du béton à la ségrégation statique.

A. L'écoulement dans un milieu non confiné (essai d'étalement):

Cet essai consiste à mesurer le diamètre de la galette du béton *photo III.1(b)*, résultant à l'essai de cône d'Abrams *photo III.1(a)*.



(a)



(b)

Photo III.1: Essai d'étalement au cône d'Abrams
 (a) remplissage de cône par béton.
 (b) Mesure de l'étalement du béton

Après l'exécution de cet essai sur toutes les compositions nous avons obtenu le résultats présentés dans le tableau III.2 ci-dessous.

Tableau III.2: Résultats de l'essai d'étalement

	100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
Etalement [cm]	58	55	53	61	64	57	53	51	53	55	59	63

Les valeurs données sur le tableau ci-dessus nous permette de tracer l'histogramme suivant afin de bien comparer les résultats.

- Tous les résultats sont satisfaisants selon AFGC :
 Le diamètre de l'étalement est supérieur à 50 cm

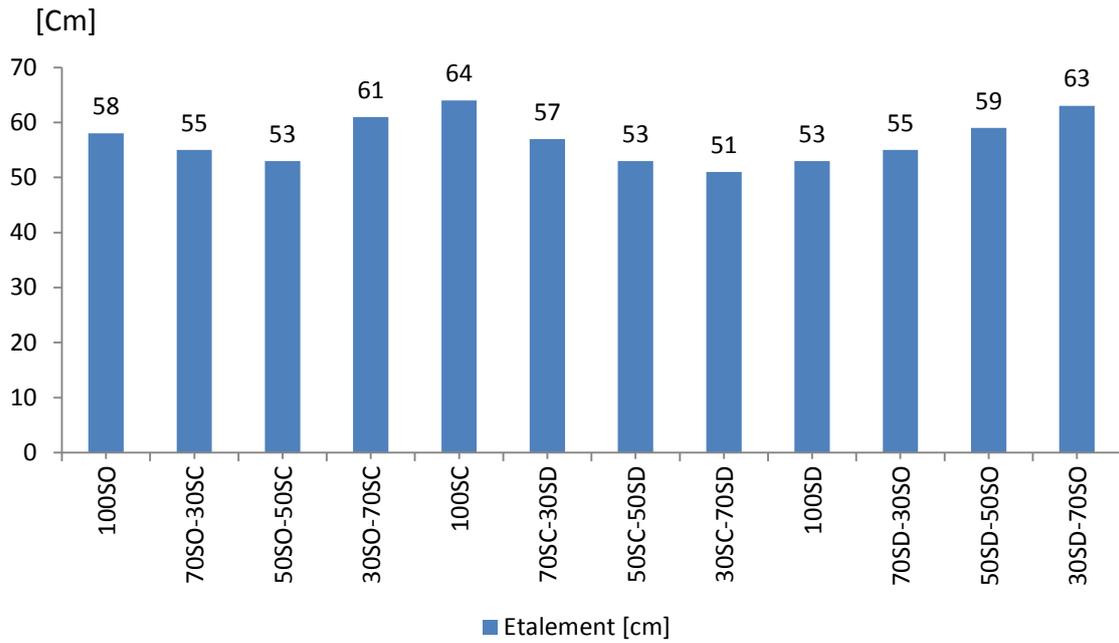


Figure III.1: variation de l'étalement en fonction de type de sables

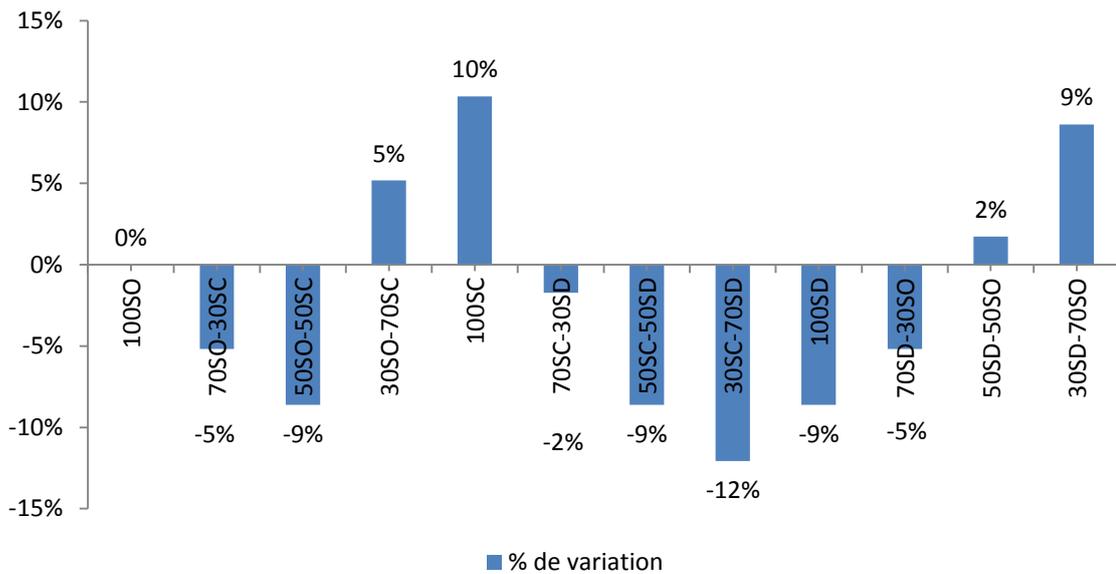


Figure III.2: variation de l'étalement par rapport à la composition témoin 100% sable d'oued

D'après le tableau III.2 et les figures III.1 et III.2 nous constatons que toutes les compositions présentent un étalement satisfaisant compris entre 51 et 64 Cm.

La comparaison entre l'étalements de trois compositions (100SO, 100SC et 100 SD) nous amène à dire que l'utilisation de sable de oued (100SO) donne un bon étalement d'ordre 58 cm sans ressuage et sans ségrégation, cette composition est la composition témoin. Cependant le remplacement total du sable oued par sable de carrière améliore l'étalement d'ordre 10% (64

cm) mais avec un peu de ressuage et de ségrégation. Mais lorsque on remplace le sable par sable de dune (100SD) on aura une perte de l'étalement environ de 9% (53cm);

La substitution de 70% et 50% de sable de oued par sable de carrière réduit l'étalement de 5% et 9% respectivement qui correspond à un étalement de 55 et 53 cm, ces valeurs restent toujours dans les critères de béton autoplaçant (étalement > 50cm selon AFGC).

Par contre la substitution par 30% de sable de carrière améliore l'étalement de 5% (61cm différence de 3 cm contre témoin), on peut dire que le sable de carrière améliore la compacité de béton.

Dans la deuxième série, la combinaison entre le sable concassé SC et le sable de dune SD (substitution de SC par SD) influe négativement sur l'étalement, on voit sur cette série que la perte de l'étalement augmente progressivement avec le taux de remplacement (30% de remplacement convient à 2% de perte et 70% de remplacement convient à 12% de perte).

Dans la troisième série là où on a remplacé le sable de oued par sable de dune, nous voyons que, d'une part, la substitution totale par le sable de dune influe négativement sur l'étalement (diminution d'ordre 9% avec la présence de ressuage et de ségrégation), cette diminution est due à la forme homo-métrique de sable de dune. D'autre part, le remplacement par 50% ou 70% améliore l'étalement de 2% et 9% respectivement.

Ces toutes variations d'étalement sont en relation avec la forme granulaire des sables, c'est en prenant, par exemple, la première composition 100SO, là où qu'on a utilisé la totalité de sable de Oued, on trouve que la forme des grains de sable de oued est sphérique avec présence de plusieurs tailles ce qui facilite l'écoulement de béton par effet de minimiser le frottement entre les gros granulats.

Néanmoins, le sable de carrière ayant une forme angulaire, cette forme favorise l'enchevêtrement des gros granulats et conduisant à la ségrégation des composants, ce phénomène traduit par la présence de ressuage de l'eau de gâchage. Toutefois l'incorporation de sable de dune empêche un peu le ressuage et la ségrégation par rapport au sable concassé c.-à-d. il a amélioré l'empilement de la structure granulaire, cette amélioration est due à la forme homométrique des grains de sable.

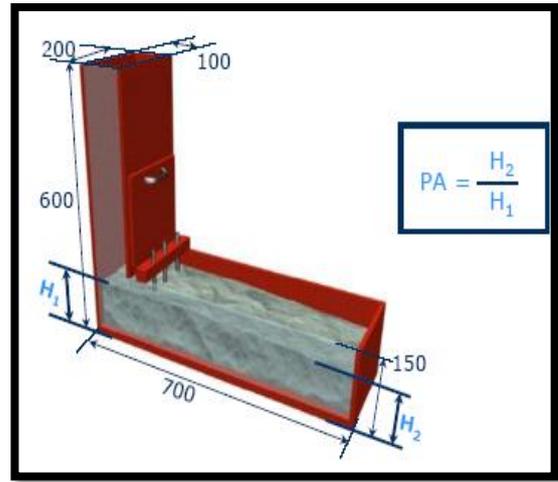
B. L'écoulement dans un milieu confiné (essai à la boîte en L):

Cet essai consiste, après laisser le béton s'écouler entre la partie horizontale et la partie verticale de la boîte, à mesurer l'hauteur H2 dans la partie horizontale et H1 dans la partie

verticale *photo III.2 (a ,b)*, puis calcul le taux de remplissage H2/H1 qui doit être supérieur ou égale à 0,8 [AFGC2000].



(a)



(b)

Photo III.2: Essai à la boîte en L

(a) Ecoulement du béton après ouverture de la trappe.

(b) Méthode de mesure des hauteurs H1 et H2

Les résultats de cet essai sont présentés dans la tableau III.3 suivant:

Tableau III.3: résultats de l'essai à la boîte en L

	100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
H2/H1	0.87	0.85	0.83	0.88	0.89	0.87	0.83	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89

- Tous les résultats sont satisfaisants selon AFGC :

Le rapport H2/H1 est supérieur à 0.8

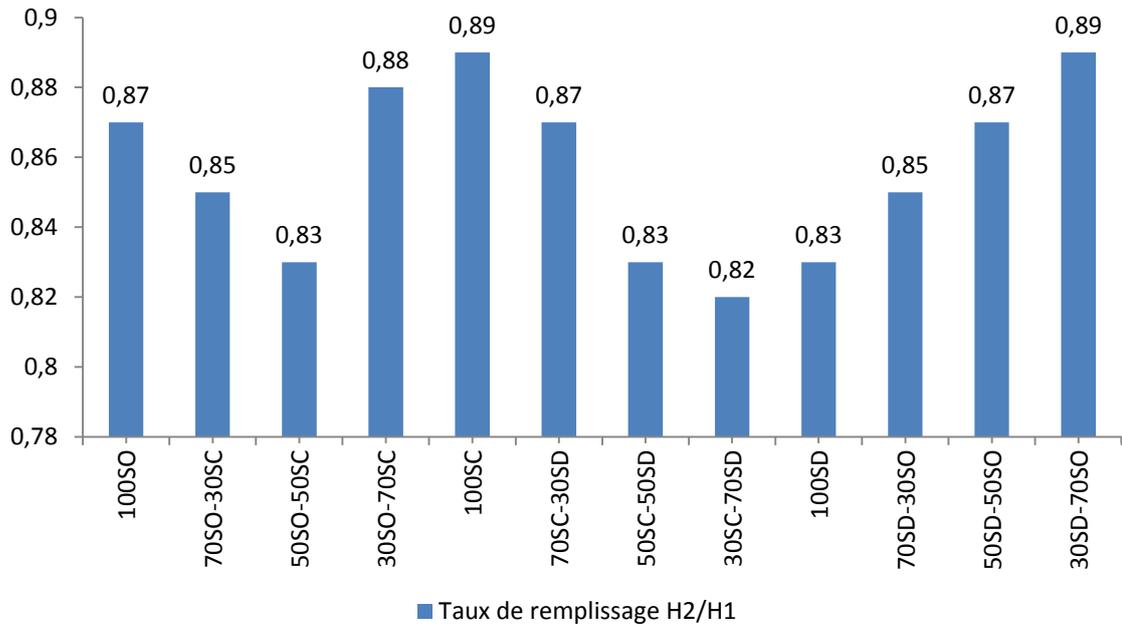


Figure III.3: variation de taux de remplissage en fonction de type de sables

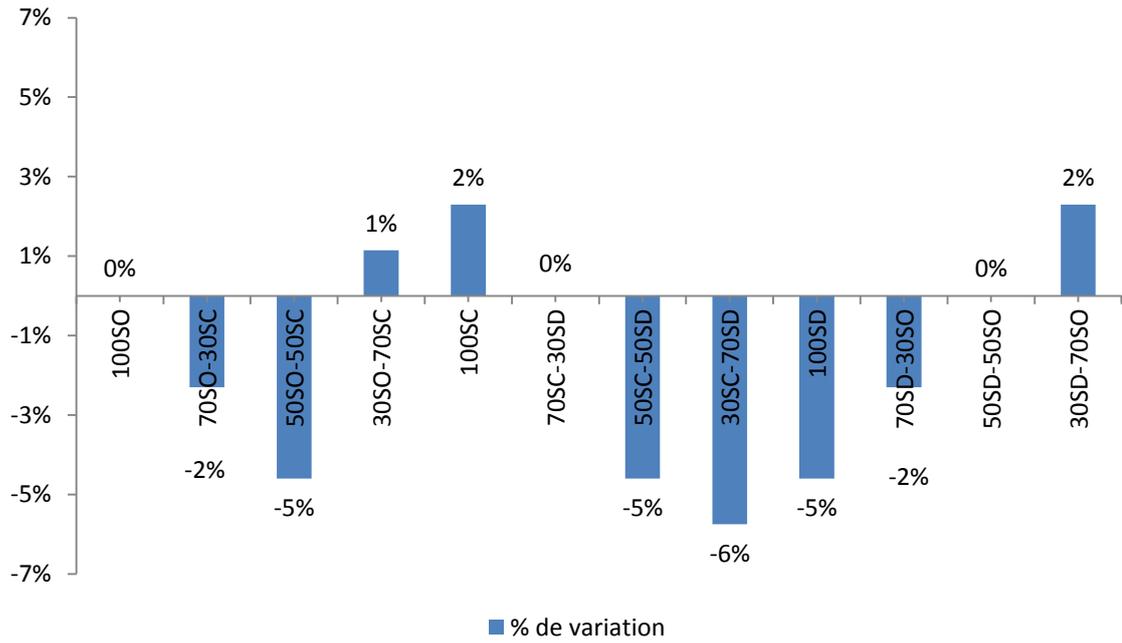


Figure III.4: variation de taux de remplissage par rapport à la composition témoin 100% sable de oued

D'après les résultats sur tableau III.3 et les figures III.3 et figure III.4 on remarque que toutes les variantes présentent un taux de remplissage supérieur à 0.8, donc toutes les compositions respectent la critère de l'écoulement en milieu confiné selon [AFGC2008].

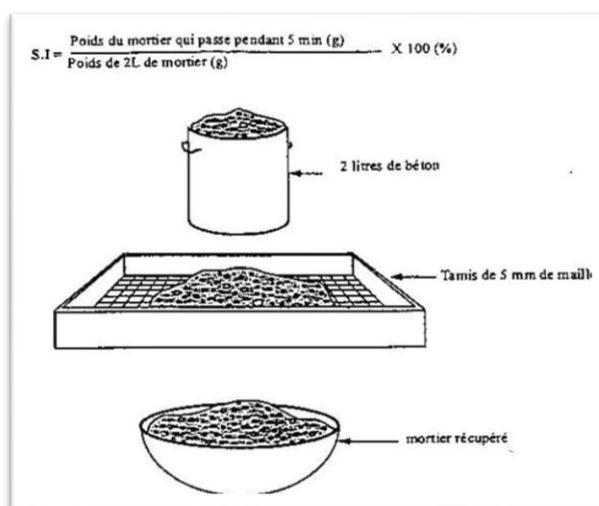
La comparaison des résultats par rapport au témoin (figure III.4) indique qu'on peut améliorer l'écoulement de béton par remplacement plus de 70% de SO par SC ou par l'utilisation de 30% de SD.

C. Résistance à la ségrégation statique (essai stabilité au tamis):

Cet essai a pour objectif de quantifier le pourcentage de laitance π [%] passer au tamis 5mm après une période de repos de 15 minutes *photo III.3 (a,b)*. Ce test a pour but de contrôler la stabilité du béton vis-à-vis la ségrégation statique ainsi que la vérification de l'homogénéité du béton.



(a)



(b)

Photo III.3: mesure de la stabilité du béton/ résistance à la ségrégation statique

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau III.4 ci-dessous.

Tableau III.4: résultats de la résistance à la ségrégation

	100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
Laitance π [%]	2.3	3.06	4.01	4.45	5.08	4.51	4.35	4.1	4.22	3.89	3.95	4.01

- Tous les résultats sont satisfaisants selon AFGC : $0 < \pi < 15\%$

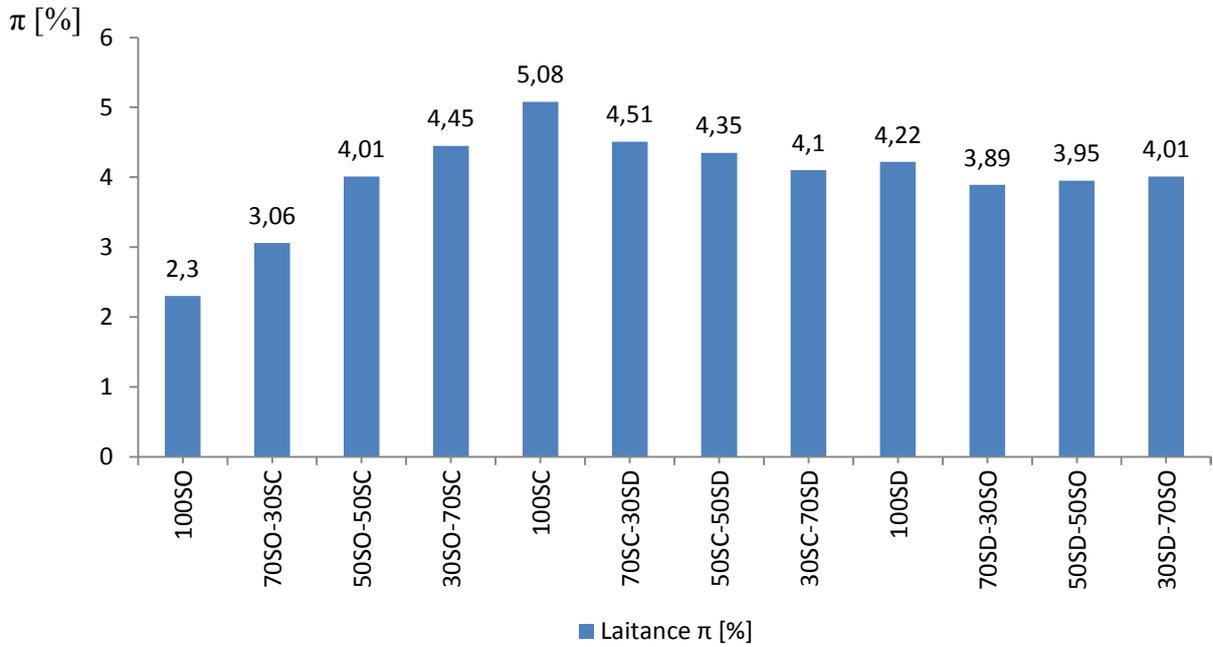


Figure III.5: variation de la stabilité de BAP en fonction de type de sables

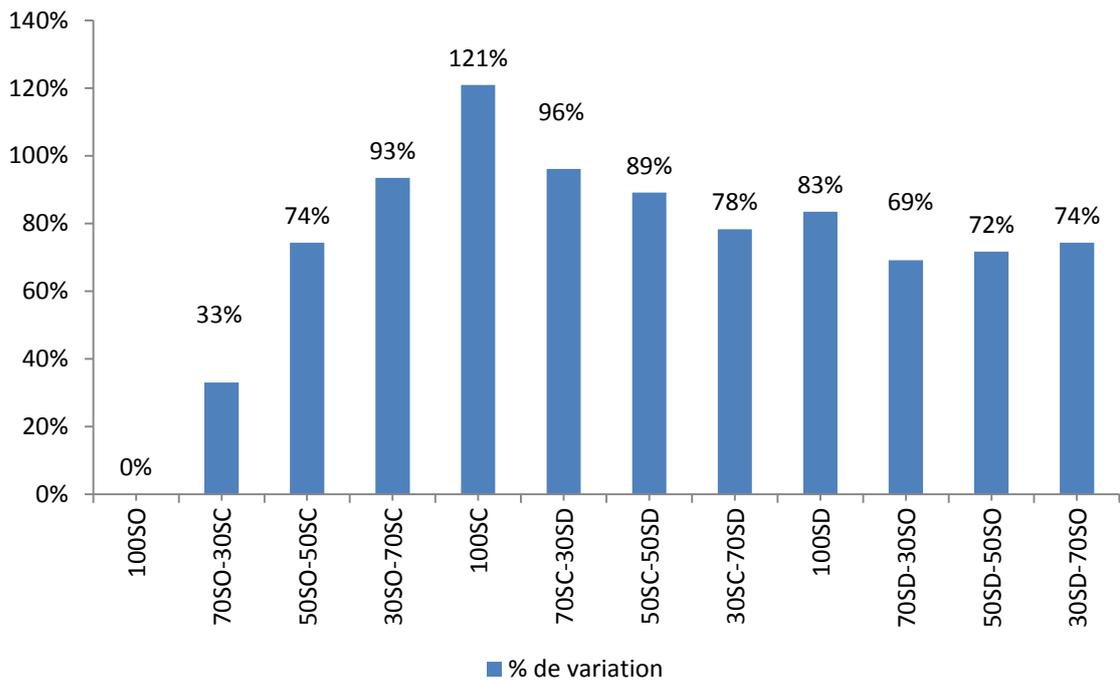


Figure III.6: variation de la stabilité par rapport à la composition témoin 100% sable de oued

Le tableau III.4 et les figure III.5 et figure III.6 représentent la variation de la quantité de laitance en fonction de la variation de types de sable.

D'après les résultats précédent on remarque que toutes les compositions ayant une stabilité satisfaisante $0\% \leq \pi \leq 15\%$. la composition 100% SC présente une quantité de laitance un peu plus $\pi \cong 5.08\%$ par rapport au autres ce qui indique que cette composition est la plus mauvaise homogénéité, Ainsi la stabilité de béton vis-à-vis la ségrégation statique diminue avec l'augmentation de la quantité de sable concassé dans toutes les compositions préparées. Ce problème est due la grosseur de sable de carrière ce qui créer un plus de vide entre les grains et diminuer la compacité de béton et par effet d'augmenter la porosité , cette dernière permet à l'eau de remonter à la surface extérieure de béton.

III.3.1. Etude de comportement des BAP à l'état durci:

La résistance mécanique à la compression, c'est un facteur essentiel pour élaborer le comportement du béton à l'état durci, pour cela nous avons mesuré la résistance à la compression à 7, et 28 jours sur des éprouvettes cubiques $10 \times 10 \times 10$ cm.

le tableau III.5 ci-dessous regroupe les résultats de l'écrasement

Tableau III.5: résultats de la résistance mécanique à la compression

compositions		100SO	70SO-30SC	50SO-50SC	30SO-70SC	100SC	70SC-30SD	50SC-50SD	30SC-70SD	100SD	70SD-30SO	50SD-50SO	30SD-70SO
Résistance en compression [MPa]	7 Jours	28.7	13.5	20	26.5	19.5	19.6	20.4	18.5	16.4	13.5	18.3	16.4
	28 Jours	33.75	23.33	26	34.67	31.8	34.67	29.57	26.67	21.83	23	25.4	23.33

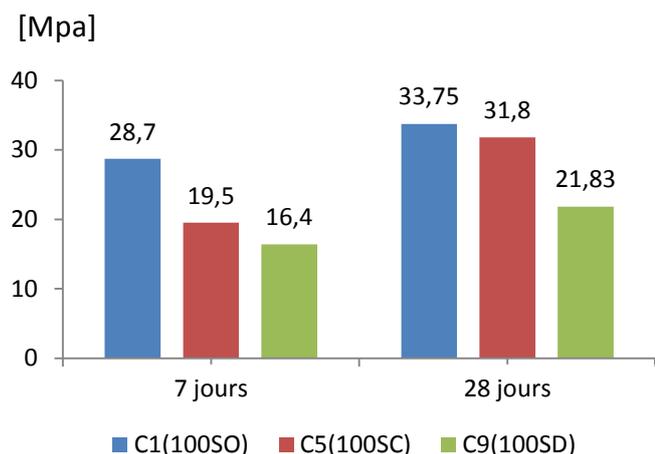


Figure III.7: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jours en fonction 100% de chaque sable

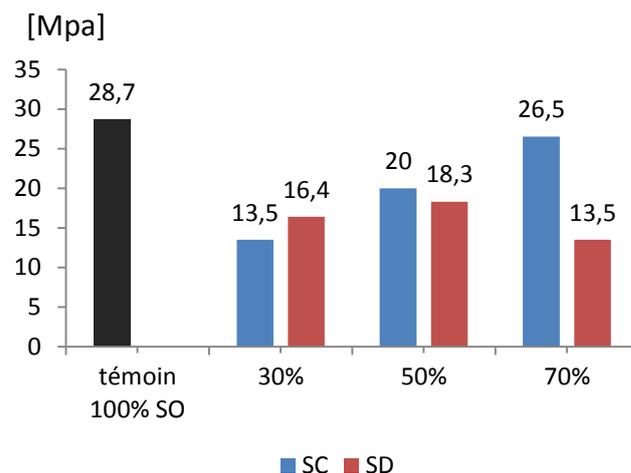


Figure III.8: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 jours en fonction de % de sable

Le tableau III.5 et les figures III.7 à III.11, sont représenter la variation de la résistance à la compression des BAP en fonction de la variation de la quantité de sables à 7 et 28 jours.

La figure III.5 représente la variation de résistance en compression des compositions contenant la totalité de sable, d'après la figure en constate que le BAP témoin fabriqué par SO donne la meilleur résistance à 7 et 28 jours 28.7 Mpa et 33.75 Mpa respectivement.

Le remplacement totale de sable SO par SC diminue la résistance environ 32% à 7 jours et environ de 6% à 28 jours cette variation est attribuée à la forme de sable SC qui favorise le vide entre grains de granulats est par effet d'influer négativement sur la résistance au moyen terme (7jours).

Le remplacement totale de sable SO par SD diminue la résistance d'une manière très fort environ 43% à 7 jours et environ de 35% à 28 jours cette variation est relation avec la forme de sable SD qui influe négativement sur la compacité de béton (diminution de la compacité à cause de la forme homométrique de sable de dune et par conséquent augmentation de volume de vide).

La figure III.8 représente la variation de la résistance en compression à 7 jours en fonction du pourcentage de sable, d'après la figure en remarque que toutes les valeurs de résistance sont moins que la résistance de témoin (perte de résistance entre 30 et 53% sauf la composition 30SO-70SC qui présente une perte de 7% seulement). Dans la figure en remarque aussi que

le remplacement partiel par sable SC ayant presque toujours la bon résistance en comparaison a celles de SD.

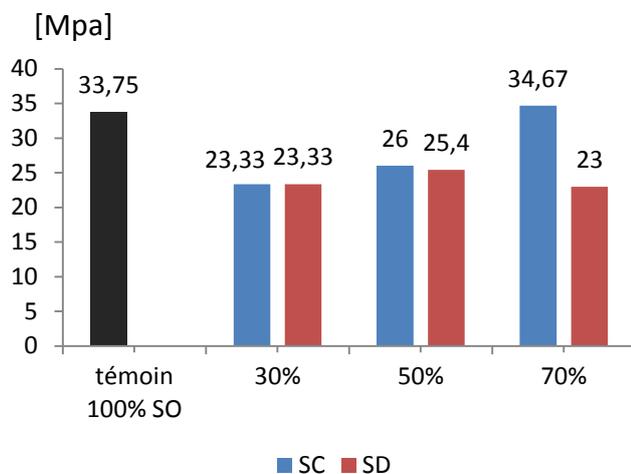


Figure III.9: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 28 jours en fonction de % de sable

Les mêmes remarques pour la résistance à 28 jours (figure III.9), en constate aussi que pour un remplacement de 30 et 50 % la perte de résistance reste presque la même quelque soit le type de sable SC ou SD (perte entre 23% et 32% comparaison au témoin) , par contre le remplacement de 70% de SO par SC améliore la résistance d'ordre 3% c'est toute à fait juste pour que la sable concassé ayant une bon résistance comparaison aux autres.

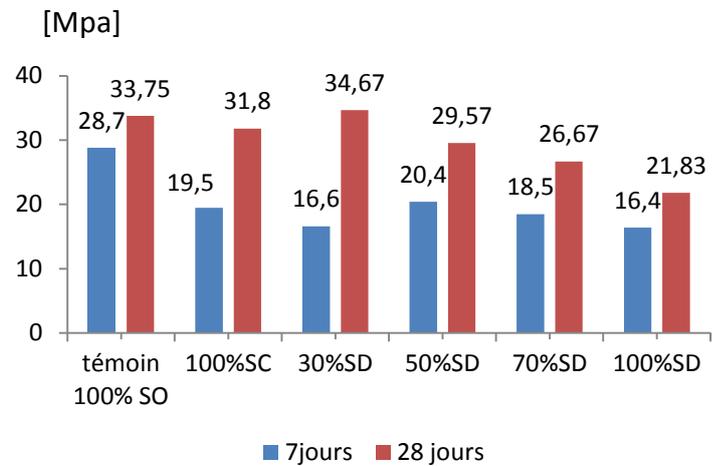


Figure III.10: Comparaison de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jours de mélange de deux sables SC et SD

Les résistances 7 et 28 jours de mélange de deux sables SC et SD sont représenter dans la figure III.10, en remarque sur la figure que la résistance à 7 jours est toujours inférieure à celle de témoin. La comparaison de la résistance à 28 jours entre les compositions amène à dire que la résistance est diminué au-delà de substitution de 30% , par contre le remplacement de SC par 30% de sable SD améliore la résistance par rapport au témoin d'ordre 3%, ce résultat est pareil au résultat de 30SO-70SC; ce qui nous permettons à dire que le sable de dune comporte à-peu-près comme SO.

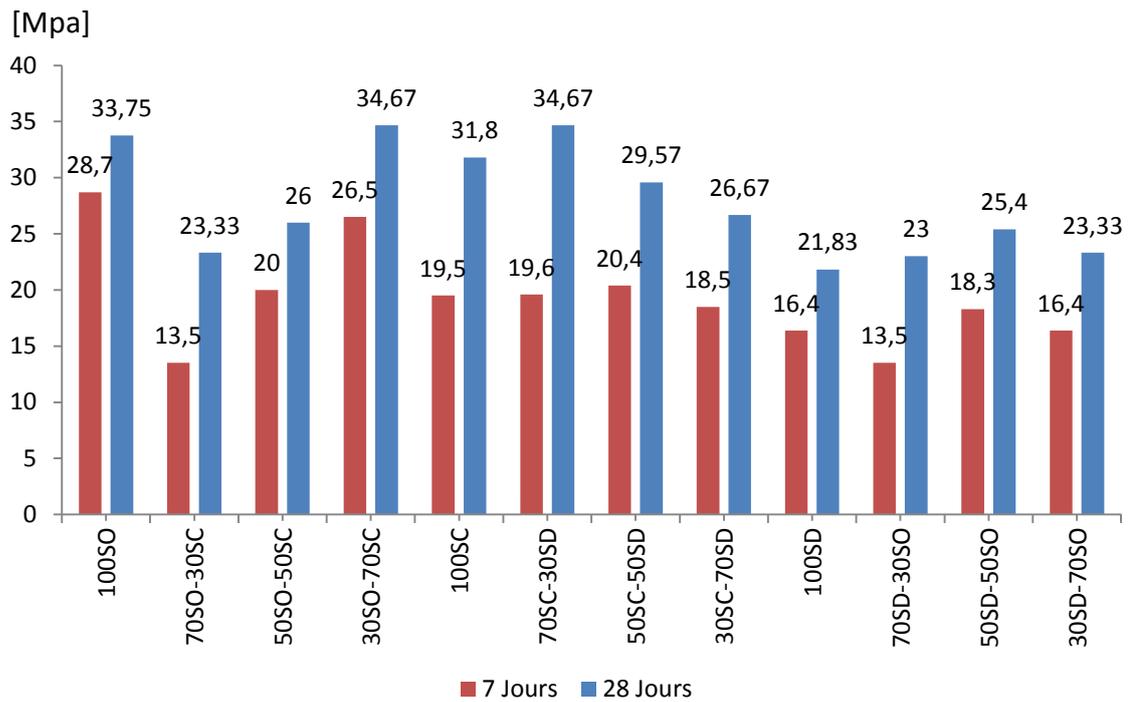


Figure III.11: Comparaison globale de l'évolution de la résistance mécanique à la compression à 7 et 28 jours de toutes les compositions

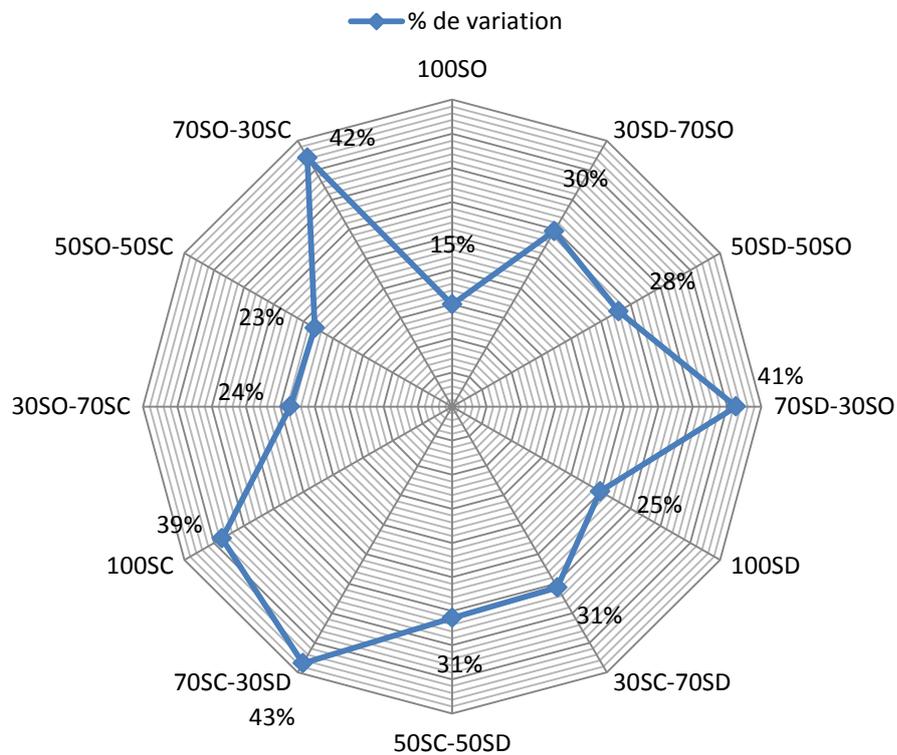


Figure III.12: pourcentage de la variation de la résistance mécanique à la compression entre 7 et 28 jours.

La comparaison de l'évolution de la résistance entre 7 jours et 28 jours est regroupée dans la figure III.12, d'après la figure en constate que quatre compositions parmi douze qui présente une augmentation rapide de résistance entre 7 et 28 jours (plus de 40 % de gain). Aussi toutes les composition qui contient 70%-30% quelque soit le type de sable présente un gain de résistance plus de 24% . seulement la composition témoin qui présente un faible augmentation par rapport à toutes compositions.

CONCLUSION GENERALE :

Les bétons autoplaçant sont des bétons spéciaux dont les qualités méritent d'être valorisées. En raison de leurs propriétés rhéologiques très spécifiques, leur compréhension nécessite des investigations plus approfondies.

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de l'utilisation de divers types de sables sur le comportement d'un BAP à l'états frais et durci. Les principaux résultats qu'on peut tirer de cette étude sont:

- L'utilisation de sable de dune diminue l'étalement d'ordre 9% mais sans risque de perdre les caractéristique rhéologiques du béton auto plaçant (étalement supérieur à 50 cm)
- L'utilisation total de sable concassé améliore l'étalement de 10% du béton autoplaçant mais avec un risque de ressuage et ségrégation des éléments.
- La substitution partiel de sable de oued par sable de carrière ou sable de dune ne perte pas les caractéristiques rhéologiques des BAP (étalement satisfaisant, bon mobilité en milieu confiné et stabilité satisfaisante).
- L'utilisation en totalité de sable de carrière ne perte pas la résistance à la compression à long terme
- L'utilisation en totalité de sable de dune diminue la résistance à la compression à court et long terme d'une manière considérable.
- On peut utiliser le sable de dune jusqu'à 30% par remplacement de sable concassé pour un meilleur comportement des BAP à l'état frais ou à l'état durci.
- La substitution partiel plus de 30% de SO par SD n'influe pas d'une manière importante et qui nous donne un bon BAP respectant aux critères de AFGC.

Perspectives:

Des études complémentaires plus approfondies doivent être engagées on peut citer:

- Optimisation de la combinaison de trois types sables à la fois (sable ternaire) ainsi que l'optimisation de l'adjuvant, ajouts et E/L.
- Etude de retrait et fluage des BAP à base de divers types des sables surtout l'utilisation de sable de dune.
- Etude de la durabilité des BAP à base de divers types de sables
- Etc.

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., “Acomparative 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.
-