

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**

**Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master**

**Spécialité : Génie des Procédés**

**Option : Master Matériaux en Génie Civil**

**THEME**

**Effet de la dégradation chimique sur le comportement des bétons  
autoplaçant (BAP) à base de sédiments de barrage**

**Réalisé par  
SITOUAH Abdelhak  
et  
YOUSFI Abdelouahab**

**Encadré par  
Pr CHAID Rabah**

## *Remerciements*

*Nous tenons en premier lieu à remercier le bon Dieu le tout puissant de nous avoir permis de mener à terminer ce projet de fin d'étude.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur Monsieur **Rabah CHAID** Professeur à l'Université de Boumerdès, pour ses conseils judicieux, ainsi que Messieurs **Hicham LACHACHI** et toute l'équipe de laboratoire de projet métro d'Alger, pour leur accueil chaleureux et pour m'avoir fait l'honneur de diriger mes travaux pratiques.*

*Je remercie fortement Monsieur **Mustapha DRISS** et **Mustapha BOUAMER** de m'avoir aidée et autorisée à utiliser leurs laboratoires.*

*Enfin, je réserve une mention très spéciale à toute ma famille et mes amis Amine, Omar, Abdelghani et à la mémoire de ma mère, que Dieu ait leurs âmes. Je leur dédie cette mémoire.*

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>I - Synthèse bibliographique .....</b>	<b>3</b>
1. Généralité .....	3
2. Formulation des Bétons Auto-plaçant .....	4
2.1 Méthodes de formulation.....	5
2.1.1 Méthode japonaise .....	5
2.1.2 Méthode suédoise .....	6
2.1.3 Méthode française .....	6
3. Les avantages des bétons Autoplaçants.....	7
4. Constituants de base.....	9
4.1 Ciment.....	9
4.1.1 Constituant .....	9
4.1.2 Différents types de ciment courant .....	10
4.2 Les granulats .....	11
4.2.1 Caractéristique Géométrique.....	12
4.2.2 Caractéristique physique .....	16
4.3 L'eau de gâchage .....	17
4.3.1 Exigence concernant l'eau de gâchage .....	18
4.3.2 Eau recyclée (eaux de lavage) .....	19
4.4 Les adjuvant .....	19
4.5 Les matériaux cimentaires .....	21
4.5.1 Les fillers calcaires.....	22
4.5.2 Les Sédiments de dragage.....	23
5. Propriétés BAP .....	23
5.1 À l'état frais.....	23
5.1.1 L'essai d'étalement au cône d'Abrams .....	24
5.1.2 L'essai de la boîte en L, écoulement en milieu confiné .....	24
5.1.3 L'essai de stabilité au tamis .....	25
5.2 À l'état durci.....	25
5.2.1 Résistance à la compression .....	25
5.2.2 Résistance à la traction .....	26
6. Durabilité .....	27
6.1 Le vieillissement du béton .....	27
6.2 Les principales sources d'altération.....	28
6.2.1 L'attaque par des eaux chargées de gaz carbonique .....	28
6.2.2 Action des sulfates .....	29
6.2.3 Action des chlorures .....	30
6.2.4 Les cycles de gel-dégel et gélivité .....	31
6.2.5 L'alcali-réaction .....	32
7. Conclusion.....	32
<b>II - Matériaux et procédure expérimentale.....</b>	<b>33</b>

1.	<i>Introduction et méthodologie de travaille</i> .....	33
2.	<i>Matériaux utilisés</i> .....	34
2.1	Ciment .....	34
2.2	Granulats .....	35
2.2.1	Graviers .....	35
2.2.2	Sable .....	36
2.2.3	La courbe granulométrique .....	37
2.3	Eau de gâchage .....	39
2.4	Les matériaux cimentaire .....	39
2.4.1	Les filler calcaire .....	39
2.4.2	Les sédiments de barrage .....	39
2.5	Super plastifiant .....	43
3.1	Formulation des bétons .....	45
3.1.1	Les données de base .....	45
3.1.2	Les deux compositions (formulations) .....	45
3.2	Essais à l'état frais .....	46
3.2.1	Étalement au cône d'abrams .....	46
3.2.2	Écoulement à la boîte en L .....	47
3.2.3	Stabilité au tamis .....	48
3.3	Essais à l'état durci .....	48
3.3.1	Résistance à la compression .....	48
3.3.2	Résistance à la flexion .....	49
3.3.2	Auscultation sonique .....	50
4.	<i>Les bains de conservation:</i> .....	51
5.	<i>Conclusion</i> .....	53
<b>III-</b>	<b>Présentation et analyse des résultats expérimentaux</b> .....	<b>54</b>
1.	<i>Introduction</i> .....	54
2.	<i>Propriétés des bétons à l'état frais</i> .....	54
a.	L'étalement au cône .....	55
b.	Ecoulement dans la boîte en L .....	55
c.	Stabilité au tamis .....	56
d.	La masse volumique .....	57
3.	<i>Propriétés des bétons à l'état durcis</i> .....	58
3.1	.Masse volumique des bétons à l'état durci .....	59
3.2	Résistance à la compression .....	61
3.3	Résistance à la traction par flexion 3points .....	63
3.4	Auscultation sonique .....	65
3.5	Absorption d'eau .....	66
<b>IV-</b>	<b>Conclusion générale</b> .....	<b>68</b>
<b>V .</b>	<b>Perspectives</b> .....	<b>700</b>

## Liste des figures

### I- Synthèse bibliographique :

Figure 1: essai de compression.....	26
Figure 2: essai de traction par flexion .....	27
Figure 3: action des sulfates sur les bétons .....	29
Figure 4: action des chlorures sur les bétons.....	30

### II- Matériaux et procédure expérimentale :

Figure 5: la courbe granulométrique .....	38
Figure 6: essai d'étalement .....	47
Figure 7: essai d'écoulement .....	47
Figure 8: essai de stabilité .....	48
Figure 9: essai de compression des sur éprouvettes 4,5x9 cm.....	49
Figure 10: essai de traction par flexion .....	50
Figure 11: essai d'auscultation sonore .....	50
Figure 12: Bain de conservation H <sub>2</sub> O et mesure du pH .....	51
Figure 13: Bain de conservation HCl et mesure du pH.....	51
Figure 14: Bain de conservation H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> et mesure du pH.....	52
Figure 15: action des ions Cl <sup>-</sup> et SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> sur bétons .....	52

### III-Présentation et analyse des résultats expérimentaux:

Figure 16: Evolution l'étalement des deux bétons.....	55
Figure 17: Evolution de l'écoulement des deux bétons .....	56
Figure 18: Evolution de stabilité des deux bétons.....	57
Figure 19: Evolution de la masse volumique à l'état frais des deux bétons .....	57
Figure 20: Evolution de la masse volumique à 3 jours des deux bétons.....	59
Figure 21: Evolution de la masse volumique à 7 jours des deux bétons.....	60
Figure 22: Evolution de la masse volumique à 28 jours des deux bétons.....	60
Figure 23: Evolution de résistance à la compression à 3jours des deux bétons.....	61
Figure 24: Evolution de résistance à la compression à 7jours des deux bétons.....	62
Figure 25: Evolution de résistance à la compression à 28 jours des deux bétons.....	62
Figure 26: Evolution de résistance à la flexion à 3 jours .....	63
Figure 27: Evolution de résistance à la flexion à 7 jours .....	64
Figure 28: Evolution de résistance à la flexion à 28 jours .....	64
Figure 29: Evolution de la vitesse de propagation des ultras sonore .....	65
Figure 30: Evolution de temps de propagation des ultras sonore.....	66
Figure 31: Graphe représente l'évolution de l'absorption.....	67

# Liste des tableaux

## I- Synthèse bibliographique :

Tableau 1: types de ciments .....	11
Tableau 2: définition avec exemple des termes « sable », « gravillon » et « grave ».....	12
Tableau 3: dimensions des tamis pour la spécification des classes granulaires.....	13
Tableau 4: classes granulaires usuelles.....	14
Tableau 5: relation entre la forme des grains et granulats.....	16
Tableau 6: classification des granulats en fonction de leur masse volumique.....	17
Tableau 7: classification des adjuvants .....	20
Tableau 8: classification des ajouts et leurs effets dans les bétons .....	22

## II- Matériaux et procédure expérimentale :

Tableau 9 : caractéristique de CPJ-CEMII/A 42,5.....	34
Tableau 10: caractéristique physiques de gravier (3/8).....	35
Tableau 11: analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1).....	35
Tableau 12: caractéristique physiques de gravier (8/15).....	35
Tableau 13: analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1).....	36
Tableau 14: caractéristique physiques de sable (0/3).....	36
Tableau 15: analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1).....	36
Tableau 16: caractéristique physiques de sable (0/1).....	37
Tableau 17: analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1).....	37
Tableau 18 : Composition chimique de filler de calcaire.....	39
Tableau 19 : Caractéristiques physiques de filler de calcaire .....	39
Tableau 20 : propriété de Master Glenium 114.....	44

## III-Présentation et analyse des résultats expérimentaux:

Tableau 21 : propriétés des BAP à l'état frais.....	54
Tableau 22 : Caractéristiques des BAP à base des filler calcaire à l'état durci .....	58
Tableau 23: Caractéristiques des BAP à base sédiment de barrage à l'état durci.....	59
Tableau 24 : Auscultation sonore des éprouvettes 4x4x28 .....	65
Tableau 25 : Absorption d'eau des deux bétons .....	66

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

L'un des ennemis pervers des barrages au monde est l'envasement ou ce que les experts appellent «l'ennemi silencieux» et qui cause annuellement, selon la banque mondiale, un préjudice avoisinant le 1% du coût global de l'investissement. En effet, toutes les études ont montré que ce phénomène produit un dépôt de vase de l'ordre de 4,5 milliards de mètres cubes, ce qui réduit les capacités de stockage des barrages d'environ 11%. Cependant, ce taux est encore plus important concernant les barrages algériens.

En Algérie les questions liées aux dragages se rapportent principalement au coût de ces opérations, mais qui demeurent néanmoins indispensables. Toutefois, cette solution se retrouve confrontée à un sérieux problème d'espace de stockage et/ou d'élimination des quantités de vase draguées. Ce même problème a été le précurseur de la politique de valorisation qui contribue certainement à l'amortissement des coûts liés au dévasement et à la préservation de l'environnement.

Le parallèle entre l'accroissement de la nécessité de dévasement et l'intérêt que porte la recherche aux bétons autoplaçants met en évidence l'idée de la valorisation des vases draguées après traitement dans la composition des BAP. Cette idée, semble être une voie prometteuse, si on considère l'intérêt mutuel qui porte sur les avantages bilatéraux.

En effet, la technologie des bétons autoplaçants est capable de consommer d'énormes quantités de vase, qui à son tour pourrait apporter et/ou améliorer des caractéristiques et performances de ce type de bétons.

La caractérisation physico-chimique et minéralogique de la fraction solide des vases extraites des barrages de BENI AMRANE a donné plus de crédibilité à cette voie de valorisation en tant que matière première dans le secteur du génie civil.

C'est pourquoi, cette étude a été engagée dans un but écologique, économique et technique en valorisant la vase comme étant un matériau de construction à part entière

substituable en partie au ciment entrant dans la composition des BAP pour lequel le comportement mécanique et de durabilité a été suivi.

Ce travail sera présenté sous trois chapitres :

**Le premier chapitre**, de ce mémoire est consacré à l'étude bibliographique. Cette synthèse présente des généralités sur les bétons autoplaçants ainsi que les méthodes de caractérisation des différentes propriétés de ce type de béton, en deuxième lieu nous avons abordé les facteurs affectant la durabilité des BAP et l'effet des ajouts minéraux sur les différentes propriétés de leur durabilité. Les recherches publiées concernant l'influence du type d'addition minérale sur les propriétés de durabilité des BAP sont également présentés.

**Le deuxième chapitre**, décrit les matériaux utilisés et les formulations des BAP adoptées au cours de nos travaux. On commence par, la présentation des résultats d'essais de caractérisation des matériaux utilisés. Dans la seconde partie, sont décrites les formulations des BAP adoptées ainsi que les procédures d'essais à l'état frais et durci. Ces derniers, sont formulés avec les des mêmes constituants, le même squelette granulaire et un rapport E/C identique. Dans la troisième partie, la préparation des bains de conservation des éprouvettes.

**Le troisième chapitre**, présente les résultats et les analyses relatifs à la campagne expérimentale menée sur les formulations des BAP. Cette partie comporte deux volets. Le premier est consacré aux propriétés des BAP à l'état frais. Dans le deuxième sont présentés les résultats relatifs aux propriétés mécaniques à l'état durci.

Enfin, nous clôturons cette étude par une conclusion générale qui recouvrera les principaux résultats dégagés et les perspectives envisageables pour le futur.

*Synthèse*  
*Bibliographique*

## *I- Synthèse bibliographique*

---

### **1. Généralité**

Durant plusieurs années et depuis 1983, le problème de la durabilité des constructions en béton est le sujet d'actualité dans le monde. Pour régler ce problème, les japonais ont basés sur la main d'œuvre qualifiée. Cependant, la diminution graduelle proportionnellement a une réduction assez remarquable dans la qualité de ces dernières. Pour rattrapé ce déficit, une solution doit s'imposer, il s'agit des Béton Auto-Plaçant (BAP), à cause de sa caractéristique de se filtrer et de se déplacer sous l'effet de sa gravité seulement et rien d'autre addition d'énergie tel que les vibrations, il peut être placé dans des coins divers et complexes dans le coffrage. La nécessité de ce type de Béton est proposée par Mr OKAMURA en 1986. Depuis, des études sont faites pour développer le BAP y compris une étude fondamentale d'ouvrabilité, ont été effectuées par Mr OZAWA et Mr MAEKAWA à l'université de TOKYO. Le prototype a été complété en 1988 [1].

Le Béton auto-plaçant peut être défini alors comme étant un béton caractérisé à l'état frais par sa fluidité très élevée, sa stabilité rhéologique et par son excellente adéquation au bétonnage des coffrages complexes.

Depuis l'arrivée des BAP en 1988, son utilisation ne cesse de s'étendre en Europe et sur le continent nord américain en raison de l'intérêt économique et des possibilités techniques qu'il représente :

- Diminution du temps de réalisation lors de mise en place du béton sur chantier ;
- Diminution de la pénibilité de travail sur chantier ;
- Possibilités techniques nouvelles (coulage des zones fortement ferrillées, dans des coffrages de géométrie complexe ou très encombrée, réparation des zones difficilement accessible, ....etc)
- Assure la compacité dans la structure ;
- Élimine le bruit causé par les vibrations.

La fluidité, la stabilité rhéologique et l'homogénéité parfaite sont obtenus par l'ajout et le dosage adéquat de super plastifiant et de fines et/ou l'emploi d'agent de viscosité. Parallèlement à cela, le BAP présente les particularités de composition suivantes comparativement aux Bétons vibrés : volume de pâte élevé, dosage élevé en fines, rapport G/S presque égal à 1 et un diamètre maximal des granulats  $D_{\max}$  réduit [2].

### 2. Formulation des Bétons Auto-plaçant

Les BAP font désormais partie des Bétons de formulation courante proposés par les centrales de BPE. Les BAP doivent présenter une grande fluidité pour pouvoir s'écouler avec un débit suffisant sans apport d'énergie externe (vibration) à travers des zones confinées (armatures). Ils doivent donc offrir une bonne résistance à la ségrégation « dynamique » (en phase de coulage) mais aussi une fois en place (ségrégation « statique ») afin de garantir l'homogénéité des caractéristique et de ne pas présenter de ressuage ou de tassement. Ils doivent aussi être pompables. Ils doivent être stables sous l'effet de la gravité au cours de l'écoulement et dans les phases précédant la prise et le durcissement et permettre la réalisation de parements de qualité. La formulation des bétons fait appel au :

**Super plastifiant :** pour obtenir la fluidité souhaitée et quelque fois des agents de viscosité pour maîtriser la ségrégation. Les super plastifiant permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment et assurent le maintien de la fluidité. Les agents de viscosité empêchent le ressuage et limitent la ségrégation en rendent la pâte plus épaisse.

**Fines :** (ciment, fillers calcaires, sédiment de barrage) élevée pour assurer une bonne maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage.

**Un faible volume de gravillons :** afin d'éviter le « blocage de béton » dans les zones confinées (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 voire inférieur). Les granulats ont en général un  $D_{\max}$  compris entre 10 et 16 mm afin d'améliorer l'écoulement.

**Ciment :** (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaités)

Un rapport E/C faible et un dosage en eau limité.

**Un agent entraîneur d'air :** pour assurer la protection contre les effets de L'optimisation du squelette granulaire est indispensable pour obtenir les caractéristiques nécessaires à la fluidité et à l'écoulement en milieu confiné [3].

## **2.1 Méthodes de formulation**

Les formulations des BAP et leur fabrication des nécessitent la mise en œuvre de procédures de fabrication et de contrôles adaptés.

La plupart des malaxeurs peuvent fabriquer des BAP. Le temps de malaxage est toutefois légèrement supérieur à celui d'un béton classique. Il faut que le mélange, riche en éléments fins et en adjuvants, soit le plus homogène possible. Certaines formules peuvent nécessiter des séquences de malaxage spécifique (ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur, temporisation, temps de malaxage adaptés....).

L'un des points les plus importants de la fabrication est le contrôle strict de la teneur en eau du mélange, par conséquent, il est important de contrôler celle des granulats. La fabrication des BAP nécessite un contrôle renforcé des constituants afin de garantir la régularité des performances.

L'hyperfluidité du Béton conduit à prendre des dispositions spécifiques pour éviter des déversement et à adapter l'ouvrabilité au temps de transport et de mise en œuvre [4].

### **2.1.1 Méthode japonaise**

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au déterminant des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcout engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants

#### **a) Dosage des gravillons**

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour  $1\text{m}^3$  de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains+vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10mm, le volume du gravillon est donc posé à  $285\text{ l/m}^3$ .

Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14

### **b) Dosage du sable**

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40% du volume de mortier du béton.

La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

### **c) Dosage du liant**

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de  $350 \text{ kg/m}^3$ ).

Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

### **d) Dosage de l'eau et du super plastifiant**

Les dosages en eau et super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortier, dont le volume de sable est fixé à 40%. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

#### **2.1.2 Méthode suédoise**

Proposée par [Petersson et al, 1996] :

La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée.

Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat.

#### **2.1.3 Méthode française**

Méthode française (LCPC) : proposée par [DE Larrad et al, 1994] :

Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après

- Les distributions granulaires
- Les proportions du mélange
- La compacité propre
- La densité apparente

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple)
- Le dosage, à saturation, du super plastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- Le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104 la teneur en eau réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les préventions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes [5].

### **3. Les avantages des bétons Autoplaçants**

La fluidité et la cohésion élevée des BAP et l'absence de ségrégation garantissent la réalisation de parements de qualité, une finition soignée, une teinte homogène, l'absence de bullage et de ségrégation ainsi qu'une parfaite netteté des arêtes et des chanfreins, si les modes de mise en œuvre sont adaptés.

L'absence de vibration permet d'assurer de manière naturelle l'homogénéité du BAP dans la masse et donc l'uniformité des textures et des teintes.

La maîtrise des performances des BAP, la facilité et la fiabilité de leur mise en œuvre, garantissent la reproductibilité de l'aspect ainsi que la continuité et l'uniformité des parements au cours du chantier.

L'offre étendue des BAP, des performances mécaniques courantes à très élevées,

- Que l'entrepreneur, le fournisseur de coffrage et le fournisseur de béton organisent ensemble dans un esprit de partenariat, avant le démarrage du chantier, les procédures et les phasages du bétonnage [6].
- L'aptitude des BAP a ne pas nécessaire de vibration pour leur mise en place, engendre toute une chaîne d'avantages en termes de délai d'exécution, de réduction du matériel de chantier, de facilité de mise en œuvre, de remplissage optimal des coffrages, d'amélioration des conditions de travail, de sécurité des ouvriers et des conditions environnementales.
- Les temps d'ouvrabilités importants et maîtrisés permettent de réaliser des ouvrages difficiles ou impossibles d'accès pour des systèmes classique de vibration.
- La mise en œuvre sans vibration permet :
- La suppression des matériels de vibration (aiguilles vibrantes, vibreurs, etc.) et donc la réduction des nuisances sonores et vibratoires sur les chantiers et de la gêne du voisinage ;
- L'amélioration de la sécurité des ouvriers, en supprimant des postes de travail à risque (en partie haute des coffrages au moment du bétonnage en particulier).

Les BAP sont particulièrement adaptés pour la réalisation d'ouvrages en zones sensibles soumises à des exigences acoustiques. Ils permettent d'améliorer les conditions d'environnement sur les chantiers.

Les BAP présentent une avancée importante en matière de technologie de construction. Leurs propriétés spécifiques permettent d'optimiser l'organisation des chantiers, conduisant à une amélioration de la productivité et à une réduction des coûts de construction.

Pour que ces atouts aient vraiment un impact significatif sur l'économie globale d'un chantier, il convient de prendre en compte « solution BAP » dès la conception du projet.

Les BAP offrent les avantages suivants :

- Réduction des temps de bétonnage (augmentation des cadences de coulage, en particulier, grâce à la mise en œuvre possible du béton à la pompe).

- Facilité de mise en œuvre et gain sur les postes de travail, obtenus par le pompage du béton et la suppression de la vibration ;
- Réduction des délais de réalisation du chantier ;
- Economie sur les couts de la main-d'œuvre nécessaire à la vibration ;
- Réduction des besoins en matériel ;
- Amélioration de la productivité et des cadences ;
- Optimisation de la charge d'utilisation de la grue de chantier ;
- Réduction des couts d'entretien des coffrages et des moules ; ces derniers ne sont pas sollicités par les effets de la vibration ;
- Réduction de l'encombrement sur chantier ;
- Optimisation de l'organisation des chantiers ;
- Réduction des nuisances sonores pour l'environnement du chantier et sur le chantier.

Les propriétés rhéologiques des BAP à l'état frais permettent la réalisation de pièces fortement ferrillées et de formes complexes.

## **4. Constituants de base**

### **4.1 Ciment**

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment [7].

#### **4.1.1 Constituant**

Les ciments courant ont pour constituants principaux le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

Le clinker obtenue à la sortie de four à la suite de cuisson des matières premières constitué principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, un matériau hydraulique se présentant sous forme de petits nodules très durs composés essentiellement des quatre phases cristallines suivantes :

Silicate tricalcique également dénommé « alite »,  $C_3S$ , dont la formule est  $3CaO, SiO_2$  50-70% ;

Silicate bicalcique « bélite »,  $C_2S$ , dont la formule  $2CaO, SiO_2$  5-25% ;

Aluminate tricalcique  $C_3A$ , de formule  $3CaO, Al_2O_3$  2-12% ;

Alumino-ferrite tétracalcique  $C_4AF$ , de formule  $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$  0-15%.

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases, c'est ainsi que :

- Le  $C_3S$  qui libère au cours de l'hydratation avec une quantité de chaleur voisine du double de celle libérée par le  $C_2S$ , donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges ;
- Le  $C_2S$  permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène de prise est plus faible ;
- Le  $C_3A$  est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait, elle contribue assez peu à la résistance finale. Elle est par ailleurs facilement attaquées par les sulfates ;
- Le  $C_4AF$  qui forme une solution solide de  $C_2S$  et  $C_2F$ , réagit moins vite que  $C_3A$  ; son rôle est mineur dans les réactions de durcissement de ciment.

En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comporte également :

De la chaux libre  $CaO$  dont le pourcentage ne doit pas excéder 2% dans le clinker pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau.

De l'oxyde de magnésium  $MgO$ , encore appelé périclase, qui non combiné, peut être à l'origine d'une expansion par réaction avec l'eau [7].

### 4.1.2 Différents types de ciment courant

Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciment courant normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

**Tableau 1:** types de ciments

Désignation	Type de ciment	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier, pouzzolanes, cendres, calcaires, schistes, fumées de silice	teneur en clinker	Teneur en constituant secondaires
<b>CPA-CEM I</b>	Ciment portland		95-100%	0-5%
<b>CPJ-CEM II/A</b>	Ciment portland composé	6-12% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10%	80-94%	0-5%
<b>CPJ-CEM II/B</b>		21-35% avec les mêmes restrictions que ci-dessous	65-79%	0-5%
<b>CHF-CEM III/A</b>	Ciment de haut fourneau	36-65% de laitier	35-64%	0-5%
<b>CHF-CEM III/B</b>		66-80% de laitier	20-34%	0-5%
<b>CHF-CEM III/C</b>		81-95% de laitier	5-19%	0-5%
<b>CPZ-CEM IV/A</b>	Ciment pouzzolanique	10-35% de pouzzolanes, cendre siliceuses, ces dernières étant limités à 10%	65-90%	0-5%
<b>CLC-CEM V/A</b>	Ciment au laitier et aux cendres	36-55% comme ci-dessous	45-64%	0-5%
		18-30% de laitier et 18-30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes	40-64%	0-5%
		31-50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessous	20-39%	0-5%

## 4.2 Les granulats

On désigne en général par granulats l'ensemble des matériaux inertes-naturels ou artificiels-qui sont solidarités par le ciment. Ce mélange qui se compose de diverses classe granulaires, constitue le squelette granulaire du béton et doit comporter le moins de vides possibles, par rapport à la pâte de ciment qui les enrobe, des granulats de bonne qualité offrent les avantages suivants :

- Résistance en général plus élevée
- Meilleure durabilité
- Stabilité volumique en présence d'humidité, d'où un effet favorable sur le retrait du béton (réduction)
- Absorption d'une partie de la chaleur d'hydratation, d'où un effet régulateur sur le processus de prise.

# Synthèse bibliographique

Comme l'illustre le tableau 2, on fait la distinction entre trois sortes de granulats : le sable (naturel ou concassé) le gravillon (en fait souvent dénommer gravier ou gravillon, selon qu'il est naturel ou concassé) et la grave plus couramment désignée par le terme « mélange de gravillons et sable ».

**Tableau 2:** définition avec exemple des termes « sable », « gravillon » et « grave ».

Désignation	Définition	Exemples
<b>Sable (naturel ou concassé)</b>	$D \leq 4\text{mm}$ et $d=0$	0/1 0/3 0/4
<b>Gravillon (gravier ou gravillon)</b>	$D \leq 45\text{mm}$ $d \geq 3\text{mm}$	3/8 8/15 15/25
<b>Grave (mélange de gravillons et sables)</b>	$D \leq 45\text{mm}$ Et $d=0$	0/32

Le terme filler est également couramment utilisé. Il désigne un granulat dont la plupart des grains passent au tamis de  $63 \mu\text{m}$  et qui peut être ajouté aux matériaux de construction pour leur conférer certaines propriétés [8].

Les caractéristiques principales des granulats pour béton sont les suivants :

- Caractéristiques géométriques (granularité, teneur en fines, forme)
- Caractéristiques physiques caractérisés par les essais (Los Angeles, Micro Deval), masse volumique et absorption d'eau, gélivité, réaction alcali-silice, résistance au polissage...
- Caractéristiques chimiques (chlorure, sulfates solubles, soufre)
- Propreté.

## 4.2.1 Caractéristique Géométrique

### a) Granularité et courbe granulométrique

La granularité influence de manière déterminante la porosité du squelette granulaire, et par conséquent la densité du béton et sa résistance. Elle a également une influence considérable sur la demande en eau et sur l'ouvrabilité du béton.

La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains, exprimée en pourcentage de masse passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis.

En tamisant le granulat au moyen d'une série de tamis normalisés à mailles carrées, on obtient pour chaque tamis un refus qui permet de désigner les granulats en termes de dimension inférieure (d) et supérieure (D) de tamis, exprimé en d/D. Comme les classes granulaires d'un granulat présentent généralement plus ou moins toutes la même masse volumique, il est suffisant de spécifier la granularité en pourcentage de masse. Les tamis qui délimitent les classes granulaires (série de base et séries complémentaires) sont indiqués dans le tableau ci-après :

**Tableau 3:** dimensions des tamis pour la spécification des classes granulaires.

Série de base mm	Série de base+série 1 mm	Série de base+série 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5.6 (5)	-
-	-	6.3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11.2 (11)	-
-	-	12.5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22.4 (22)	-
31.5 (32)	31.5 (32)	31.5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

D'une manière générale, les granulats sont livrés et utilisés en classes granulaires bien définies.

Tableau 4: classes granulaires usuelles.

Exemples de classes granulaires	Désignation selon NBN EN 12620
$\leq 0.063$ mm	Fines (filler)
0-4 mm	Sable
4-8 mm	Gravier
8-16 mm	Gravier
16-32 mm	Gravier
$\geq 32$ mm	Gravier grossier

Lorsqu'une classe granulaire fait partiellement ou totalement défaut dans un mélange, on parle de granularité « discontinue ». A l'endroit de la classe manquante, la granularité (courbe granulométrique) est caractérisée par un palier horizontal ou légèrement incliné.

En général, on cherche à avoir une courbe continue, ce qui est favorable à une bonne ouvrabilité.

## b) Influence de la teneur en fines

La fraction 0-4 mm a une influence primordiale sur la quantité d'ensemble du mélange de granulats. Si sa porosité et la forme de sa granularité qui va jouer un grand rôle sur la demande en eau.

Un bon sable à béton doit avoir environ un tiers de ses grains compris entre 0.250 et 0.500 mm.

Les fines ( $\leq 0.125$  mm) jouent aussi un rôle déterminant.

Pour cette raison, il peut être nécessaire de recomposer la fraction 0-4 mm à partir de sable naturel lavé, de sable concassé sec et/ou de sable concassé lavé.

L'expérience a montré que la teneur totale en fines (ciment, addition et part des granulats de dimensions  $\leq 0.125$ ) doit se situer dans les limites fixées au tableau.

## c) Une teneur optimale en fines

- Accroît la quantité de film lubrifiant sans augmentation notable de la quantité d'eau de gâchage
- Garantir une meilleure ouvrabilité du béton
- Amélioré la capacité de rétention d'eau du mélange et prévient le ressuage pendant et après la mise en place

- Empêche la ségrégation lors de la mise en place et facilite le compactage du béton
- Améliore la compacité de la pâte de ciment et, par conséquent l'étanchéité du béton
- Améliore l'efficacité des adjuvants

Il faut cependant veiller à ce que les fines ne comportent pas de substances argileuses de nature gonflante.

### **d) Forme**

La porosité et la forme des grains, mais aussi leur état de surface et leur distribution dimensionnelle influencent considérablement le besoin en eau du mortier d'enrobage, ainsi que l'ouvrabilité et la stabilité (ressuage) du béton. (Voir tableau 5).

L'expérience a montré qu'un mélange pour béton comprend exclusivement des classes granulaire de granulats concassé pouvait très bien être utilisé.

Les granulats concassé améliorent la résistance mécanique du béton (traction, compression, abrasion) mais influencent défavorablement l'ouvrabilité. La limitation des gravières exploitables entraîne un épuisement progressif des gisements des sables et graviers naturels roulés, raison pour laquelle le recours aux granulats concassés et recyclés sera de plus en plus fréquent à l'avenir.

Ceci ne pose aucun problème, pour autant que le volume de pâte de ciment soit adapté en conséquence.

**Tableau 5:** relation entre la forme des grains et granulats

	<b>Granulats roulés</b>		<b>Granulats concassés</b>	
				
Forme	sphériques	Aplats/allongés	Cubiques	Aplatis/allongés
Angularité	Arrondis		Anguleux	
Etat de surface	Lisses		Rugueux	
Surface spécifique, demande en eau	Croissante			
Ouvrabilité, aptitude au compactage	Décroissante			

## 4.2.2 Caractéristique physique [10]

### a) Masse volumique et absorption d'eau

L'origine minéralogique et la porosité des granulats déterminent leur masse volumique nécessaire au calcul des matériaux. La densité apparente correspond à la masse de matériaux en vrac par unité de volume.

Le taux d'humidité des granulats comprend l'eau à la surface des grains et celle absorbée par ceux-ci.

L'humidité des sables est généralement comprise entre 4 et 8% de la masse, tandis que celle des granulats plus grossiers n'excède pas 3%.

Le taux d'humidité des granulats doit être pris en compte pour le calcul des volumes de granulats et pour celui de l'eau de gâchage.

L'eau absorbée par les granulats n'est pas disponible pour l'hydratation et la fluidité du béton.

L'eau absorbée par les gravillons peut être néfaste pour la résistance au gel.

La corrélation entre le taux d'humidité des granulats, spécialement du sable, et la densité apparente est illustrée le tableau ci-après :

**Tableau 6:** classification des granulats en fonction de leur masse volumique.

Granulats	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Nature des granulats	Utilisation
<b>Granulats courants</b>	2650-2800	Dépôts fluviaux, granulats concassés	Béton armé et non armé, produits en ciment
<b>Granulats lourds</b>	≥3000	Barytine, minerai de fer hématite, granulats en acier	Béton de protection contre les radiations
<b>Granulats légers</b>	≤2000	Argile, schiste ou verre expansé, pierre ponce	Béton léger, béton isolant, béton de pente
<b>Granulats durs</b>	≥2500	Quartz, corindon, carbure de silicium	Revêtements durs, béton résistant à l'abrasion

### b) Propreté

Une propreté insuffisante des granulats est préjudiciable à la qualité du béton. Il en résulte, par exemple, une altération de la prise et du durcissement ainsi qu'une diminution de la résistance au gel. Raison pour laquelle beaucoup de granulats doivent être lavés, afin d'être exempts de matière organiques, dangereuses pour l'hydratation des ciments, et de particules argileuses, dont la nocivité sera appréciée par des essais tels que équivalent de sable et bleu de méthylène.

### 4.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton. D'une part, elle permet l'hydratation du ciment et d'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et un bon compactage du béton.

On entend par « eau totale », la totalité de l'eau contenue dans le béton frais.

« L'eau efficace » quant elle comprend seulement :

- L'eau de gâchage, ajoutée au mélange
- L'eau contenue à la surface des granulats
- Suivant les cas, l'eau apportée par les adjuvants ou les ajouts (suspension de fumée de silice, de pigments....)

L'eau totale comprend donc l'eau efficace plus l'eau contenue dans les granulats (eau d'absorption), qui n'est pas disponible pour mouiller le mélange et ainsi participer à son ouvrabilité et à l'hydratation du ciment. Pour cette raison, c'est la valeur de l'eau efficace qui est utilisée pour le calcul du facteur eau/ciment (E/C).

### 4.3.1 Exigence concernant l'eau de gâchage

L'eau courante peut être utilisée pour le gâchage, pour autant qu'elle ne contienne pas en quantités appréciables des substances susceptibles de réagir avec le béton.

Ces substances peuvent induire en particulier :

- Une accélération ou un ralentissement de la prise et du durcissement (p. ex : sucre, acides humiques)
- Un entraînement excessif d'air non contrôlé, d'où perte de résistance (p. ex : micro-organismes, huiles, graisses, suspensions, certains sels minéraux)
- La corrosion des armatures

La norme NBN EN 1008 de juillet 2003 admet comme principe que l'eau potable peut être utilisée sans contrôle particulier pour la confection du béton.

L'eau destinée au gâchage doit être claire, incolore et inodore. Après agitation, il ne doit pas se former de mousse persistante. L'aptitude à l'emploi de l'eau pour la production de béton dépend de son origine (cf. Norme NBN EN 1008).

La teneur en sulfate ne doit pas dépasser 2000mg/l.

La teneur en chlorures ne doit pas dépasser :

- pour le béton armé : 1000mg/l ;
- pour le béton non armé : 4500mg/l ;
- pour le béton précontraint : 500mg/l.

La teneur en sels alcalins doit rester faible dans les bétons et les mortiers. Les impuretés organiques doivent être négligeables.

De nombreuses substances agressives sont moins redoutables dans l'eau de gâchage que dans l'eau qui entrera plus tard en contact avec les bétons. Les eaux sulfatées ou riches en acide carbonique, entre autres, peuvent attaquer ou détruire le béton de l'extérieur.

Elles sont cependant utilisables comment eau de gâchage, dans les limites de leur conformité à la NBN EN 1008.

#### **4.3.2 Eau recyclée (eaux de lavage)**

L'eau provenant des installations de recyclage des centrales à béton est utilisable pour le gâchage, mais doit faire l'objet de contrôles réguliers, conformément à la norme NBN EN 1008 ?tout spécialement s'il s'agit de béton à performances élevées.

Les effets possibles de l'utilisation d'eaux de lavage doivent être pris en compte s'il s'agit d'un béton devant répondre à des caractéristiques particulières comme le béton apparent, le béton précontraint, le béton à air entraîné, le béton auto plaçant.....

#### **4.4 Les adjuvant**

L'emploi d'adjuvants répond à des considérations techniques et économiques. Certaines performances du béton frais et du béton durci ne peuvent être atteintes qu'avec l'aide d'adjuvants. Les adjuvants peuvent contribuer à diminuer le cout de la main-d'œuvre et des matériaux ou celui de l'énergie de malaxage. En facilitant la mise en place des bétons, ils rendent possible l'application de méthodes plus économiques lors de la réalisation des chantiers.

Il convient généralement de procéder à des essais préliminaires en vue de déterminer l'efficacité des adjuvants.

Tableau 7: classification des adjuvants

Adjuvants	Effets principaux
<b>Plastifiants</b>	Diminution du rapport E/C et ou amélioration d'ouvrabilité Augmentation des résistances mécaniques Défloculation des grains de ciment
<b>Super plastifiants ou fluidifiants</b>	Forte réduction du rapport E/C et ou fort allongement des temps d'ouvrabilité Forte augmentation des résistances mécaniques
<b>Accélérateurs de prise ou de durcissement</b>	Utilisation hivernal des bétons Accroissement de la vitesse de montée en résistance des bétons Réduction des temps de prise des bétons
<b>Retardateurs de prise</b>	Utilisation des bétons en été Accroissement des temps d'ouvrabilité et des temps de prise Régulation de la chaleur d'hydratation
<b>Entraîneur d'air</b>	Protection des bétons contre les actions du gel et des sels de déverglaçage par création d'un réseau du micro bulle d'air
<b>Hydrofuges</b>	Réduction de la capillarité et de l'absorption capillaire des bétons Renforcement de « l'étanchéité » des bétons Possibilité du réduire certaines efflorescences

En générale, les adjuvants sont introduits sous formes liquide, en petite quantités, lors du malaxage. Leur pourcentage en poids par rapport au ciment se situe en général entre 0,2 et 2 %. Le dosage doit de toute façon être effectué selon les directives fabricants.

Pour des dosages supérieurs à  $3L/m^3$ , on tiendra compte de la part d'eau ainsi introduite dans la formulation de la recette de bétons. Il en va de même pour l'air introduit dans le mélange par les entraîneurs d'air.

Les dosages inférieurs à 0,2 % doivent être évités, car d'aussi petites quantités sont incompatibles avec le degré de précision courant des doseurs.

Les sous-dosages diminuent très rapidement l'effet recherché, alors que les surdosages peuvent avoir des effets indésirables tels que ralentissement de la prise, ségrégation ou perte de résistance à la compression.

#### **4.5 Les matériaux cimentaires**

Les additions et ajouts sont des substances qui améliorent certaines propriétés du béton telles que l'ouvrabilité du béton frais, la résistance et la compacité du béton durci, ou lui confèrent certaines propriétés particulières telles que la teinte.

Contrairement aux adjuvants, les quantités d'ajout incorporées au béton sont suffisamment importantes pour être prises en considération dans le calcul volumique.

La norme NBN EN 206-1 définit les additions comme des matériaux minéraux finement divisés

On peut déterminer en conformité avec la norme NBN EN 206-1 le dosage de l'addition et éventuellement adapter les formulations aux exigences requises pour certaines parties d'ouvrage. Cet avantage ne va cependant passer quelques inconvénients :

- le stockage séparé des additions et ajouts demande des silos, des équipements de dosage et des contrôle supplémentaires.
- Certains ajouts ont tendance à former des grumeaux lors d'un stockage prolongé.

Les ajouts sont des produits incorporés au béton et qui ne sont ni des ciments ni des granulats ni de l'eau de gâchage ni des additions. Il s'agit par exemple de fibres, de produits augmentant la viscosité ou la thixotropie, les colorants....

# Synthèse bibliographique

**Tableau 8:** classification des ajouts et leurs effets dans les bétons

Type d'ajout	Réaction	Effet ↑=augmentation ↓=diminution	Ajouts
<b>Inerte</b>	Aucune réaction, ou tout au plus réactions superficielles	↑ouvrabilité ↓ porosité (effet de remplissage)	Additions calcaires Additions siliceuses
<b>Pouzzolane</b>	Réaction avec l'hydroxyde de calcium et l'eau : formation de substances analogues aux hydrates du ciment	↑ ouvrabilité ↑ durabilité ↑ résistance finale ↓ porosité ↓ chaleur d'hydratation ↓ résistance initiale	endre volantes siliceuse fumée de silice pouzzolanes naturelles
<b>Hydraulicité latente</b>	En présence d'activateurs (alcalins, chaux, sulfates) et d'eau : formation de substances analogues aux hydrates de ciment	↑ durabilité ↑ résistance finale ↓ porosité ↓ chaleur d'hydratation ↓ résistance initiale	Laitier granulé de haut fourneau (sèche et broyé)

## 4.5.1 Les fillers calcaires

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80µm.

Les fillers sont différents les uns des autres par :

- Leur origine, leur composition chimique et minéralogique, leur défaut de structure, et les impuretés qu'ils contiennent ;
- Leur finesse, la forme des grains et leur état de surface ;
- Leur dureté et leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de CaCO<sub>3</sub>. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés au CPA peuvent jouer plusieurs rôles :

- Un rôle de remplissage en substitution de ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (les bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- Un rôle chimique et physique conduit à l'accélération de l'hydratation de  $C_3S$  et  $C_3A$  et à la formation de carbo-aluminate : germes de cristallisation et point d'encrage des hydrates.
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent, ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat [11].

### 4.5.2 Les Sédiments de dragage

Les sédiments sont définis comme "un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport" appelés communément vases. Dans le dictionnaire de géologie

[FOUCAULT et RAOULT, 1980]. [Cite par DUBOIS 2006, P-Y.SCORDIA 2008]

Les sédiments sont des matériaux solides particuliers qui véhiculent par l'eau, finissent par décanter sur le fond. Ils proviennent de l'érosion du bassin versant, des Berges, du ruissellement sur les surfaces imperméabilisées et des rejets de toute nature.

Ils sont constitués de particules de différentes tailles selon s'il s'agit de limons, de sables, de graviers, ou de galets. Ces éléments solides se déplacent soit en suspension dans l'eau

Soit par charriage sur le fond de la rivière. Quand le courant d'eau ralentit suite à un élargissement du cours d'eau ou quand la charge solide excède occasionnellement ce que la capacité de transport permet d'évacuer, les éléments décanter et sédimentent, provoquant l'envasement du cours d'eau. Les sédiments peuvent être d'origines naturelles ou anthropiques.

## 5. Propriétés BAP

### 5.1 À l'état frais

Contrairement aux bétons ordinaires BO, les essais standards tels (la maniabilité, l'ouvrabilité ou l'affaissement au cône ne sont pas valables, le premier car les BAP n'ont plus besoin d'un vibreur, table vibrante ou carrément un maniabilimètre et le second parce qu'il y aura un affaissement total, c'est cela que les chercheurs ont trouvés et développés d'autres

issus pour vérifier leur BAP, ils ont opté donc pour la série de manipulations suivantes avec des dispositifs spécifiques :

### **5.1.1 L'essai d'étalement au cône d'Abrams**

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow).

Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre.

Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

Le matériel utilisé pour pratiquer cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque métallique. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis à le soulever et à mesurer le diamètre moyen de la galette d'étalement obtenue.

### **5.1.2 L'essai de la boîte en L, écoulement en milieu confiné**

La cohésion du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à travers une zone fortement armée peuvent se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L. Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe, à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre et le diamètre des armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferrailage réellement présent dans la structure, ferrailage complexe ou simple).

Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticales (H1) et horizontales (H2).

Les résultats de l'essai s'exprime par le taux de remplissage  $H2/H1$  qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.

### 5.1.3 L'essai de stabilité au tamis

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage de BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50cm.

Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui à traversé le tamis.

Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton.

$$P = \frac{P \text{ laitence}}{P \text{ echantillon}} \cdot 100$$

La mesure de ce pourcentage permet de classer les BAP en :

$0\% \leq \text{laitance} \leq 15\%$ , stabilité satisfaite ;

$15\% \leq \text{laitance} \leq 30\%$ , stabilité critique ;

$\text{Laitance} \leq 30\%$ , stabilité très mauvaise ;

Ces essais permettent de donner une vision générale et qualitative sur les BAP

## 5.2 À l'état durci

Les bonnes propriétés du béton à l'état durci sont généralement l'objectif visé dans la conception. Néanmoins, la résistance à la projette généralement une image globale de la qualité d'un béton.

### 5.2.1 Résistance à la compression

Une bonne résistance à la compression est l'un des facteurs recherché pour le choix et la classification des bétons, que se soit BO ou BAP, caractérisé par la valeur mesuré à 28 jours. La relation de Féret montre qu'elle dépend de plusieurs paramètres dont le dosage en ciment, le volume d'eau, celui de vide et une constante K qui dépend de la classe de résistance du ciment.



**Figure 1:** essai de compression

$$R = \left(\frac{c}{C+V+E}\right)^2$$

L'écrasement est un test destructif, c-à-dire qu'il soit poursuivre jusqu'à la rupture. Il se fait dans une presse en utilisant des échantillons de dimensions 15x30 ou 16x32.

Il existe d'autres essais non destructifs tels que le scléromètre, et l'ultra son.

### 5.2.2 Résistance à la traction

#### a) Traction par fendage

Dans cet essai, l'éprouvette cylindrique se met horizontalement entre les bornes de deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse

#### b) Traction par flexion

Cet essai consiste à poser une éprouvette prismatique **axax4a** sur 2 appuis, en laissant une longueur (1) entre eux. Il y a une flexion dite à 3 points et une autre dite à 4 points.



**Figure 2:** essai de traction par flexion

## 6. Durabilité

### 6.1 Le vieillissement du béton

Les altérations du béton sont variées. Elles atteignent soit la matrice cimentaire soit les armatures, parfois les deux.

Leurs origines sont très nombreuses: chaque étape depuis la formulation, jusqu'à la mise en œuvre, mais aussi l'agressivité de l'environnement peuvent être source de dégradation.

Le positionnement des armatures, par exemple, est essentiel: en effet, si elles affleurent ou si elles sont placées trop près de la surface, leur oxydation sera favorisée, ce qui induira une dégradation du béton.

En effet, une armature oxydée peut occuper jusqu'à 9 fois plus de volume que le métal initial.

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

## 6.2 Les principales sources d'altération

La liste des sources possibles de dégradations liées à la formulation ou à la mise en œuvre est longue.

D'autant plus qu'aujourd'hui, des adjuvants et ajouts (fumées de silice, cendres volantes, fillers calcaires ou siliceux...) sont mélangés au béton.

Des produits de démoulage sont également utilisés sur les coffrages, ce qui fait autant de paramètres supplémentaires pouvant occasionner des altérations ou des défauts d'aspect, en cas d'utilisation inadaptée.

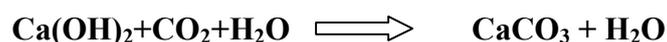
- la carbonatation,
- l'attaque par les chlorures,
- l'attaque sulfatique,
- les cycles de gel-dégel,
- l'alcali-réaction.

Cependant, un béton correctement formulé et mis en œuvre peut s'altérer après quelques années ou quelques dizaines d'années. Dans ce cas les altérations sont soit liées à des problèmes de structure, soit à un vieillissement du béton ou encore à une agression de l'environnement.

### 6.2.1 L'attaque par des eaux chargées de gaz carbonique

Les eaux fortement chargées de  $\text{CO}_2$ , peuvent être agressives, non seulement à cause de leurs **pH**, mais surtout de par le  $\text{CO}_2$  dissout en forte proportion, elles le sont par leurs teneurs temporaires en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dissout [13].

Ces carbonates peuvent attaquer la pierre de ciment par corrosion selon les réactions suivantes.



**Précipitation**

**Aragonite + calcite**

### 6.2.2 Action des sulfates

Les sulfates peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de pollution domestique et industrielle, eaux souterraines ou internes. Le mécanisme d'attaque des sulfates est très complexe et n'est pas encore bien clair, mais les connaissances actuelles affirment que les sulfates attaquent surtout le  $C_3A$ .



**Figure 3:** action des sulfates sur les bétons

L'effet de mélange des sulfates est parfois imprévisible, car il n'est pas additifs ; au contraire, il peut être soustractifs, car le mélange,  $Na_2SO_4$  plus  $MgSO_4$ , réduit l'attaque de chaque sel agissant séparément [13].

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico- chimiques :

- Expansion
- Perte des propriétés liantes des C-S-H

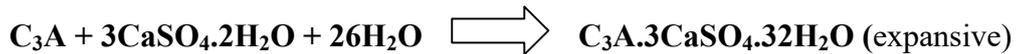
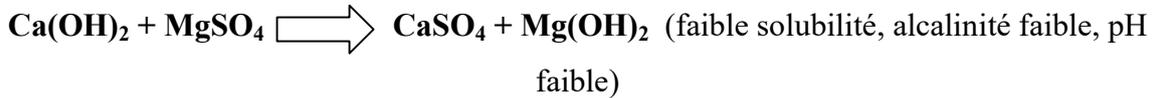
Les mécanismes de destruction sont fonction de la concentration et de la source des ions sulfates (le cation qui leur est associé) dans la solution d'eau externe ou dans la pâte de ciment.

- L'action des sulfates peut prendre la forme d'une expansion du béton suite à la formation de produits expansifs.
- Lorsque le béton se fissure, la perméabilité augmente et l'eau agressive peut pénétrer plus facilement, ce qui accélère de rythme de destruction.
- Ces expansions peuvent causer des dommages structuraux considérables
- L'action des sulfates peut aussi engendrer une perte de résistance et une perte de masse du béton en surface. [12]

## Synthèse bibliographique



**CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O** : Produit expansif mais qui se forme uniquement dans les espaces internes de la pâte de ciment hydraté, Dans la majorité des cas, pas ou peu d'expansion.



Substitution des ions **Ca<sup>++</sup>** par les ions **Mg<sup>++</sup>** dans les **C-S-H** :



Le **K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** et **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** agissent de la même manière pour former de l'ettringite expansive.

### 6.2.3 Action des chlorures

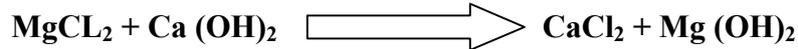
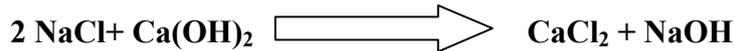
Deux mécanismes différents ont été proposés pour expliquer l'attaque de ciment par des solutions saturées en **CaCl<sub>2</sub>**, selon la valeur faible ou forte du rapport E/C. dans le cas d'un faible rapport E/C, de fortes pertes poids et des dégradations ont été observées provoquant une chute de résistance, sans expansion ; ceci a été attribué au lessivage.

Dans le cas des rapports E/C élevé ; une augmentation de poids et une forte expansion se produisent, des dégradations et des chutes de résistance sont observées, due à la cristallisation [13].



**Figure 4:** action des chlorures sur les bétons

L'attaque des chlorures consiste à la formation de **CaCl<sub>2</sub>** et **Mg(OH)<sub>2</sub>** ou **NaOH** ; après réaction de **NaCl** ou **MgCl<sub>2</sub>** avec **Ca(OH)** libérée après hydratation des minéraux du ciment, selon les réactions suivantes.



Le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$  ainsi formé va réagir avec le  $\text{C}_3\text{A}$  donnant naissance à un sel de Friedel, qui est instable, en présence des sulfates, ce dernier se transforme en sel de Candlot  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$  ; gonflement.

#### 6.2.4 Les cycles de gel-dégel et gélivité

Tous les bétons ne sont pas sensibles aux cycles de gel-dégel. Seuls les bétons dits "gélifs" s'altèrent.

Les dégradations se manifestent sous forme de fissurations internes ou d'écaillage et concernent essentiellement les structures horizontales (ponts, terrasses...), susceptibles d'être saturées en eau et donc plus sensibles à l'action du gel. Ce phénomène est encore mal connu.

La gélivité d'un béton peut être occasionnée par une sensibilité au gel à la fois des granulats et de la pâte de ciment, les deux phénomènes se s'additionnant pas.

La porosité de la pâte de ciment, peut d'une façon très simplifiée être assimilée à une association de bulles et de tubes (capillaires), les bulles étant reliées entre elles par des capillaires (quand la porosité est connectée).

Lorsque l'eau peut se déplacer au travers des capillaires jusqu'à une bulle encore "libre", la glace peut se former sans conséquence nuisible. Si au contraire elle se forme dans les capillaires, elle peut générer de telles contraintes qu'une fissuration peut se développer.

En effet, la transformation de l'eau en glace s'accompagne d'une augmentation de volume d'environ 9%.

Cependant cette expansion de volume n'est pas la seule origine des fissures. Elle induit également des mouvements d'eau au sein de la porosité. Les pressions occasionnées par ces mouvements d'eau, lorsqu'elles dépassent la résistance en traction du béton, peuvent provoquer l'apparition de fissures. L'expérience montre qu'un réseau de bulles d'air de diamètre et d'espacement (on parle de barre) adaptés à l'ouvrage et aux conditions climatiques auxquelles il est soumis (assuré par l'ajout d'une catégorie d'adjuvants, les "entraîneurs d'air") permet d'améliorer la résistance au gel du béton

En ce qui concerne les granulats, ce sont essentiellement leur taille, leur porosité et leur perméabilité qui jouent un rôle sur leur gélivité. Les granulats les plus sensibles au gel

semblent être les granulats de grandes dimensions (les sables sont généralement beaucoup moins gélifs que les graviers) et présentant une forte porosité, essentiellement formée de pores très fins.

### **6.2.5 L'alcali-réaction**

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. Trois conditions doivent être simultanément remplies pour que ces réactions puissent avoir lieu. Il faut que :

- le granulats soit potentiellement réactif,
- l'humidité relative excède 80 à 85%
- la concentration en alcalins dépasse un seuil critique

Il existe trois grands types d'alcali-réactions : les réactions alcali-carbonate, alcali-silice et alcali-silicate.

La réaction la plus fréquente est la réaction alcali-silice. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faïençage ou d'éclatement du béton.

Ces réactions n'apparaissent en général qu'après plusieurs dizaines d'années.

Cependant si les trois conditions précédemment citées sont remplies, avec notamment une forte réactivité des granulats et une forte teneur en alcalins, une alcali-réaction peut se développer en quelques années.

## **7. Conclusion**

Les BAP constituent une véritable alternative au béton traditionnel, comme l'ont montré un certain nombre d'exemples. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière. Parmi les propriétés des BAP qui ont été abordées dans ce chapitre, nous soulignons les trois plus importantes : le volume limité de gravillon, l'emploi de superplastifiants et l'utilisation d'une quantité importante d'addition ( $\emptyset < 80 \mu\text{m}$ ).

*Matériaux et  
procédure  
expérimentale*

## *II- Matériaux et procédure expérimentale*

---

### **1. Introduction et méthodologie de travail**

Notre étude pratique a pour but, la formulation et la caractérisation rhéologique (état frais) et physico mécanique (état durci) d'un béton autoplaçant BAP et comparer les résultats obtenue entre les BAP de filler de calcaire et ceux de sédiment de barrage

**En premier lieu :** on a procédé à la caractérisation de toutes les matières utilisées à savoir :

- Le sable (de BOUZEGZA et de BOUSSAADA) ;
- Les graviers (de BOUZEGZA) ;
- Le ciment CPJ-CEM II/A ;
- Les Filler de calcaire
- Les Sédiment de barrage de BENI AMRANE

**La deuxième partie :** est consacrée à la formulation de deux compositions de béton en utilisant la méthode JAPONAISE :

- 1<sup>ère</sup> composition : BAP à base de filler de calcaire
- 2<sup>ème</sup> composition : BAP à base de sédiment

**La troisième partie :** est consacrée à conserver les éprouvettes des les bains de conservation :

- 1<sup>ère</sup> bain : H<sub>2</sub>O potable de robinet
- 2<sup>ème</sup> bain : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acide sulfurique
- 3<sup>ème</sup> bain : HCl acide chlorhydrique

## 2. Matériaux utilisés

### 2.1 Ciment

Le type de ciment choisi est un « CPJ-CEM II/A 42,5 » groupe GICA-ECDE. C'est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajout de calcaire (6 à 20 %). Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

**Tableau 9** : caractéristique de CPJ-CEMII/A 42,5

CHIMIQUES		PHYSIQUES	
Norme NA 442	Ciment ECDE	Norme NA 442	Ciment ECDE
Sulfate $SO_3 \leq 3,5\%$	$SO_3 \leq 2,00\%$	Début de prise $\geq 60mn$	Début de prise = 65mn Fin de prise = 260 mn
Chlorure $Cl \leq 0,1\%$	$Cl \leq 0,08\%$	Stabilité à chaud $\leq 10mn$ Retrait $\leq 1000\mu m/m$	Stabilité à chaud $\leq 7mn$ Retrait 28j $\leq 650\mu m/m$

- consistance normalisé de CPJ-CEMII/A égale à 27%
- La finesse SSB égale  $3757 \text{ cm}^2/\text{g}$

La résistance mécanique à la compression, mesurées sur éprouvettes de mortier normal à 28 jours d'âge conformément à la norme NA 234 donne les résultats suivants.

- Limite inférieure (Li) :  $\geq 42,5 \text{ MPa}$
- Limite supérieure (Ls) :  $\leq 52,5 \text{ MPa}$

#### Domaine d'utilisation

- Béton courant (non armé ou faiblement armé : fondation, portées réduites, décoffrage différé).
- Produits préfabriqués en béton non armés (blocs, hourdis.....)
- Stabilisation des sols.
- Travaux en grande masse (barrages etc.....).

## 2.2 Granulats

### 2.2.1 Gravier

#### a. Gravier concassé (3/8) de BOUZEGZA

**Tableau 10:** caractéristique physiques de gravier (3/8)

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Absorption	1,02 %
Los-angles	23,70 %
Propreté superficielle	1,22 %

L'analyse granulométrique de ce gravier est faite selon la norme (NF EN 933-1) Mai 2012 qui utilise la série des tamis 10-08-6.3-5-4-3.14-2 et 0.5 cette analyse nous permis de connaitre et de déterminer la classe réelle du gravier.

**Tableau 11:** analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1)

Tamis	Refus cumulés(g)	Refus cumulés %	Passant %
10	0	0	100
8	0,8	0,04	99,96
6,3	394,2	22,31	77,69
5	1048	59,33	40,67
4	1468,4	83,13	16,87
2	1727,4	97,79	2,21
1	1742,8	98,66	1,34
Ft	1744,8	98,78	1,22

#### b. Gravier (8/15) de BOUZEGZA

**Tableau 12:** caractéristique physiques de gravier (8/15)

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique	2,66 g/cm <sup>3</sup>
Absorption	1,02 %
Los-angles	23,8 %
Propreté superficielle	1,45 %

**Tableau 13:** analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1)

Tamis	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Passant %
16	0	0	100
14	203,4	6,67	93,33
12,5	549,4	18,02	84,98
10	1340,4	43,97	56,03
8	2133,8	70,00	30
6,3	2855	93,66	6,34
5	2977	97,67	2,33
4	3012,4	98,83	1,33
Ft	3014,4	98,85	1,15

## 2.2.2 Sable

### a. Sable grossier de carrière de BOUZEGZA (0/3)

**Tableau 14:** caractéristique physiques de sable (0/3)

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique	1636 kg/m <sup>3</sup>
Masse spécifique	2,67 g/cm <sup>3</sup>
Esv	75 %
Esp	69,38 %
Mf	2,70 %

**Tableau 15:** analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1)

Tamis	Refus cumulés(g)	Refus cumulés %	Passant %
5	0	0	100
4	34	3,23	96,77
2	406	38,66	61,34
1	653	62,18	37,82
0,5	801,2	76,29	23,71
0,125	937	89,22	10,78
0,063	963,4	91,73	8,27
Ft	963,8	91,77	8,23

Ce sable à un module de finesse 2.7, alors une correction par un sable fin est souhaitable pour une bonne qualité de béton.

## b. Sable fin (sable de Boussaâda) 0/1

**Tableau 16:** caractéristique physiques de sable (0/1)

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique	1473 kg/m <sup>3</sup>
Masse spécifique	2,64 g/cm <sup>3</sup>
Esv	90,16 %
Esp	74,43 %
Porosité	3,65 %
Absorption	1,38 %
Teneur en eau	1,33 %
Mf	0,98 %

**Tableau 17:** analyse granulométrique selon la norme (NF EN 933-1)

Tamis	Refus cumulés(g)	Refus cumulés %	Passant %
2	0,2	0,02	99,98
1	0,6	0,06	99,94
0,5	2,4	0,27	99,73
0,125	867	97,97	2,03
0,063	882,2	99,68	0,32
Ft	882,4	99,71	0,29

Ce sable possède un module de finesse très bas qui est égal à 0.98

**Correction :** elle se fait selon la méthode d'ABRAMS dont la formule est la suivante :

Le module de finesse désiré soit fixé à ( $MF_x=1.5$ ).

**Correction :** selon la méthode d'ABRAMS dont la formule est suivante :

$$S2 = \frac{Mf_x - Mf_2}{Mf_1 - Mf_2} * 100, \text{ d'où } S1 = \frac{1.5 - 0.98}{2.7 - 1} * 100 = 29.41 \%$$

$$S1 = \frac{MF_1 - Mf_x}{Mf_1 - Mf_2} * 100, \text{ d'où } S2 = \frac{2.7 - 1.5}{2.7 - 1} * 100 = 70.59 \%$$

### 2.2.3 La courbe granulométrique

D'après le graphe suivant on a assuré une continuité de la fraction granulaire, donc une bonne granularité.

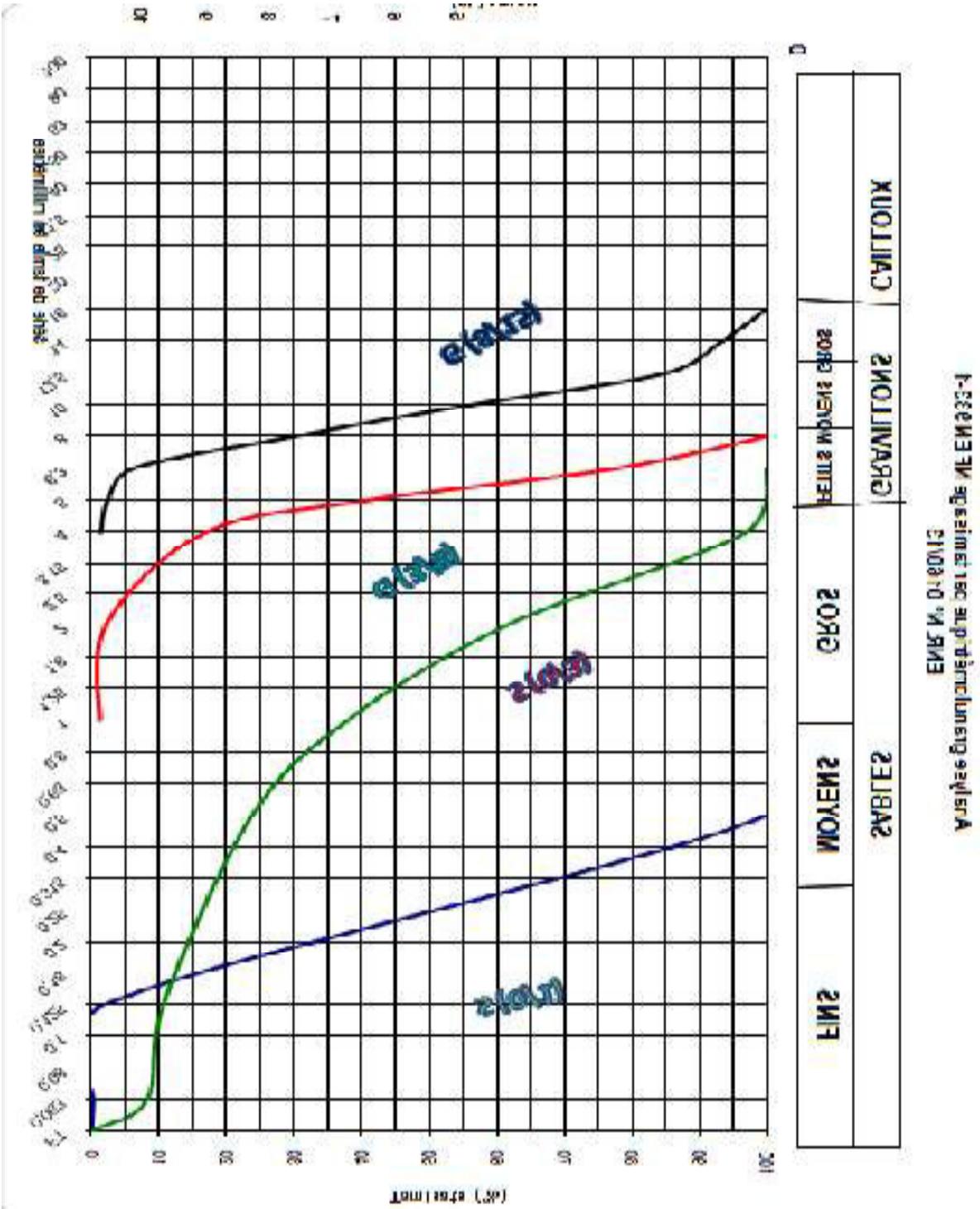


Figure 5: la courbe granulométrique

## 2.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée est une eau potable (de robinet) de la commune de OUED SMAR wilaya d'Algie.

## 2.4 Les matériaux cimentaire

### 2.4.1 Les filler calcaire

Les fillers calcaire utilisés sont des ultras fines destinés à l'utilisation dans les bétons à haut performance, nos échantillons viennent de broyage de calcaire d'une carrière à KHENCHLA avec une  $SSB = 3402.2 \text{ cm}^2/\text{g}$  et de  $Mv = 2,64 \text{ g/cm}^3$ .

**Tableau 18 :** Composition chimique de filler de calcaire

CaCO <sub>3</sub>	45 à 55%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 à 15%
SiO <sub>2</sub>	30 à 35%
Chlorure	Cl < 0,01%
Sulfate	SO <sub>3</sub> < 0,01%
Soufre total	S < 0,01%
Alcalin équivalents	< 0,01%

**Tableau 19 :** Caractéristiques physiques de filler de calcaire

Passant à 0,063 mm	≥ 70%
Passant à 0,125 mm	≥ 95%
Passant à 2 mm	≥ 100%
Masse volumique en vrac	700 - 800 kg/m <sup>3</sup>
Masse volumique réelle	2600 - 2700 kg/m <sup>3</sup>

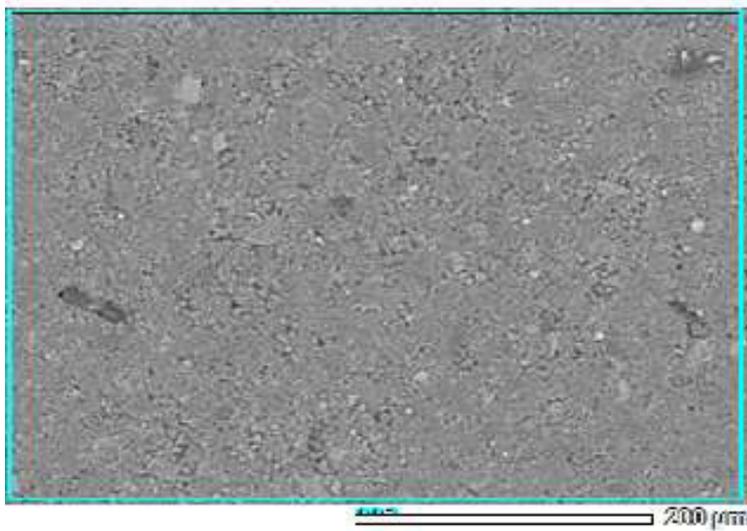
### 2.4.2 Les sédiments de barrage

Les sédiments utilisés viennent de barrage de BENI AMRANE, ils ont sécher à l'aire libre, après à l'étuve avec une température de 100°C pendant 10 heures, en les bien broyé dans un broyeur, après ils ont subit à un traitement thermique pour êtres calcinés.

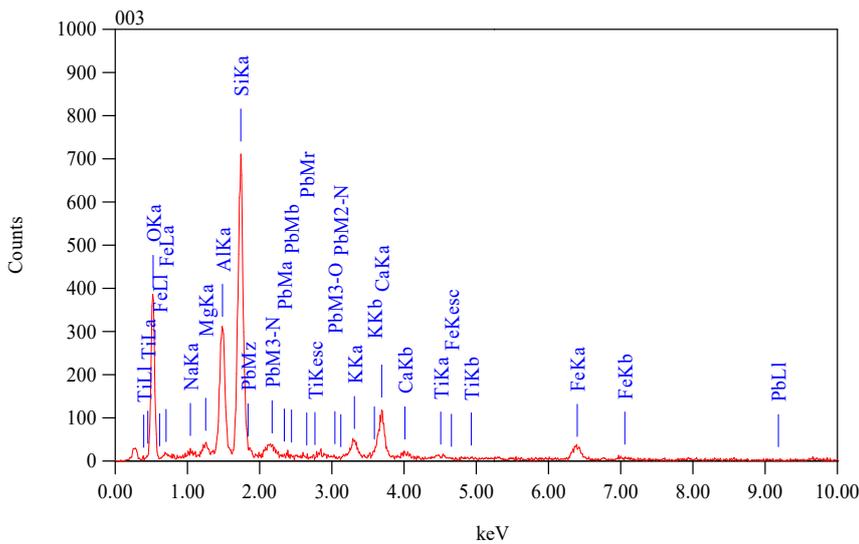
Ces sédiment ont une :  $SSB = 6503.89 \text{ cm}^2/\text{g}$  et  $Mv = 2,62 \text{ g/cm}^3$ .

Sédiment de barrage avant calcination

a. Composition chimique :



Title : IMG1  
 -----  
 Instrument : IT300 (LA)  
 Volt : 20.00 kV



Acquisition Parameter  
 Instrument : IT300 (LA)  
 Acc. Voltage : 20.0 kV  
 Probe Current: 7.47500 nA  
 PHA mode : T3  
 Real Time : 30.31 sec  
 Live Time : 30.00 sec

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1860

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Ti K*	4.508	0.36	0.09	0.16				0.4097
Na K*	1.041	0.58	0.13	0.53				0.4703
Pb M*	2.342	0.85	0.40	0.09				0.7505
Mg K	1.253	0.98	0.12	0.86				0.7404
K K	3.312	2.08	0.14	1.13				2.6054
Fe K	6.398	5.18	0.27	1.97				6.0065
Ca K	3.690	5.45	0.20	2.89				7.2313
Al K	1.486	9.99	0.25	7.88				9.0934
Si K	1.739	25.48	0.42	19.30				24.1556

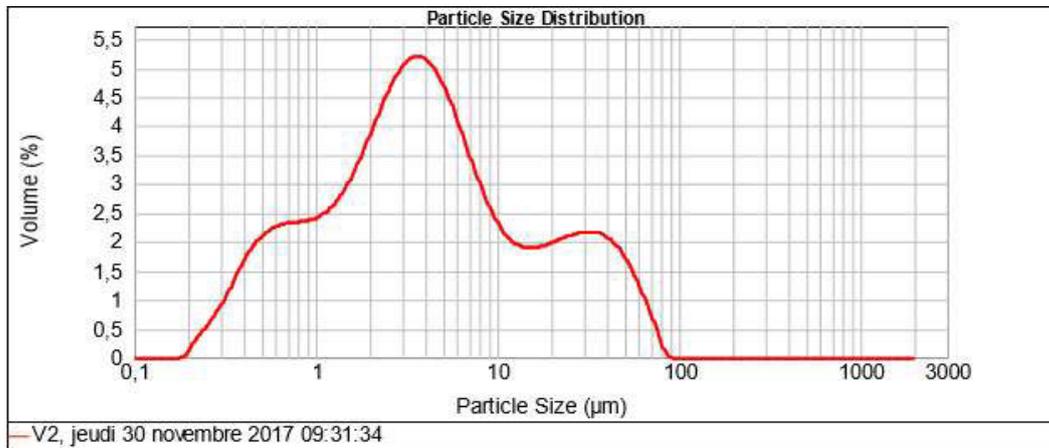
## b. Caractéristique physique :



### Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> V2	<b>SOP Name:</b>	<b>Measured:</b> jeudi 30 novembre 2017 09:31:34	
<b>Sample Source &amp; type:</b>	<b>Measured by:</b> lmmc	<b>Analysed:</b> jeudi 30 novembre 2017 09:31:35	
<b>Sample bulk lot ref:</b> 30/11/2017	<b>Result Source:</b> Measurement		
<b>Particle Name:</b> DEFAULT	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000 (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Normal
<b>Particle RI:</b> 1,520	<b>Absorption:</b> 1	<b>Size range:</b> 0,020 to 2000,000 um	<b>Obscuration:</b> 18,09 %
<b>Dispersant Name:</b> Dry dispersion	<b>Dispersant RI:</b> 1,000	<b>Weighted Residual:</b> 0,463 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0,0010 %Vol	<b>Span :</b> 7,949	<b>Uniformity:</b> 2,13	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 3,43 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 1,749 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 9,719 um	

d(0.1): 0,633 um                      d(0.5): 3,755 um                      d(0.9): 30,483 um

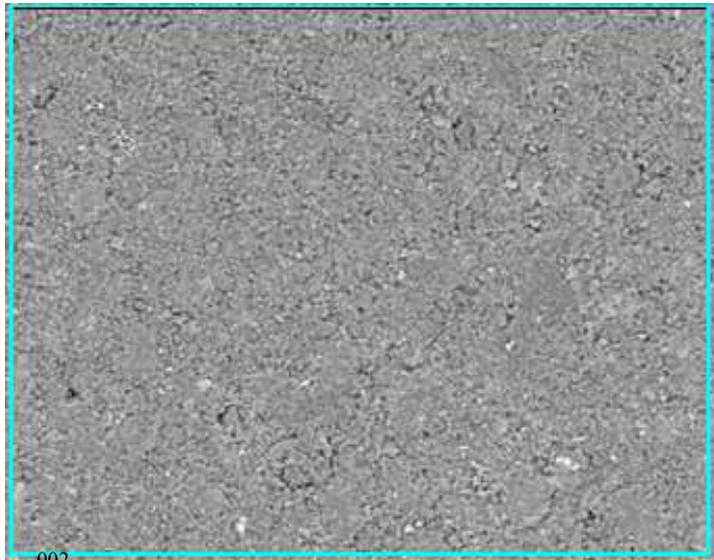


Size (µm)	Volume In %										
0,010	0,00	0,105	0,00	1,098	2,30	11,482	1,80	120,228	0,00	1258,925	0,00
0,011	0,00	0,120	0,00	1,259	2,50	13,183	1,72	138,038	0,00	1445,440	0,00
0,013	0,00	0,138	0,00	1,445	2,79	15,138	1,72	158,489	0,00	1659,687	0,00
0,015	0,00	0,158	0,00	1,660	3,16	17,378	1,77	181,970	0,00	1905,461	0,00
0,017	0,00	0,182	0,00	1,905	3,57	19,863	1,83	208,930	0,00	2187,762	0,00
0,020	0,00	0,209	0,07	2,188	3,98	22,909	1,90	239,883	0,00	2511,886	0,00
0,023	0,00	0,240	0,33	2,512	4,34	26,303	1,96	275,423	0,00	2884,032	0,00
0,026	0,00	0,275	0,54	2,884	4,59	30,200	1,98	316,228	0,00	3311,311	0,00
0,030	0,00	0,316	0,79	3,311	4,70	34,674	1,98	363,078	0,00	3801,894	0,00
0,035	0,00	0,363	1,10	3,802	4,70	39,811	1,93	416,899	0,00	4366,158	0,00
0,040	0,00	0,417	1,44	4,385	4,65	45,709	1,83	478,630	0,00	5011,872	0,00
0,046	0,00	0,479	1,73	5,012	4,43	52,481	1,82	549,541	0,00	5754,399	0,00
0,052	0,00	0,550	1,92	5,754	4,07	60,258	1,32	630,957	0,00	6606,934	0,00
0,060	0,00	0,631	2,04	6,607	3,61	69,183	0,91	724,438	0,00	7585,776	0,00
0,069	0,00	0,724	2,09	7,586	3,13	79,433	0,51	831,784	0,00	8709,636	0,00
0,079	0,00	0,832	2,12	8,710	2,66	91,201	0,05	954,993	0,00	10000,000	0,00
0,091	0,00	0,955	2,14	10,000	2,26	104,713	0,00	1096,478	0,00		
0,105	0,00	1,098	2,19	11,482	1,97	120,228	0,00	1258,925	0,00		

Operator notes:

Sédiment de barrage après calcination

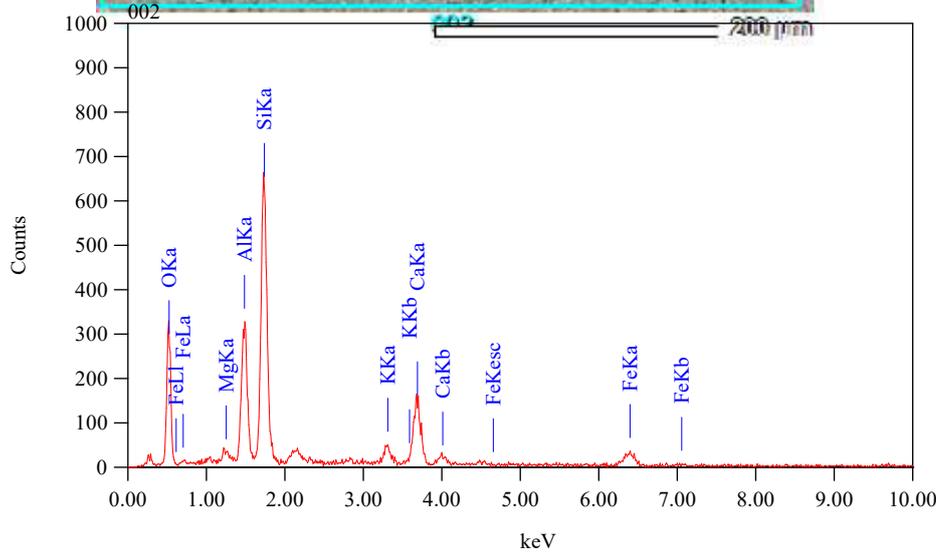
a. Composition chimique :



Title : IMG1

Instrument : IT300 (LA)

Volt : 20.00 kV



Acquisition Parameter

Instrument : IT300 (LA)

Acc. Voltage : 20.0 kV

Probe Current: 7.47500 nA

PHA mode : T3

Real Time : 30.32 sec

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1869

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Mg K	1.253	0.83	0.12	0.74				0.6640
K K	3.312	2.19	0.14	1.21				2.8695
Fe K	6.398	4.72	0.28	1.82				5.6572
Ca K	3.690	8.68	0.25	4.68				11.9918
Al K	1.486	11.03	0.27	8.83				10.6215
Si K	1.739	26.24	0.44	20.18				25.8287
O K	0.525	46.31	0.80	62.54				42.3673
Total		100.00		100.00				

## **2.5 Super plastifiant**

Le MasterGlenium 114 est un adjuvant innovant d'une nouvelle génération chimique de superplastifiant à base de polymère d'éther polycarboxylique. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton plus précisément dans le béton prêt à l'emploi. Selon la Normes EN 934-2 ASTM C-494 Type F&G.

Le MasterGlenium 114 se différencie des superplastifiants traditionnels comme ceux à base de Mélamine de Sulphonate et de Naphthalene formaldéhyde condensés de ceux basés sur un seul polymère d'éther polycarboxylique avec de longues chaînes latérales.

Ceci améliore de façon très significative le pouvoir dispersant sur le ciment.

Au début de la réaction chimique, la même dispersion électrostatique parvient mais la présence des chaînes latérales liées au centre du polymère génère un obstacle stérique qui stabilise la capacité des particules de ciment à séparer et à disperser.

Ce mécanisme procure un béton fluide avec une significative réduction d'eau.

### **Domaines d'application**

Le MasterGlenium 114 est utilisé pour la production de béton à hautes performances. Notamment dans le béton prêt à l'emploi, et autre,

Le MasterGlenium 114 peut être utilisé en combinaison avec MasterRheoMatrix pour la production de béton dynamique intelligent. La technologie produit les bétons autoplaçants développés sans avoir recours à la vibration. Pour la production économique écologique et ergonomique de béton prêt à l'emploi et préfabriqué.

### **Options et Avantages**

Le MasterGlenium 114 offre les avantages suivants pour :

- Capacité de livrer du béton à haute performance à n'importe quelle heure au chantier sur place.
- Production de béton avec de faibles rapports E/C sans perte d'ouvrabilité · Unique produit pour plusieurs besoins d'application.

### **L'entrepreneur / Le réalisateur**

- Mise en place plus facile et un développement de résistances plus rapide.
- Surfaces de béton améliorées.

- Garantir de mettre en place le même béton tel spécifié et des commandes de prêt à l'emploi

### Propriétés caractéristiques

**Tableau 20** : propriété de Master Glenium 114

<b>Aspect</b>	Liquide coloré moyen à marron foncé
<b>Masse volumique à 25°C</b>	1,078 g/cm <sup>3</sup>
<b>Valeur du pH</b>	5 – 8
<b>Teneur en chlorures</b>	Sans Chlorures

### Mode d'emploi Dosage

La proportion normale de dosage recommandée du MasterGlenium 114 est de 0.8 à 2.5 Litres par 100 Kg de ciment. D'autres dosages peuvent être recommandés dans des cas spéciaux selon les conditions spécifiques du chantier. Dans ce cas prière de consulter notre département technique pour conseil.

### Compatibilité

Le MasterGlenium 114 n'est pas compatible avec les superplastifiants MasterRheobuild. En vue d'optimiser des exigences spéciales, l'utilisation des additifs complémentaires suivants est suggérée : Agent modificateur de viscosité MasterMatrix 110 pour la production de béton dynamique intelligent.

Le MasterGlenium 114 est compatible avec la majorité des ciments. Le MasterGlenium 114 convient avec mélanges contenant :

- Micro Silice
- Cendres Volantes pulvérisées
- Ciment avec Laitiers à hauts fourneaux
- Fillers calcaire

### Conservation et Stockage

Le MasterGlenium 114 doit être conservé loin des rayons solaires et protégé des températures extrêmes. La durée de conservation est de 09 mois quand elle arrive à terme. La réaction de la couche de surface avec le MasterGlenium 114 est normale et n'aura aucun effet sur la performance du produit







**Figure 6:** essai d'étalement

### **3.2.2 Écoulement à la boîte en L**

La cohésion du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à travers une zone fortement armée peuvent se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe, à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre et le diamètre des armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferrailage réellement présent dans la structure, ferrailage complexe ou simple).

Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticales (H1) et horizontales (H2).

Les résultats de l'essai s'exprime par le taux de remplissage  $H2/H1$  qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.



**Figure 7:** essai d'écoulement

### 3.2.3 Stabilité au tamis

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage de BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50cm.

Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.

Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton.

$$P = \frac{P \text{ laitence}}{P \text{ echantillon}} \cdot 100$$



Figure 8: essai de stabilité

### 3.3 Essais à l'état durci

#### 3.3.1 Résistance à la compression

Cet essai consiste à déterminer la résistance maximum à la compression des éprouvettes cylindrique 4,5x9 cm.



**Figure 9:** essai de compression des sur éprouvettes 4,5x9 cm

### 3.3.2 Résistance à la flexion

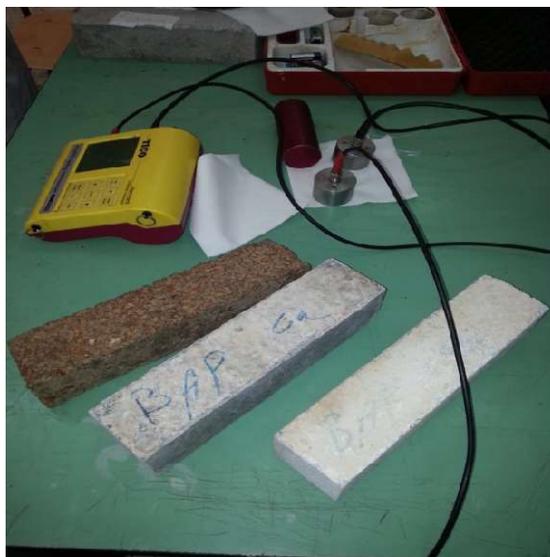
Cet essai consiste à déterminer la résistance maximum à la traction par flexion 3 points des éprouvettes prismatique 7x7x28 cm.



**Figure 10:** essai de traction par flexion

### 3.3.2 Auscultation sonique

Cet essai consiste à mesurer la résistance et la compacité du béton sans le détruire, et pour cela une série d'équation intervienne pour l'établir. En revanche, on l'utilise juste à titre confirmatif pour caractériser le matériau



**Figure 11:** essai d'auscultation sonique

## 4. Les bains de conservation:

Pour cette étude nous préparé deux bains de conservation acide :

- Acide sulfurique.
- Acide chlorhydrique.

Le troisième pour contrôle, l'eau du robinet.

Après conservation dans une salle humide 7 jours, les éprouvettes sont démoulées, puis immergé dans les milieux (acide chlorhydrique HC, acide sulfurique  $H_2SO_4$  et l'eau  $H_2O$ ). Les essais sont effectués à 3, 7 et 28 jours.



Figure 12: Bain de conservation  $H_2O$  et mesure du pH



Figure 13: Bain de conservation HCl et mesure du pH



**Figure 14:** Bain de conservation  $H_2SO_4$  et mesure du pH

Après quelque heures de conservation les acides influent sur les bétons provoquant une expansion avant l'éclatement de la surface externe des bétons.

Les éprouvettes conservées dans HCl forment une couleur jaunâtre ceci revient au fer entrant dans la composition chimique de ciment ( $C_4AF$ ) qui réagit avec les ions de chlorures  $Cl^-$ .

Et pour les éprouvettes conservées dans  $H_2SO_4$  forme une couleur Blanche ceci revient à la dissolution de la pâte de ciment et surtout le calcaire entrant dans la composition chimique de ciment (C-S-H) qui réagit avec les ions de sulfates  $SO_4^{2-}$ .



**Figure 15:** action des ions  $Cl^-$  et  $SO_4^{2-}$  sur bétons

### **5. Conclusion**

Ce travail expérimental a pour objectif en premier lieu de mettre en évidence l'influence des ajouts (vase de BENIE AMRANE et filler de calcaire) sur le comportement mécaniques (résistance) des bétons. Il vise en second lieu à caractériser les BAP à l'état frais conformément aux normes et étudier leurs performances mécaniques et leur durabilité envers l'attaque des acides.

Nous avons adopté pour toutes les formulations le même rapport Eau/Ciment, le même squelette granulaire et le même volume de pâte.

Tous ces essais devraient permettre néanmoins dans un premier temps, la détermination des propriétés révélatrices, directe ou indirecte, de l'influence de la vase sur les performances des BAP et leur durabilité.

*Présentation et  
analyse des résultats  
expérimentaux*

### *III- Présentation et analyse des résultats expérimentaux*

---

#### **1. Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter et discuter les résultats obtenus après la réalisation de nos bétons et leurs études à l'état frais et durci.

#### **2. Propriétés des bétons à l'état frais**

Après avoir formulé le BAP, une étude de ces propriétés est établie pour vérifier le comportement à l'état frais, qui se manifeste dans l'étalement pour les milieux non confiné, ainsi que son écoulement dans les milieux confiné illustré dans la boîte L (L-box) et le taux de ségrégation mesuré par l'essai de stabilité sur tamis 5mm

Le tableau ci-après présente les résultats des essais de rhéologie pour les bétons avec ajout de sédiment de barrage (vase) et de filler de calcaire ainsi que leur masse volumique

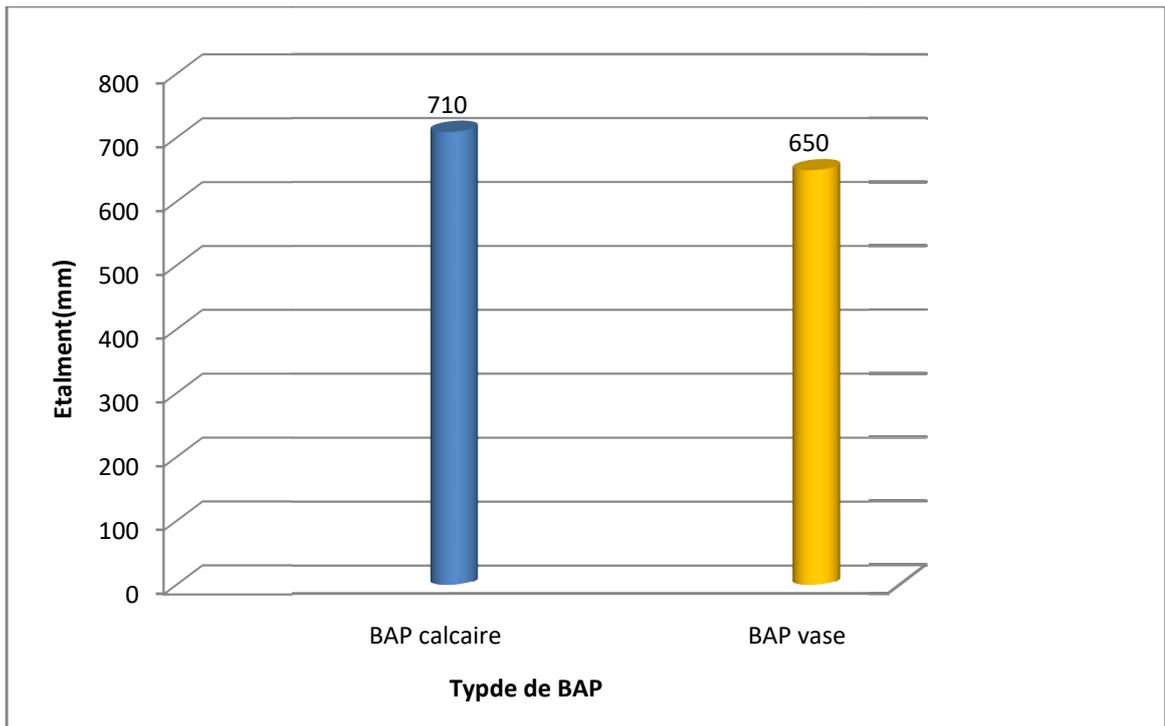
**Tableau 21** : propriétés des BAP à l'état frais

	Sédiment de barrage	Filler de calcaire
SSB (cm <sup>2</sup> /g)	6504	3402
Etalement (mm)	650	710
L box (%)	80	86
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	2308	2463
Stabilité au tamis (%)	4,3	3,0
Masse volumique absolue des ajouts (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	2,64

**a. L'étalement au cône**

On remarque que l'étalement du BAP à base des filler calcaire est plus élevé que celui du BAP à base de sédiment de barrage. La diminution de l'étalement est due à l'augmentation de la SSB de sédiment. Car avec l'augmentation de la SSB l'absorption en eau augmente d'où la viscosité augmente et par conséquent, l'étalement diminue.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont conformes à la norme en vigueur ( $600 \text{ mm} \leq \text{étalement} \leq 750 \text{ mm}$ ).



**Figure 16:** Evolution l'étalement des deux bétons

**b. Ecoulement dans la boîte en L**

On remarque que l'écoulement de BAP à base de calcaire est plus que celui de BAP à base de sédiment, ceci revient à la grande SSB de sédiment qui absorbe plus d'eau, et aussi à la nature des sédiments qui se colmate légèrement sur les parois de la boîte en L, mais il reste aussi acceptable.

Les résultats trouvés sont supérieurs à 80 % ce qui est conforme aux normes.

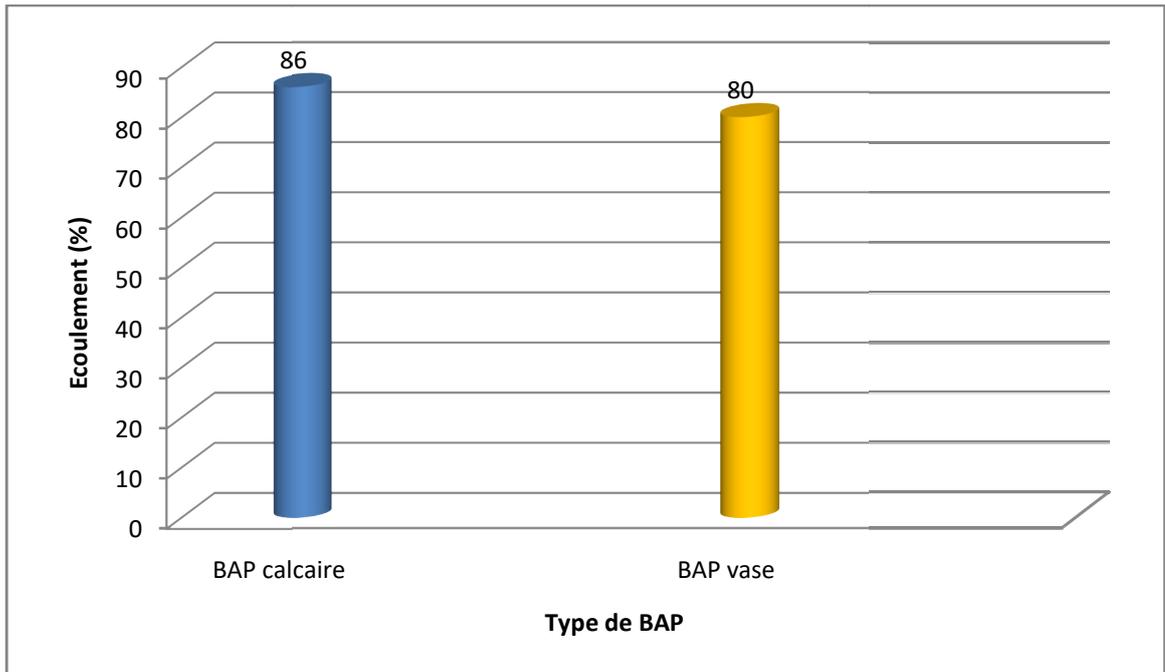


Figure 17: Evolution de l'écoulement des deux bétons

### c. Stabilité au tamis

A partir des résultats obtenus, on remarque que le taux de laitance de BAP à base de vase est plus grand que celui de BAP à base de calcaire, malgré sa ils restent dans l'intervalle de la norme ( $< 15\%$ ), c'est-à-dire que notre béton conforme aux exigences de l'AFGC.

**$0\% \leq \text{laitance} \leq 15\%$  stabilité satisfaisante.**

**$15 \leq \text{laitance} \leq 30\%$  stabilité critique :** (essai de ségrégation à réaliser pour confirmer les exigences de l'AFGC.

**Laitance  $\geq 30\%$  stabilité très mauvaise :** (un taux trop élevés de laitance, donc risque d'une très mauvaise homogénéisation et une forte ségrégation qui se présente sur tout dans un mauvais serrage du coffrage ou dans un mauvais coffrage).

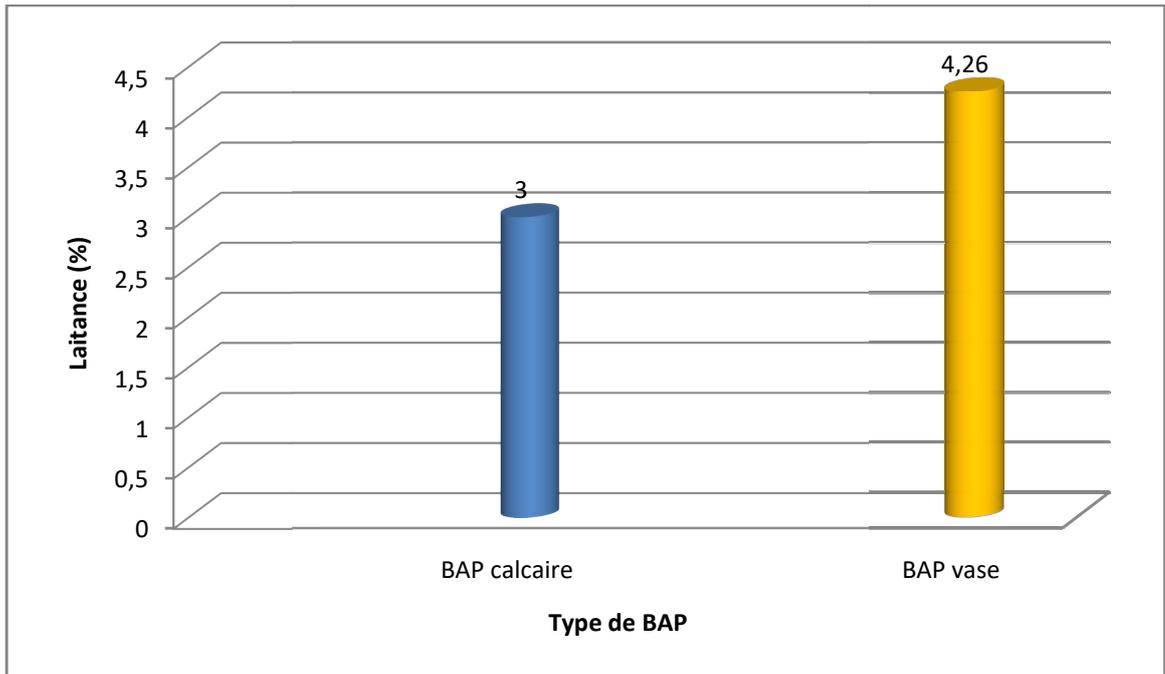


Figure 18: Evolution de stabilité des deux bétons

**d. La masse volumique**

Le BAP à base de sédiment est plus léger que celle de BAP à base de calcaire car la densité absolue de sédiment de barrage est moins que celle des filler calcaire.

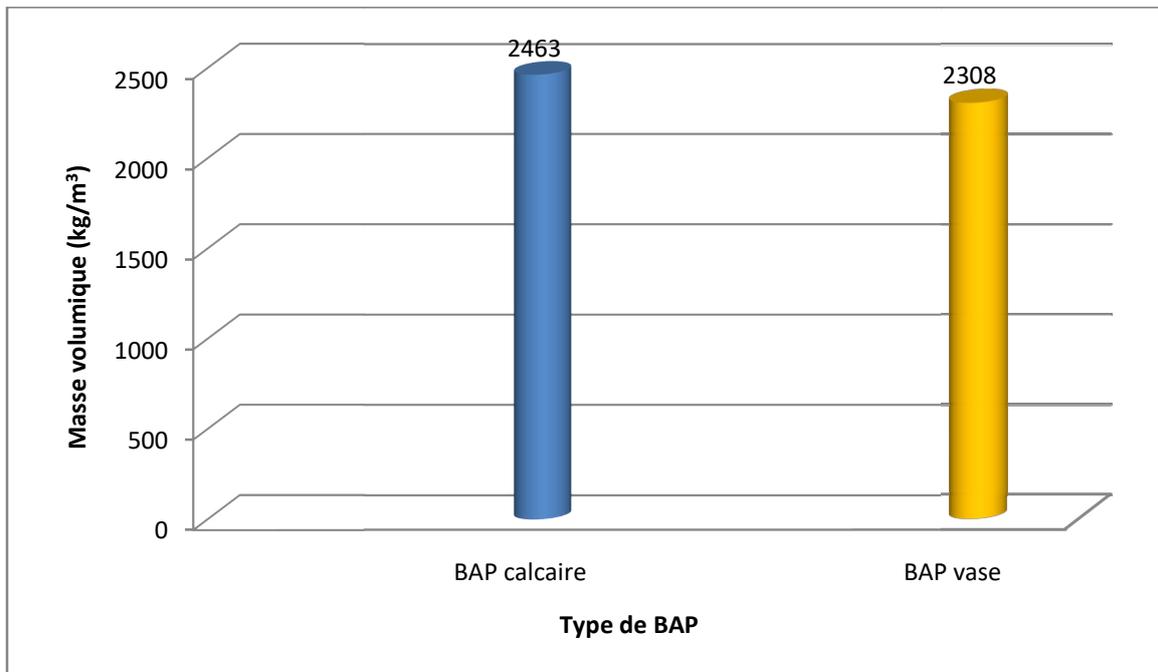


Figure 19: Evolution de la masse volumique à l'état frais des deux bétons

### 3. Propriétés des bétons à l'état durcis

Pour étudier la conformité de ces bétons aux exigences et aux normes de construction, une série de test est suivie afin de leur confier les commodes de cahier de charge. Par exemple, pour les essais de résistances mécaniques, des essais sont effectués à 3 et 7 et 28 jours, et à 14 et 21 jours pour mieux suivre le processus.

Ces études effectuées concernent les résistances à la traction par flexion, et surtout pour la résistance à la compression. Suivie par d'autres contrôles tels que la masse volumique (après 28 jours de conservation), ce qui peut donner une appréciation sur la pénétration des agents agressifs (comme les ions chlorure et d'autre).

Après avoir réalisé tous les tests nécessaires à l'état frais, les bétons confectionnés seront ensuite carottés en cylindre de 4,5x9cm pour essais de compression et 7x7x28 cm pour les essais de traction par flexion ou par fendage (dans notre cas, il s'agit des essais de traction per flexion seulement).

Après conservation dans une salle humide pendant 7 jours, les éprouvettes sont démoulées, puis conservées dans les milieux (acide chlorhydrique HCl, acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et l'eau H<sub>2</sub>O). Les essais mécaniques sont effectués à 3j, 7j, 28j (selon la norme NF P 18-404).

**Tableau 22** : Caractéristiques des BAP à base des filler calcaire à l'état durci

Milieux	H <sub>2</sub> O			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			HCl		
	3	7	28	3	7	28	3	7	28
Age (j)									
Mv (kg/m <sup>3</sup> )	2306	2223,6	2236	2166	2027	1398	1467	1398	1398
Rc (MPa)	25,8	44,4	47,2	22,7	16,5	8,27	12,3	18,8	15,61
Rf (MPa)	8,31	9,39	8,8	6,18	7,20	5,31	6,05	7,69	7,54

**Tableau 23:** Caractéristiques des BAP à base sédiment de barrage à l'état durci

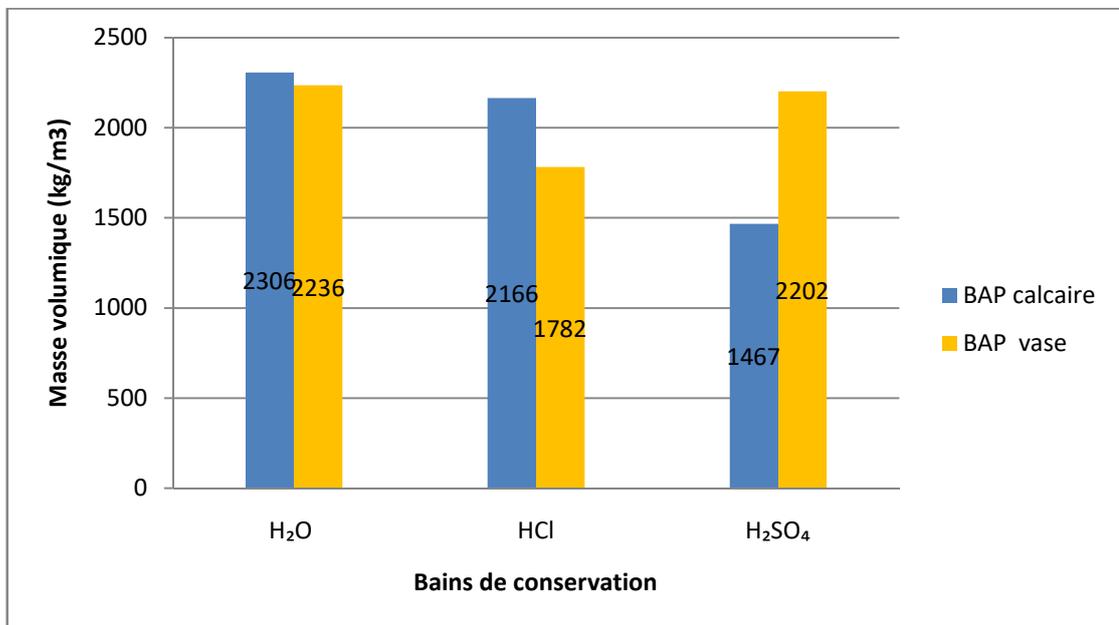
Milieux	H <sub>2</sub> O			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			HCl		
	3	7	28	3	7	28	3	7	28
Mv (kg/m <sup>3</sup> )	2236	2236	2236	2202	2062	1406	1782	1712	1708
Rc (MPa)	27,29	34,7	39,7	24,8	18,06	10,8	21,17	17,10	17,08
Rf (MPa)	8,22	8,09	6,70	5,96	5,13	4,96	6,96	7,85	7,73

### 3.1 Masse volumique des bétons à l'état durci

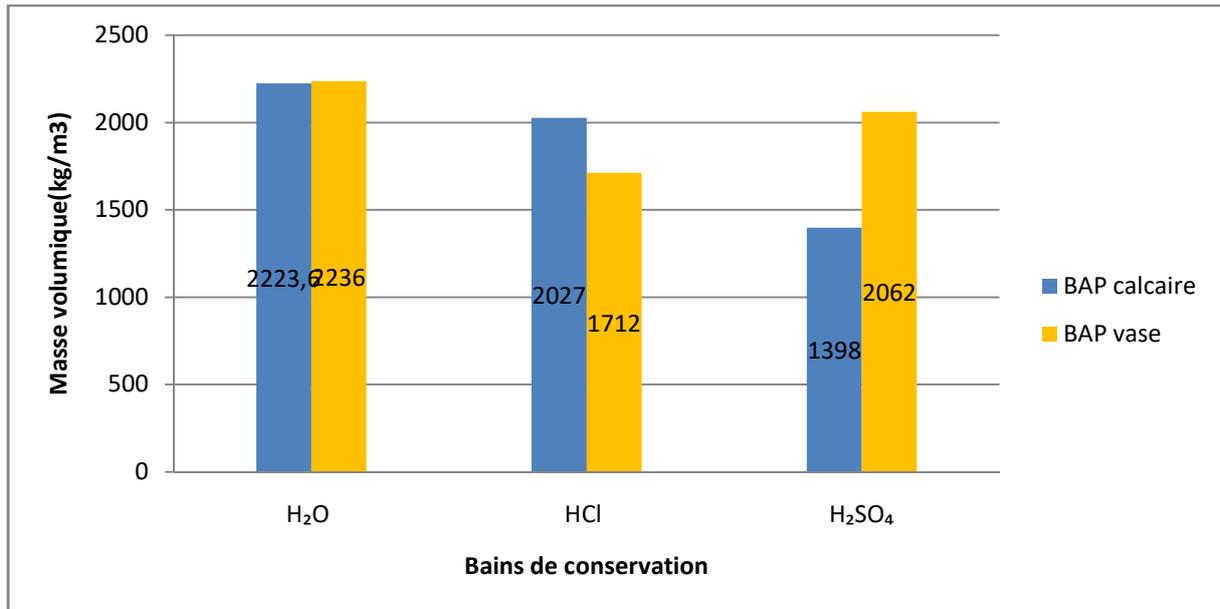
Le béton à base de calcaire est plus lourd par rapport au béton à base de sédiment de barrage pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>O.

L'influence des acide sur la masse volumique des deux bétons (calcaire et vase) est visuelle.

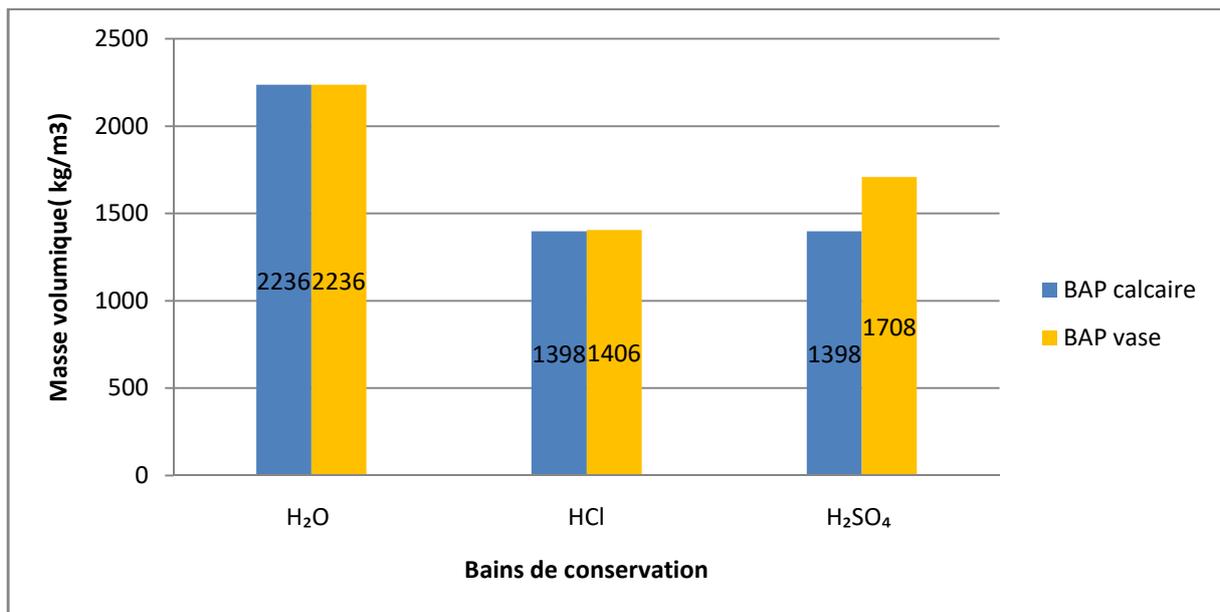
Le BAP à base de calcaire résiste plus par rapport aux BAP à base de sédiment à la dégradation par l'acide chlorhydrique, et le contraire pour l'attaque par acide sulfurique.



**Figure 20:** Evolution de la masse volumique à 3 jours des deux bétons.



**Figure 21:** Evolution de la masse volumique à 7 jours des deux bétons.



**Figure 22:** Evolution de la masse volumique à 28 jours des deux bétons.

### 3.2 Résistance à la compression

On remarque que la résistance à la compression de BAP à base de sédiment de barrage est légèrement faible par rapport aux BAP base de filler de calcaire augmente pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>O.

L'influence des acides sur la résistance des deux bétons est présentée dans le graphe.

Le BAP à base de sédiment garde sa résistance à la compression mieux que le BAP à base filler de calcaire pour l'attaque par acide sulfurique, et le contraire pour l'attaque par acide chlorhydrique.

#### Résistance à la compression à 3 jours

L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement élevée par rapport aux BAP à base de filler de calcaire aux premiers âges, pour les éprouvettes conservées dans tous les milieux (H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl).

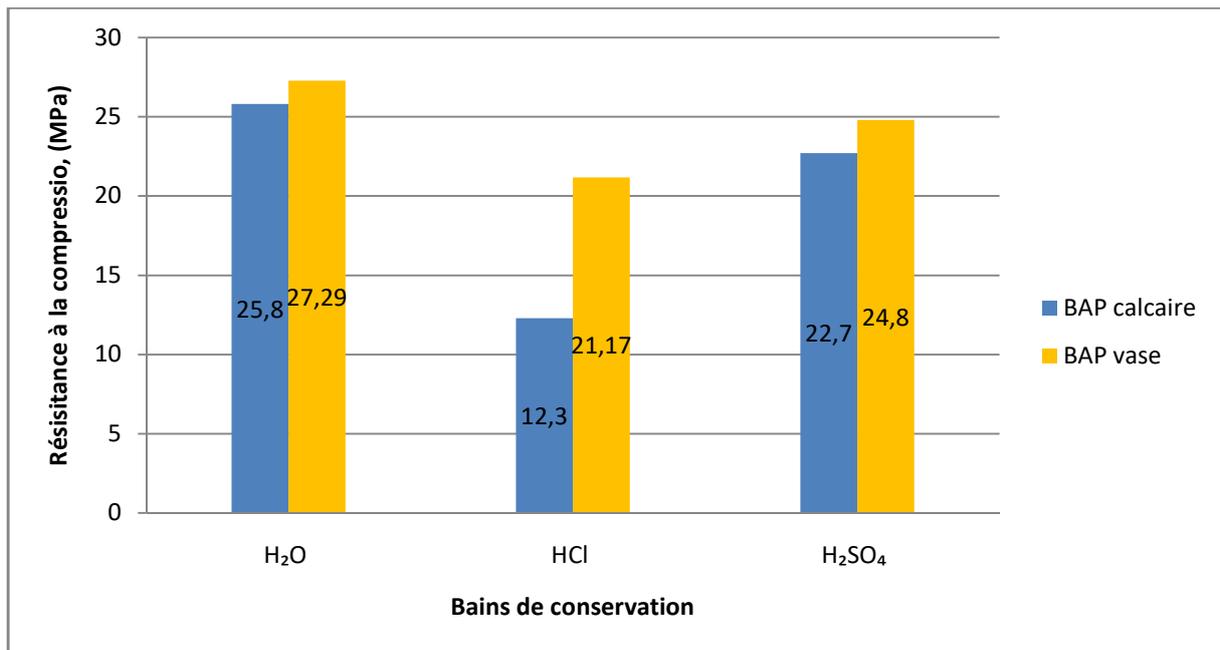
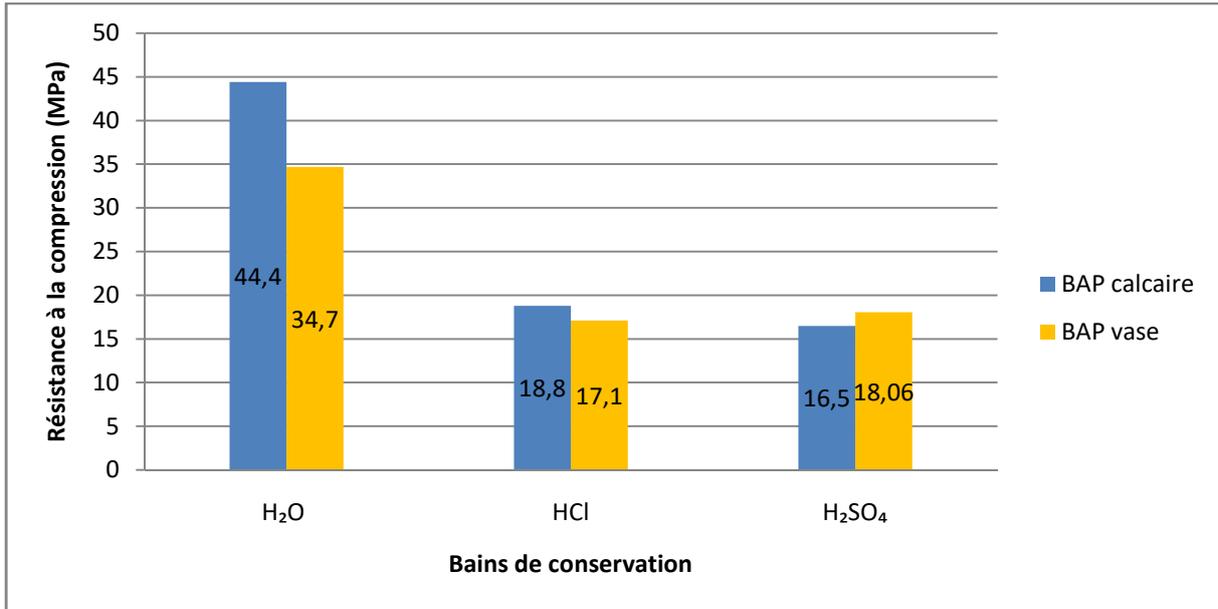


Figure 23: Evolution de résistance à la compression à 3 jours des deux bétons

#### Résistance à la compression à 7 jours

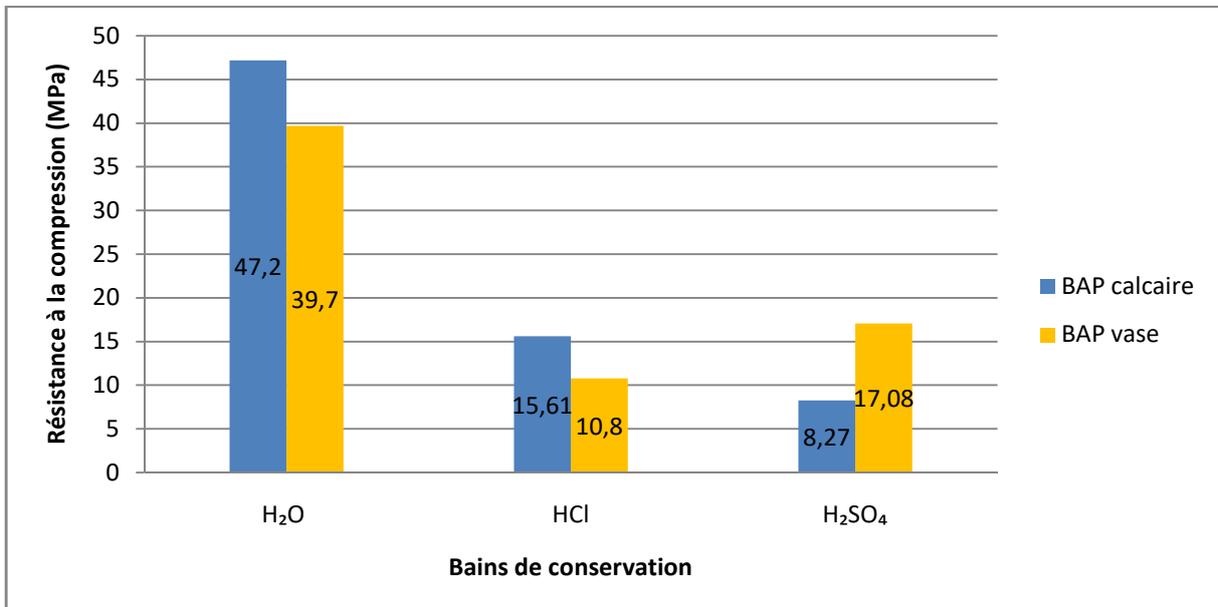
L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement faible par rapport aux BAP à base de filler de calcaire aux moyens âges, pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>O et HCl, et le contraire pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Figure 24:** Evolution de résistance à la compression à 7 jours des deux bétons

### Résistance à la compression à 28 jours

L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement faible par rapport aux BAP à base de filler de calcaire aux longs termes, pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>O et HCl, et le contraire pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Figure 25:** Evolution de résistance à la compression à 28 jours des deux bétons

### 3.3 Résistance à la traction par flexion 3points

On remarque que la résistance à la traction des bétons à base de sédiment de barrage et à base de filler de calcaire est très faible pour les éprouvettes conservées dans  $H_2SO_4$ , et pour les éprouvettes conservées dans  $H_2O$  et  $HCl$  c'est le contraire.

L'attaque des acides influe sur la résistance à la traction des deux bétons.

Le BAP à base de sédiment garde sa résistance à la compression mieux que le BAP à base filler de calcaire pour l'attaque par acide chlorhydrique, et le contraire pour l'attaque par acide sulfurique.

#### Résistance à la traction par flexion à 3jours

L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement faible par rapport aux BAP à base de filler de calcaire aux premiers âges, pour les éprouvettes conservées dans les milieux ( $H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ), et le contraire pour les éprouvettes conservées dans  $HCl$ .

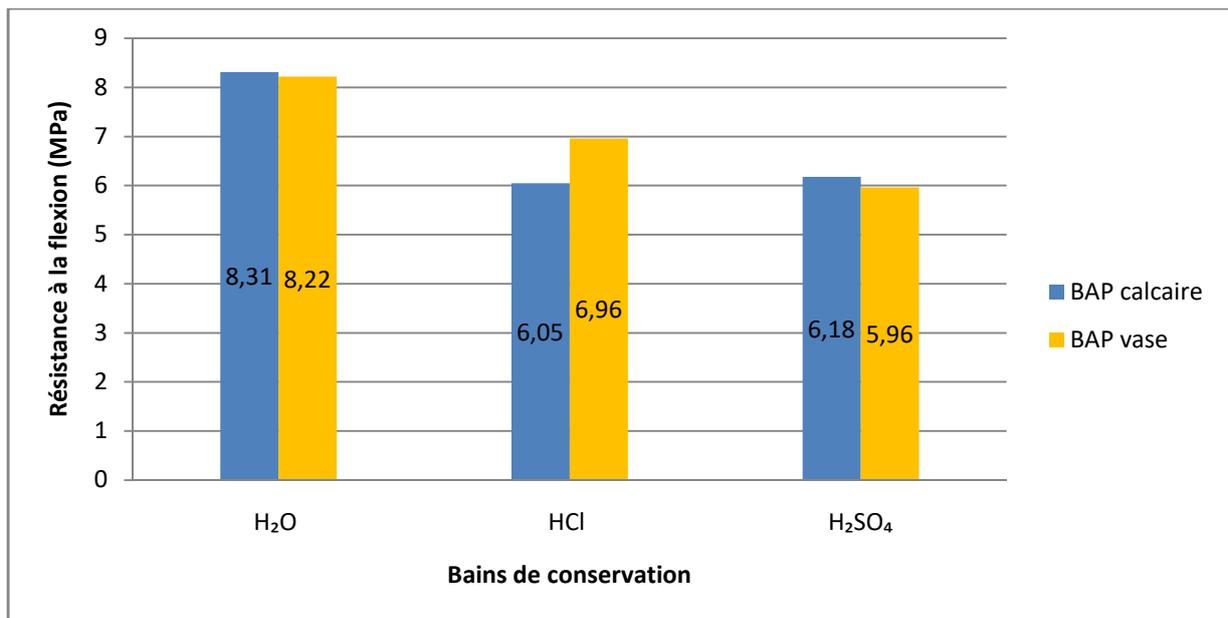


Figure 26: Evolution de résistance à la flexion à 3 jours

#### Résistance à la traction par flexion à 7jours

L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement faible par rapport aux BAP à base de filler de calcaire à 7jours, pour les éprouvettes conservées dans  $H_2O$  et  $H_2SO_4$ , et le contraire pour les éprouvettes conservées dans  $HCl$ .

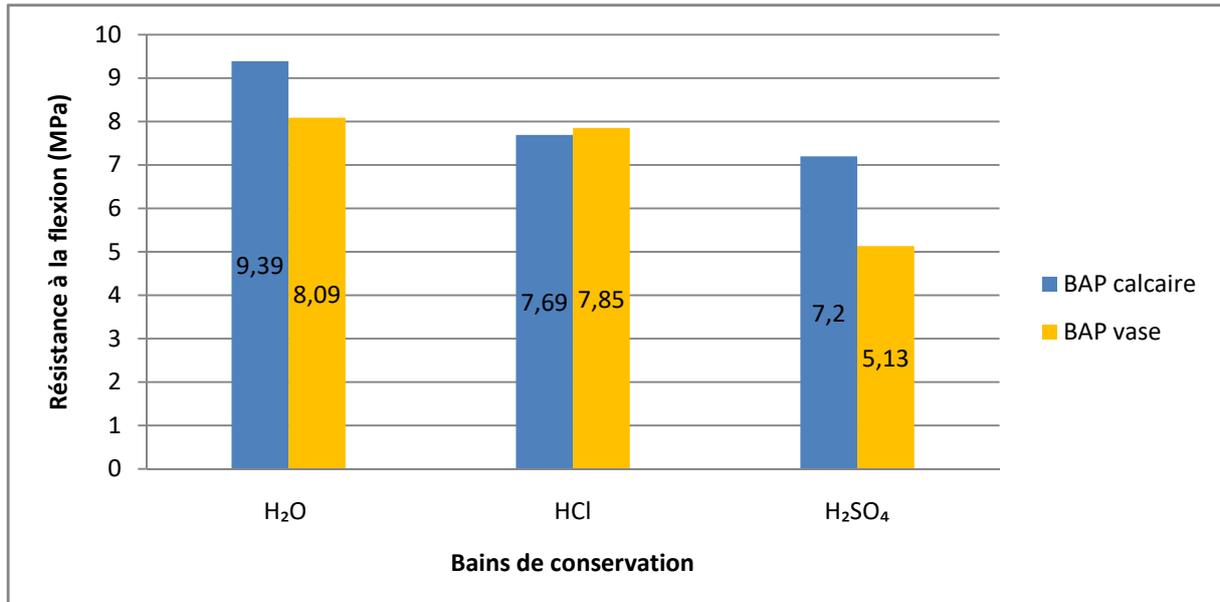


Figure 27: Evolution de résistance à la flexion à 7 jours

### Résistance à la traction par flexion 3points à 28 jours

L'évolution des résistances du BAP à base de sédiment est relativement faible par rapport aux BAP à base de filler de calcaire au long terme, pour les éprouvettes conservées dans H<sub>2</sub>O et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, et le contraire pour les éprouvettes conservées dans HCl.

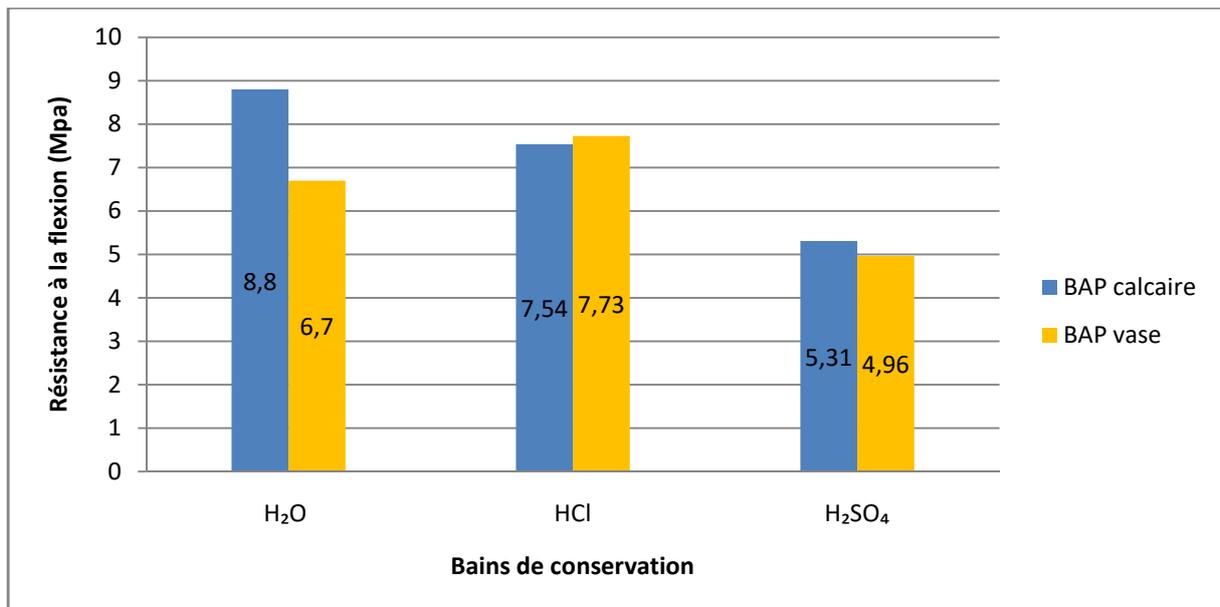


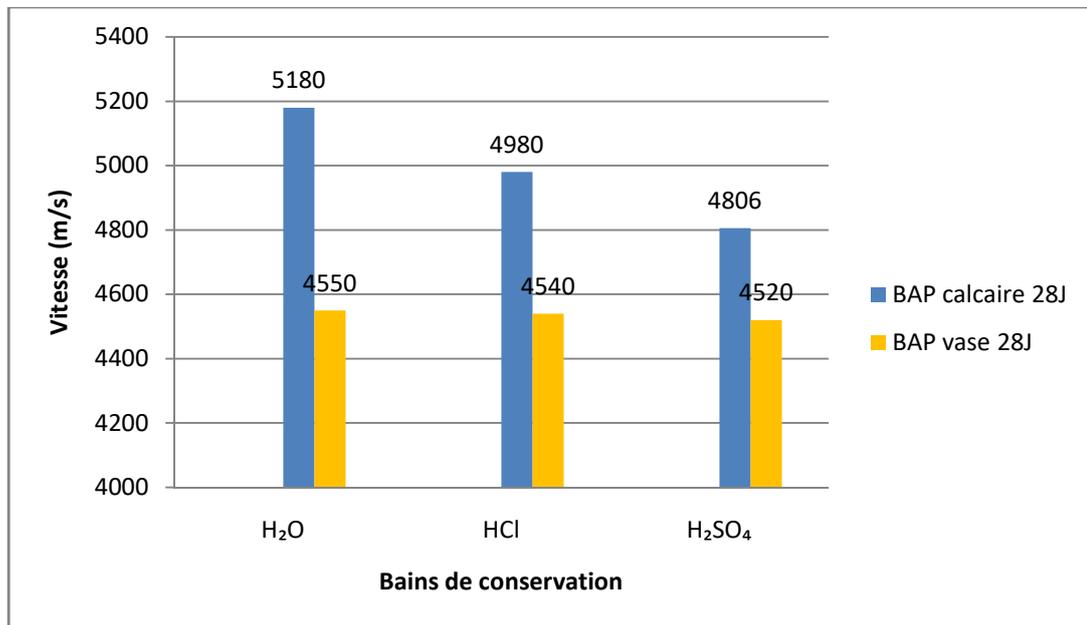
Figure 28: Evolution de résistance à la flexion à 28 jours

### 3.4 Auscultation sonore

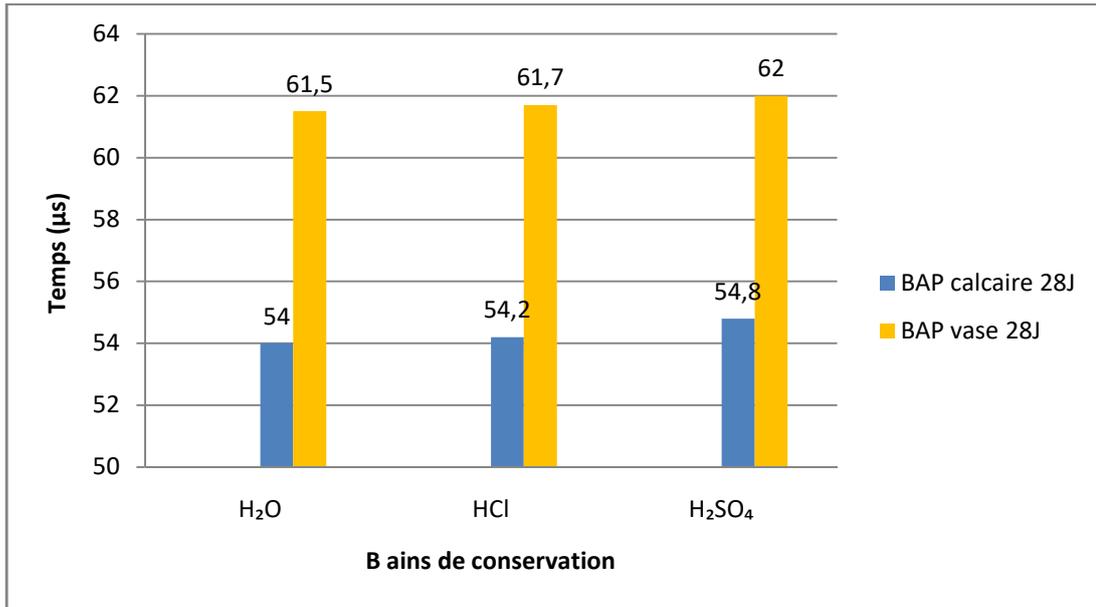
D'après les résultats obtenue on peut dire que la compacité des BAP à base de sédiment de barrage son moins compact par rapport aux bétons à base de filler de calcaire, et d'autre coté les BAP conservées dans les acides (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sont moins compact par rapport au BAP conservées dans H<sub>2</sub>O se qui signifie que les éons Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>-</sup> sont altérés dans les deux types de BAP (filler de calcaire, sédiment barrage).

**Tableau 24** : Auscultation sonore des éprouvettes 4x4x28

Age (jours)	Temps de propagation (µs)				Vitesse de propagation (m/s)			
	7		28		7		28	
ajouts	Ca	Vase	Ca	Vase	Ca	Vase	Ca	Vase
H <sub>2</sub> O	55,8	63,1	54	61,5	5020	4440	5180	4550
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	57	63	54,8	62	4910	4440	4806	4520
HCl	55,2	64,2	54,2	61,7	4890	4360	4980	4540



**Figure 29:** Evolution de la vitesse de propagation des ultras sonore



**Figure 30:** Evolution de temps de propagation des ultras sonique

### 3.5 Absorption d'eau

D'après les résultats en peut dire que les deux types de BAP atteignent le point de saturation à 7 jours.

Les BAP à base de filler de calcaire absorbe moins que le BAP à base sédiment de barrage, se qui signifie que le BAP à base de sédiment est plus poreux par rapport au BAP à base de filler de calcaire.

**Tableau 25 :** Absorption d'eau des deux bétons

Ages	3j		7j		28j	
	Filler de calcaire	vase	Filler de calcaire	vase	Filler de calcaire	Vase
<b>Coef d'absorption (%)</b>	0,5	0,8	0,55	0,86	0,55	0,86

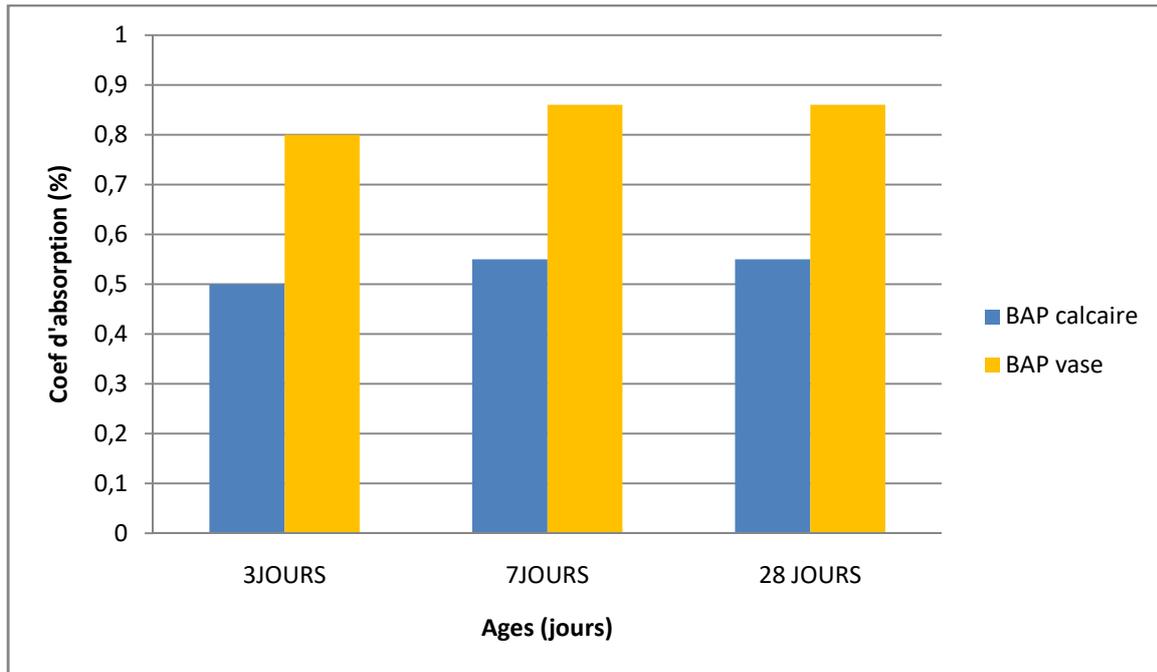


Figure 31: Graphe représente l'évolution de l'absorption

### *IV-Conclusion générale*

---

Les travaux de notre étude ont été menés dans le but d'atteindre deux principaux objectifs. Le premier objectif concerne la mise en évidence de la valorisation de la vase issue des barrages de, qui est un matériau nécessitant peu d'énergie pour son exploitation, comme substitut minéral partiel au ciment dans la composition des BAP. Le deuxième objectif est de donner une réponse fondée sur l'influence de ce type de substitut minéral sur le comportement physico-mécanique et sur la durabilité des BAP en se référant au BAP à base de filler calcaire.

Pour se faire, nous avons commencé par la caractérisation des différents matériaux utilisés dans les compositions des bétons d'études. Nous avons adopté une formulation qui couvre deux types de BAP: un BAP à base de filler calcaire naturelle, un BAP à base de vase du barrage de BENI AMRANE, incorporant respectivement 10% de filler calcaire naturelle et 10% de vase additionnées partiellement au volume du ciment. Les bétons ont été formulés à partir des mêmes constituants, avec le même squelette granulaire et un rapport E/C identique.

Les principales conclusions auxquelles nous sommes parvenues sont :

- La présence de la vase contribue à une certaine diminution de la masse volumique par rapport au filler calcaire.
- L'introduction de la vase les BAP a conduit à la diminution du dosage en superplastifiant.
- A l'état frais nos deux formulations de BAP ont été qualifiées d'autoplaçantes selon les spécificités de l'AFGC.
- Le BAP à base de vase de BENI AMRANE développe des résistances à la compression légèrement inférieure à celles du BAP à base de filler calcaire notamment à long terme.

A travers les résultats des essais de durabilité, nous avons constaté des performances très comparables, voire meilleures de la vase par rapport au filler calcaire naturelle sur la résistance des BAP vis-à-vis des attaques acides.

- Ces résultats montrent que la vase de barrage de BENI AMRANE influe très positivement sur les propriétés des bétons autoplacants (BAP) vis-à-vis de la durabilité ainsi que sur leur résistance dans les milieux contenant des acides.
- L'incorporation de la vase dans les BAP améliore la résistance de ces bétons vis-à-vis de l'attaque de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) et chlorhydrique (HCl).

Enfin, à travers tous les résultats présentés dans ce travail, nous pouvons conclure que la vase provenant de BENI AMRANE peut être utilisée avec succès, comme addition minérale dans les formulations des BAP. L'incorporation de ce matériau naturel dans les BAP conduit en général à des performances très comparables, voire meilleures (comme pour les acides) à celles des bétons incorporant filler calcaire naturelle de KHENCHLA.

## *V. Perspectives*

---

Ce travail à permis de donner une appréciation globale sur l'effet de la vase sur les propriétés des bétons autoplaçants, afin de pouvoir la valorisée dans des divers domaines de la construction. Il est impératif de développer les points suivants :

1. Prolonger la durée des essais jusqu'à 46 jours, voir 90 jours pour le BAP à base de sédiment.
2. Suivre l'évolution de retrait.
3. Etudier l'effet des altérations physiques sur la durabilité des BAP de sédiment de barrage
4. Varié le pourcentage de l'ajout cimentaire sédiment de barrage pour obtenir la meilleur formulation.
5. Déterminer la résistance de BAP vase à l'attaque carbonique.

## *Références Bibliographiques*

- [1] Masahiro OUCHI, « self-compacting concrete developpement, applications and investigations », In : Kochi University of technology tosa-yamada, Kochi, 782-8502 JAPON, pp. 1 Feb 1988.
- [2] Paco Diederich, « Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement autoplaçant du béton », thèse de doctorat, In : l'université de Toulouse III-paul Sabatier, décembre 2010.
- [3] Z. ABIB, « formulation et caractérisation des bétons autoplaçant », thèse de magister, In : USTHB Algérie, 2004.
- [4] Melle Naima REBBOUH, « Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant », In : Ecole National Polytechnique-Alger, pp.33 2005/2006.
- [5] CimBéton, « béton et génie civil T43 », In : Centre d'Information sur les Ciments et ces Applications-France, pp 38 aout 2005.
- [6] H.KHAYAT, « optimisation et caractérisation des bétons autoplaçant pour coffrages fortement armés », In : université de Sherbrooke, Quebec, CANADA, 2006.
- [7] George DREUX, Jean FESTA, « nouveau guide du béton et de ces constituants », In : éditions EYROLLES 61, bld saint-Germein 75240 Paris Cedex 05, pp 113, huitième édition 2002.
- [8] George DREUX, Jean FESTA, « nouveau guide du béton et de ces constituants », In : éditions EYROLLES 61, bld saint-Germein 75240 Paris Cedex 05, pp 113, huitième édition 2002.
- [9] Materials and applicants center holcim western europe, « Guide pratique-concevoir et mettre en œuvre des bétons durables », In : Holcim (Belgique) S.A, édition 1, pp 18,2017.
- [10] George DREUX, Jean FESTA, « nouveau guide du béton et de ces constituants », In : éditions EYROLLES 61, bld saint-Germein 75240 Paris Cedex 05, pp 113, huitième édition 2002.
- [11] CHAID Rabah, « formulation caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux », thèse doctorat à : Ecoles Nationale Polytechnique, pp 14, décembre 2006.
- [12] Durabilité et réparations du béton Université de Sherbrooke GCI 714
- [13] M RAZIBOUENE, influence des ajouts minéraux (LHF, Sable) sur le comportement des ciments pétroliers dans les milieux agressifs, thèse de magister INMC 1997

تهدف الدراسة إلى المساهمة في تثمين الطمي المعالج من سد بني عمران (الواقع في الوسط الجزائري) كإضافة معدنية جزئية للاسمنت في تكوين الخرسانة ذاتية التشكل. إنها مسألة مقارنة تأثير دمج هذا الوحل مع تأثير حشو الحجر الجيري الطبيعي في الخرسانة ذاتية التشكل التي توضع على الخصائص الميكانيكية وعلى متانتها في المدى القصير، المتوسط والطويل.

بالإضافة إلى القيمة الاقتصادية للخرسانة ذاتية التشكل القائمة على الرواسب المكلسة، أظهرت دراستنا التي أجريت في ثلاث بيئات (الماء، حمض الكلور، حمض السولفيريك) أن لها أداء مشابه جدا لتلك التي تم الحصول عليها في الخرسانة ذاتية التشكل القائمة على حشو الحجر الجيري الطبيعي

الكلمات السرية تثمين- الطمي- الجير- الخرسانة ذاتية التشكل- المتانة.

## Résumé

La présente étude vise à apporter une contribution à la valorisation de la vase traitée du barrage de BENI AMRANE, (située au centre algérien) en tant que constituant minéral dans la composition des bétons autoplaçants. Il s'agit de comparer l'influence de l'incorporation de cette vase calcinée à celle de filler de calcaire naturelle dans les BAP sur leurs caractéristiques physico-mécaniques et sur leur durabilité à court, moyen et long terme.

Outre l'intérêt économique que présentent les BAP à base de vase calcinée, notre étude réalisée dans trois milieux  $H_2O$ ,  $HCl$  et  $H_2SO_4$  à montrés que ces derniers présentent des performances très comparables à celles obtenues sur des BAP à base de filler de calcaire naturelle

**Mots clés :** valorisation-Vase –calcaire – BAP –Durabilité

## Absract

The present study aims to make a contribution to the valorization of the silt treated from the dam of BENI AMRANE (located in the Algerian center) as a mineral constituent in the composition of self-compacting concretes. It is a question of comparing the influence of the incorporation of this calcined sludge with that of natural limestone filler in the BAP on their physico-mechanical characteristics and their durability in the short, medium and long term.

In addition to the economic value of the BAP based on calcined sludge, our study conducted in three environments  $H_2O$ ,  $HCl$  and  $H_2SO_4$  showed that they have performances very comparable to those obtained on BAP based on natural limestone filler

**Key words:** valorisation-Vase -calcaire - BAP -Durability