

CHAPITRE II

MATERIAUX, MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE II- MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. MATERIAUX UTILISÉS

I. 1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, les principales caractéristiques des matériaux utilisés dans la préparation des pâtes de ciment en plus de ceux utilisés pour la confection des bétons autoplçants sont exposés, il s'agit du ciment, du filler calcaire, du superplastifiant, de l'eau, des sables et des graviers. Le choix de nos matériaux entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux ; la pouzzolane naturelle est celle de la carrière de Béni-Saf, elle est utilisée dans la fabrication des ciments par les cimenteries de Béni-Saf et de Zahana (Oran) sous forme d'ajout, elle est injectée à raison de 15 à 20% lors du broyage avec du clinker pour former un ciment composé pouzzolanique. Les fillers calcaires, le sable et les graviers sont issus de la carrière de Kristel (Oran).

Notre étude a été poussée par cette disponibilité des matériaux ainsi que le vouloir de fabriquer de nouveaux bétons, par utilisation de méthodes de formulation et de caractérisation simples, ne nécessitant pas de matériels ou d'appareillage compliqués (difficilement disponibles en Algérie), moins nuisible pour l'environnement et durables.

Aussi, les différents appareils utilisés pour les essais sur les pâtes de ciment et sur les bétons autoplçants élaborés seront présentés et décrits, les méthodes de préparation des pâtes et des bétons ainsi que leurs procédures expérimentales seront aussi détaillées à travers les paragraphes de ce chapitre. Il est important de signaler que les méthodes de préparation et d'expérimentation appliquées sur les pâtes sont celles utilisées par des chercheurs au L.M.D.C INSA-UPS de Toulouse, cette méthode sera détaillée ultérieurement, alors que celles appliquées sur le béton autoplçant sont celles recommandées par l'Association Française de Génie Civil (AFGC 2000).

Le principe de choix de ces matériaux est de les valoriser, puisqu'ils sont disponibles localement dans la région de l'ouest algérien, mais sont très mal exploités, c'est le cas de la pouzzolane naturelle du gisement de Béni-Saf, disponible en quantités abondantes, cette dernière a fait l'objet d'antécédentes études de valorisation, notamment celles de [Belaribi 2001], [Mebrouki 2006] et [Khelafi 2004].

Afin qu'il n'y ait pas d'interactions de nos résultats d'essais avec des paramètres externes liés à la nature des granulats, à leur température et à leur mode de stockage, nous avons préféré les apporter en quantités suffisantes et de les stocker au laboratoire, à l'endroit où les essais seront réalisés. Les mêmes matériaux du même arrivage seront utilisés durant toute la procédure expérimentale.

I. 2. MATÉRIAUX POUR PÂTES DE CIMENT ET BETON

I. 2.1. Le Ciment

Le ciment utilisé est un CPA-CEMII/A au sens de la norme française NF P 15-301 et de la norme européenne NF EN 197-1, contenant moins de 20% de pouzzolane naturelle ajoutée lors du broyage du clinker, ce qui lui permet d'être qualifié de ciment pouzzolanique composé. Le tableau 2.1 donne les spécifications physiques de ce ciment.

Tableau 2.1 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé.

	Masse volumique	Surface spécifique	Diamètre moyen D50
Ciment	3150 kg/m ³	3400 cm ² /g	18,5 μm

La figure 2.1 montre un échantillon du ciment utilisé.



Figure 2.1 : Ciment pouzzolanique composé (CPA CEM II/A)

Dans le tableau 2.2 sont présentées les analyses chimiques de ce ciment.

Tableau 2.2 : Analyses chimiques du ciment

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO libre	Perte au Feu
23	5,7	60,9	0,7	0,3	0,4	3,3	3,4	0,09	2,1

Le tableau 2.3 donne en pourcentage, la composition potentielle selon Bogue, du Clinker avec lequel le ciment a été fabriqué.

Tableau 2.3: Analyse minéralogique du Clinker du ciment

	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Ciment	58,7	16,4	8,1	9,2

I. 2.2. Le filler

Les additions à utiliser dans la confection des pâtes de ciment et des bétons sont des fillers issus de la carrière de Kristel (Oran), ils ne sont pas fournis seuls mais contenus dans les sables concassés de classe granulaire 0/3 mm. Le moyen le plus rapide de récupération de ces fillers est de passer ces sables au lavage et tamisage en même temps, le tamisât au tamis 0,08mm contenant les fines est soigneusement récupéré puis passé à l'étuvage à 105°C. Notre analyse préliminaire a montré que le sable livré contenait entre 20 et 23% de fines dont le diamètre est inférieur ou égal à 0.08 mm. Le refus de ce tamis est conservé pour être corrigé en fines et utilisé dans la confection des bétons en tant que sable de classe granulaire 0/3 mm. Le tableau 2.4 présente les résultats des analyses physiques de ces fillers.

Tableau 2.4 : Caractéristiques physiques des fillers utilisés

	Masse volumique	Surface spécifique	Diamètre moyen D50
Filler Calcaire	2800 kg/m ³	2880 cm ² /g	21,2 µm



Figure 2.2 : Fillers et mélange Fillers en substitution au ciment

Dans le tableau 2.5 sont présentées les analyses chimiques de cette addition.

Tableau 2.5 : Analyse chimique du filler utilisé

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Perte au Feu
Filler utilisé	0,7	0,2	56,8	0,5	0,08	0,1	0,9	41,2

La figure suivante montre l'analyse minéralogique du filler, obtenue par diffractométrie aux rayons X (DRX). Cette analyse a montré une composition majoritaire de calcite de l'ordre de 97%, avec des traces de quartz et de dolomite (Figure 2. 3).

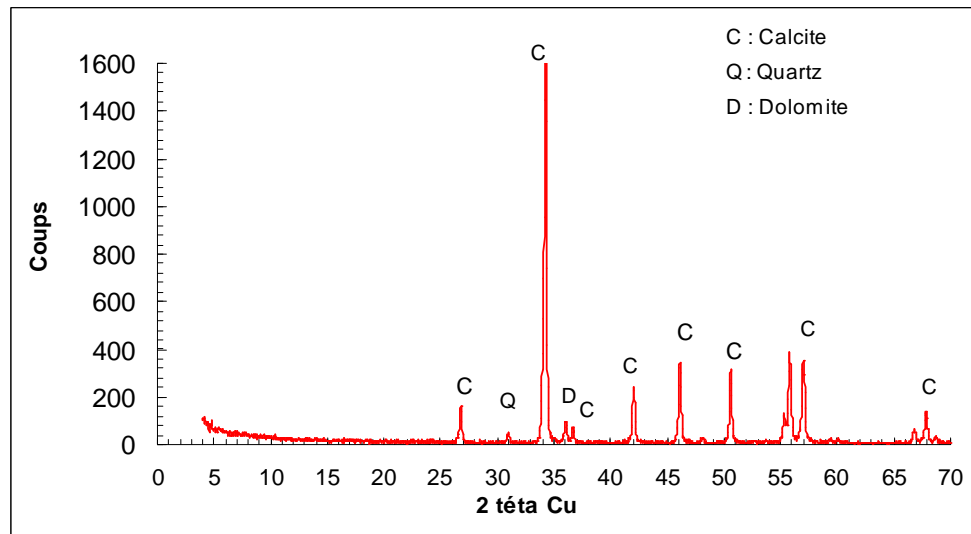


Figure 2.3 : Analyse minéralogique du filler par DRX.

I. 2.3. Le superplastifiant

Le Superplastifiant utilisé est le VISCOCRETE 20 HE, livré par la filiale Sika-Algérie. C'est un produit non chloré à base de copolymère acrylique sous forme liquide, contenant 40% d'extrait sec, de densité 1,085 et de pH valant 4,5. Le fabricant recommande une utilisation limite maximale n'excédant pas les 3% du poids du liant utilisé (ciment + addition).

Comme a été montré dans plusieurs études, notamment dans celles effectuées par [Youjun 2002] et [Naadia 2004], qu'il est possible d'élaborer des bétons autoplacants sans l'utilisation d'un agent de viscosité, et afin de rester dans le contexte de la valorisation des matériaux locaux et pour ne pas augmenter le nombre de paramètres de composition, il a été choisi d'essayer d'élaborer un béton autoplacant avec seul adjuvant le superplastifiant et de ne pas utiliser un agent de viscosité seul, puisque le VISCOCRETE 20 HE agit comme fluidifiant et viscosant en même temps.

I. 2.4. L'eau de gâchage

L'eau du réseau public et potable peut être utilisée au gâchage des pâtes de ciment et des bétons. En raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton, ce paramètre doit se soumettre à des conditions restrictives. Etant donné l'importance de l'influence de son dosage sur les caractéristiques rhéologiques des bétons autoplaçants, il est nécessaire d'estimer la quantité d'eau de gâchage en tenant compte de celles contenues dans les granulats (sous forme d'humidité). On tiendra aussi compte de celle contenue dans les adjuvants.

I. 2.5. Les granulats

En plus des matériaux précédemment cités et utilisés pour l'élaboration des pâtes de ciment, on aura à utiliser des granulats pour la confection des bétons, il s'agit du sable et des graviers concassés.

I. 2.5.1. Le Sable

Le sable à utiliser pour la confection de nos bétons est issu de la carrière de Kristel (Oran). Tel qu'il a été fourni par la carrière, il contient en moyenne plus de 20% de fines de diamètre inférieur à 0.08 mm, il a fallu donc diminuer ce taux et le ramener à 10% comme le prévoit la norme algérienne NA 442, qui préconise un taux tolérable de fines entre 8 et 12 % dans la confection des mortiers et bétons.

Ce sable est de classe granulaire 0/3 mm, Son module de finesse et son coefficient équivalent de sable [norme NF P 18-587] sont respectivement 2.74 et 85%. Les caractéristiques minéralogiques du sable sont identiques à celles du filler calcaire, puisque ce dernier a été obtenu par tamisage du sable. Les caractéristiques physiques de ce granulat sont données au tableau 2.6.

Tableau 2.6 : Caractéristiques physiques du sable utilisé

	Classe granulaire	Densité apparente	Densité absolue	Coefficient d'absorption (%)	Equivalent de sable (%) (Visuel)	Module de finesse
Sable	0/3 mm	1,48	2,65	1,73	76	2.7

La figure 2.4 donne l'analyse granulométrique du sable de carrière lavé puis corrigé en fines pour être utilisé dans la confection de nos bétons. Pour sa correction, nous avons agi sur les portions granulaires 0/0.315mm puis 2.5/3.15 mm simultanément.

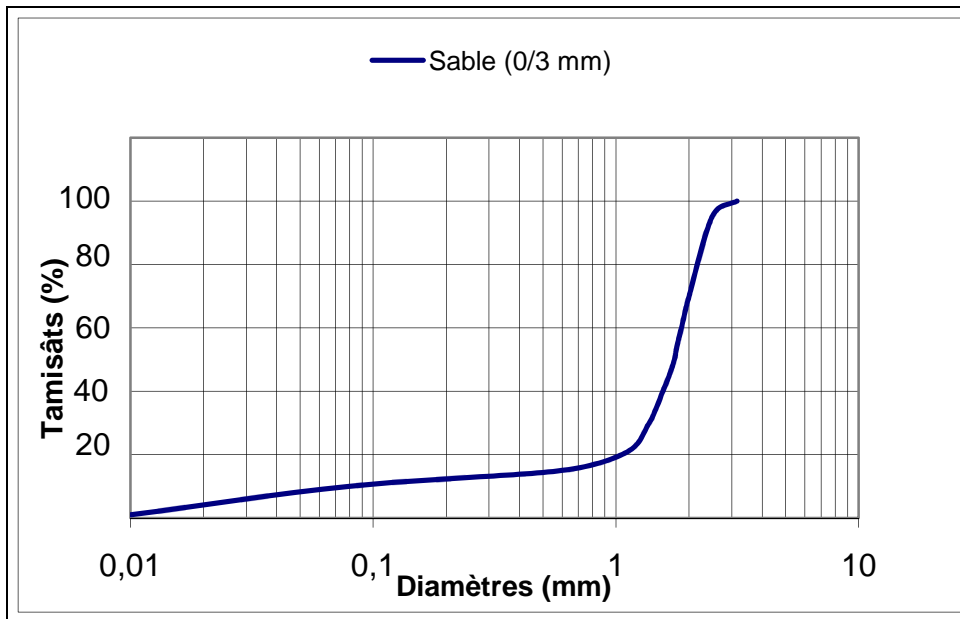


Figure 2.4 : Courbe granulométrique du sable utilisé

La figure 2.5 ci-dessous montre un échantillon du sable utilisé.



Figure 2.5: Sable concassé 0/3,15

I. 2.5.2. Les graviers

Les graviers utilisés, comme le sable, sont issus la carrière de Kristel (Oran), mais sont fournis séparément, ils sont de classes 3/8 mm et 8/15 mm. Il s'agit de granulats concassés majoritairement composés de calcites, avec des traces de quartz et de dolomites. Les caractéristiques physiques de ces granulats sont données au tableau 2.7.

Tableau 2.7 : Caractéristiques physiques des granulats utilisés

Type de granulat	Classe granulaire	Densité apparente	Densité absolue	Coefficient d'absorption (%)	Indice de propreté (%)
Gravillon	3/8	1.35	2,69	1.89	1.72
Gravier	8/15	1.39	2,70	2,2	1.45

La figure 2.6 montre des échantillons des graviers utilisés



Gravier concassé 3/8 mm



Gravier concassé 8/15 mm

Figure 2.6: Sable et Graviers utilisés

La figure 2.7 illustre les courbes granulométriques des deux graviers tels qu'ils seront utilisés dans la préparation des bétons.

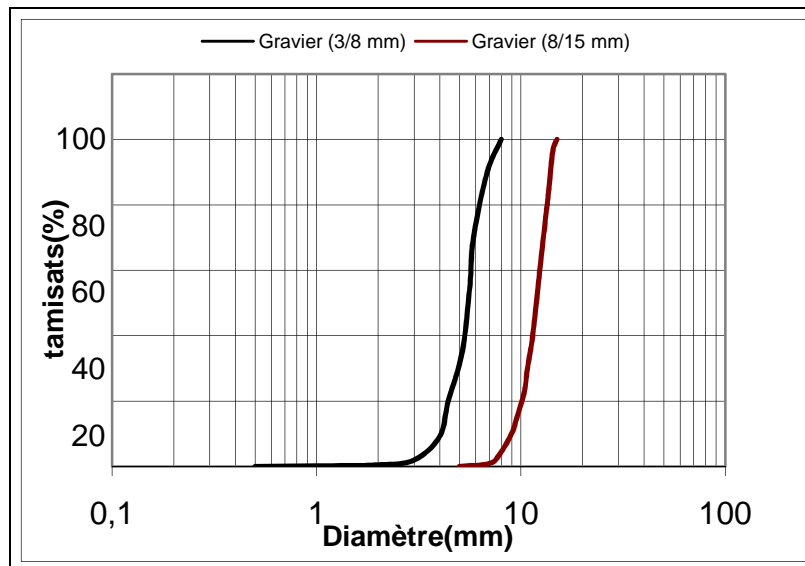


Figure 2.7 : Courbe granulométrique des graviers utilisés

Pour la confection des bétons, on aura à utiliser simultanément le sable et les deux graviers avec des rapports G/S fixés à 0.8, à 1 puis à 1.2.

La figure 2.8 ci-dessous montre un échantillon du mélange Sable – Gravier à G/S égal à 1; dans ce cas, les granulats sont préparés puis malaxés à sec, ceci est aussi valable pour les rapports G/S de 0.8 et 1.2.



Figure 2.8 : Exemple de mélange (G/S = 1)

II. MATERIELS ET METHODES

A. ESSAIS SUR LES PATES DE CIMENT

A. 1. INTRODUCTION

Afin de pouvoir étudier l'influence des paramètres de composition sur l'ouvrabilité et la fluidité des pâtes de ciment, nous aurons à utiliser des matériels de mesures rhéologiques simples tels que le mini-cône pour les mesures des diamètres d'étalement et le cône de Marsh pour mesurer les temps d'écoulement d'un volume donné de pâte pris comme référence.

Les pâtes sont préparées dans un malaxeur de capacité 5 litres, les bétons seront confectionnés dans un malaxeur de laboratoire de capacité 30 à 50 litres. On utilisera les mêmes matériels pour tous les essais.

A. 2. ESSAI D'ÉTALEMENT AU MINI-CÔNE

Pour les essais sur pâtes de ciment relatifs à la détermination d'une formulation de pâte autoplaçante, un mini cône inspiré du cône d'Abrams et dont les dimensions lui sont proportionnelles [Kan 1980], [Cyr 1999] et [Rous 2005] a été utilisé (figure 2.9). Il servira essentiellement à la détermination des diamètres d'étalement sur une plaque métallique horizontale. Dans cet essai, seront déterminés les différents diamètres moyens (moyenne des deux diamètres perpendiculaires) des étalements des différentes pâtes, élaborées de plusieurs formulations en fonction des paramètres de composition (rapports Eau/(ciment+Filler), Filler/ciment, superplastifiant, etc....). Le paramètre temps étant important, puisque ces

diamètres ne seront plus représentatifs s'ils sont mesurés à des instants différents pour chaque pâte, pour cela, et pour toutes les pâtes, les mesures des diamètres seront effectuées après 1 minute du début de l'étalement (après que le mini-cône ait été levé et la pâte commence à s'étaler). On trouve généralement une certaine corrélation de l'essai avec le seuil de cisaillement ou encore avec la viscosité apparente à faible gradient de vitesse [Cyr 1999].

Le but de cet essai est de trouver les compositions des pâtes ayant un faible seuil de cisaillement. Cette propriété rhéologique est associée aux pâtes ne présentant pas de ségrégation à la fin du malaxage et ayant une bonne ouvrabilité lors de l'étalement.

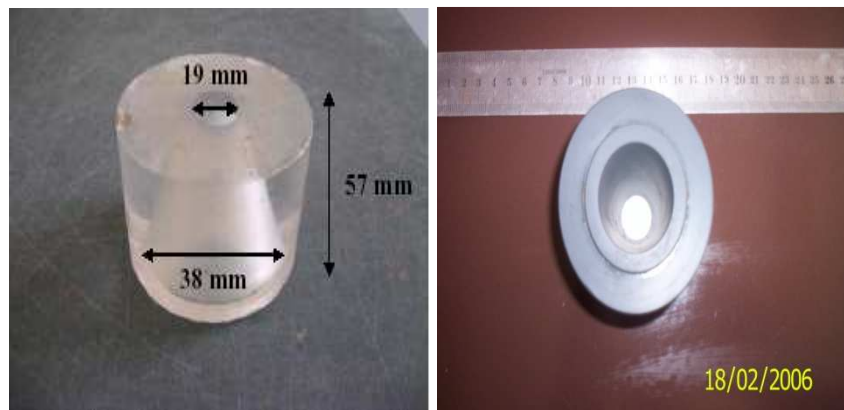


Figure 2.9 : Mini-cône pour la mesure de l'étalement

Les principaux avantages de cet essai sont la facilité de sa mise en œuvre puisqu'il nécessite peu de préparation et une faible quantité de matériaux (volume inférieur à 40ml). Les essais sont reproductibles et souvent utilisés en Amérique du Nord par exemple pour la détermination du point de saturation en superplastifiant d'un mélange cimentaire [Cyr 1999].

A. 3. ESSAI AU CÔNE DE MARSH

C'est un essai de consistance pour pâte de ciment, il est utilisé pour mesurer les temps d'écoulement d'un volume référentiel de pâtes de différentes compositions (figure II. 9). Il s'agit donc de mesurer le temps d'écoulement de la pâte de ciment à travers le cône sous gravité pour remplir un même volume de référence choisi. Le temps d'écoulement du coulis est fonction de sa viscosité et des forces de frottement sur les parois internes du cône.

Il a pu être démontré que le temps d'écoulement est fonction de la viscosité [Lachemi 04]. La figure 2.10 montre la variation de la viscosité et des diamètres d'étalement des pâtes de ciment en fonction du temps d'écoulement.

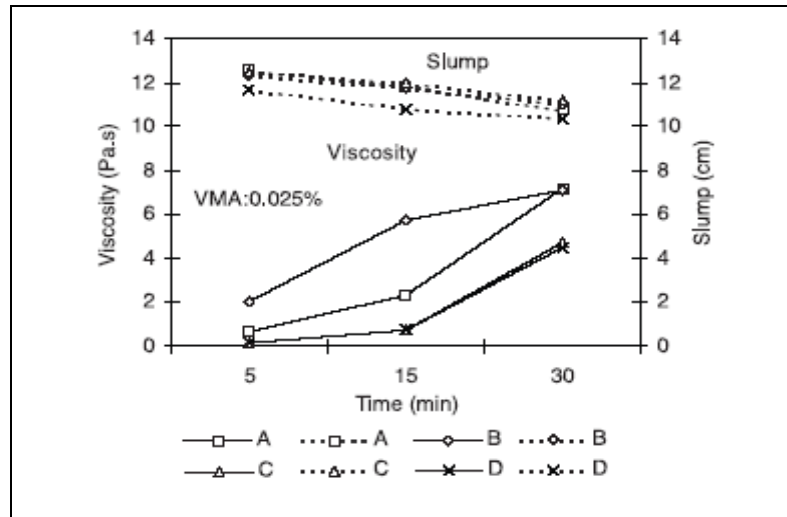


Figure 2.10 : corrélation entre viscosité, étalement et temps

Le travail de (Hadriche et al) [**Hadriche 2000**] a montré que de la mesure du temps d'écoulement, un lien peut être déterminé indirectement entre celui-ci et la viscosité apparente par l'intermédiaire de l'étalement. Les figures 2.11-a et 2.11-b montrent les corrélations qui existent entre ces différents paramètres rhéologiques:

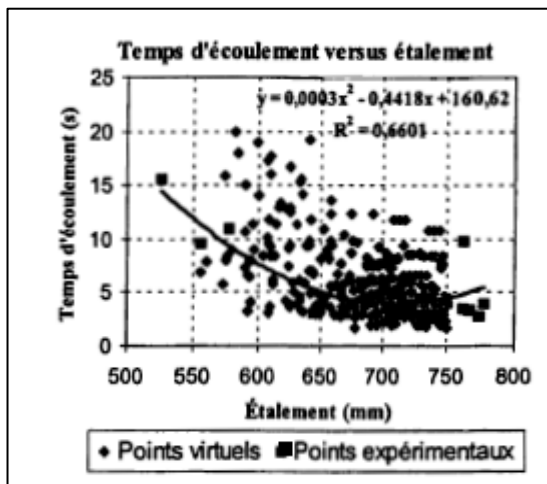


Figure 2.11-a: Corrélation écoulement – étalement

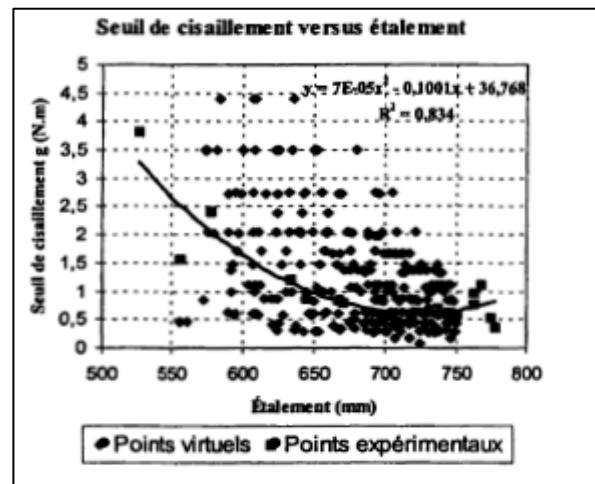


Figure 2.11-b: Corrélation étalement – seuil de cisaillement

(Ferraris et al.) [**Ferraris 2001**] a établi une corrélation entre les diamètres d'étalement au mini-cône et la résistance au cisaillement à partir des essais effectués sur des pâtes de ciment confectionnées à partir de ciment et de trois additions minérales (figure 2. 12-a), une valeur levée du diamètre correspond à la valeur la plus faible de la résistance au cisaillement.

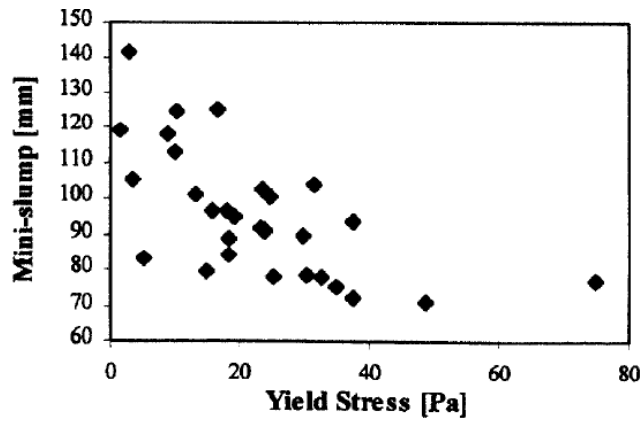


Figure 2. 12-a : Comparaison entre le diamètre d'étalement au mini-cône et la résistance au cisaillement

Une autre corrélation existerait selon les mêmes auteurs entre les temps d'écoulement au cône de Marsh et la viscosité apparente pour seulement de faibles valeurs (figure 2. 12-b), ainsi les faibles valeurs du temps d'écoulement correspondent aux plus faibles valeurs des viscosités, cette corrélation ne pourrait pas être généralisée [Ferraris-b 2001].

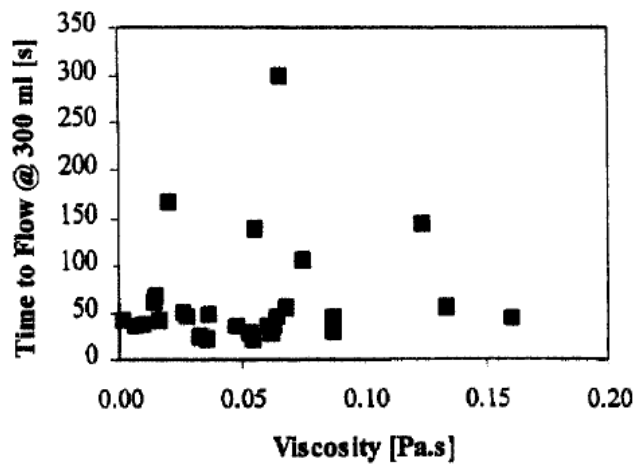


Figure 2. 12-b : Comparaison entre le temps d'écoulement au cône de Marsh et la viscosité apparente

Une relation entre le seuil de cisaillement, le temps d'écoulement à travers l'entonnoir et la capacité de remplissage est présentée sur la figure 2.13. La capacité de remplissage diminue lorsque le seuil de cisaillement augmente.

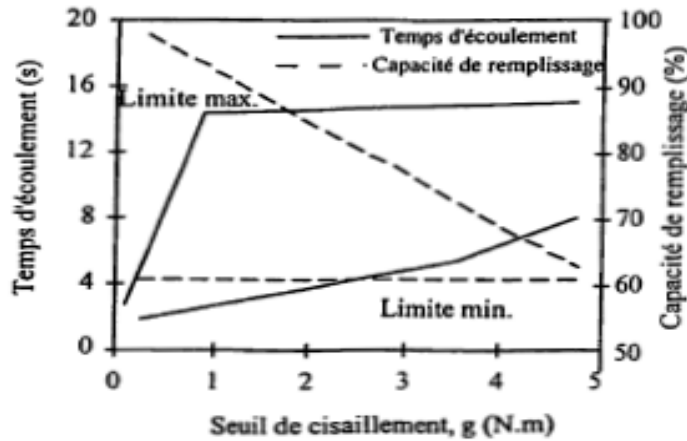


Figure 2.13: Corrélation seuil – écoulement – capacité de remplissage

Le volume de la pâte dans le cône décroît, ce qui provoque une diminution du cisaillement et des forces de gravité qui provoque son écoulement.

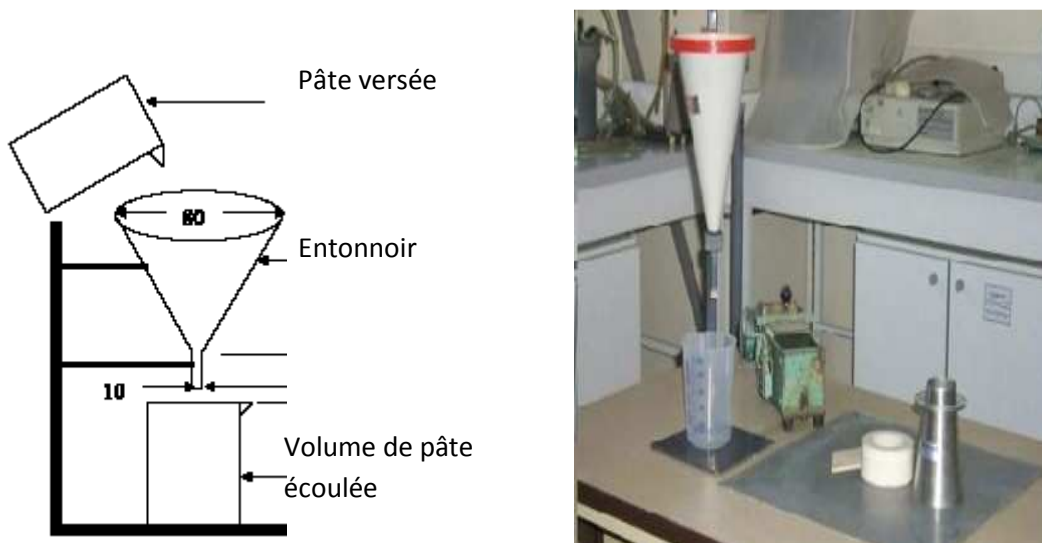


Figure 2.14 : Cône de Marsh (à gauche schéma représentatif, dimensions en mm)

Selon [Cyr 1999], les courbes *temps d'écoulement - volume rempli* sont généralement linéaires sur les 2/3 de l'essai (figure 2.15), mais elles perdent leur linéarité lorsque le poids de l'échantillon dans le cône devient faible, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser comme résultat d'essai une mesure de temps correspondant à un volume plus faible que celui introduit dans l'appareil. En effet, la figure ci-dessous montre que la courbe n'est pas tout à fait linéaire comparée à la tangente tracée, pour cette raison, il est conseillé donc de commencer à prendre les mesures des temps d'écoulement d'un volume de pâte choisi non pas au début, mais après quelques instants suivant le début d'écoulement.

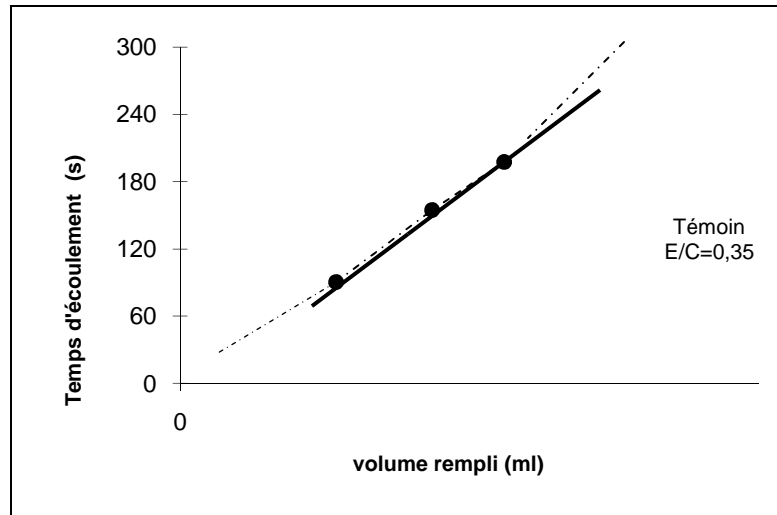


Figure 2.15 : Mise en évidence de la perte de linéarité [Cyr 1999]

A. 4. COMPOSITIONS DES PÂTES DE CIMENT

Le tableau 2.8 donne les compositions des différentes pâtes sur lesquelles des mesures d'étalement et des temps d'écoulement ont été effectués. Après préparation d'une masse de ciment, un taux de 0 à 40% de fillers calcaires lui sera substitué; pour chaque taux de substitution, un mélange de pâte est préparé avec différents dosages en eau (donc $E/(C+F)$) et en superplastifiant. On procède de la même façon pour tous les mélanges. Le choix des valeurs du rapport E/L est fait sur la base de notre analyse bibliographique (Chapitre I, § 2.). Quant au taux du dosage maximal en superplastifiant de 3%, il a été recommandé par le fabricant.

Tableau 2.8 : compositions des pâtes étudiées

Ciment %	100	95	90	85	80	75	70	60
Filler calcaire en substitution au ciment %	0	5	10	15	20	25	30	40
Eau / Liant (E/L) %	0.22 - 0.24 - 0.30 - 0.40							
Superplastifiant (Sp) %	0 - 0.5 - 1 - 1.2 - 1.3 - 1.5 - 2 - 3							

Nous aurons donc à élaborer plusieurs pâtes issues des différentes combinaisons : 8 valeurs de liant (ciment +filler), 4 valeurs des rapports E/L et 8 valeurs des dosages en superplastifiants, ce qui donne un total de 258 mélanges de pâtes à étudier, et ce dans le but de viser des pâtes ayant en même temps, un faible seuil de cisaillement (diamètre d'étalement élevé) et une viscosité élevée (temps d'écoulement réduit sans coupure de la pâte lors de son écoulement). Interrompre

A. 5. MÉTHODE DE PRÉPARATION DES PÂTES DE CIMENT

Une pâte peut être obtenue en mélangeant les constituants liquides auxquels on ajoute les constituants solides. Le tableau 2.9 donne la procédure expérimentale de préparation des pâtes de ciment, cette procédure est inspirée des travaux de recherche effectués au LMDC INSA-UPS de Toulouse, et utilisée pour la préparation de 1 litre de mélange, la durée totale de préparation est de 5 minutes [El Barrak 2005]. Nous appliquerons cette même méthode pour la confection de toutes les pâtes composées à partir de quatre paramètres (Ciment, Filler, Superplastifiant et Eau).

Tableau 2.9 : Méthode de préparation des pâtes de ciment

Instant	Etape	Durée - Vitesse
-	Ajout E et 1/3 SP	30 s – petites vitesses
T ₀	Ajout du ciment (C)	30 s – petites vitesses
T ₀ + 30 s	Ajout du filler (F)	30 s – petites vitesses
T ₀ + 60 s	Passage à grande vitesse	30 s – grandes vitesses
T ₀ + 90 s	Arrêt et raclage du bol	30 s – arrêt
T ₀ + 120 s	Reprise du malaxage	60 s – grandes vitesses
T ₀ + 180 s	Ajout de 2/3 SP restant	15 s – petites vitesses
T ₀ + 195 s	Passage à grande vitesse	105 s – grandes vitesses
T ₀ + 300 s	Fin du malaxage	-

A. 6. CONSISTANCE DE LA PATE DE CIMENT

A la fin du malaxage, la pâte est obtenue, elle est formée d'une phase liquide (Eau et superplastifiant) et d'une phase solide (ciment et filler calcaire). A cause de l'hétérogénéité du mélange, on doit procéder la vérification manuelle puis visuelle de l'aspect de la pâte.

Pour chaque mélange confectionné, trois observations sont effectuées, la première est faite manuellement avec une truelle après la fin du malaxage, la pâte pourrait présenter une sédimentation de la phase solide (la phase liquide de densité inférieure occupe la partie supérieure du mélange) ou pourrait avoir un aspect ferme (pour des valeurs faibles de rapport E/L, la pâte confectionnée est soit sèche ou soit présentant un aspect plastique empêchant ainsi l'écoulement). La deuxième lors de l'étalement au mini-cône, où un halo de laitance pourrait être observé autour de la galette de pâte. La troisième est faite par l'intermédiaire d'un tube en verre, en versant une quantité de pâte dans le tube, les particules solides se décantent au fond et une phase liquide surnagerait la pâte, deux phases distinctes sont observées dans le tube en verre, il y a alors sédimentation de la pâte.

Tous les mélanges présentant ces types de sédimentation (aspect visuel) ou ne sont pas homogènes (passage difficile de la truelle et accumulation en bloc dans le malaxeur) seront rejetés.

A. 7. ECHEANCES DES ESSAIS

En procédant de la même manière pour la préparation des pâtes, la procédure de malaxage doit être respectée et doit se faire d'une manière identique pour tous les mélanges et sans aucune interruption de la procédure. Le tableau 2.10 présente les étapes de la procédure à suivre, de la préparation du mélange jusqu'aux mesures effectuées sur la pâte obtenue.

Tableau 2.10 : Procédure expérimentale pour essais sur pâtes

Etape	Instant	Durée totale approximative	Grandeurs mesurées	Résultat
Préparation des matériaux et pesage	-	10 min	Masses de matériaux	Dosage des constituants
Malaxage des matériaux	-	5 min	-	-
Aspect visuel à la truelle	-	Pendant le malaxage	-	Aspect de la pâte
Mesure au min-cône	t_0 fin de malaxage	2 min	Étalement	Étalement (cm)
Aspect visuel au tube en verre	t_0	5 min en parallèle avec la précédente	-	Consistance / sédimentation
Mesure au cône de Marsh	$t_0 + 2$ min	1 min	Temps d'écoulement	Temps (s)

Le temps t_0 correspond à la fin du malaxage, la pâte étant formée, c'est à cet instant qu'elle commence à se transformer (réaction du ciment au moment du contact avec l'eau).

Comme tous les essais rhéologiques s'effectuent dans les 20 minutes qui suivent la fin du malaxage, et comme la phase dormante dure près d'une heure; or certaines recherches comme celle de [El Barrak 2005], considèrent que les variations des propriétés rhéologiques durant la période de préparation et de mesure sont négligeables, puisque la durée totale de toute la procédure expérimentale varie entre 20 et 25 minutes pour chaque mélange de pâte confectionnée.

Ce qui est important, c'est de faire les essais au même temps pour tous les mélanges, puisqu'il pourrait y avoir des modifications de la consistance pendant la période dormante, c'est le cas par exemple de la variation de l'effet du superplastifiant au cours du temps.

B. ESSAIS SUR LES BETONS

B.1. ESSAIS SUR LES GRANULATS

B.1. 1. Détermination de l'eau retenue par les granulats

En plus des essais classiques déjà effectués sur les granulats, des mesures de la quantité d'eau retenue par un échantillon de granulats (mélange de sable et graviers de rapport G/S fixé) seront effectuées par l'intermédiaire du dispositif donné par la figure 2.16 ci-dessous.

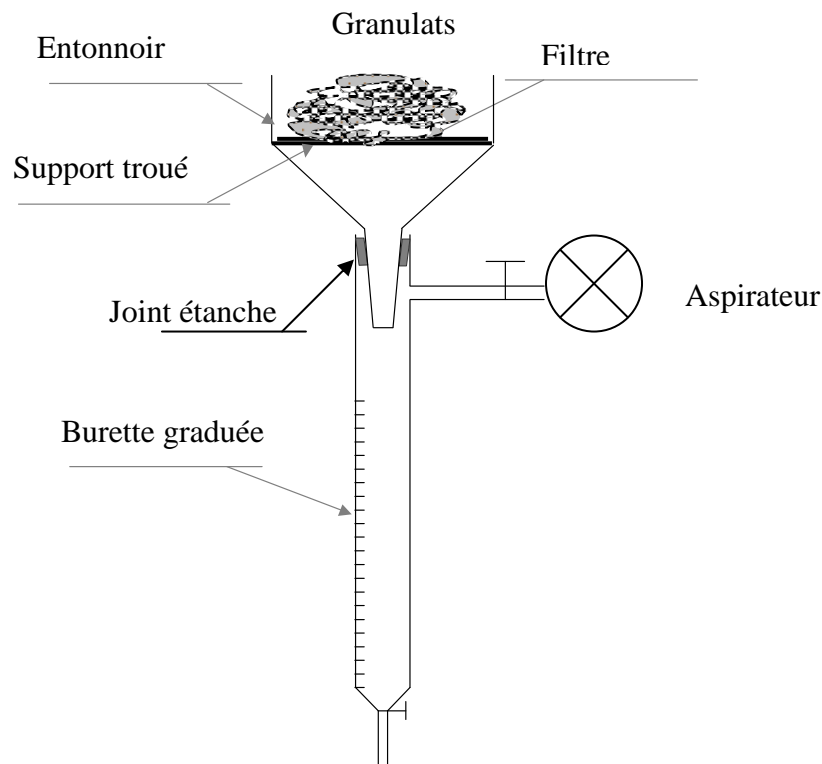


Figure 2.16 : Dispositif de mesure de l'eau retenue par les granulats

Ce dispositif permet de filtrer l'eau sous pression à travers des granulats préalablement immergés dans l'eau [El Barrak 2005].

Le choix des dimensions des constituants est laissé à l'expérimentateur. Notre dispositif est constitué d'un entonnoir de 30 cm de diamètre auquel nous avons associé une plaque circulaire trouée de même diamètre, sur laquelle on pose un papier filtre pour empêcher la perte des granulats lors de l'écoulement de l'eau. La burette graduée doit avoir une capacité

suffisante pour contenir une partie de l'eau dans laquelle les granulats étaient préalablement immergés.

Les granulats de rapport G/S donné, doivent être représentatifs de l'ensemble des grains à injecter pour confectionner notre béton autoplaçant. Cela veut dire qu'il faut malaxer les graviers et le sable à sec afin d'homogénéiser le squelette solide.

La quantité d'eau dans laquelle sont posés les granulats est de volume connu. On prend le soin de prélever les granulats et de les poser à l'intérieur de l'entonnoir sans perte d'eau ni de grain au cours de l'opération. En mesurant la quantité d'eau qui remplit la burette en fonction du temps, on peut connaître à chaque instant la quantité de l'eau retenue par les granulats par un simple calcul de déduction. Le rôle de l'aspirateur est d'exercer une dépression facilitant l'arrachement de l'eau de surface aux granulats.

Il est évident qu'au début du processus, la burette se remplit plus vite par l'eau qui s'écoule sous l'effet de la gravité. Cet écoulement devient de plus en plus lent au cours du temps lorsque l'eau commence à manquer entre les interstices du squelette solide. La fonction de variation temps – eau retenue par les granulats serait décroissante.

B.1. 2. Compacité des granulats

L'essai consiste à placer un échantillon de granulats dans un moule sous la contrainte d'un piston sur lequel sera posée une charge et à appliquer à l'ensemble des secousses mécaniques provoquant un arrangement des grains et par la suite un compactage de l'échantillon.

L'essai a pour but de mesurer la compacité d'une fraction granulaire de masse déterminée lorsqu'elle est soumise, dans un cylindre, à une sollicitation mécanique définie conventionnellement (Norme NF EN 932-2 : Propriétés générales des granulats - partie 2 : méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire. Norme NF EN 1097-6 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - partie 6 : détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau). Cette caractéristique est notamment utilisée comme paramètre d'entrée de modèles de formulation des mélanges granulaires.

Il s'agit donc de mesurer la masse volumique apparente de l'échantillon étudié qui permet de calculer la compacité expérimentale.

L'appareillage nécessaire pour le déroulement de l'essai :

- ✓ Une balance de précision de capacité maximale de 15 Kg.

- ✓ Équipement nécessaire pour tasser l'échantillon de granulats (piston, plaque d'encastrement, surcharge pouvant appliquer une contrainte de 10 KPa par l'intermédiaire d'un piston) conformément à la norme NF EN 932-32.
- ✓ Jauge de profondeur graduée de précision ± 0.1 mm.
- ✓ Une table à secousse.
- ✓ Un moule cylindrique de diamètre intérieur de 16 ± 2 mm et de hauteur pouvant atteindre 600 ± 2 mm. Il est important d'avoir un diamètre extérieur coulissant du piston égal au diamètre intérieur du moule diminué de 1 mm, pour permettre le libre coulissement à l'intérieur du moule.

Pour l'exécution de l'essai, la procédure suivante sera suivie (conformément à la norme NF EN 932-2) :

- ✓ Mesurer la profondeur du moule vide en deux points symétriques (notées H_{v1} et H_{v2}), la profondeur du moule est la moyenne des deux mesures et est notée (H_v).
- ✓ Disposer de 7 Kg de mélange granulaire (sable et graviers) de G/S choisi et le sectionner en trois fractions d'égales masses.
- ✓ Verser la première fraction dans le moule et appliquer 20 secousses, répéter la même opération pour la deuxième et la troisième tranches. Placer le piston dans le moule sur lequel sera posée une surcharge pouvant appliquer une contrainte de 10 KPa, puis appliquer 40 secousses.
- ✓ Mesure la profondeur du moule plein et sous charge en deux points symétriques (notées H_{p1} et H_{p2}), calculer la moyenne des deux mesures, notée (H_p).

Le calcul de la compacité passe d'abords par le calcul de la masse volumique apparente du matériau :

- Connaissant la masse (M) de l'échantillon placé à l'intérieur du moule, son volume est $V = S \times h$ avec $S = \pi.D^2/4$ (D : diamètre du moule) et $h = h_p - h_v$. La masse volumique apparente est alors : $(\rho_{ap}) = M / V$.
- La compacité (C) est définie par le rapport des masse volumique absolue (ρ_{ab}) (au sens de la norme NF EN 10 97-6) et de la masse volumique apparente (ρ_{ap}), et peut être calculée par : $C = (\rho_{ab}) / (\rho_{ap})$.
- La valeur finale de la compacité sera prise égale à la moyenne des trois résultats issus de trois essais réalisés (sur trois échantillons du même mélange) dans les mêmes conditions et en respectant la même procédure.

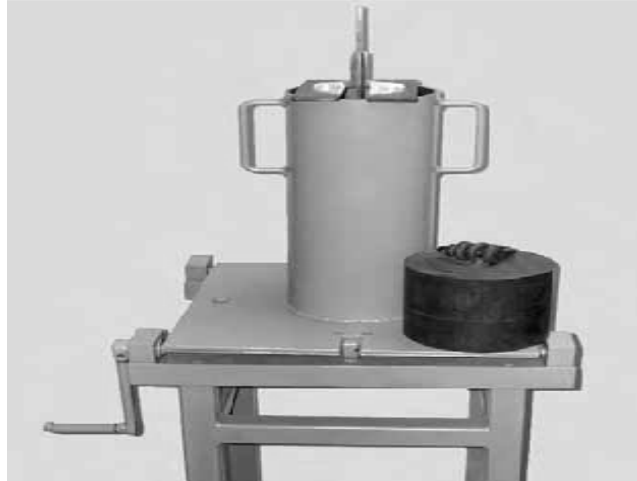


Figure 2.17: Dispositif de mesure de la compacité

B. 2. ESSAIS SUR LES BÉTONS AUTOPLAÇANTS

Pour les essais sur bétons, une boîte en L (L-box) dont les dimensions sont standardisées et normalisées, un cône d'Abrams servira à mesurer les diamètres d'étalement sur un support horizontal, puis un tamis pour la mesure du taux de ségrégation seront utilisés conformément aux recommandations de l'Association Française de Génie Civil [AFGC 2000], ces appareils peuvent aussi être utilisés pour tester les propriétés à l'état frais des bétons autoplaçant de compositions déduites. Les figures 2.18 et 2.19 montrent ces appareils ainsi que leurs d'utilisation.

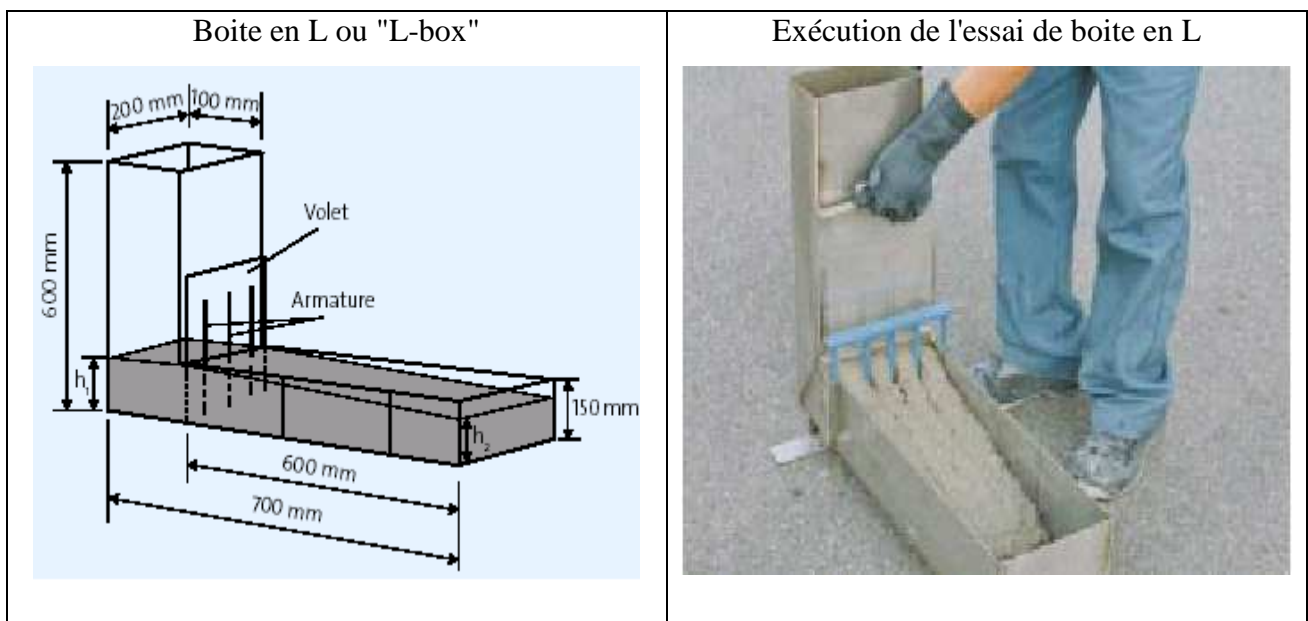


Figure 2.18: Essais de Boîte en L « L-Box » [Holcim 05]

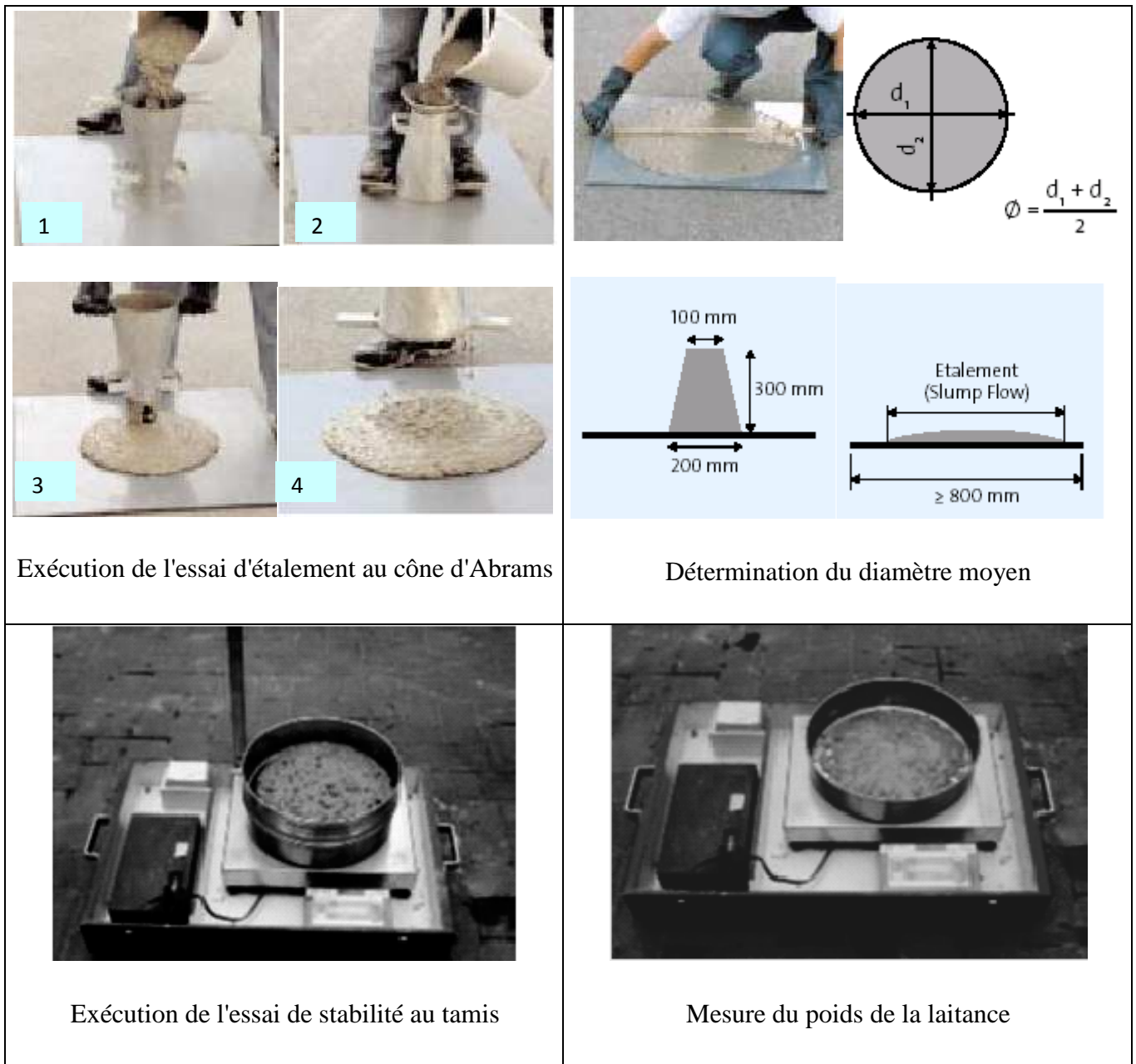


Figure 2.19 : Essais d'étalement au Cône d'Abrams et essai de stabilité au tamis [Holcim 05]

L'AFGC a proposé des intervalles de valeurs pour les diamètres d'étalement (Essai au cône d'Abrams), pour le rapport H2/H1 (Essai de la boîte en L) et pour le taux de remplissage (essai de stabilité au tamis). Le tableau 2.11 donne les valeurs préconisées pour l'obtention d'un béton aux propriétés autoplaçantes.

Tableau 2.11 : Valeurs préconisées pour les essais selon l'AFGC

Etalement	de 600 mm à 750 mm
H₂/H₁	≥ 0,8
Laitance	≤ 15 %

Pour ce qui est des essais sur bétons, les propriétés rhéologiques sont dépendants les uns des autres. Ainsi, la figure 2.20 montre le temps d'écoulement de l'essai de boîte en L (représentant la viscosité) d'un béton autoplaçant est en relation étroite avec la ségrégation et le risque de blocage.

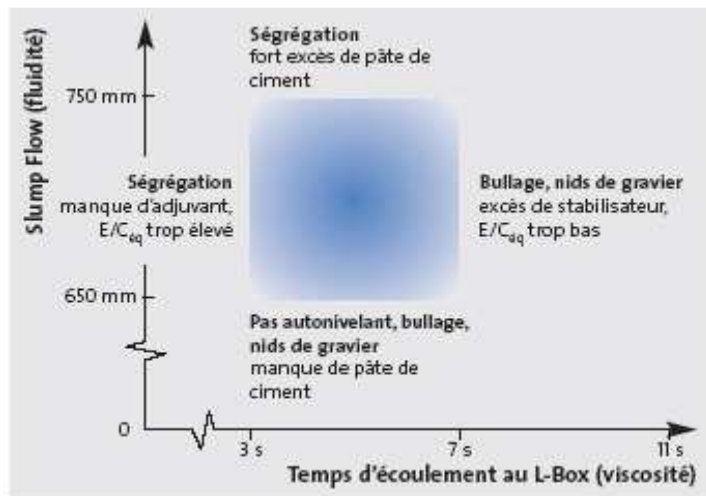


Figure 2.20: Corrélations entre paramètres rhéologiques d'un BAP [Holcim 05]

Dans ce chapitre, nous avons présenté les constituants susceptibles de composer d'abord les pâtes de ciment (ciment, filler calcaire, superplastifiant et eau) puis les bétons autoplaçants (sable et graviers). Nous avons aussi exposé les différentes méthodes à utiliser pour la caractérisation des propriétés d'écoulement des pâtes de ciment, ainsi que les méthodes de spécification des propriétés autoplaçantes des bétons confectionnés. Les détails des différents outils, procédures et échéances expérimentales ont aussi été exposés. L'application de ces méthodes sera effectuée dans les chapitres suivants les résultats exploités ultérieurement.