

I.1. Introduction :

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

Ces bétons se développent maintenant dans le monde et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques :

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

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

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

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

I.2. Modes de formulation des BAP :

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

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

Deux grandes familles prévalent actuellement [03] :

- La première [04] [05] concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à 600 kg/m³) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les super plastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreuses et maux adaptés à des ouvrages courants.
- Une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales [06]. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène. La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables.

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

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

- Un BAP doit s'écouler naturellement sous son poids propre (avec un débit suffisant), c'est à dire avoir un étalement et une vitesse d'étalement importants.
- Un BAP doit aussi pouvoir remplir, sans vibration, des zones confinées et une grande fluidité du béton peut ne pas être suffisante pour cela. En effet, lors de son écoulement au droit d'un obstacle, les gravillons cisailent le mortier et ont tendance à entrer en contact les uns avec les autres si ce dernier ne résiste pas suffisamment au cisaillement (Figure I.1). Ainsi, des arches peuvent se former et interrompre l'écoulement par colmatage. Pour éviter ceci, il est nécessaire qu'un BAP ait une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement en zone confinée.

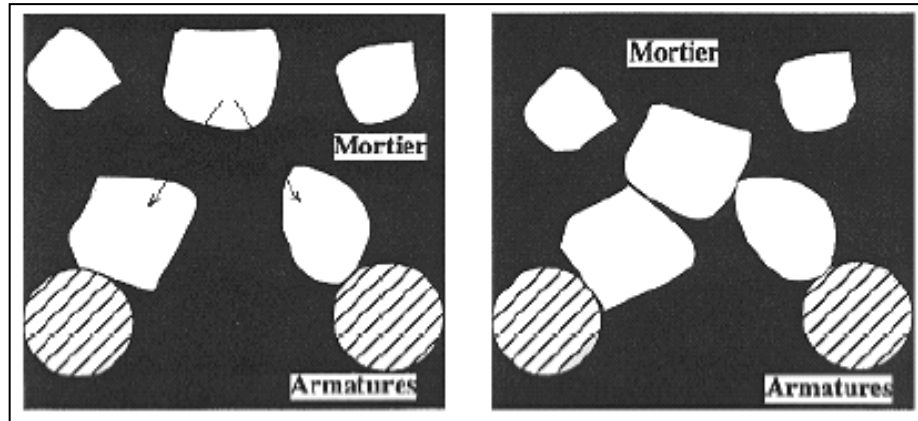


Figure I.1 : Phénomène de blocage des granulats aux droits d'un obstacle [03].

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

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

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

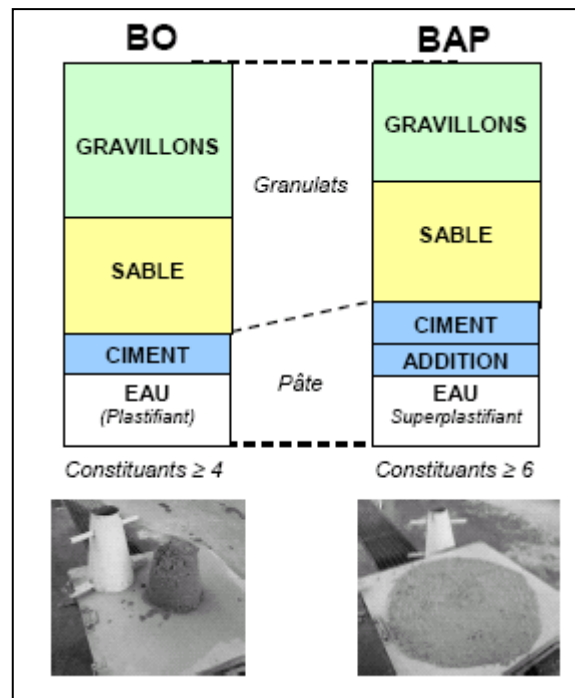


Figure I.2 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [08].

I.2.2. Particularités de la composition des BAP

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

I.2.2.1. Un volume de pâte élevé

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

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

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

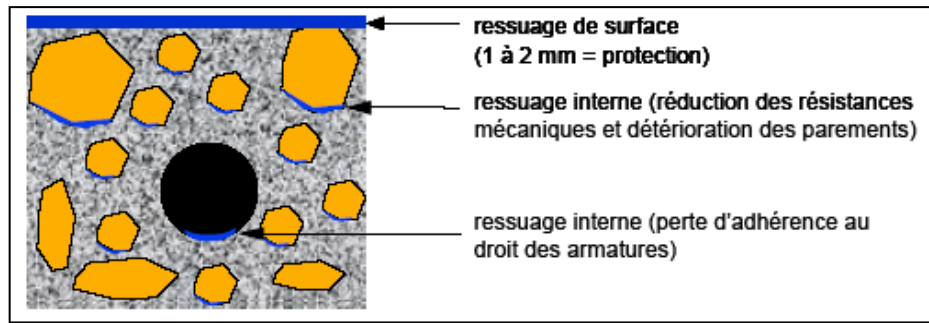


Figure I.3 : Phénomène de ressuage.

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

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

I.2.2.3. L'emploi d'un super plastifiant :

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

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

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

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

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

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

I.2.2.5. Un faible volume de gravillon

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

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

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

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

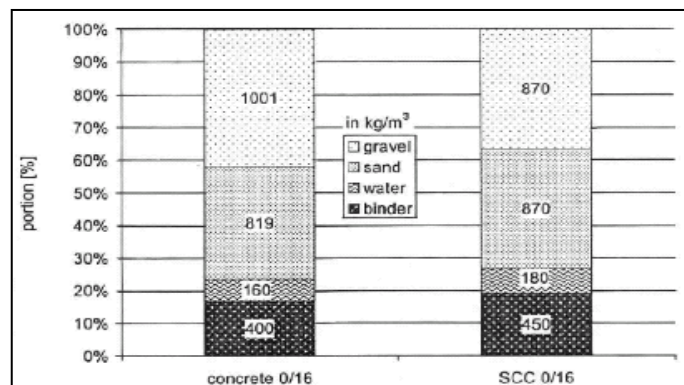


Figure I.4 : Comparaison entre une composition de BAP et celle d'un béton vibré (d'après [10])

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

I.3.1. Caractéristiques rhéologiques des BAP :

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

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

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

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

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

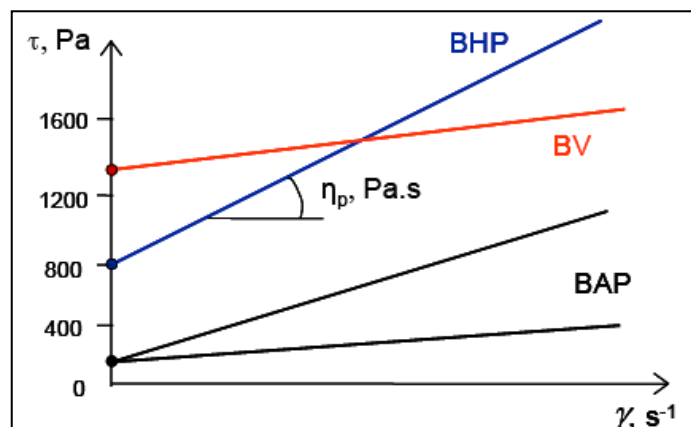


Figure I.5: Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton [03]

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

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

Où a et b sont des constantes de comportement.

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

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

Les bétons autoplaçant sont caractérisés à l'état frais par trois essais essentiels (selon les recommandations de AFGC [07]) :

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

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

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

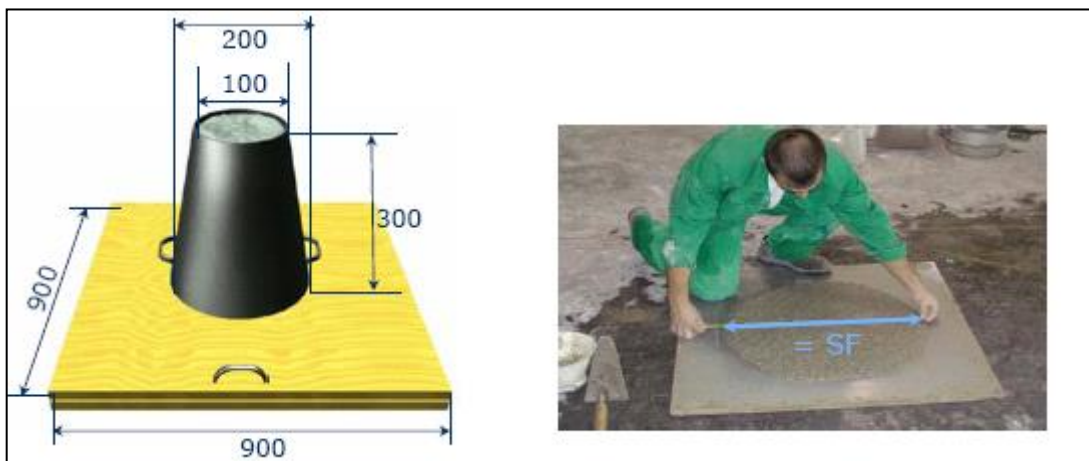


Figure I.6 : Essai d'étalement au cône (Slump flow) [08]

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm, sans auréole de laitance ou d'amoncellement de gros granulats au centre en fin d'essai [07]. La vitesse d'étalement du béton est également une indication souvent prise en compte (t_{50} par exemple : temps pour atteindre une galette de diamètre 50 cm).

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

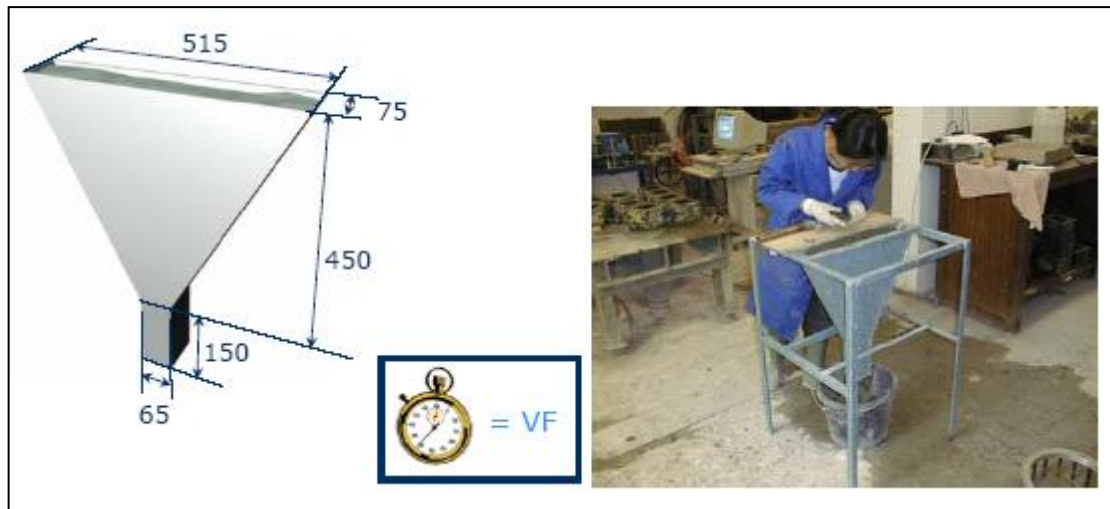


Figure I.7 : Entonnoir en forme V (V funnel) [08]

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

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

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

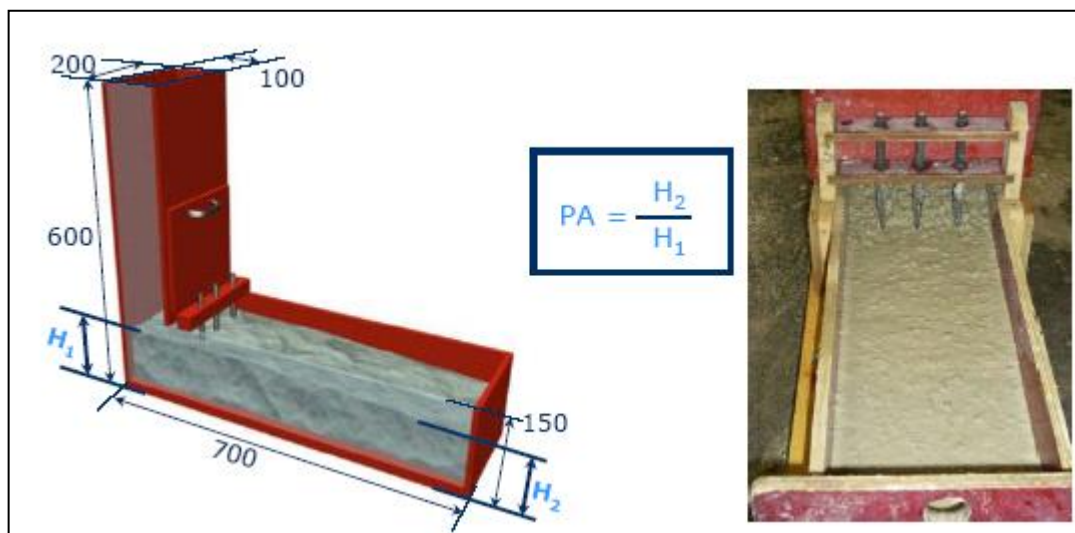


Figure I.8 : Essai de la boîte en L (L-box test) [08]

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

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

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

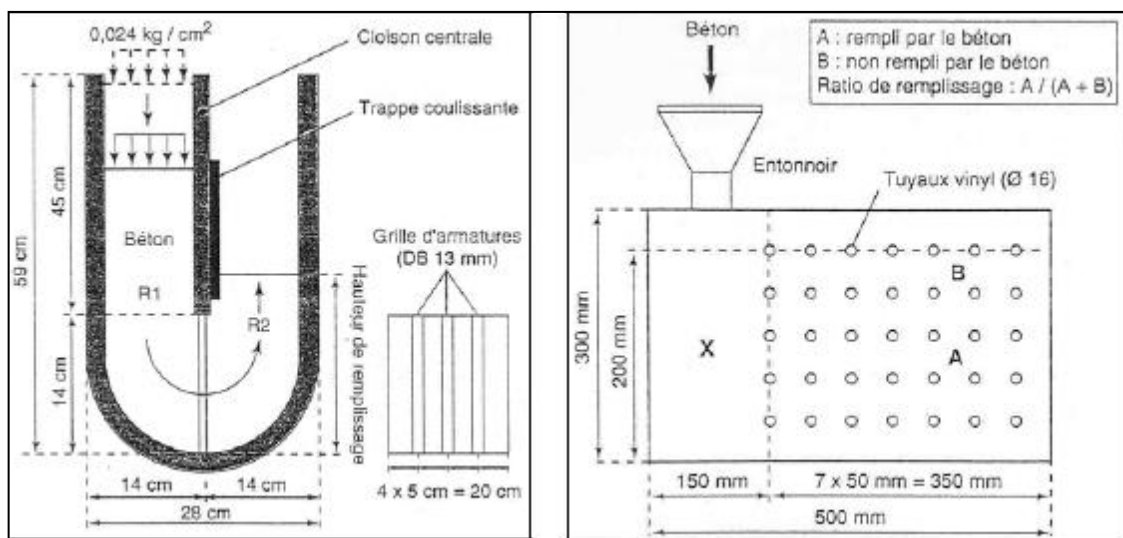


Figure I.9 : Essai en U (à gauche), essai de caisson (à droite)

I.3.2.3 l'essai de stabilité

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

a. Résistance à la ségrégation

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

Un de ces essais est celui dit de « stabilité au tamis », développé par GTM (Figure I.10) [07], qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (noté P_{LAITANCE} par la suite) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en trois classes :

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

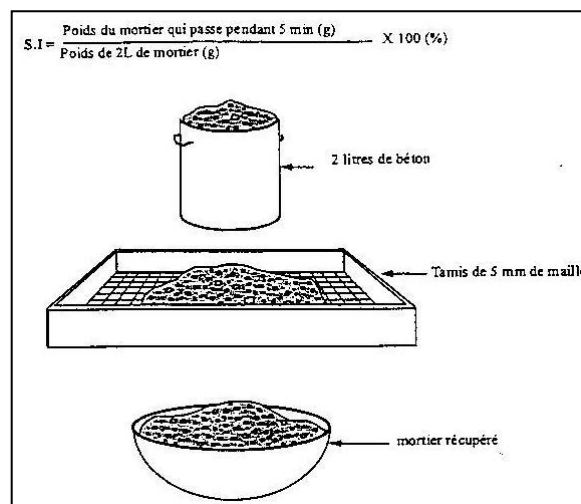


Figure I.10 : Essai de stabilité au tamis

b. Ressuage

La capacité de ressuage peut être mesurée par l'essai à l'aéromètre modifié (développé par le LCPC, Figure I.11) : le volume d'eau libéré par l'échantillon de béton remonte au-dessus du perchloroéthylène (dont la densité est supérieure à celle de l'eau : 1,59) dans une colonne graduée où il est facile de l'estimer [07]. Ce test semble cependant peu pratique à être utilisé étant donné la nocivité du produit employé.

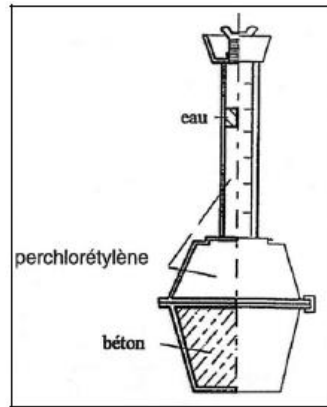


Figure I.11 : Essai de ressuage à l'aéromètre [07]

I.4. Propriétés du béton durci :

I.4.1. Résistance mécanique :

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

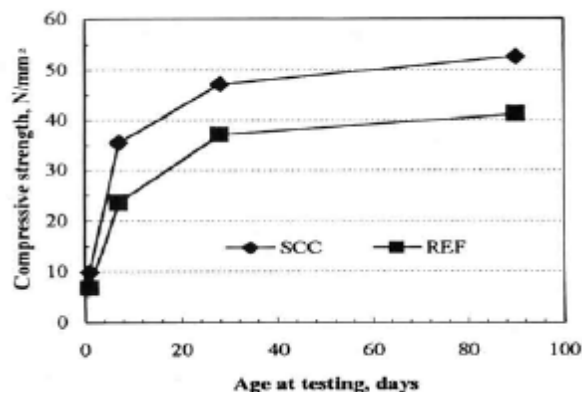


Figure I.12 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (BEF) correspondant [11].

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

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

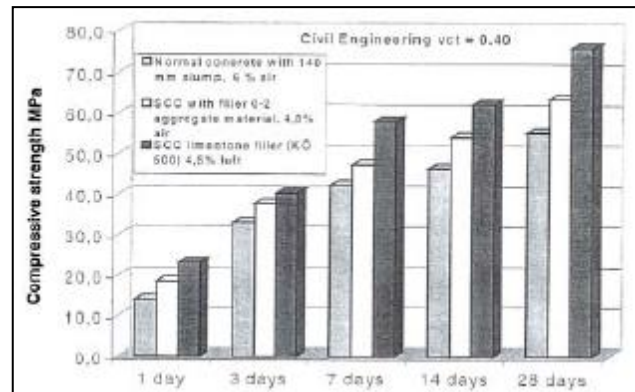


Figure I.13 : Résistance mécanique d'un béton vibré et deux BAP (deux formulations différentes) [14]

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

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

I.5. Élément bibliographique sur l'influence des ajouts sur les BAP :

Dans ce qui suit nous avons présenté quelques études trouvées dans les littératures concernant l'utilisation des ajouts minéraux et leurs influences sur le comportement des bétons autoplaçant.

- **Ganesan et al. (2008)**[16], qui ont trouvé une bonne corrélation entre la diffusivité et la sorptivité. Cette dernière peut être expliquée par la méthode de pénétration des chlorures dans le béton. Selon GCI 714 (2009), Les chlorures en solution sont d'abord "entraînés" dans la porosité en même temps que l'eau absorbée. Au-delà de la zone d'absorption, la pénétration des chlorures s'effectue par diffusion.

- **(Bonavetti et al, 2000, Audenaert, 2007, Heirman, 2006, Coppola et al, 2004). Coppola et al. (2004)**[17] ont relié la différence du comportement à la grande quantité de l'ajout minéral (pouzzolane naturelle, cendre volante et filler calcaire) dans la pâte du BAP, ce qui favorise une microstructure plus dense dans la zone interstitielle et contribue ainsi à diminuer le coefficient de diffusion des ions chlore.

- (Audenaert et al, 2007, Zhang et al, 2005, Alexander et Magee, 1999, Moon et al, 2005, GranDuBé, 2007, Roziere, 2007). Roziere (2007)[18-23] ajoute que, pour un liant donné, l'augmentation de la compacité, exprimée en terme de rapport Eau/Ciment, Eau/Liant, ou Eeff/Léqui., conduit systématiquement à une diminution du coefficient de diffusion apparent des chlorures.

- Selon GCI 714 (2009)[24], une conservation plus longue favorise la formation d'une plus grande quantité d'hydrates qui viennent combler et fractionner davantage la porosité capillaire.

Attaque par les chlorures

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

A cet effet, cette partie traite la résistance à la pénétration d'ions chlorures des composites Mortier- Polymère, mortiers.

- Une étude réalisée par **P.Chindaprasirt et al**[25] sur la résistance à la pénétration du chlorure des mortiers contenant, 20% et 40% de :

- Carburant de cendre de huile de palme (POA) ;
- Cendre de cosse du riz (RHA) ;
- Cendre volante (FA).

Cette étude a été faite suivant deux tests, par (RCPT) (rapid chloride penetration test) et par l'immersion dans une solution 3% NaCl pendant 30 jours. Ils ont trouvé pour l'essai de (RCPT) que la charge de Colomb est diminuée en comparant à celle de (OPC) de 59% et 74%

pour le mortier de 20% et 40 % de cendre volante (FA) respectivement, et de 74% et 86% pour le mortier de 20% et 40% de carburant de cendre de huile de palme (POA), et finalement de 90% et 97% de diminution pour le mortier de 20% et 40% de cendre de cosse du riz (RHA), respectivement.

Pour l'essai d'immersion, ils ont trouvé des résultats avec les mêmes tendances que celles de l'essai de (RCPT), et que les résultats du deuxième essai viennent de confirmer les résultats de l'essai de (RCPT). Figure I.14.a et I.14.6.b.

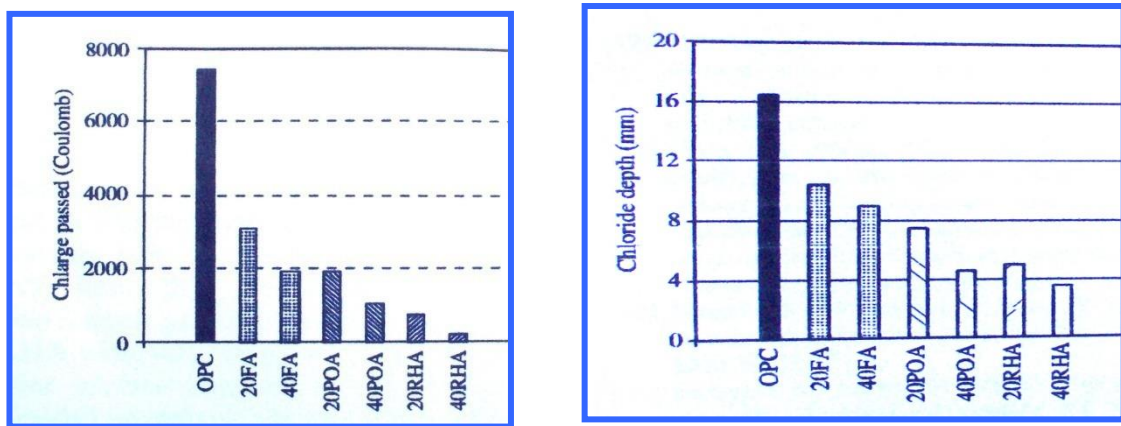


Figure I.14.a : Charge en Colomb **Figure I.14.b : Immersion dans**

Test (RCPT)[25]

3%NaCl [25]

- D'après **Omrane .M et al Magister 2008** [26] ;ils ont trouvé:

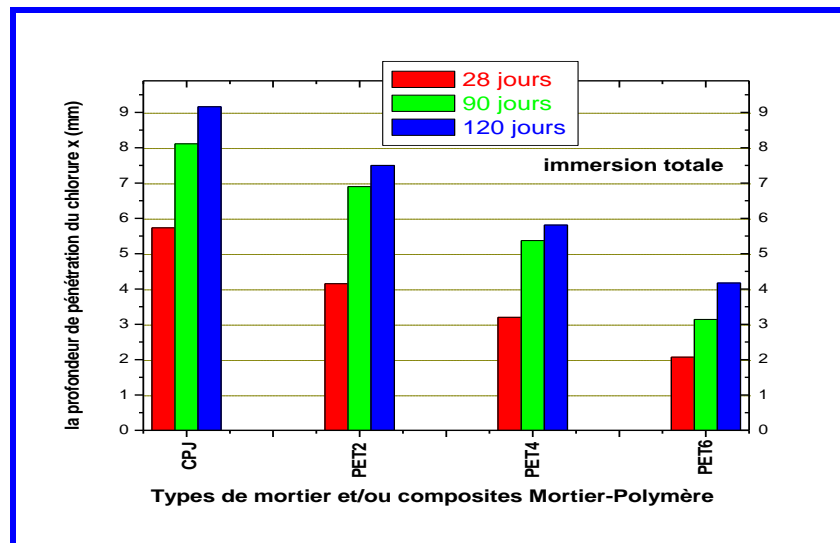


Figure I.15 : Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl^- et le type de mortier [26].

L'ajout de 6% du PET comme substituant au ciment, à montrer des résultats bénéfiques ,Car nous avons pu enregistrer une réduction de la profondeur des ions chlores de l'ordre de 64% , 61 % et 55 % par rapport au mortier non modifier CPJ, a l'âge de 28, 90 et 120 jours respectivement.

Examen visuel :

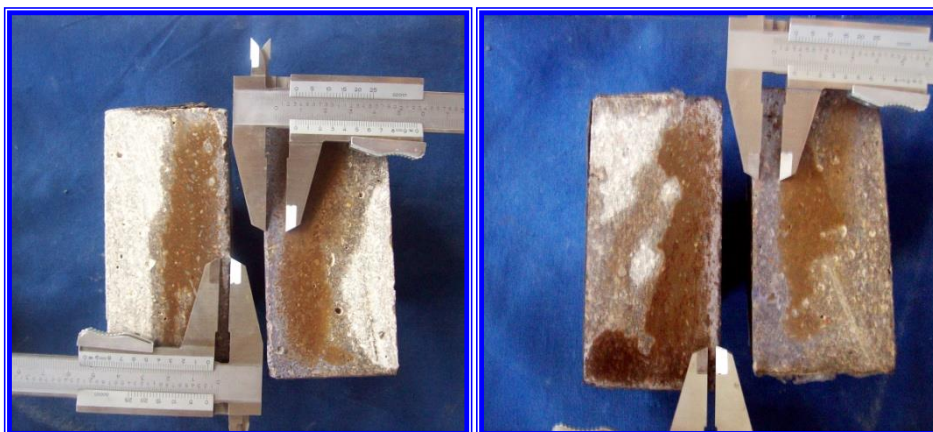


Figure I.16: Comparaison de la profondeur des ions chlore entre PET6 et CPJ

En immersion partielle et totale à 28 jours

(De gauche à droite) respectivement[26].

D'après **Logab .Salim et al .Master 2013** [27] ont travaillé sur la pénétration des ions du chlorures dans un BAP à base des agrégats naturelles et des agrégats recyclés, ils ont trouvé:

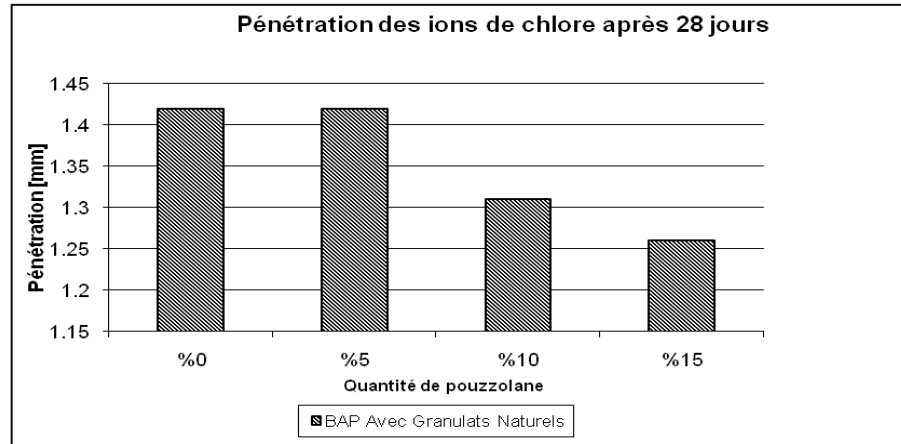


Figure I.17: Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ et le BAP à base des granulats Naturels[27]

D'après la figure I.17 ils ont remarqué que la profondeur de pénétration des ions Cl⁻, diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane, par exemple la profondeur de pénétration BAPN témoin est égale 1.42 mm par contre celle du BAPN à 15% de pouzzolane est égale à 1.26 mm.

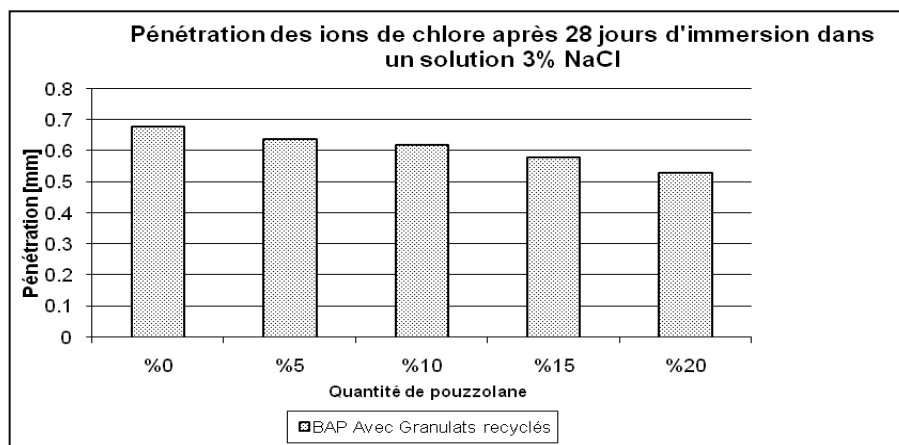


Figure I.18: Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ et le BAP à base des granulats recyclés[27]

D'après la figure I.18 ils ont remarqué que la profondeur de pénétration des ions Cl^- , démunie avec l'augmentation des % de pouzzolane, par exemple la profondeur de pénétration BAPR témoin est égale 0.68 mm par contre celle du BAPR à 15% de pouzzolane est égale à 0.58 mm.

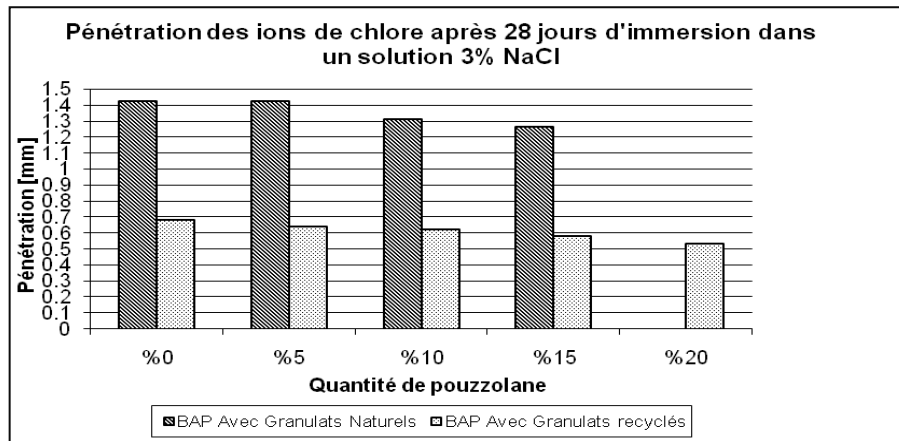


Figure I.19 : Comparaison entre la profondeur de pénétration des ions Cl^- entre le BAP N et le BAP R[27]

D'après la figure I.19 ils ont remarqué que la profondeur de pénétration des ions Cl^- , du BAPR est inférieure avec une valeur remarquable que celle du BAPN pour tous les % à titre d'exemple la profondeur de pénétration des ions Cl^- , du BAPR avec 15% de pouzzolane est égale à 0.58mm et la profondeur de pénétration des ions Cl^- , du BAPN avec 15% de pouzzolane est égale à 1.26mm.

- D'après **Safia B et al .Master 2015 [28]** ont étudié l'effet d'ajout de pouzzolane naturelle sur la pénétration des ions de chlorure (NaCl) dans un béton auto plaçant

Ils ont trouvé :

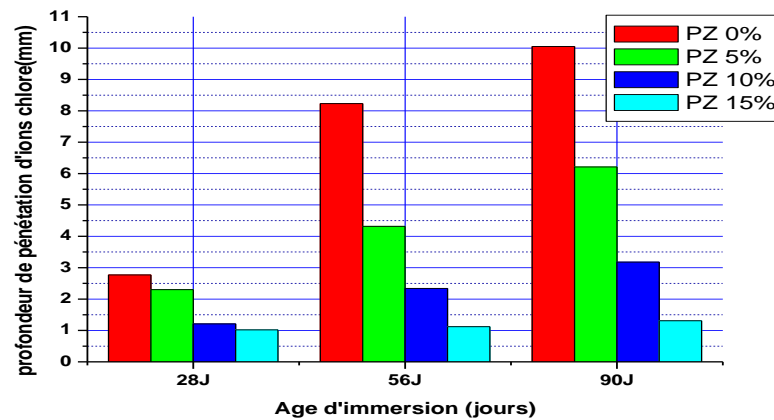


Figure I.20: Comparaison entre la profondeur de pénétration des ions Cl⁻ et le % de la pouzzolane naturelle à 28,56 et 90 jours d'immersion[28]

D'après la figure I.20 et figure I.21 ils ont remarqué que la profondeur de pénétration des ions Cl⁻, augmente avec le temps d'immersion et diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle. Et en constate que le BAP à 15% de pouzzolane naturelle résiste mieux à la pénétration des ions Cl⁻ que les autres BAP.

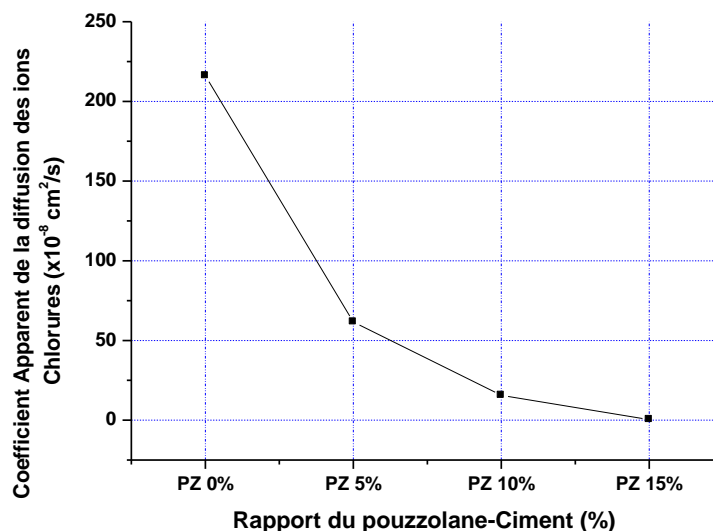


Figure I.21: Relation entre le coefficient apparent de diffusion des ions Cl⁻ et le % de la pouzzolane naturelle[28].

Les valeurs du coefficient apparent de la diffusion d'ions chlore sont enregistrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.1 : Valeurs des coefficients apparents de diffusion (Immersion totale).[28]

Types du BAP	Coefficient apparent de diffusion (cm^2 / s)
BAP 0% PZ	$216.09 \cdot 10^{-8}$
BAP 5% PZ	$61.62 \cdot 10^{-8}$
BAP 10% PZ	$15.60 \cdot 10^{-8}$
BAP 15% PZ	$0.336 \cdot 10^{-8}$

-D'après **Bradai Siham et al .Master 2016** [29]ont étudié la Pénétration des Ions de Chlorure dans un Mortier Auto Plaçant MAP à base du Sable de Dune et Sable de Carrière , Ils ont trouvé :

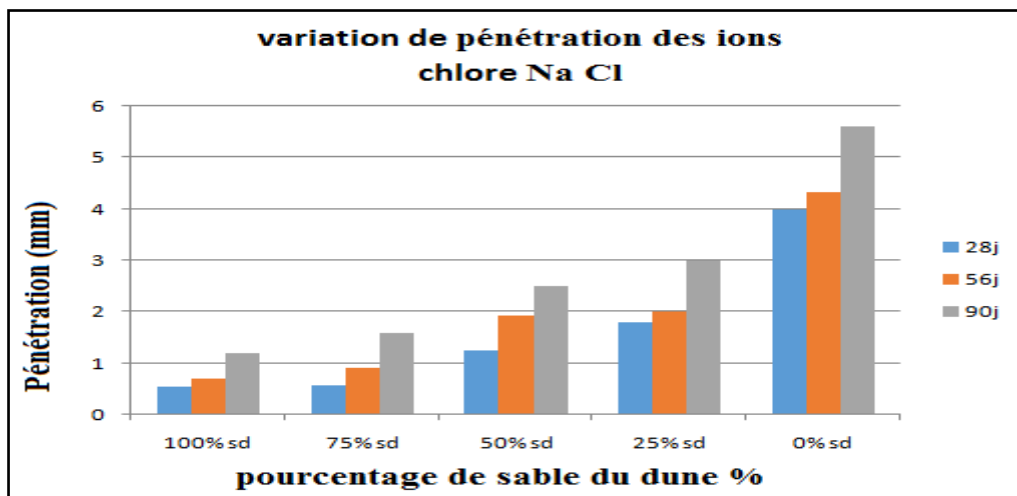


Figure I.22 : Comparaison entre la profondeur de pénétration des ions Cl^- entre le BAP N et le BAPR[29]

D'après la figure I.22 ils ont remarqué que la profondeur de pénétration des ions Cl^- , augmente avec le temps d'immersion et diminue avec l'augmentation des % du sable de dune. Et en constate que le MAP à (100% sd) du sable de dune résiste mieux à la pénétration des ions Cl^- que les autres MAP.

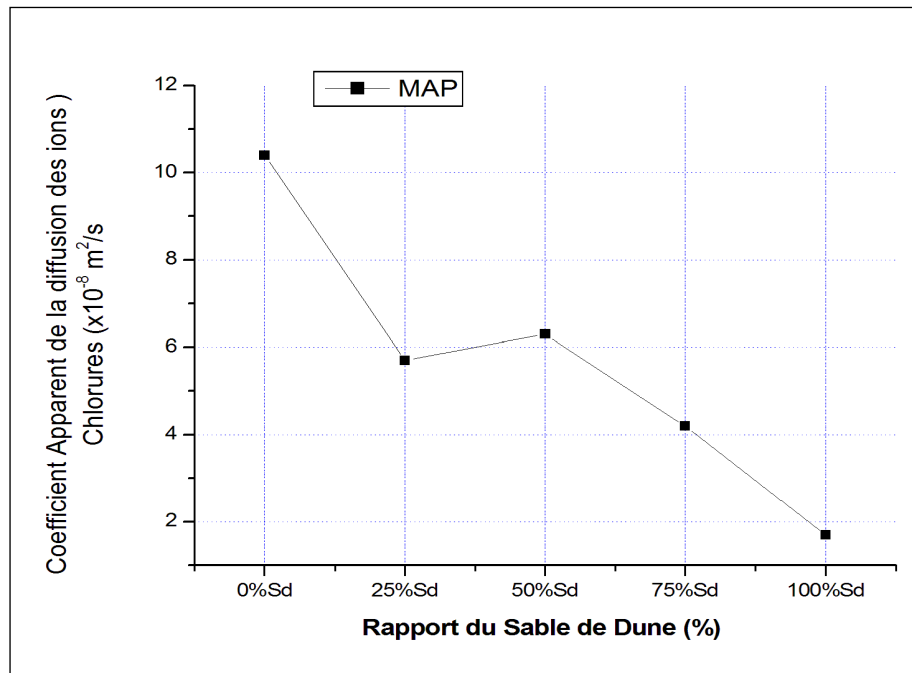


Figure I.23: Relation entre le coefficient apparent de diffusion des ions Cl^- et le % de la sable de dune [29].

Examen visuel :

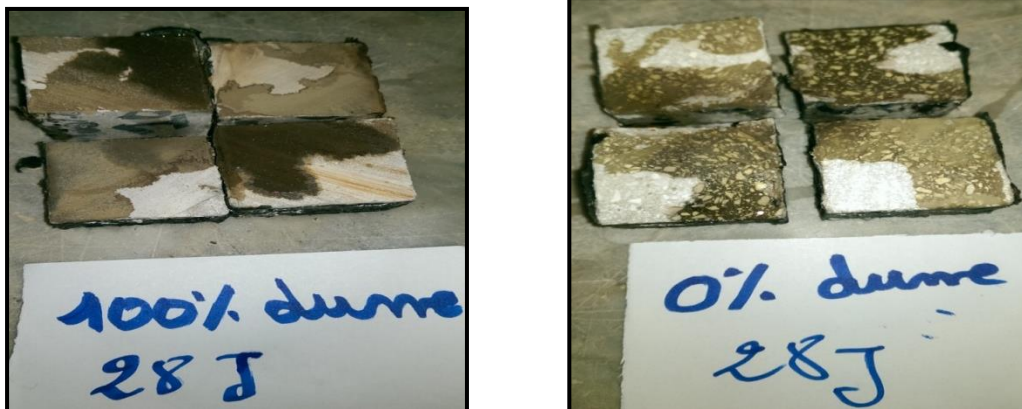


Figure I.24 : Comparaison entre la profondeur des ions Cl^- entre le BAP N et le BAP R à 28 jours [29]

I.6.CONCLUSION :

D'après l'étude bibliographique on peut conclure généralement l'effet bénéfique de l'utilisation des différents ajouts surtout les matériaux locaux sur la performance ou sur la durabilité.