

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



## **Mémoire de Mastère**

**Présenté à l'Université de Guelma**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département de : Génie Civil & Hydraulique**

**Spécialité : Génie Civil**

**Option : Structures**

**Présenté par : ATHAMNIA HICHAM & BENHAMIDA BILAL**

---

# **Caractérisation de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons**

---

**Sous la direction du: Pr. BENOUIS Abdelhalim**

**Juin 2013**

---

---

# *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné le pouvoir afin de réaliser ce travail.

Au terme de ce travail, nous saisissons cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons tout d'abord remercier notre encadreur le professeur : **BENOUIS ABDELHALIM** qui nous a encadrés avec patience durant la réalisation de ce travail de fin d'études. Ses conseils nous ont été bien utiles, notamment pour la rédaction de ce mémoire.

Nous voudrions également exprimer nos remerciements sincères au personnel du Laboratoire de l'Habitat et de la Construction de l'EST (LHC.EST) de Belkheir - GUELMA.

Nous exprimons également notre gratitude aux membres du jury, qui nous ont honorés en acceptant de juger ce modeste travail. Leurs remarques ont été à l'origine de discussions riches et passionnantes.

Enfin, nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignants du département de Génie Civil et d'Hydraulique et surtout son chef Dr : Kherouf Mazouz.

---

---

# ***Dédicace***

***Nous dédions ce modeste travail :***

*À nos très chers parents,*

*à nos chers frères et sœurs,*

*à nos chères grandes familles,*

*à tous nos amis proches ou loins,*

*à tous ceux qui nous sont chers, et qu'ils trouvent leur place  
dans nos cœurs.*

**BENHAMJDA BJLAL**

**ATHAMNJA HJCHAM**

---

# SOMMAIRE

**RESUME**

**ABSTRACT**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES PHOTOS**

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>OBJECTIF</b> .....	1
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	2

## **CHAPITRE I: GENERALITES**

<b>I.1 INTRODUCTION</b> .....	3
<b>I.2 LES MORTIERS</b> .....	3
<b>I.2.1 HISTORIQUE</b> .....	3
<b>I.2.2 DEFINITION DU MORTIER</b> .....	3
<b>I.2.3 COMPOSITION DU MORTIERS</b> .....	4
I.2.3.1 Ciments .....	5
I.2.3.2 Les sables .....	6
I.2.3.2.1 Caractéristique des sables .....	7
I.2.3.2.1.1 Analyse granulométrique .....	7

I.2.3.2.1.2 Module de finesse .....	8
I.2.3.3 L'eau de gâchage .....	9
I.2.3.4 Les adjuvants .....	10
<b>I.2.4 TYPE DU MORTIERS</b> .....	11
I.2.4.1 Les mortiers de ciment .....	11
I.2.4.2 Les mortiers de chaux .....	11
I.2.4.3 Les mortiers bâtards (ciment + chaux) .....	12
<b>I.2.5 EMPLOI DES MORTIERS</b> .....	12
<b>I.2.6 DOSAGE DES MORTIERS</b> .....	13
<b>I.2.7 PROPRIETES DU MORTIER A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT SEC</b> .....	14
I.2.7.1 Propriétés du mortier à l'état frais .....	14
I.2.7.1.1 Ouvrabilité .....	14
a) La table à secousses .....	14
b) Le maniabilimètre du LCPC .....	15
c) Le cône .....	15
I.2.7.1.2 Prise .....	15
I.2.7.2 Propriétés du mortier à l'état sec .....	16
I.2.7.2.1 Résistances mécaniques .....	16
I.2.7.2.2 Retraits et gonflements .....	18
<b>I.3 LES BETONS</b> .....	19
<b>I.3.1 BETON ORDINAIRE</b> .....	19
I.3.1.1 Historique.....	19
I.3.1.2 Définition .....	20
I.3.1.3 Composition du béton ordinaire .....	20
I.3.1.3.1 Les granulats .....	21
I.3.1.3.1.1 Caractéristiques des graviers .....	22
I.3.1.3.1.1.1 Masse volumique apparente.....	22

I.3.1.3.1.1.2 Masse volumique absolue .....	23
I.3.1.3.1.1.3 Teneur en eau .....	23
I.3.1.3.1.1.4 Exemple des caractéristiques des graviers .....	24
<b>I.3.2 BETON AUTOPLAÇANT .....</b>	<b>24</b>
I.3.2.1 Historique.....	24
I.3.2.2 Définition .....	25
I.3.2.3 Composition du BAP .....	25
I.3.2.4 Méthode de formulation des BAP .....	27
<b>I.3.3 BETON HAUTE PERFORMANCE .....</b>	<b>27</b>
I.3.3.1 Historique.....	27
I.3.3.2 Définition .....	28
I.3.3.3 Composition du BHP .....	28
I.3.3.4 Méthode de formulation des BHP .....	29
I.3.3.5 Différents classes des BHP .....	29
<b>I.3.4 PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI .....</b>	<b>30</b>
<b>I.4 CONCLUSION .....</b>	<b>31</b>

## **CHAPITRE II : CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE**

### **DES MORTIERS ET DES BETONS**

<b>II.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>32</b>
<b>II.2. CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE DES MORTIERS .....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.1. LES ESSAIS .....</b>	<b>32</b>
II.2.1.1. La table à secousses .....	32

II.2.1.1.1. Matériel utilisé .....	33
II.2.1.1.2. Mode opératoire .....	33
II.2.1.2. Le maniabilimètre du LCPC .....	36
II.2.1.3. Le cône .....	37
<b>II.3. CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE DES BETONS .....</b>	<b>37</b>
<b>II.3.1. BETONS ORDINAIRES ET HAUTES PERFORMANCES .....</b>	<b>37</b>
<b>II.3.1.1. LES ESSAIS .....</b>	<b>37</b>
II.3.1.1.1. Le cône d'Abrams .....	37
II.3.1.1.1.1. Mode opératoire .....	38
II.3.1.1.2. L'essai <i>Vébé</i> .....	40
II.3.1.1.2.1. Conduite de l'essai .....	41
II.3.1.1.2.2. Classe de consistance <i>Vébé</i> .....	41
II.3.1.1.3. Essai d'étalement sur table .....	42
II.3.1.1.3.1. Principe de l'essai .....	42
II.3.1.1.3.2. Equipement nécessaire .....	42
II.3.1.1.3.3. Mode opératoire .....	42
II.3.1.1.3.4. Résultats .....	43
II.3.1.1.4. L'appareil Granville .....	44
<b>II.3.2. BETON AUTOPLAÇANT .....</b>	<b>47</b>
<b>II.3.2.1. LES ESSAIS .....</b>	<b>47</b>
II.3.2.1.1. Essai d'étalement .....	48
II.3.2.1.1.1. Matériel utilisé .....	48
II.3.2.1.1.3. Mode opératoire .....	48
II.3.2.1.2. Essai de la boîte en L .....	49
II.3.2.1.3. Essai de stabilité au tamis .....	51
II.3.2.1.3.1. Matériel utilisé .....	51
II.3.2.1.3.2. Mode opératoire .....	51

<b>II.4. CORRESPONDANCES ENTRE LES ESSAIS</b> .....	53
<b>II.4.1. BETONS ORDINAIRES ET HAUTES PERFORMANCES</b> .....	53
<b>II.4.2. BETON AUTOPLAÇANT</b> .....	56
<b>II.5. CONCLUSION</b> .....	59

### **CHAPITRE III : ETUDE EXPERIMENTALE**

<b>III.1. INTRODUCTION</b> .....	60
<b>III.2. TECHNIQUES EXPERIMENTALES POUR LA CARACTERISATION</b> .....	60
<b>DE L'OUVRABILITE DES BETONS D'ETUDE.</b>	
<b>III.2.1. Caractéristiques physiques des matériaux utilisés</b> .....	60
III.2.1.1. Sable .....	60
III.2.1.2. Gravier .....	61
III.2.1.3. Ciment .....	62
III.2.1.4. Eau de gâchage .....	62
III.2.1.5. Filler .....	62
III.2.1.6. Superplastifiant .....	63
<b>III.2.2. Préparation des bétons</b> .....	63
<b>III.2.3. Processus de fabrication des bétons étudiés</b> .....	64
<b>III.2.4. Composition des bétons d'étude</b> .....	65
<b>III.2.5. Les essais utilisés sur les bétons à l'état frais</b> .....	66
III.2.5.1. Béton autoplaçant .....	66
III.2.5.1.1. Essai de stabilité au tamis .....	66
III.2.5.1.2. Essai d'étalement .....	67
III.2.5.1.3. Essai de la boîte en L .....	67

---

III.2.5.2. Résultats des essais expérimentaux .....	68
<b>III.2.6. Bétons ordinaires</b> .....	<b>73</b>
III.2.6.1. Composition des bétons d'étude .....	73
III.2.6.2. Les essais utilisés .....	73
III.2.6.2.1. L'affaissement au cône d'Abrams .....	73
III.2.6.2.2. Le maniabilimètre du LCPC .....	74
<b>III.2.7. Résultats des essais expérimentaux</b> .....	<b>75</b>
<b>III.3. CONCLUSION</b> .....	<b>79</b>

## Résumé

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une étude sur les mortiers et les bétons (ordinaire, autoplaçant et le béton à hautes performances), ce travail s'articule autour de la caractéristique principale à l'état frais qui est l'ouvrabilité. Il est scindé en deux parties, la première est une étude bibliographique et la seconde est une étude expérimentale.

L'ouvrabilité des mortiers et des bétons dépend de beaucoup de paramètres et est caractérisée par le temps d'écoulement, l'affaissement, la mobilité en milieu confiné, la stabilité.....etc. Ce travail contribue à l'étude de l'influence de quelques paramètres sur l'ouvrabilité des bétons :

- Le rapport E/C.
- Les adjuvants.

Les résultats obtenus ont permis de comprendre le mécanisme de l'ouvrabilité des bétons (ordinaire et autoplaçant) sous l'effet de ces paramètres.

- La quantité d'eau a une influence remarquable sur l'ouvrabilité de béton ordinaire (l'effet du rapport E/C est plus important sur le temps d'écoulement que sur l'affaissement).
- Les bétons "autoplaçants" qui ne contiennent pas de filler, et de superplastifiant ont un problème d'étalement, de ségrégation statique et de ségrégation dynamique.

**Mots clés :** mortier, béton, BAP, BHP, ouvrabilité, adjuvant.

---

## Abstract

The research presented in this thesis is a study of mortars and concretes (ordinary and compacting high performance concrete), this work focuses on the main feature in the fresh state is workability. It is divided into two parts, the first is a literature review and the second is an experimental study.

The workability of mortar and concrete depends on many parameters and is characterized by the flow time, subsidence, mobility in confined spaces, stability..... etc. This work contributes to the study of the influence of some parameters on the workability of the concrete:

- The W/C ratio
- Adjuvants.

The results enabled to understand the mechanism of the workability of concrete (ordinary and SCC) under the effect of these parameters.

- The amount of water has a remarkable influence on the workability of ordinary concrete (the effect of W/C ratio is greater on the flow time as subsidence).
- "Self-compacting concretes" that contain no filler, and has a problem of superplasticizer spreading, static segregation and dynamic segregation.

**Keywords :** mortar, concrete, BAP, BHP, workability, adjuvant.

---

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I:

<b>Figure. I.1 :</b> Mortier de pose . . . . .	4
<b>Figure. I.2 :</b> Composition des mortiers . . . . .	4
<b>Figure. I.3 :</b> Broyage de calcaire . . . . .	5
<b>Figure. I.4 :</b> Le ciment . . . . .	5
<b>Figure. I.5 :</b> Courbe granulométrique d'un <i>sable</i> . . . . .	8
<b>Figure. I.6 :</b> Définition de l'équivalent de <i>sable</i> . . . . .	9
<b>Figure. I.7 :</b> L'eau de gâchage . . . . .	10
<b>Figure. I.8 :</b> Les adjuvants . . . . .	11
<b>Figure. I.9 :</b> Table à secousses . . . . .	14
<b>Figure. I.10 :</b> Le maniabilimètre du LCPC . . . . .	15
<b>Figure. I.11 :</b> Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge . . . . .	16
<b>Figure. I.12 :</b> Moule pour moulage des éprouvettes de mortier . . . . .	16
<b>Figure. I.13 :</b> Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion . . . . .	17
<b>Figure. I.14 :</b> Dispositif de rupture en compression . . . . .	17
<b>Figure. I.15 :</b> Résistance du mortier normal . . . . .	18
<b>Figure. I.16 :</b> Appareillage pour la mesure du retrait . . . . .	19

<b>Figure. I.17 :</b> Composition des bétons .....	20
<b>Figure. I.18 :</b> <i>Courbe granulométrique des granulats</i> .....	22
<b>Figure. I.19 :</b> Dalles en BAP .....	25
<b>Figure. I.20 :</b> Composition d'un béton ordinaire et d'un BAP .....	26
<b>Figure. I.21 :</b> Mode d'action des superplastifiants.....	26
<b>Figure. I.22 :</b> Le principe de la méthode d'Okamura et coll.....	27
<b>Figure. I.23 :</b> Exemples d'applications du BHP .....	28

## **CHAPITRE II :**

<b>Figure. II.1 :</b> <i>Table à secousse</i> .....	33
<b>Figure. II.2 :</b> <i>Le principe de table à secousse</i> .....	34
<b>Figure. II.3 :</b> <i>Principe de fonctionnement du maniabilimètre B</i> .....	35
<b>Figure. II.4 :</b> Le maniabilimètre du LCPC.....	36
<b>Figure. II.5 :</b> Le cône d'écoulement.....	37
<b>Figure. II.6 :</b> Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams .....	38
<b>Figure. II.7 :</b> Exemple <i>de l'affaissement</i> au cône d'Abrams .....	39
<b>Figure. II.8 :</b> Classes de <i>consistance</i> mesurées au cône d'Abrams .....	40
<b>Figure. II.9 :</b> Appareil Vébé .....	40
<b>Figure. II.10 :</b> <i>Mesure de la consistance (Essai Vébé)</i> .....	41
<b>Figure. II.11 :</b> Mesure de l'affaissement sur table .....	43
<b>Figure. II.12 :</b> Appareil pour mesurer le facteur de serrage .....	45
<b>Figure. II.13 :</b> Essai d'étalement .....	48
<b>Figure. II.14 :</b> Exemple d'étalement d'un BAP.....	49
<b>Figure. II.15 :</b> Risque de blocage au droit des armatures .....	49
<b>Figure. II.16 :</b> Appareil et dimensions de la boîte en L .....	50

<b>Figure. II.17 :</b> Exemple d'essai de la boîte en L .....	50
<b>Figure. II.18 :</b> Essai en U .....	50
<b>Figure. II.19 :</b> Essai de stabilité au tamis .....	51
<b>Figure. II.20 :</b> Relation entre le facteur de serrage et le temps vebe .....	54
<b>Figure. II.21 :</b> Relation entre l'essai au cône et essai d'étalement .....	54
<b>Figure. II.22 :</b> Plage d'utilisation des différents types d'essais.....	55
pour la mesure de la maniabilité.	
<b>Figure. II.23 :</b> Relation stabilité au tamis-(H/B) moules (C200 et P200) .....	57
<b>Figure. II.24 :</b> Vitesse d'écoulement – résistance à la ségrégation .....	58
H/B (C200 et P200).	
<b>Figure. II.25 :</b> Affaissement (cm) – résistance à la ségrégation .....	58
H/B (C200 et P200).	

### **CHAPITRE III :**

<b>Figure. III.1:</b> La stabilité au tamis des différentes .....	69
compositions des bétons	
<b>Figure. III.2:</b> L'étalement des différentes compositions des bétons .....	70
<b>Figure. III.3:</b> L'influence d'E/C sur l'étalement .....	71
<b>Figure. III.4:</b> Le rapport H2/H1 de la boîte en L .....	72
des différents bétons.	
<b>Figure. III.5:</b> L'influence d'E/C sur le rapport H2/H1 .....	72
de la boîte en L.	
<b>Figure. III.6:</b> L'affaissement des différents bétons .....	76
<b>Figure. III.7:</b> L'influence d'E/C sur l'affaissement .....	77
<b>Figure. III.8:</b> Temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC .....	78

**Figure. III.9:** L'influence d'E/C sur le temps d'écoulement ..... 78  
au maniabilimètre LCPC.

# Liste des photos

<b><u>CHAPITRE III :</u></b>	<b><u>page</u></b>
<b>Photo. III.1:</b> Le sable de carrière utilisé .....	<b>61</b>
<b>Photo. III.2:</b> Le gravier utilisé .....	<b>61</b>
<b>Photo. III.3:</b> Le ciment utilisé .....	<b>62</b>
<b>Photo. III.4:</b> Le superplastifiant utilisé .....	<b>63</b>
<b>Photo. III.5 :</b> Balance utilisée .....	<b>63</b>
<b>Photo. III.6 :</b> Bétonnière utilisée .....	<b>63</b>
<b>Photos. III.7 :</b> Les étapes de fabrication des bétons étudiés .....	<b>64</b>
<b>Photos. III.8 :</b> Etapes de la conduite de l'essai de stabilité au tamis utilisé. ....	<b>66</b>
<b>Photos. III.9 :</b> Etapes de la conduite de l'essai d'étalement utilisé. ....	<b>67</b>
<b>Photos. III.10 :</b> Etapes de la conduite de l'essai de la boîte en L utilisé. ....	<b>68</b>
<b>Photos. III.11 :</b> Etapes de la conduite l'affaissement au cône d'Abrams. ....	<b>74</b>
<b>Photos. III.12 :</b> Etapes de la conduite de l'essai du maniabilimètre du LCPC. ....	<b>75</b>

---

## Liste des tableaux

Désignation	Titre	Page
Tableau. I.1	Exemples de compositions de mortier de ciment	11
Tableau. I.2	Quantité des constituants du mortier de chaux	12
Tableau. I.3	Exemples de mortiers bâtards	12
Tableau. I.4	Type des mortiers selon le dosage des liants	13
Tableau. I.5	Les constituants de béton ordinaire en poids et en volume	21
Tableau. I.6	Classement des granulats selon la grosseur des grains	21
Tableau. I.7	Exemple des caractéristiques des graviers utilisés	24
Tableau. I.8	Les différentes classes de BHP	29
Tableau. II.1	Les valeurs d'étalement à la table	34
Tableau. II.2	La consistance du mortier	36
Tableau. II.3	Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône	39
Tableau. II.4	Classe de consistance Vébé	41
Tableau. II.5	Les valeurs d'étalement à la table	43

Tableau. II.6	Caractérisation de la maniabilité par les facteurs de serrage	<b>46</b>
Tableau. II.7	Les exigences et inconvénients des différents essais d'ouvrabilité.	<b>47</b>
Tableau. II.8	Classement de la formulation selon le pourcentage	<b>52</b>
Tableau. II.9	Comparaison entre les essais de béton autoplaçant	<b>52</b>
Tableau. II.10	Essais suggérés pour différentes maniabilités selon la norme BS 1881 :1983.	<b>53</b>
Tableau. II.11	Correspondance entre le facteur de serrage et l'affaissement	<b>55</b>
Tableau. II.12	Echelles de mesure des différents essais de maniabilimètre	<b>56</b>
Tableau .III.1	Caractéristiques physiques du sable de carrière utilisé	<b>60</b>
Tableau .III.2	Caractéristiques physiques du gravier utilisé	<b>61</b>
Tableau .III.3	Caractéristiques physiques du ciment utilisé	<b>62</b>
Tableau .III.4	Composition des bétons utilisés	<b>65</b>
Tableau .III.5	Résultats des essais sur les bétons "autoplaçants" utilisés à l'état frais.	<b>68</b>
Tableau .III.6	Compositions des bétons utilisés	<b>73</b>
Tableau .III.7	Résultats des essais sur les bétons utilisés à l'état frais	<b>76</b>



# Objectif

---

## **Objectif**

L'objectif du travail proposé est une étude sur la principale propriété des mortiers et des bétons à l'état frais, qui est l'ouvrabilité.

Un état d'art sur cette propriété sera réalisé avec les incidences sur les autres propriétés. Les différentes procédures de détermination de l'ouvrabilité seront prospectées et enfin une étude expérimentale pour déterminer l'ouvrabilité de plusieurs bétons (BO, BAP) sera réalisée pour plusieurs compositions.



# ***Introduction***

# ***Générale***

---

## **Introduction générale**

Les mortiers et les bétons sont actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques.

Les propriétés des mortiers et des bétons, sont en fonction des propriétés physiques et mécaniques à l'état frais et à l'état durci, tailles et formes des granulats, ainsi que la fabrication, proportions, modes préparatoires du mélange, moyens de mise en œuvre, et conditions de conservation.

La caractéristique essentielle des bétons et des mortiers à l'état frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est constitué de trois chapitres :

- **Dans le premier chapitre** d'ordre bibliographique : nous avons défini les mortiers et les bétons, donné un bref aperçu historique, sur les différents constituants, leurs méthodes de formulation, puis sur les caractéristiques propres à l'état frais et à l'état durci.
- **Le chapitre II** a été consacré à la description de la préparation et à la mesure de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons ordinaires et autoplaçants et hautes performances par différents procédés : table à secousses, maniabilimètre du LCPC et l'affaissement au cône d'Abrams, la boîte en L, la stabilité au tamis ....etc. Elles permettent de contrôler la correspondance de l'ouvrabilité entre les bétons.
- **Dans le dernier chapitre** nous avons décrit les techniques expérimentales utilisées dans ce travail pour les caractéristiques principales des bétons à l'état frais qui est l'ouvrabilité, ainsi que les modes opératoires et l'appareillage utilisé pour déterminer l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur les bétons élaborés.
- Enfin, on termine ce mémoire par une conclusion générale.



# CHAPITRE I

# *Généralités*

---

## **I.1. INTRODUCTION**

Les constructions et les ouvrages en général sont constitués par des éléments (poteaux, poutres,...) en béton. On doit assurer la liaison entre ces éléments et les protéger par un revêtement. Ces opérations sont effectuées par des mortiers, qui se distinguent des bétons pour éléments, par l'absence de gravier.

Les propriétés des mortiers et des bétons, qui en fonction des propriétés physiques et mécaniques à l'état frais et à l'état durci, tailles et formes des granulats, ainsi que la fabrication, proportions, modes préparatoires du mélange, moyens de mise en œuvre, et conditions de conservation.

## **I.2. LES MORTIERS**

### **I.2.1. HISTORIQUE**

L'histoire du mortier remonte à l'Antiquité et est intimement liée celle de la chaux. Le mortier romain avait des proportions de chaux et de sable fin. La présence de la chaux et la carbonatation permettaient à ce mortier de durcir en vieillissant, lui conférant sa pérennité.

Les Romains ont mis aussi au point le mortier de tuileau, un mélange de chaux et de fragments de briques ou tuiles et parfois de sable. En argile cuite, le tuileau agissait pendant la prise du mortier. **[Net 1]**

### **I.2.2. DEFINITION DU MORTIER**

Le mortier résulte d'un mélange de liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Les caractéristiques souhaitées dictent le dosage.

C'est principalement le liant, ciment et/ou chaux, qui dicte le comportement du mortier. La formulation doit donc être adaptée à l'usage.

En fonction du chantier, on choisira de le fabriquer sur place (en réalisant le mélange ou en utilisant un mortier pré-mélangé) ou bien de le faire livrer prêt à l'emploi.



Fig. I.1: Mortier de pose.

### I.2.3. COMPOSITION DES MORTIERS

Un mortier est constitué par le mélange de :

(Sable + Liant) + Eau = Mortier

Malaxage à sec  $\longrightarrow$  mouillage  $\longrightarrow$  obtention d'une pâte plastique qui durcit progressivement. [LET.78]

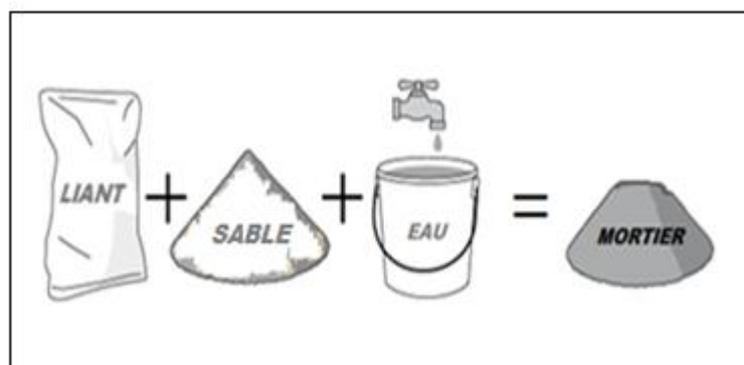


Fig. I.2: Composition des mortiers.

- **Liant** : Ils peuvent être du ciment, de la chaux ou un divers mélange de ces matériaux.

### I.2.3.1. Ciments :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue issu du broyage du clinker avec ou sans ajouts qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même dans l'eau. [BOU.08]

Le clinker est produit de la cuisson dans un four rotative à une température de 1500°C d'un mélange d'argile, calcaire, et matériaux minéraux. Il possède une composition minéralogique complexe influence sur les qualités physiques et mécaniques du ciment. [RIC.04]

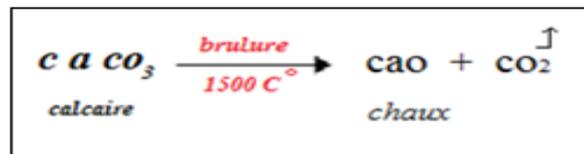


Fig. I.3: Broyage de calcaire. [Net 2]

Les ciments sont classés en cinq types selon la norme NF EN 197-1 [NF\_01]: [Net 2]

- CEM I - CPA → Ciment Portland Artificiel.
- CEM II - CPJ → Ciment Portland Composé.
- CEM III - CPF → Ciment de Haut Fourneau.
- CEM IV - CPZ → Ciment Pouzzolanique.
- CEM V - CLC → Ciment au Laitier et aux Cendres.



Fig. I.4: Le ciment.

### I.2.3.2. Les sables :

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “ sable normalisé ”.

Les sables entrent dans la composition des mortiers, des bétons, des matériaux préfabriqués où ils participent à la résistance à l'écrasement, d'où la recherche d'un sable dur, et compact. C'est souvent par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons. Il faut que les grains de sable demeurent plus durs que la pâte de ciment durcit qui les enveloppes : ils donnent de la cohésion au mélange, mortier ou béton.

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est: **[Net 3]**

- Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins : jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm.
- Gros : jusqu'à 5 mm.

Les sables peuvent être :

- naturels et roulés (de rivières, de sablières,...).
- naturels concassés (roches de carrières).
- spéciaux (lourds, réfractaires, légers).

Les rôles : **[CHE.07]**

- ✓ il permet l'économie de liant sans réduire la résistance du mélange.
- ✓ facilite la prise en assurant la porosité du mortier, et son aération.
- ✓ il combat le retrait du ciment pur et atténue le gonflement du mortier de chaux.

### I.2.3.2.1. Caractéristiques des sables :

#### I.2.3.2.1.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique d'un matériau divisé a pour but de déterminer les dimensions des grains qui le constituent.

D'une manière générale, les particules d'un matériau divisé ont une forme quelconque et la définition de leurs n'est pas aisée. Les granulats des mortiers sont analysés par des tamis ou passoire. La dimension d'un grain est alors, par définition le diamètre de la passoire qui le laisse juste passer. **[BRA.96]**

Tout granulats est désigné par 2 nombres (d/D) représentent respectivement la plus petite (d) et la plus grande dimension (D) de ses grains. Tout interpelle (d/D) ainsi défini également appelé classe granulaire. **[CHE.07]**

- **Courbe granulométrique :**

Les Courbes granulométriques sont tracées en coordonnées semi logarithmiques. En ordonnées on porte le pourcentage, en poids, des tamis sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

Toutefois, il convient de signaler si la dimension D des grains est mesurée sur tamis ou sur passoires.

D passoires = 1.25 D tamis.

On obtient en effet les mêmes résultats à travers un tamis de maille Dt qu'à travers une passoire à trous Dp.

Seulement, lors d'une représentation graphique, les dimensions D tamis seront décalées d'une graduation par rapport à la graduation D passoire.

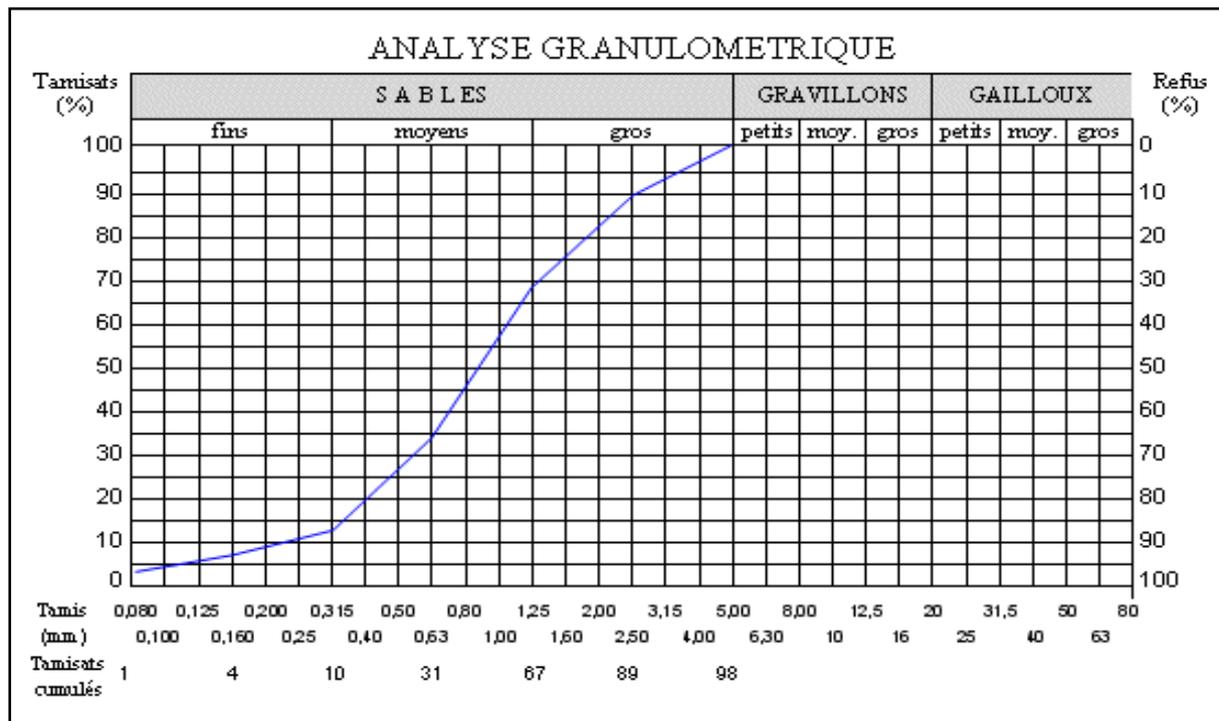


Fig. I.5: Courbe granulométrique d'un sable. [Net 4]

#### I.2.3.2.1.2. Module de finesse :

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante :

0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm.

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante. Un module de finesse est d'autant plus faible que le granulat est riche en éléments fins. [BRA.96]

On distingue quatre types de sable par exemple suivant les normes soviétiques on fonction du module de finesse  $M_f$  et qui sont comme suite : [DRE.98]

- Sable gros  $\longrightarrow M_f \geq 2.5$
- Sable moyen  $\longrightarrow 2 \leq M_f \leq 2.5$
- Sable fin  $\longrightarrow 1.5 \leq M_f \leq 2$
- Sable très fin  $\longrightarrow 1 \leq M_f \leq 1.5$

### I.2.3.2.1.3. l'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable (E.S) est généralement utilisé pour contrôler le sable :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Les valeurs généralement admises sont : **[Net 4]**

- ❖  $60 < ES < 70$  ———> Sable légèrement argileux : admissible pour béton courants avec risque de retrait important.
- ❖  $70 < ES < 80$  ———> Sable propre : convient bien pour le béton de haute qualité.
- ❖  $ES > 80$  ———> Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.

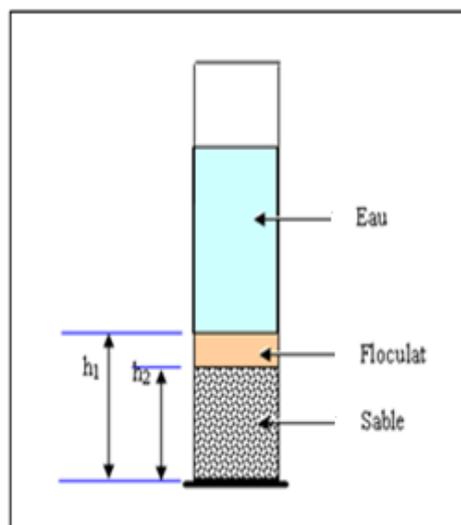


Fig.1.6: Définition de l'équivalent de sable.

### I.2.3.3. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier, nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NF EN 1008 [NF\_03].



Fig. I.7: L'eau de gâchage.

Les rôles :

L'eau permet au ciment de faire prise (c'est un des réactifs de la réaction d'hydratation), et de donner au béton une consistance (ouvrabilité) adaptée à l'ouvrage à réaliser. L'eau est un constituant très important du béton, car elle peut influencer la qualité, en fonction de sa qualité et de sa quantité.

#### I.2.3.4. Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits qui, ajoutés en faible quantité au mortier, améliorent certaines propriétés.

Ils se classent en deux catégories :

- Les adjuvants ayant une action sur les caractéristiques de mise en œuvre des mortiers.
- Ceux intervenant sur les propriétés des mortiers, qui ont fait leur prise.

Les rôles :

- ✓ ils facilitent la mise en œuvre des mortiers.
- ✓ amélioration de la carbonisation.
- ✓ le maintien de l'ouvrabilité (réteneur d'eau).
- ✓ avancent ou retardent la prise.
- ✓ amélioration de l'étanchéité. [Net 5]



Fig. I.8: Les adjuvants.

#### I.2.4. TYPES DES MORTIERS

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

On distingue différents types de mortiers :

##### I.2.4.1. Les mortiers de ciment :

Qui donnent des mortiers résistants.

Tableau. I.1: Exemples de compositions de mortier de ciment.

Utilisation	Pose de briques et blocs	Mortier de chape
<b>Matériaux</b>		
Ciment	50 kg	50 kg
Sable	120 à 130 kg	180 kg
Eau	50 litres	50 litres
Nature du mélange	onctueux	pâteux

##### I.2.4.2. Les mortiers de chaux :

Qui sont plus faciles à mettre en place mais qui durcissent moins vite que les mortiers de ciment. **[Net 6]**

Tableau. I.2: Quantité des constituants du mortier de chaux.

Chaux	Sable	Eau	Nature du mélange
40 kg	110 à 120 kg	50 litres	onctueux

### I.2.4.3. Les mortiers bâtards (ciment + chaux) :

Le liant qui compose ces mortiers est le mélange de ciment et de chaux, qui allie la résistance du ciment et la facilité de mise en place de la chaux. **[Net 6]**

- Plus grande plasticité → plus de chaux.
- Plus grande résistance → plus de ciment.

Tableau. I.3:Exemples de mortiers bâtards.

Utilisation	Corps d'enduit (sous-couche d'enduit)	Enduit de finition
Matériaux		
Ciment	50kg	25 kg
Chaux	40kg	40 kg
Sable	40kg	40 kg
Eau	75 litres	50 litres
Nature du mélange	presque liquide	onctueux

Autres mortiers :

- Les mortiers industriels.
- Les mortiers de façade.
- Les mortiers pour sols.
- Les mortiers spéciaux.
- Les mortiers en silos.

### I.2.5. EMPLOIS DES MORTIERS

Il est utilisé pour :

- Assurer la liaison des éléments de maçonnerie entre eux (par paings, trottoirs,...).
- Assurer la protection contre la pluie et l'humidité (enduit).
- Protéger contre l'infiltration d'eau par un écran (mur) étanche (par des mortiers spéciaux).

- Nivelier les surfaces de béton par la réalisation des chapes (couche) destinées à recevoir un revêtement (carrelage, dallage,...). **[LET.78]**

### I.2.6. DOSAGE DES MORTIERS

On distingue quatre types de mortiers d'après le dosage de liant que se soit ciment ou la chaux.

Tableau. I.4: Type des mortiers selon le dosage des liants. **[Net 2]**

mortier	dosage	utilisation
❖ Maigre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 à 400 Kg/m<sup>3</sup></li> <li>• CPA ou CPA + chaux</li> </ul>	-Mortier de maçonnerie en élévation
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 à 350 Kg/ m<sup>3</sup></li> <li>• CPA ou CPA + chaux</li> </ul>	-Chape pour revêtement
❖ Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 à 500 Kg/m<sup>3</sup></li> <li>• CPA ou CPA + chaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enduits extérieurs</li> <li>- Enduits intérieurs</li> <li>- Maçonneries fortement chargées</li> </ul>
❖ Gras (riche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 à 600 Kg/m<sup>3</sup></li> <li>• CPA ou CPA + chaux</li> </ul>	- Enduit extérieurs
❖ Très gras (ou très riche)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de 600 Kg/m<sup>3</sup></li> <li>• CPA ou CPA+ chaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chapes d'usure</li> <li>- Enduits étanches</li> <li>- Jointement</li> <li>- rejointoiement</li> <li>- Coulis de ciment</li> </ul>

## I.2.7. PROPRIETES DU MORTIER A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT SEC

Les propriétés principales des mortiers sont:

- Ouvrabilité.
- Prise.
- Résistances mécaniques.
- Retraits et gonflements,... etc. **[Net 5]**

### I.2.7.1. Propriétés du mortier à l'état frais

#### I.2.7.1.1. Ouvrabilité :

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

##### a) *La table à secousses:*

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule: **[Net 7]**

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec  $D_r$  = diamètre final et  $D_i$  = diamètre initial.

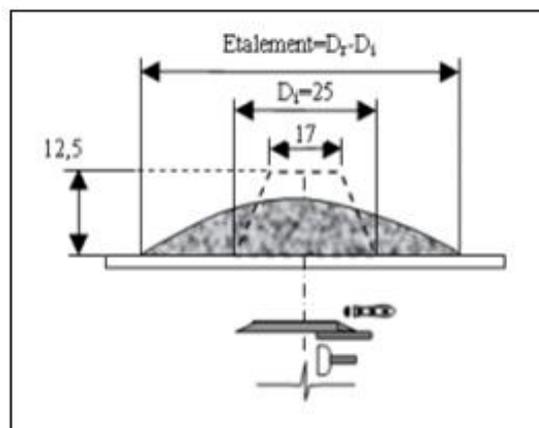


Fig. I.9: Table à secousses.

### b) Le maniabilimètre du LCPC :

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule. **[Net 7]**

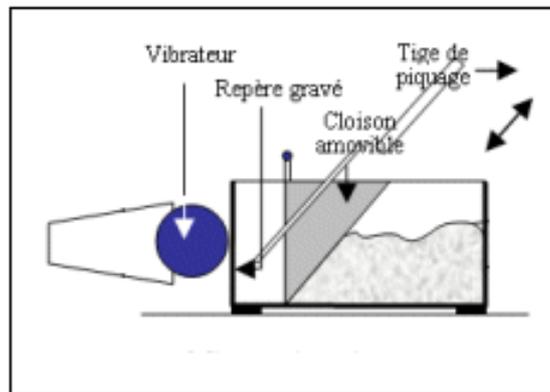


Fig. I.10: Le maniabilimètre du LCPC.

### c) Le cône :

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur. **[Net 7]**

#### I.2.7.1.2. Prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur.

Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. **[Net 7]**

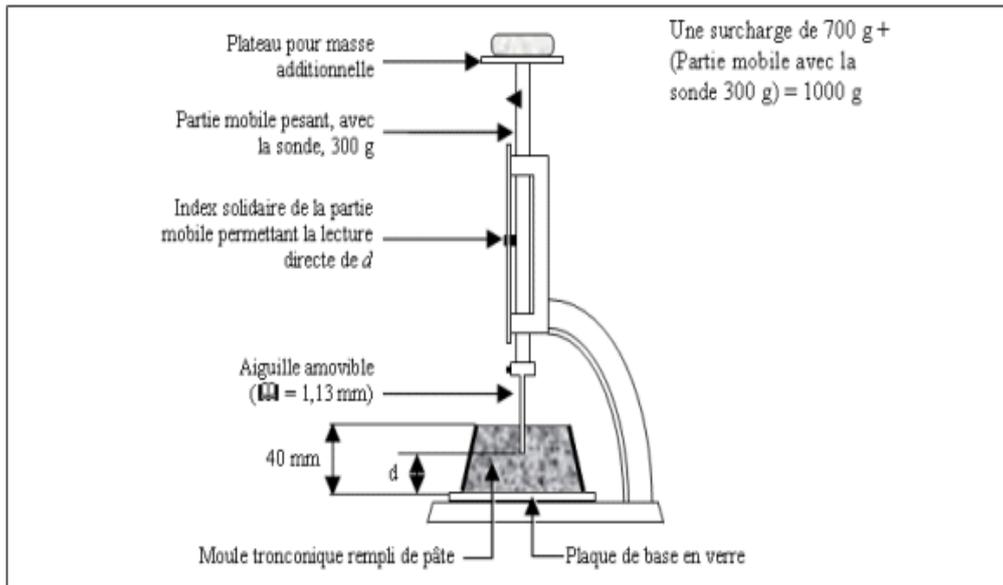


Fig. I.11: Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge.

## I.2.7.2. Propriétés de mortier à l'état sec

### I.2.7.2.1. Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.

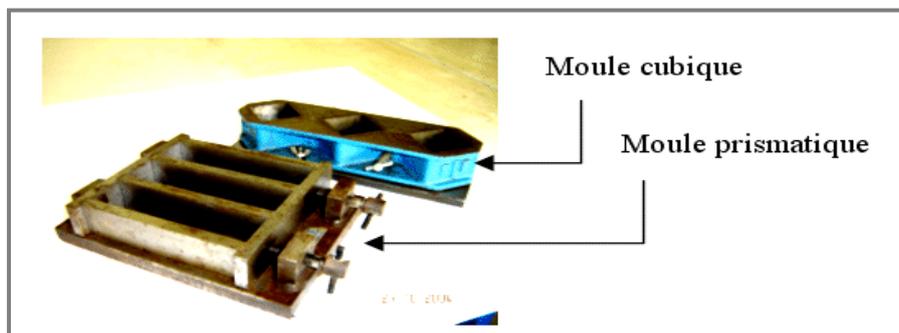


Fig. I.12: Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

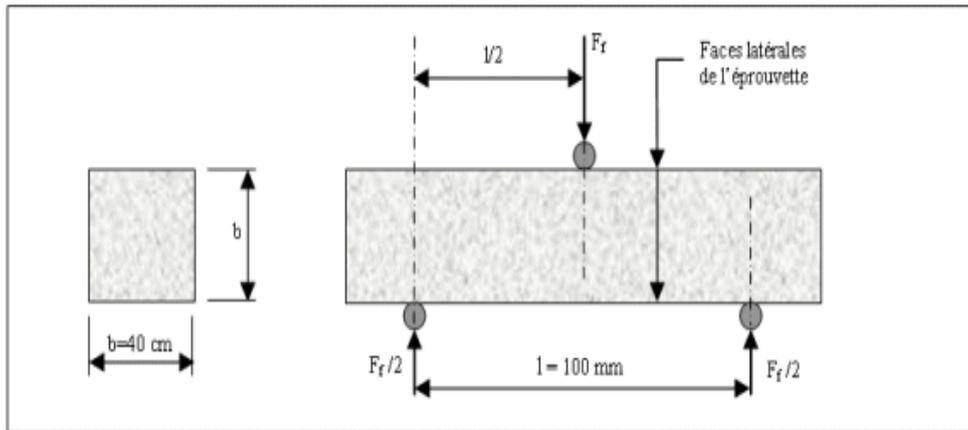


Fig. I.13: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

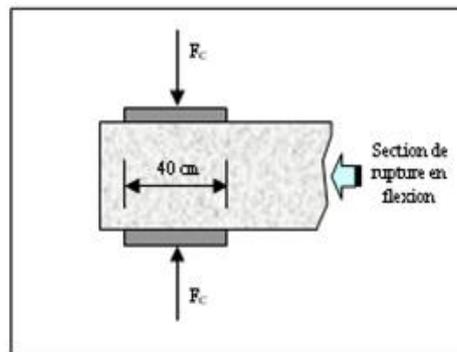


Fig. I.14: Dispositif de rupture en compression. [Net 7]

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:

- nature et dosage en ciment.
- rapport E/C.
- granulométrie et nature du sable.
- énergie de malaxage et mise en œuvre.
- protection les tous premiers jours.

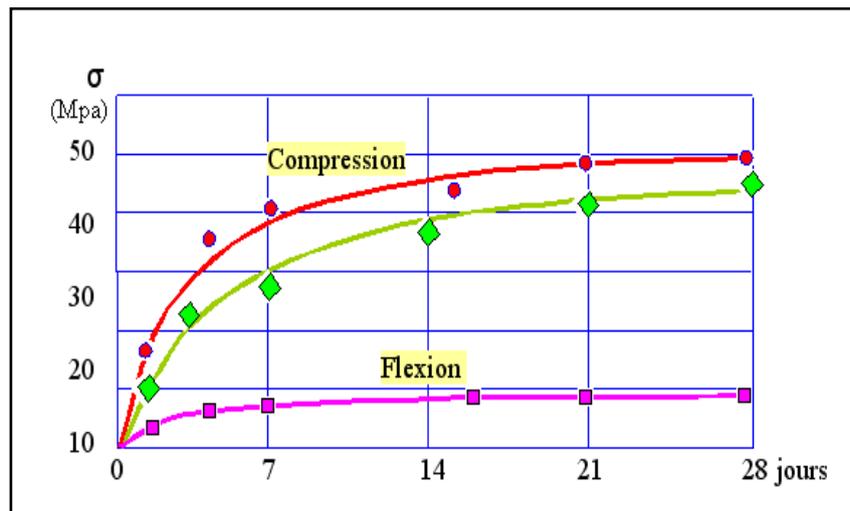


Fig. I.15: Résistance du mortier normal. [Net 8]

#### I.2.7.2.2 Retraits et gonflements :

La mesure du gonflement dans l'eau et du retrait dans l'air est effectuée généralement sur des éprouvettes (4\*4\*16 cm) confectionnées avec un mortier « normal » caractérisant ainsi le liant. [BRA.96]

Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours (Norme NF P 15- 361) [NF\_11].

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C.

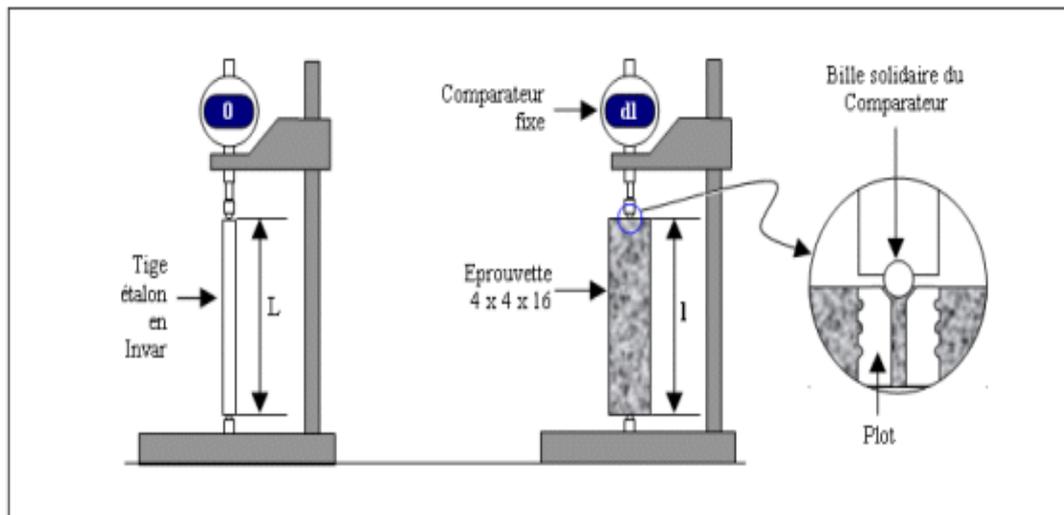


Fig. I.16: Appareillage pour la mesure du retrait. [Net 9]

### I.3. LES BETONS

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, etc. [ASS.04]

Depuis sa découverte et pendant de nombreuses décennies, ce matériau n'avait que peu évolué mais, à partir des années 1970-1980, d'importantes avancées ont été réalisées qui lui ont permis de diversifier les utilisations auxquelles il était jusque-là destiné. Ainsi, les études menées sur ses constituants granulaires ont conduit à améliorer ses propriétés existantes, en particulier avec les bétons autoplaçants (BAP) et les bétons à hautes performances (BHP). [CHI.08]

#### I.3.1. BETON ORDINAIRE

##### I.3.1.1. Historique

L'ingénieur Bélidor, auteur de « L'architecture hydraulique » (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

L'invention du ciment par Louis Vicat en (1817), celle du ciment portland par Aspdin 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil (1830) préparent l'avènement du béton. Les premières cimenteries se développent en France entre 1850 et 1860, dans le Boulonnais avec la Société des Ciments Français. **[Net 10]**

### I.3.1.2. Définition

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland. Les composants sont très différents: leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment)  $t/m^3$ . Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc. **[Net 11]**

### I.3.1.3. Composition du béton ordinaire

D'une manière générale la proportion des principaux constituants pour le béton ordinaire, est égale avec tout simplement les composants du mortier (détaillé déjà dans le titre (I.2.3), sans oublier d'ajouter le granulat, est la suivante :

- Granulats (gravier + gravillon + sable)
- Ciment
- Eau
- Adjuvants

L'ensemble forme une masse plastique (béton) qui durcit sous l'effet de la prise de ciment.

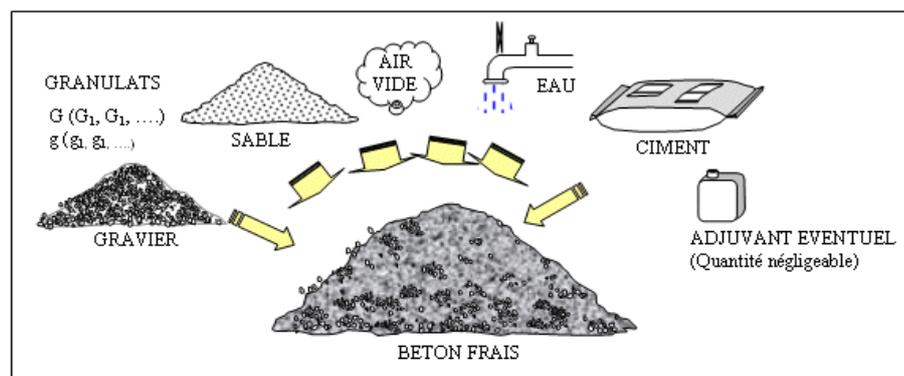


Fig. I.17: Composition des bétons. **[Net 11]**

Tableau. I.5: Les constituants de béton ordinaire en poids et en volume. [Net 11]

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
▪ Volume (%)	14 - 22	1 - 6	7 - 14	60 - 78
▪ Poids (%)	5 - 9	1 - 6	9 - 18	63 - 85

### I.3.1.3.1. Les granulats :

Ce sont de matériaux inertes qui constituent le squelette du béton. Ils sont extraits de rivières (oueds) ou des carrières, leurs formes sont arrondies ou bien auqueuses (résultat du concassage).

Les granulats sont classés en fonction de la grosseur des grains, les dimensions normalisées sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau. I.6: Classement des granulats selon la grosseur des grains. [Net 2]

Désignation	Dimension des tamis (mm)	Module du tamis
❖ Farines	≤0,08	≤ 20
❖ Sable		
- Fins	0,08 à 0,31	20 à 26
- Moyens	0,40 à 1,25	27 à 32
- Gros	1,60 à 5,00	33 à 38
❖ Graviers		
- Petite	6,30 à 8,00	39 à 40
- Moyens	10,00 à 12,50	41 à 42
- Gros	16,00 à 20,00	43 à 44
❖ Cailloux		
- Petite	25,00 à 31,50	45 à 46
- Moyens	40,00 à 50,00	47 à 48
- Gros	63,00 à 80,00	49 à 50
❖ Galets	≥ 80,00	–

- La relation mathématique entre le module et la dimension des tamis (maille) :

$$M = 1 + 10 \log d$$

- avec d en microns

### I.3.1.3.1.1. Caractéristiques des graviers

#### I.3.1.3.1.1.1. Analyse granulométrique :

La courbe granulométrique est déterminée par tamisage suivant la norme NF EN 933-1 [NF\_12]: détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage. [LAO.12]

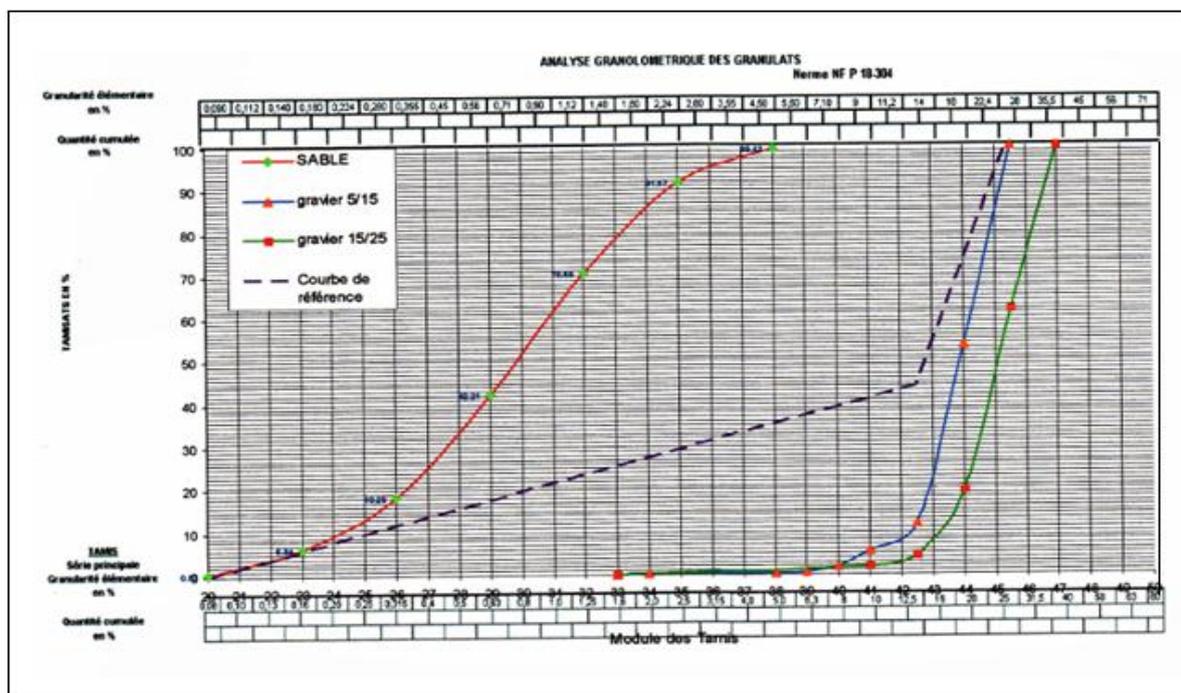


Fig. I.18: Courbe granulométrique des granulats.

#### I.3.1.3.1.1.2. Masse volumique apparente :

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

#### ➤ Mode opératoire

- Peser un récipient vide de masse  $M_1$  et de volume connu ( $V_T$ ).

- verser à l'intérieur le matériau par couches successives, en le répartissant sur toute la surface et sans tassement.
- araser avec soin à l'aide d'une réglette.
- peser le récipient rempli :  $M_2$
- calculer :

$$\rho_{app} = M_2 - M_1 / V_T$$

- Effectuer au moins 3 mesures et faire une moyenne.

#### **I.3.1.3.1.1.3. Masse volumique absolue :**

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides (y compris ceux formant la porosité fermée).

➤ Méthode de l'éprouvette :

- mettre dans une éprouvette graduée un volume d'eau :  $V_1$
- peser une masse sèche de l'échantillon :  $M_s$
- verser l'échantillon dans l'éprouvette remplie d'eau, éliminer aussi bien que possible les bulles d'air.
- Relever le nouveau volume :  $V_2$
- calculer : **[Net 2]**

$$\rho_{app} = M_s / (V_2 - V_1)$$

- répéter 3 fois la manipulation et calculer la moyenne.

#### **I.3.1.3.1.1.4. Teneur en eau :**

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon : **[Net 2]**

$$W\% = (Masse\ d'eau / Masse\ sèche) \cdot 100$$

## ➤ Mode opératoire

- Prélever un échantillon représentatif du matériau : 100 à 1 kg pour des graviers.
- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105 c° pendant 24 heures ou au four à micro-ondes ou à l'alcool à brûler.

La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives de l'échantillon de quelques minutes ne diffèrent pas de plus de 0,1 %.

- peser l'échantillon sec : Ms.
- calculer la teneur en eau : **[Net 2]**

$$W \% = (M_h - M_s / M_s) \cdot 100$$

**I.3.1.3.1.2. Exemple des caractéristiques des graviers**

Les résultats sont regroupés dans le tableau. I.7: **[LAO.12]**

Tableau. I.7: Exemple des caractéristiques des graviers utilisés.

Caractéristiques	Gravier				Normes
	Echantillon 1		Echantillon 2		
	5/15	15/25	5/15	15/25	
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.631	2.70	2.72	2.70	NF EN 1097-3
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.582	1.592	1.582	1.595	
Teneur en eau du gravier (%)	0.164	0.1605	0.315	0.125	NF EN 1097-5

- Il y a aussi d'autres essais mécaniques comme essai de résistance au choc (essai Los Angeles : NF EN 1097-1) **[NF\_96]**, et essai de résistance à l'usure (Essai Micro-DEVAL : NF EN 1097-1) **[NF\_96]**.

**I.3.2. BETON AUTOPLAÇANT****I.3.2.1. Historique**

Les BAP (SCC, self-compacting concrete) ont été développés dans les années 80 par le professeur Okamura de l'université de KOCHI au Japon. Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en œuvre. **[KHE.09]**

### I.3.2.2. Définition

Le béton autoplaçant est un béton capable de se mettre en place dans les coffrages les plus complexes et très encombrés uniquement sous l'effet de la pesanteur. Ainsi, ce type de béton ne requiert aucun moyen de vibration pour consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène. [KHA.97]

Un BAP doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable par rapport au béton ordinaires.

Ces bétons offrent un grand nombre de possibilités très intéressantes dans de nombreux domaines comme les dallages, la construction d'ouvrages d'art, le renforcement et la réparation d'ouvrages d'art (application de couches minces dans des endroits difficiles d'accès), les bétons coulés sous l'eau, les bétons confinés, les pieux et les systèmes pour la stabilisation des déchets. [SAN.05]



Fig. I.19 : Dalles en BAP.

### I.3.2.3. Composition du BAP

La mise au point d'une formule de BAP est beaucoup plus complexe, parce que, d'abord, les constituants sont au nombre minimal de six, contre quatre dans le cas des bétons ordinaires (Figure. I.20).

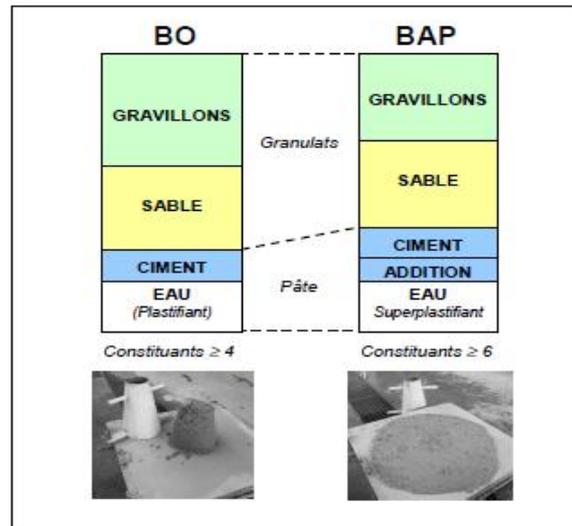


Fig. I.20: Composition d'un béton ordinaire et d'un BAP.

Avec l'expérience acquise ces dernières années, certains ordres de grandeurs pour les proportions des constituants sont maintenant connus et utilisés : [KHE.09]

- Le volume de gravillons est limité en prenant un rapport G/S (masse de gravillons sur masse de sable) proche de 1.
  - Le volume de pâte varie entre 330 et 400 l/m<sup>3</sup>.
  - La masse du ciment est supérieure ou égale au minimum requis par la norme BPE (P18 305, soit en général de 300 à 350 kg/m<sup>3</sup>). En complément la masse d'addition se situe entre 120 et 200kg/m<sup>3</sup>.
  - Le dosage en superplastifiant est proche de son dosage à saturation.
- **Les superplastifiants** : permettent en effet de défloculer les grains de ciment.

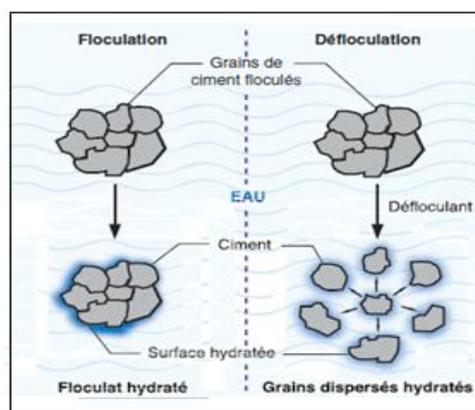


Fig. I.21: Mode d'action des superplastifiants. [BOU.07]

### I.3.2.4. Méthode de formulation des BAP

Il y a plusieurs méthodes de formulations de BAP, on donne la méthode suggérée par Okamura et Ozawa et présentée sur la Figure. I.22.

- Si la granulométrie des gros granulats est très bonne, cette limite peut être augmentée.
- Si le résultat de l'essai U est supérieur à 300 mm, le béton est accepté, sinon on doit ajuster le rapport U/L et le dosage en superplastifiant. [BOU.07]

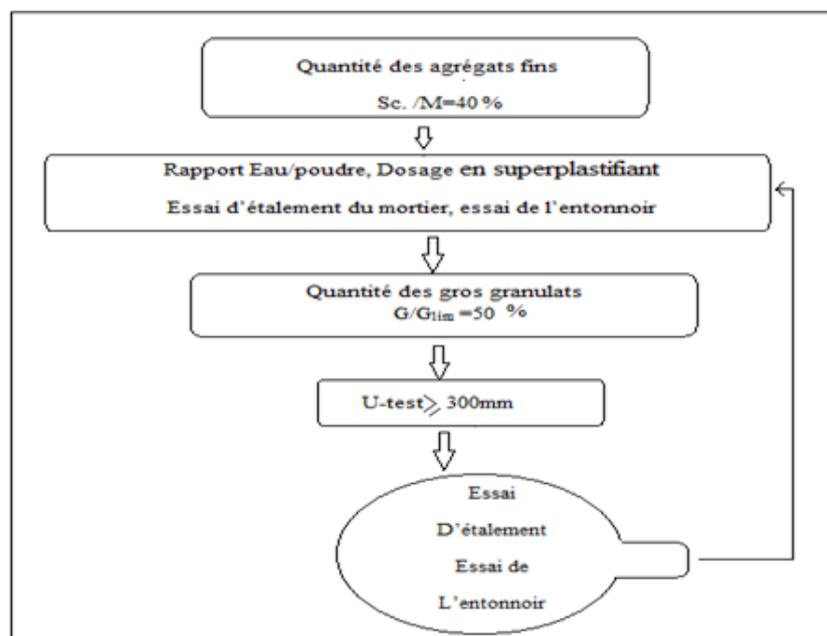


Fig. I.22: Le principe de la méthode d'Okamura et coll.

## I.3.3. BETON HAUTE PERFORMANCE

### I.3.3.1. Historique

C'est au début des années 1960 dans la région de Chicago (Etats unis d'Amérique), que le béton à haute résistance a commencé à être utilisé en quantités importantes dans les grandes structures (même si la résistance des premiers bétons à haute performance qu'ils utilisaient semble tout à fait modeste par rapport aux normes actuelles). Dans ces années, il était impossible de fabriquer du béton avec une résistance à la compression au-delà de 60 MPa environ parce que les réducteurs d'eau qui étaient disponibles à l'époque n'étaient pas capables de réduire le rapport eau/liant. A la fin des années 1960, les superplastifiants ont été utilisés dans le béton.

La fin des années 1970, la fumée de silice a commencé à être utilisée comme complément à base de ciment dans le béton en Scandinavie, et au début des années 80 en Amérique du nord, à cette époque la résistance était de l'ordre de 100 à 150 MPa.

Plusieurs pays ont lancé de grands programmes de recherche sur le béton à haute résistance dans les années 1980. **[GHR.10]**



Fig. I.23: Exemples d'applications du BHP.

### I.3.3.2. Définition

Le béton à haute performance est défini par l'Institut Américain du Béton comme étant le béton qui répond à des combinaisons spéciales de performance, et l'uniformité des exigences qui ne peuvent toujours pas être réalisées en utilisant systématiquement des constituants classiques et normaux de mélange, de mise en place, et de durcissement. Cette définition n'est pas définitive mais elle est différente selon les pays et aussi les auteurs. **[Net 12]**

En général les bétons à hautes performances (BHP) sont des bétons ayant des performances supérieures aux bétons courants. Ils présentent non seulement des résistances mécaniques plus élevées que celle des bétons courants mais aussi une bonne ouvrabilité et une bonne durabilité.

### I.3.3.3. Composition du BHP

Les constituants du BHP font l'objet des principales spécifications suivantes :

- **Granulats** : conformes à la norme NF EN 12620 **[NF\_08]**: granulats pour bétons.
- **Ciments** : types CEM I, CEM II ou CEM III, classes de résistance conseillées 42,5 ou 52,5 conformes à la norme NF EN 197-1 **[NF\_01]**.
- **Additions** : cendres volantes silico-alumineuses, laitiers de haut-fourneau, additions calcaires, additions siliceuses, ultrafines (fumées de silice) conformes à leurs normes respectives.
- **Adjuvants** : plastifiant réducteur d'eau et superplastifiant haut réducteur d'eau conformes à la norme NF EN 934-2 **[NF\_12]**.

#### I.3.3.4. Méthode de formulation des BHP

La procédure de formulation commence par le choix de cinq caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés : **[AIT.01]**

- Le rapport eau/liant.
- Le dosage en eau.
- Le dosage en superplastifiant.
- Le dosage en gros granulats.
- La teneur en air.

#### I.3.3.5. Différents classes des BHP

les BHP sont divisés en cinq grandes catégories correspondant chacune à une plage de résistance de 25 MPa.

Tableau. I.8: Les différentes classes de BHP. **[AIT.01]**

Résistance à la compression (MPa)	50	75	100	125	150
Classe de BHP	Classe I	Classe II	Classe II	Classe IV	Classe V

### I.3.4. PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI

Les qualités du béton sont bien connues. C'est un matériau facile à mouler quelles que soient les formes, à l'épreuve du temps, économique, résistant au feu et nécessitant peu d'entretien. C'est un matériau composite, mis en œuvre de multiples manières, il peut répondre à un grand nombre de spécification : résistance mécanique, notamment à la compression, isolation thermique et phonique, étanchéité, aspect, durabilité, sécurité incendie.

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés : d'une part à l'état frais, alors qu'il est plastique et qu'on peut le travailler ; d'autre part, à l'état durci, alors que sa forme ne peut plus être modifiée mais que ses caractéristiques continuent à évoluer durant de nombreux mois, voire des années.

Le béton autoplaçant se distingue de béton ordinaire notamment par ses propriétés à l'état frais. **[Net 13]**

Ces propriétés se caractérisent principalement par :

- ✓ une mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement).
- ✓ une mobilité en milieu confiné (décrite par la boîte en L).
- ✓ une stabilité (c'est-à-dire une résistance à la ségrégation et au ressuage).

Afin de pouvoir répondre à ces caractéristiques, la composition d'un BAP doit être soigneusement mise au point.

Le béton à haute performance (BHP) est soumis aux mêmes types d'essais que les bétons traditionnels dans le cadre de leur conformité à la norme NFEN 206-1 **[NF\_95]**.

Divers essais complémentaires permettent de mesurer les propriétés des BHP aussi bien au stade de mise au point de la formulation, que lors des convenances, ou des contrôles sur chantier.

- étalement à la table à secousse.
- rhéomètre. Cet essai permet de mesurer, lors de la formulation, le seuil de cisaillement et la viscosité plastique des BHP.

- méthode des coulis de l'AFREM. Cette méthode permet, en particulier, de comparer l'efficacité des adjuvants.
- méthode du mortier de béton équivalent, elle permet, par exemple, d'étudier l'influence de la qualité du sable sur la rhéologie ou d'estimer les dégagements de chaleur.

Par ailleurs, des essais spécifiques ont été développés pour mesurer des paramètres associés à la durabilité des bétons tels que : **[GRA.10]**

- la pénétration des chlorures.
- la mesure de l'absorption d'eau par capillarité.
- la microstructure des bétons.
- la perméabilité au gaz du béton durci.
- la porosité accessible à l'eau.
- la mesure de l'épaisseur de béton carbonaté.

#### **I.4. CONCLUSION**

Cette étude a été menée faire le point sur les connaissances relatives aux constituants des bétons, les méthodes de leur formulation ainsi que les propriétés à l'état frais et à l'état durci. Ceci pour les différents types de béton : béton ordinaire béton autoplaçant et béton à haute performance.

On focalisera la suite du travail à la caractérisation de l'une des principales propriétés à l'état frais et qui est l'ouvrabilité.



# CHAPITRE II

## *Caractérisation de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons*

---

## **II.1. INTRODUCTION**

La caractéristique essentielle des bétons et des mortiers frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci. Un béton ou un mortier qui peut être mis en place et serré correctement est considéré comme ayant une bonne ouvrabilité, on considère que l'ouvrabilité est une propriété physique spécifique des bétons qui détermine la facilité de mise en œuvre et la résistance à la ségrégation.

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur.

## **II.2. CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE DES MORTIERS**

Le mortier est composé de ciment, de sable, et d'eau en proportions convenables. Leurs états frais, les mortiers ont une plasticité satisfaisante qui favorise une mise en œuvre correcte permettant l'obtention d'un matériau de très bonnes propriétés physiques et mécaniques. **[RIC.04]**

### **II.2.1. LES ESSAIS**

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure des certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité de mortier. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

#### **II.2.1.1. La table à secousses**

L'expérience montre qu'un mortier, placé sur un plateau, s'étale si ce plateau reçoit des chocs ou des vibrations.

**II.2.1.1.1. Matériel utilisé :**

Le matériel se compose d'un plateau métallique rigide monté sur un support coulissant et animé d'un mouvement vertical par l'intermédiaire d'une cama, (l'amplitude de ce mouvement est de 16 mm), et d'un moule tronconique sans fond.



Fig. II.1: Table à secousse.

**II.2.1.1.2. Mode opératoire :**

Poser le moule sur la table préalablement nettoyée. Le remplir en 3 couches, chacune d'entre elles étant mise en place par piquage (25 coups).

Araser et démouler en soulevant le moule verticalement sans secousse ni vibration.

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes.

On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule: **[Net 9]**

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec :  $D_r$  = diamètre final et  $D_i$  = diamètre initial.

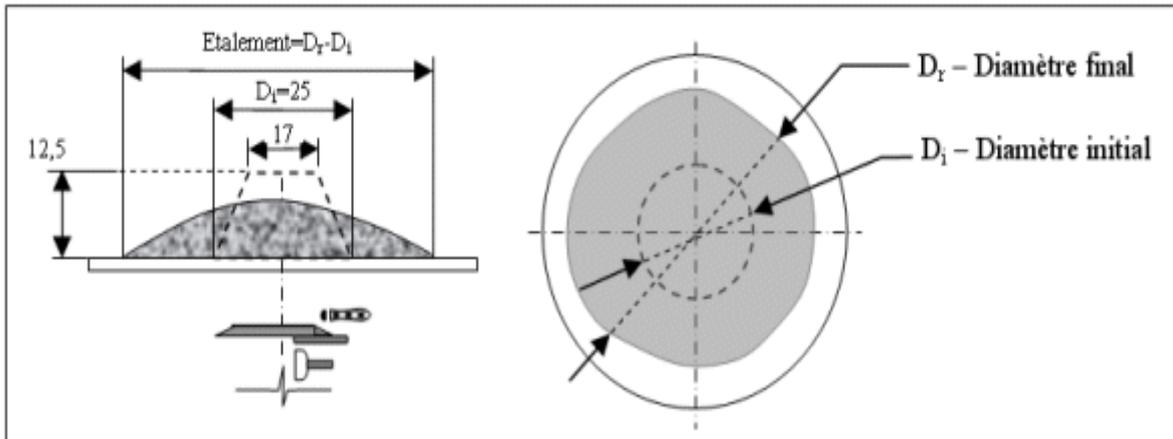


Fig. II.2 : Le principe de table à secousse.

C'est un essai très simple utilisable sur mortier ou sur béton (moules et tables de dimensions différentes), aussi bien en laboratoire que sur les chantiers. On peut, pour le mortier, admettre les valeurs données dans le tableau. II.1: **[Net 11]**

Tableau. II.1: Les valeurs d'étalement à la table.

Ouvrabilité	Etalement à la table (%)
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	>100

### II.2.1.2. Le maniabilimètre du LCPC

Le maniabilimètre LCPC appelé aussi plessimètre LCPC permet de tester le mortier ou béton du point de vue de sa maniabilité dynamique. **[CHI.08]**

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule. **[Net 9]**

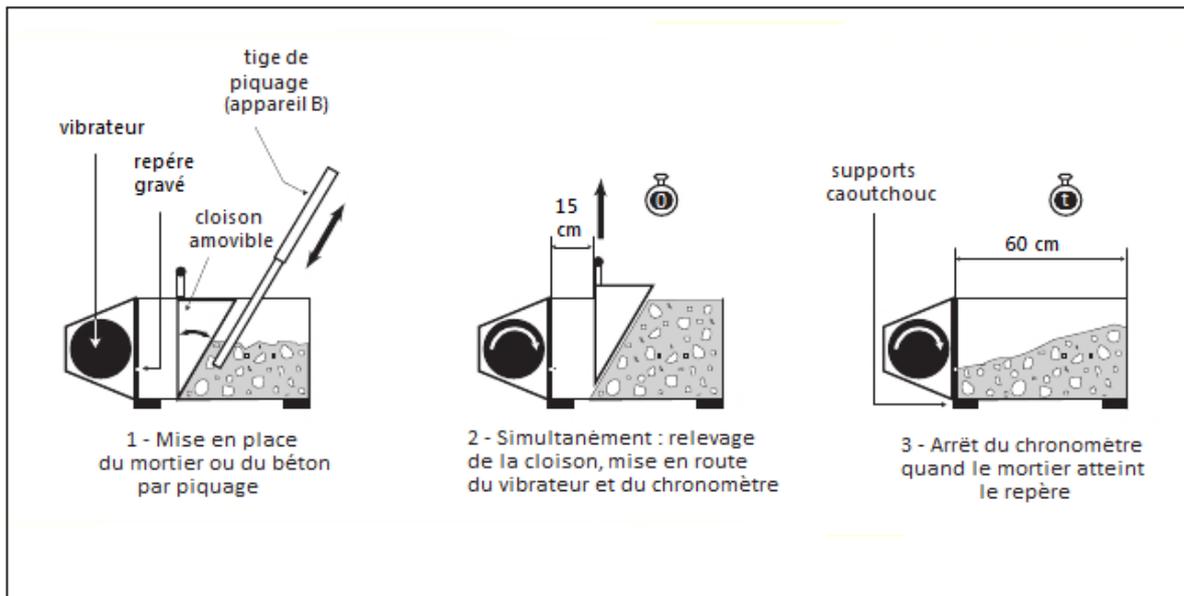


Fig. II.3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre B. [Net 9]

Il est utilisé indifféremment :

- ❖ sur le chantier :
  - ✓ pour contrôler la consistance de la fabrication du mortier notamment le dosage en eau.
- ❖ au laboratoire :
  - pour déterminer les pourcentages optimaux des constituants d'un mortier (sable, eau, ciment, rapport ciment sur sable et rapport eau sur ciment) nécessaire pour une utilisation donnée.
  - pour vérifier l'amélioration apportée par un adjuvant en général et particulièrement les plastifiants.
  - pour comparer 2 mortiers.

Il permet aussi de dégrossir l'étude de maniabilité des petits bétons d'ouvrage dont le diamètre de plus gros grains est inférieur ou égale à 15 mm.

Cet essai consiste en la mesure du temps d'écoulement des mortiers et permet de déterminer si la mise en place sera correcte ou non, d'évaluer l'efficacité de certains adjuvants et d'affiner la composition du mortier ou du béton. Cette mesure sera effectuée selon la norme NF P 18-452 [NF\_88].

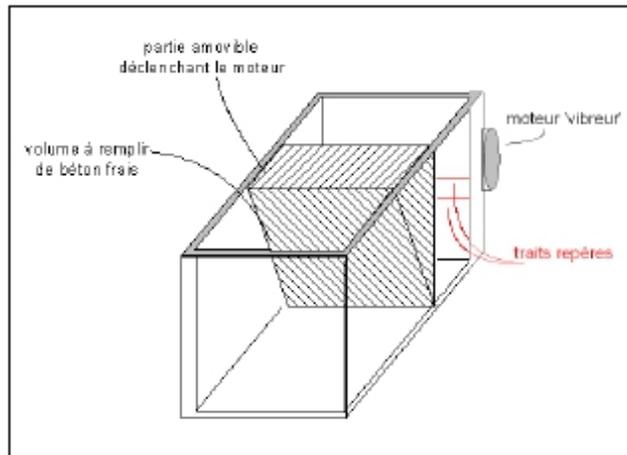


Fig. II.4 : Le maniabilimètre du LCPC.

Le résultat de la mesure est le temps **T**, mis par le mortier pour atteindre le trait repère du maniabilimètre, on en déduit la consistance du mortier comme suit :

[CHI.08]

Tableau. II.2: La consistance du mortier. [Net 11]

temps	consistances
T entre 0 et 10 secondes	consistance fluide
T entre 11 et 40 secondes	consistance plastique
T entre 41 secondes et plus	consistance ferme

### II.2.1.3. Le cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur. [Net 9]

Le diamètre de l'entonnoir est de 155 mm, la longueur totale est de 290 mm, volume 2000cc.

La fluidité du mortier est considérée acceptable lorsque le temps d'écoulement de 1000cc de solution de mortier dure 17 à 25 secondes.

Entièrement fabriqué en laiton, avec 4 bouches d'écoulement de rechange  $\varnothing$  8 - 9 - 10 et 11 mm. Le bâti est réglable en hauteur et muni d'une coupe en plastique graduée, poids 10 kg.

Cône d'écoulement Norme EN 445 [NF\_07] : Utilisé pour la détermination de la fluidité et la viscosité des mortiers, boues, et autres fluides.

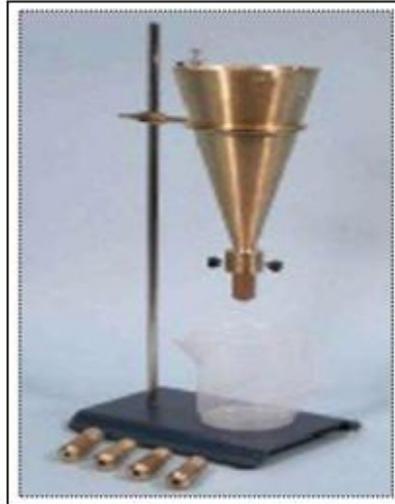


Fig. II.5 : Le cône d'écoulement. [Net 14]

## **II.3. CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE DES BETONS**

### **II.3.1. BETONS ORDINAIRES ET HAUTES PERFORMANCES**

#### **II.3.1.1. LES ESSAIS**

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité des bétons ordinaires et hautes performances. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

##### **II.3.1.1.1. Le cône d'Abrams**

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre.

Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration.

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 [NF\_88] et est schématisé sur la figure. II.6.

Il se compose de 4 éléments: un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure; une plaque d'appui; une tige de piquage; un portique de mesure.

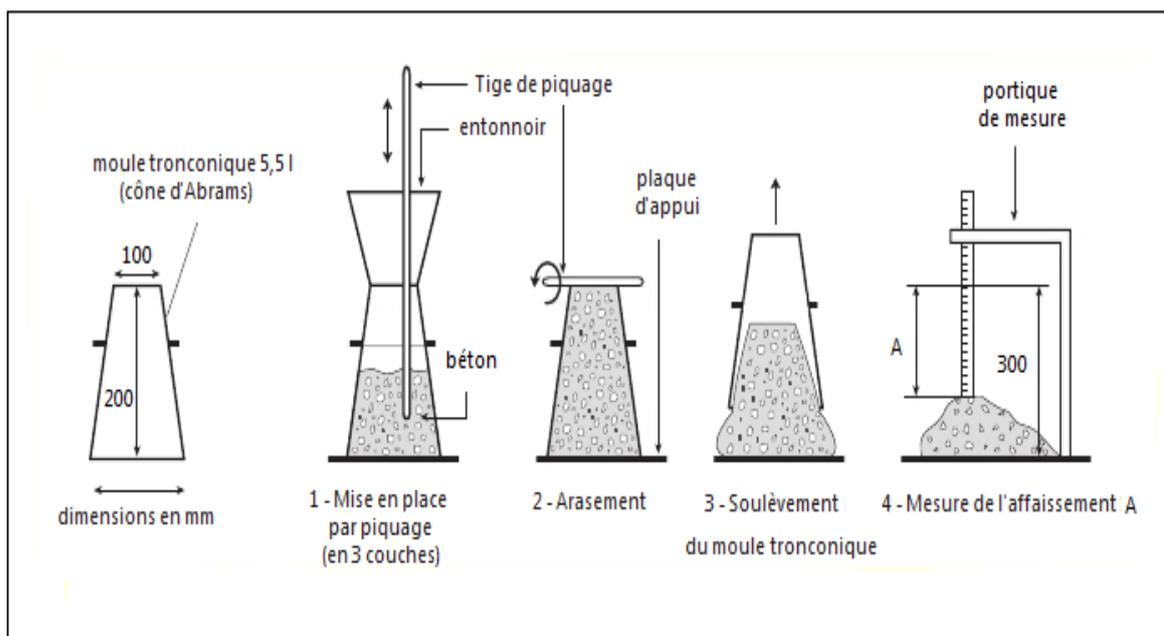


Fig. II.6: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams. [Net 11]

#### II.3.1.1.1.1. Mode opératoire :

- Humidifier la plaque d'appui et y fixer le moule dont la paroi intérieure aura été légèrement huilée. Introduire le béton frais, dès la fin de sa préparation, en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage.
- Araser le moule en évitant le compactage local du béton.

- Démouler immédiatement en soulevant le moule à l'aide des poignées, après l'avoir désolidarisé de la plaque. Le soulèvement doit s'effectuer sans heurts ni vibrations.
- Attendre une minute et mesurer l'affaissement à partir du point le plus haut du béton. Effectuer au moins trois essais successifs dont on prendra la valeur moyenne.



Fig. II.7: Exemple de l'affaissement au cône d'Abrams.

L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage.

Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau. II.3.

Tableau. II.3: Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône. **[Net 11]**

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

La norme NF P 18 -305 [NF\_92] définit les mêmes classes d'affaissement, les notes F, P, TP et FI (Ferme, Plastique, Très Plastique et Fluide).

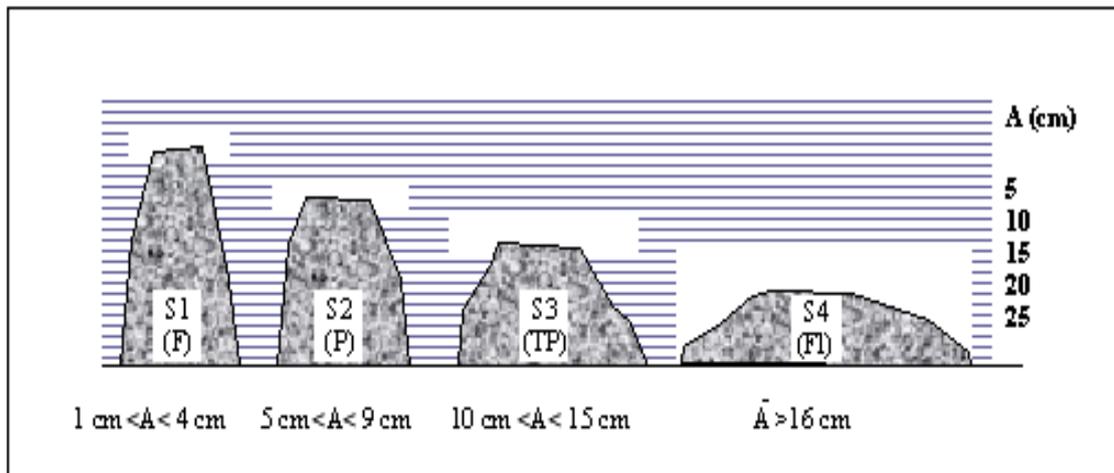


Fig. II.8: Classes de consistance mesurées au cône d'Abrams.

### II.3.1.1.2. L'essai Vébé

L'essai de Vébé est une variante du cône d'Abrams, en effet, le béton démoulé du moule tronconique et soumis à des vibrations.

Le temps mis par le béton pour être compacté est considéré comme temps de maniabilité.

Un disque plastique est placé sur la face supérieure du béton et on considère l'essai terminé lorsque la face inférieure du disque est totalement recouverte de laitance. [CHE.07]

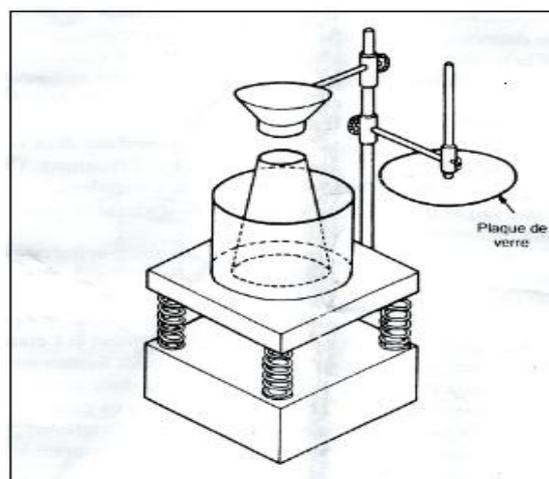


Fig. II.9: Appareil Vébé.

**II.3.1.1.2.1. Conduite de l'essai :**

Le cône d'Abrams est fixé à l'intérieur du récipient cylindrique, le béton est mis en place dans ce cône. Le cône d'Abrams est alors soulevé et, à ce stade de l'essai, il est donc possible de mesurer l'affaissement au cône. L'essai se poursuit ensuite par la mise en vibration de la table durant un temps  $t$  tel que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie et au contact du disque transparent qui accompagne la descente du béton pendant le compactage. [DUP.04]

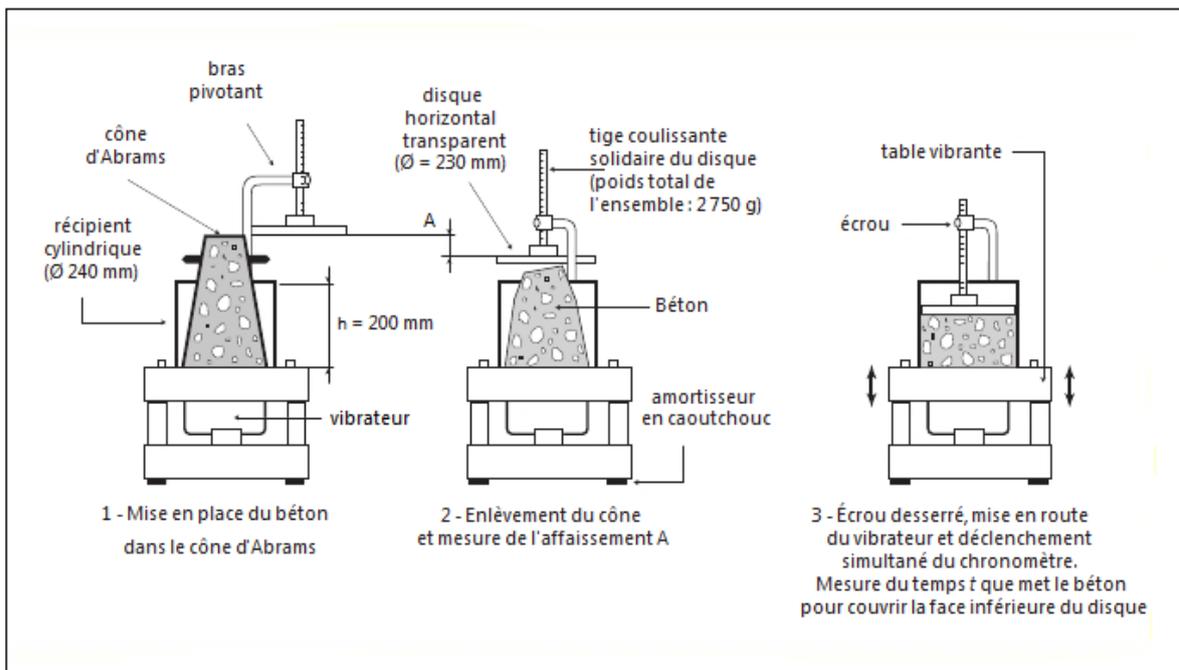


Fig. II.10: Mesure de la consistance (Essai Vébé). [Net 11]

**II.3.1.1.2.2. Classe de consistance Vébé :**

Le temps  $t$  en secondes définit la consistance Vébé. 5 classes de consistance sont définies par la norme EN 206 [NF\_05] en fonction des temps  $t$  :

Tableau. II.4: Classe de consistance Vébé.

Classe Vébé	V0	V1	V2	V3	V4
Temps de l'essai Vébé	$\geq 31$ s	30 s à 21 s	20 s à 11 s	10 s à 6 s	5 s à 3 s

### **II.3.1.1.3. Essai d'étalement sur table**

Cet essai, décrit dans la norme européenne NF EN 12350-5 [NF\_99], simple à réaliser, permet d'apprécier la consistance du béton en particulier pour les bétons fluides. Il n'est pas adapté pour les bétons secs, et la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm. La plage recommandée pour réaliser cet essai se situe entre F2 et F5 (entre 350 et 620 mm). [NEV.00]

#### **II.3.1.1.3.1. Principe de l'essai**

La consistance du béton est estimée par l'étalement d'un cône de béton démoulé sur une table à chocs. Ce cône de béton est soumis à son propre poids et à une série de secousses. Plus l'étalement est grand et plus le béton est réputé fluide.

#### **II.3.1.1.3.2. Equipement nécessaire**

Le matériel nécessaire consiste en :

- une table articulée dont le plateau supérieur carré de 70 cm de coté est constitué d'une plaque de bois recouverte d'une tôle d'acier de 2 mm d'épaisseur ; une poignée et une butée permettent de relever le plateau de 40 mm de hauteur ; le poids total du plateau supérieur est de 16 Kg.
- un moule tronconique de 200 mm de haut, de diamètre 200 mm à sa base et 130 mm à sa partie supérieure (volume 4,34 l).
- un pilon en bois de section carrée 40 40 mm.

#### **II.3.1.1.3.3. Mode opératoire :**

Le moule tronconique placé au centre du plateau carré est rempli par 2 couches de béton, compacté par 10 coups de pilon, 30 secondes après arasement le moule est retiré verticalement. Puis le plateau est soulevé de 40 mm jusqu'à la butée et relâché immédiatement. Le cycle est répété 15 fois de suite, chaque cycle durant 2 à 5 secondes.

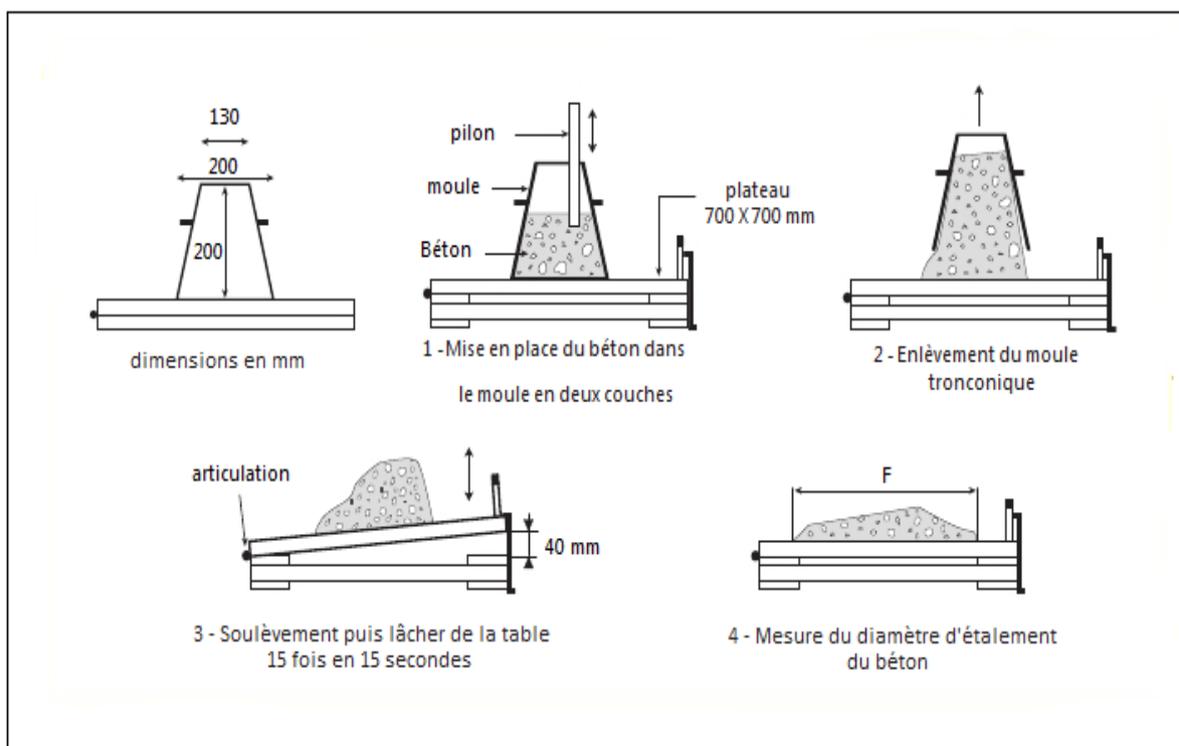


Fig. II.11: Mesure de l'affaissement sur table.

#### II.3.1.1.3.4. Résultats :

L'étalement de la galette de béton est mesuré sur deux diamètres perpendiculaires et exprimé par la moyenne arithmétique de deux valeurs. La norme NF EN 206-1 [NF\_04] définit six classes d'étalement selon le diamètre d'étalement F : [NEV.00]

Tableau. II.5: Les valeurs d'étalement à la table.

Classe	Diamètre d'étalement (mm)
F <sub>1</sub>	≤ 340
F <sub>2</sub>	350 à 410
F <sub>3</sub>	420 à 480
F <sub>4</sub>	490 à 550
F <sub>5</sub>	560 à 620
F <sub>6</sub>	≥ 630

#### II.3.1.1.4. L'appareil Granville

Il n'existe pas de méthode pour mesurer directement la quantité d'énergie nécessaire pour assurer le serrage du béton, ce qui correspond à la définition de la maniabilité. Un des meilleurs essais disponibles correspond à une approche inverse : on mesure le degré de serrage atteint pour une quantité d'énergie déterminée. L'énergie mesurée inclut forcément une certaine quantité d'énergie due au frottement, mais elle est réduite au minimum, bien qu'il soit fort probable que le frottement varie en fonction de la maniabilité du béton.

Le degré de serrage appelé facteur de serrage, est évalué en faisant le rapport entre la masse volumique obtenue lors de l'essai et celle obtenue pour le même béton totalement compacté.

L'essai connu comme étant l'essai du facteur de serrage est décrit dans les normes BS 1881 : partie 103 : 1933 [NF\_83] et ACI 211.3-75 [NF\_92]. Il convient pour des bétons ayant des gros granulats ne dépassant pas 40 mm. L'appareil est essentiellement constitué de deux trémies chacune de forme tronconique et d'un cylindre, tous les trois disposés l'un au dessus de l'autre. [NEV.00]

Les trémies disposent de trappes articulées à leur extrémité inférieure (Fig. II.12) toutes les surfaces intérieures sont polies pour réduire la friction.

Le cône du haut est rempli de béton. Ce béton est placé délicatement de manière à ne pas engendrer de serrage. La trappe située au bas du cône est alors ouverte et le béton tombe dans le cône inférieur.

Ce cône est un peu plus petit que le premier, il y a donc toujours une certaine quantité de béton qui déborde du deuxième cône. Cette précaution permet de s'assurer que le cône contient à peu près toujours la même quantité de béton et que l'opérateur n'influence pas la façon de remplir le cône.

Par la suite, la trappe du deuxième cône est ouverte et le béton tombe dans le cylindre, L'excédent de béton est enlevé et la surface est arasée pour que le béton occupe le volume du cylindre. On calcule ensuite la masse du béton.

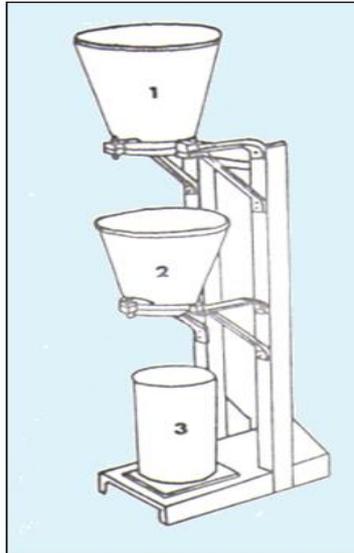


Fig. II.12: Appareil pour mesurer le facteur de serrage.

La masse volumique du béton dans le cylindre est calculée et cette valeur, divisée par la masse volumique du béton complètement compacté, correspond au facteur de serrage ou de compactage. La masse volumique de béton totalement serré peut se mesurer en remplissant le cylindre utilisé dans l'essai en quatre couches successives pilonnées ou vibrées ou encore être calculer à partir des volumes absolus des constituants. Le facteur de serrage peut aussi être évalué en mesurant la réduction de volume d'un béton ayant subi l'essai (en passant à travers les cônes) puis en le compactant.

L'appareil utilisé pour réaliser l'essai du facteur de serrage (Fig. II.12) mesure à peu près 1,2 mètre hauteur et son emploi est généralement limité aux applications routières et dans les usines de béton préfabriqué.

Le tableau. II.6 indique les valeurs des facteurs de serrage correspondant à différentes maniabilités. Contrairement à l'essai d'affaissement, les variations de la

maniabilité des bétons secs sont plus facilement mesurables par un essai de détermination du facteur de serrage. **[NEV.00]**

En effet, l'essai est plus sensible pour les bétons ayant une faible maniabilité que pour ceux ayant une maniabilité élevée. Cependant, les bétons très secs ont tendance à coller aux parois des deux cônes d'alimentation et l'on doit donc pousser doucement le matériau à l'aide d'une tige d'acier.

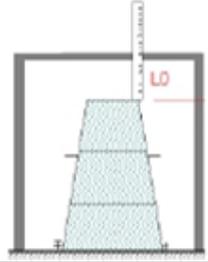
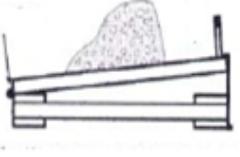
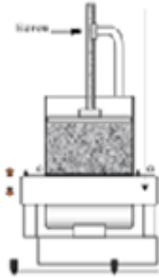
De plus, pour les bétons de très faible maniabilité, il semble que la quantité d'énergie nécessaire pour les serrer dépend du dosage en ciment des bétons, sans pour autant que cela n'affecte le facteur de serrage : le serrage des bétons maigres demande plus d'énergie que celui des bétons riches. L'hypothèse selon laquelle tous les bétons de même maniabilité nécessitent la même quantité d'énergie pour être serrés n'est donc pas toujours vraie. De même, l'hypothèse mentionnée précédemment qui prétend que l'énergie gaspillée ou perdue représente toujours la même proportion de l'énergie totale requise sans tenir compte des propriétés du mélange n'est pas tout à fait juste. Néanmoins, la mesure du facteur de serrage demeure une très bonne mesure de la maniabilité.

Tableau. II.6: Caractérisation de la maniabilité par les facteurs de serrage.

Description de la maniabilité	Facteur de serrage
Très faible	0.78
Faible	0.85
Moyenne	0.92
Elevée	0.95

En fin le tableau II.7 résume les exigences et inconvénients des différents essais d'ouvrabilité des bétons ordinaires et à haute performance.

Tableau. II.7 : Les exigences et inconvénients des différents essais d'ouvrabilité.

Essais	principe	paramètre mesuré	schéma	plages recommandées de mesures	commentaires
<b>Essai d'affaissement</b>  NFP 18-451 prEN 12350-2	Moulage d'un tronç de cône de dimensions normalisés et mesure après démoulage de son affaissement	Affaissement  [S]		$20 \leq S \leq 160$ mm	-mal adapté aux béton fermé ou fluides - $D_{max} < 40$ mm -répétabilité juste suffisante
<b>Essai d'étalement</b>  prEN 12350-5	Démoulage d'un cône sur une table à chocs manuels et mesure de l'étalement	Diamètre d'étalement  [F]		$340 \leq F \leq 360$ mm	-mal adapté aux béton fermé ou très fluides - $D_{max} < 40$ mm -répétabilité juste suffisante
<b>Essai vébé</b>  prEN 12350-5	Mesure du temps mis par un cône de béton frais pour se remouler dans un moule cylindrique sous l'action d'une vibration	Durée  [T]		$5 \leq T \leq 30$ s	-mal adapté aux béton fluides - $D_{max} < 40$ mm

### II.3.2. BETON AUTOPLAÇANT

Le béton autoplaçant se distingue principalement des bétons classiques par leur propriété à l'état frais résultant des principes de formulation spécifiques. Il existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés. Ils vont du complexe et couteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant à la mesure de l'étalement (Slump-flow). Les divers procédés d'essais fréquemment utilisés pour caractériser les BAP à l'état frais sont illustrés ci-après.

#### II.3.2.1. LES ESSAIS

Parmi les essais les plus utilisés pour la caractérisation de béton autoplaçant à l'état frais on pourra citer :

### II.3.2.1.1. Essai d'étalement

C'est un essai dérivé de l'essai d'affaissement, sauf qu'au lieu de mesurer l'affaissement, on mesure cette fois-ci le diamètre moyen de la galette formé par le béton lors de l'étalement.

#### II.3.2.1.1.1. Matériel utilisé :

- Une plaque carrée d'au moins 90 centimètres de coté.
- Un cône d'Abrams.
- Une règle de 90 centimètres.

#### II.3.2.1.1.2. Mode opératoire :

- Placer la plaquette sur un support stable et horizontal (Fig. II.13).
- Humidifier la surface de la plaque, et éliminer l'eau en excès avec un chiffon.
- Placer le cône d'Abrams au centre de la plaque, et le faire remplir avec le béton en versant de manière continue, jusqu'à la face supérieure du cône.
- Araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer le diamètre final sur deux cotés perpendiculaires.
- Noter le résultat des deux valeurs. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être invalidé et reconduit.
- Le résultat final est la moyenne des deux valeurs obtenues. Soit : **[BEN.08]**

$$\text{Slump flow} = (D_1 + D_2) / 2$$

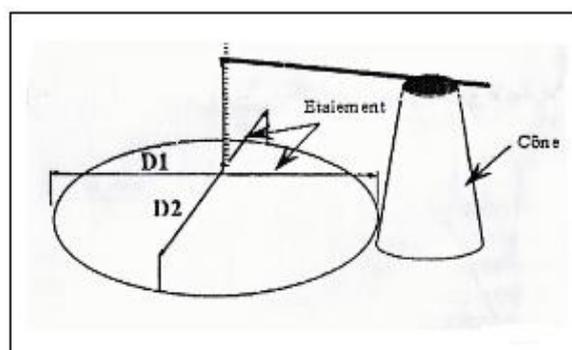


Fig. II.13 : Essai d'étalement.

- En pratique, on vise habituellement un étalement compris entre 60 et 70 cm pour un béton autoplaçant. [BEN.08]



Fig. II.14: Exemple d'étalement d'un BAP.

### II.3.2.1.2. Essai de la boîte en L

Cet essai permet de tester la mobilité du mélange frais en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables tel que la présence d'armatures par exemple (Fig. II.15) :

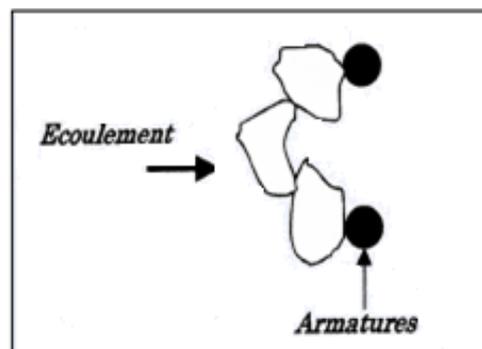


Fig. II.15: Risque de blocage au droit des armatures.

Son principe est le suivant : [BEN.08]

- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton.
- Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute, puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage (Fig. II.17).
- Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs  $H_1$  et  $H_2$  (Fig. II.16).

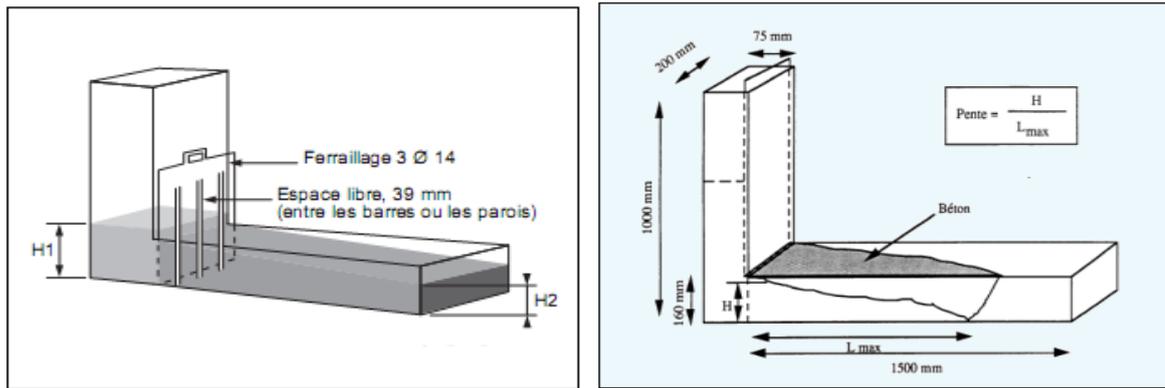


Fig. II.16: Appareil et dimensions de la boîte en L.

On vise un rapport  $(H_2/H_1)$  d'au moins 0.8 pour un béton autoplaçant. [BEN.08]

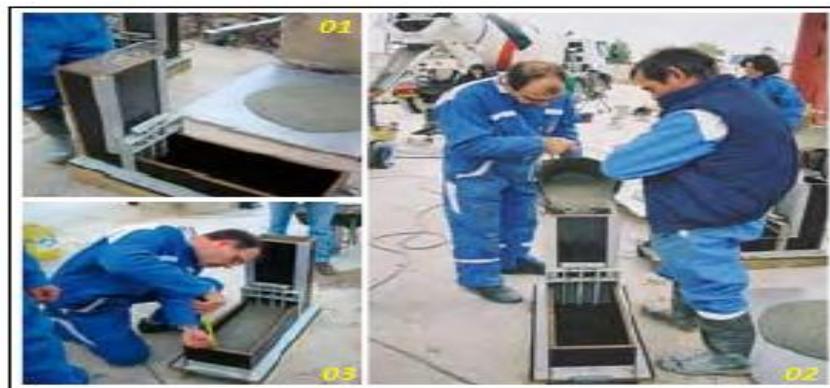


Fig. II.17: Exemple d'essai de la boîte en L.

Beaucoup d'autres essais similaires à celui de la boîte en L sont utilisés partout dans le monde pour caractériser l'aptitude de remplissage du béton tel que l'essai en U (Fig. II.18) :

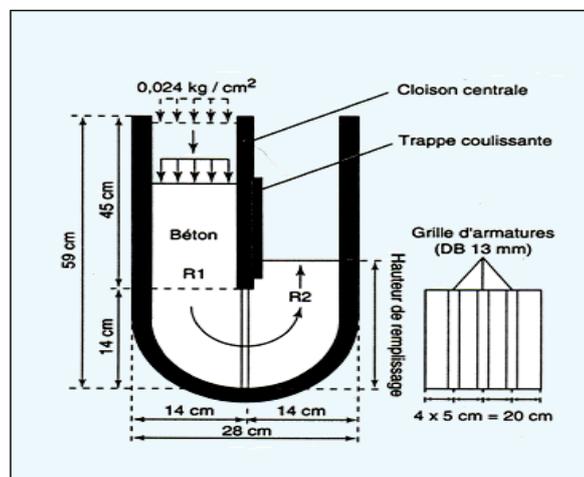


Fig. II.18: Essai en U.

Pour l'essai en U, on vise une hauteur  $U_h \geq 30$  cm. L'essai en U ne nécessite pas une grande quantité du béton, ce qui constitue un avantage certain. [BEN.08]

### II.3.2.1.3. Essai de stabilité au tamis

#### II.3.2.1.3.1. Matériel utilisé

- Un seau de 10 litres équipé d'un couvercle.
- Un tamis de 5 mm ainsi qu'un fond.
- Une bascule de précision (pesée minimale 20 grammes).

#### II.3.2.1.3.2. Mode opératoire

- Après le malaxage du béton, verser le béton dans le seau. Le temps d'attente entre l'arrêt de malaxage et le prélèvement doit être inférieur à 30 secondes.
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation, et attendre 15 minutes.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Poser le fond seul.
- Poser tamis + fond sur la bascule, et faire la tare.
- Après 15 minutes, verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg.
- Noter le poids réel de l'échantillon.
- Attendre 2 minutes, puis faire la tare.
- Peser le fond avec la laitance.

Nous avons :

- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon : [BEN.08]

$$\pi = (P_{\text{laitance}} / P_{\text{échantillon}}) \cdot 100$$



Fig. II.19: Essai de stabilité au tamis.

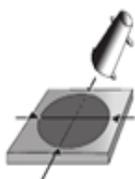
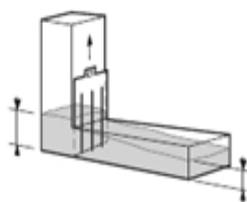
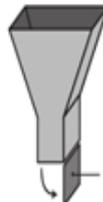
En fonction de résultat trouvé, on classe les bétons comme suit : **[BEN.08]**

Tableau. II.8: Classement de la formulation selon le pourcentage.

% de laitance $\mathcal{T}$	Classement de la formulation
$0 \leq \mathcal{T} \leq 15$	Stabilité satisfaisante
$15 < \mathcal{T} \leq 30$	Stabilité critique
$\mathcal{T} > 30$	Stabilité très mauvaise (béton inutilisé)

En fin le tableau. II.9 les résume les différents essais d'ouvrabilité de béton autoplaçant :

Tableau. II.9 : Comparaison entre les essais de béton autoplaçant.

Appellation des essais	Norme	Principe	Schéma
Essai d'étalement (Slump-flow test)	pr EN 12350-8	Moulage manuel d'un tronc de cône et mesure, après démoulage sur une surface plane, du temps d'étalement au diamètre 500 mm et du diamètre d'étalement du BAP.	
Essai de la boîte en L (L-box test)	pr EN 12350-10	Remplissage manuel de la partie verticale de la boîte, et mesure après ouverture de la trappe à la base, de la facilité du BAP à traverser le ferrailage et à s'écouler dans la partie horizontale de la boîte.	
Essai de stabilité au tamis	pr EN 12350-11	Déversement du BAP sur un tamis d'ouverture 5 mm et mesure de la masse du passant à travers le tamis.	
Essai de l'entonnoir en V (V-funnel test)	pr EN 12350-9	Remplissage manuel de l'entonnoir, et mesure après ouverture de la trappe à la base, du temps nécessaire pour que le BAP puisse s'écouler.	
Essai d'écoulement à l'anneau (J-ring test)	pr EN 12350-12	Démoulage d'un tronc de cône et mesure, après passage du BAP à travers une cage cylindrique d'armature de facilité du BAP à s'écouler à travers la cage.	

## II.4. CORRESPONDANCES ENTRE LES ESSAIS

### II.4.1. BETONS ORDINAIRES ET HAUTES PERFORMANCES

On ne peut comparer les résultats de tous les essais de béton ordinaire et béton haute performance présentés précédemment parce qu'ils mesurent le comportement du béton dans différentes conditions. L'utilité de chacun de ces essais présente une liste des essais appropriés en fonction de la maniabilité des bétons. Cette liste est présentée dans le Tableau. II.10. [NEV.00]

Tableau. II.10 : Essais suggérés pour différentes maniabilités selon la norme BS 1881 :1983 [BS\_83].

Maniabilité	Méthode
Très faible	Temps vebe
Faible	Temps vebe, facteur de serrage
Moyenne	Facteur de serrage, affaissement
Elevée	Facteur de serrage, affaissement, étalement
Très élevée	Etalement

L'essai du facteur de serrage est étroitement lié à l'inverse de la maniabilité, tandis que les essais d'écoulement et l'essai vebe sont directement liés à la maniabilité.

L'essai vebe mesure les propriétés du béton soumis à des vibrations alors que, dans les autres essais, il tombe en chute libre dans le cas de l'essai de facteur de serrage, ou il subit des secousses ou chocs dans les essais d'écoulement. Ces quatre essais sont satisfaisants en laboratoire, mais l'essai de la mesure du facteur de serrage est aussi réalisable sur chantier.

La relation entre le facteur de serrage et le temps vebe est donnée à la Fig. II.20, mais elle s'applique seulement au béton utilisé : elle ne doit donc pas être considérée comme applicable de façon générale puisqu'elle dépend de facteurs tels que la forme et la composition des granulats, la présence d'air entrainé de même que la composition du béton. Pour certains bétons, la relation entre le facteur de serrage et l'affaissement a été établie, mais une telle relation est aussi fonction des propriétés du béton. [NEV.00]

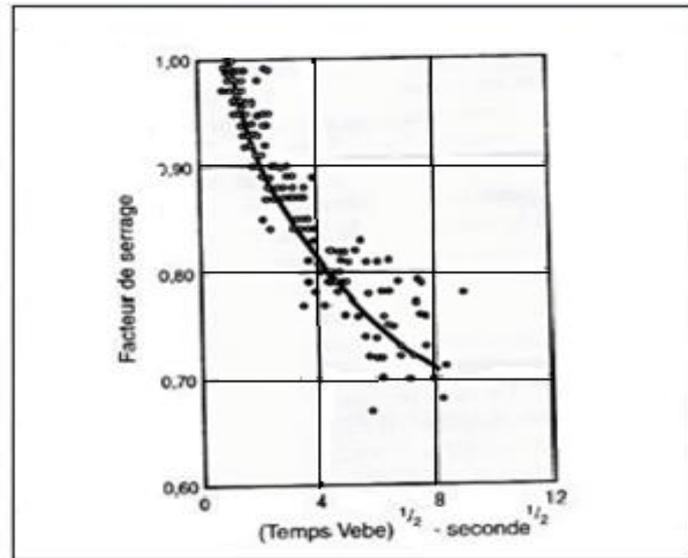


Fig. II.20 : Relation entre le facteur de serrage et le temps vebe.

La figure II.21 donne un aperçu de la relation entre les mesures d'étalement et celles de l'affaissement.

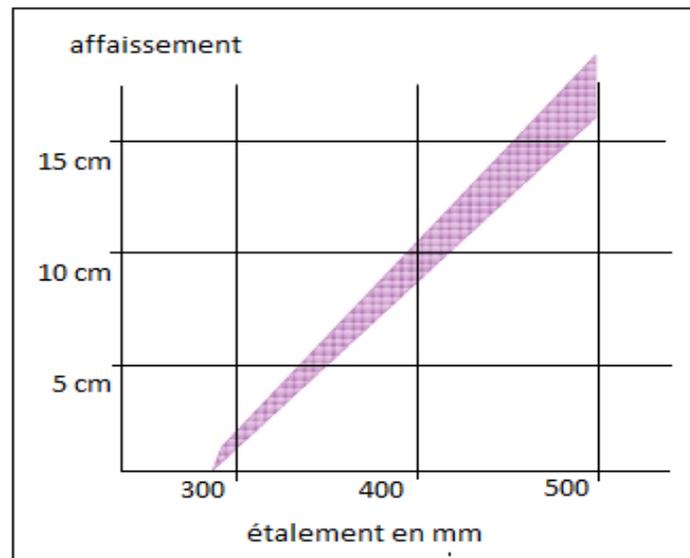


Fig. II.21 : Relation entre l'essai au cône et essai d'étalement.

Et on note sur tableau. II.11, la corrélation entre le facteur de serrage et l'affaissement correspondant pour différents types de maniabilité de béton.

On remarque que pour une seule valeur de facteur de serrage, on a plusieurs affaissement qui y correspondent, (par exemple pour un facteur de serrage de 0.85 ou de 0.92 on double l'affaissement).

Tableau. II.11 : Correspondance entre le facteur de serrage et l'affaissement.

Description de la maniabilité	Facteur de serrage	Affaissement correspondant (mm)
Très faible	0.78	0 - 25
Faible	0.85	25 - 50
Moyenne	0.92	50 - 100
Elevée	0.95	100 - 175

La figure .II.22 nous donne un aperçu des plages de maniabilités correspondant à chaque type d'essai.

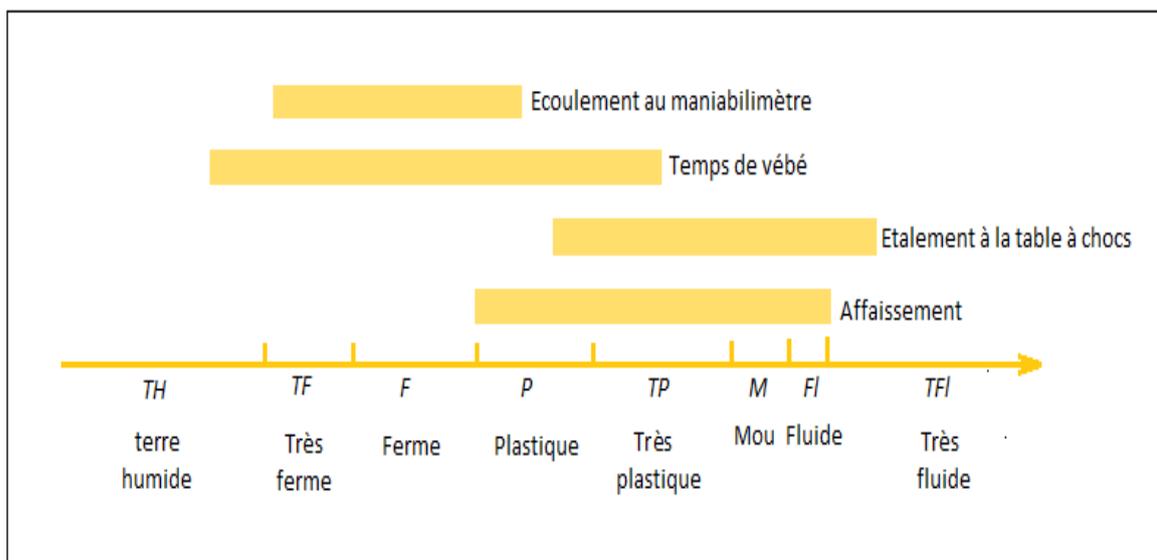


Fig. II.22 : Plage d'utilisation des différents types d'essais pour la mesure de la maniabilité.

Il n'existe pas de correspondance directe entre les différents essais. La norme NF EN 206-1 [NF\_04] fixe une échelle de mesure propre à chacun des 3 essais définis dans la série de normes NF EN 12350 [NF\_01].

Tableau. II.12 : Echelles de mesure des différents essais de maniabilimètre.

Essai	Norme	Plage de validité du résultat	Expression du résultat	Limite significative de sensibilité de l'essai
Affaissement	NF EN 12350-2	entre 10 et 210 mm	10 mm	10 mm
Etalement à table à chocs	NF EN 12350-5	entre 340 et 620 mm	10 mm	15 mm
Temps de vébé	NF EN 12350-3	entre 5 et 30 secondes	1 seconde	2 seconde

#### II.4.2. BETON AUTOPLAÇANT

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d'un béton le contraire d'essai de stabilité au tamis qui peut mesurer la caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné (l'essai de boîte en L ou U) ou en milieu non confiné comme l'essai de l'étalement, en caractérisant la stabilité.

Tous ces appareils mesurent le couple résistant du béton en fonction de la vitesse d'écoulement imposée (par mise en rotation de divers mobiles ou palettes). Ces deux données permettent ensuite d'obtenir, par différents calibrages, les grandeurs caractéristiques de l'écoulement du béton, à savoir le seuil de cisaillement et la viscosité plastique.

La ségrégation est un phénomène de séparation des constituants d'un béton ou d'un mortier à l'état frais, qui peut être provoqué par un malaxage insuffisant ou par une vibration excessive ou par une fluidité importante.

Il existe peu d'études qui intègrent la correspondance entre ces différents essais, on donne juste à titre l'exemple l'étude de LAOUAOUA Djamel. [LOU.12]

❖ **Relation entre la résistance à la ségrégation et stabilité au tamis :**

La stabilité au tamis est satisfaisante pour tous les rapports (E/C), ( $0 \leq \pi \leq 15\%$ ) selon AFGC, la résistance à la ségrégation croît quant la stabilité au tamis décroît, chose confirmée pour tous les moules, pour avoir un béton qui résiste bien à la ségrégation, il faut que  $\pi$  soit inférieure à 0.08 %.

D'après la courbe de tendance fig. II.23, il a remarqué que les points sont proches pour les C200 et P200 (C200 : moules cylindriques de diamètre 200, P200 : moule prismatique de côte 200), c.-à-d qu'on ne peut pas se fier au seul essai de stabilité au tamis pour en déduire la résistance à la ségrégation. [LOU.12]

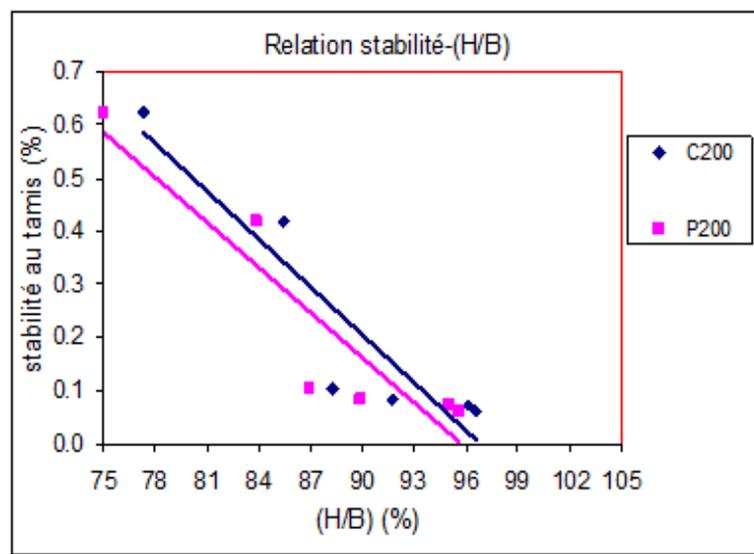


Fig. II.23 : Relation stabilité au tamis-(H/B) moules (C200 et P200).

❖ **Relation entre la vitesse d'écoulement et la résistance à la ségrégation :**

Il a observé pour tous les moules, quant on a une bonne résistance à la ségrégation (H/B supérieur 95%), que la vitesse d'écoulement est supérieure à 53% seconde, cette valeur qu'il a pu noter pour les bétons classiques fluides, une vitesse d'écoulement plus petites implique un risque de ségrégation. [LOU.12]

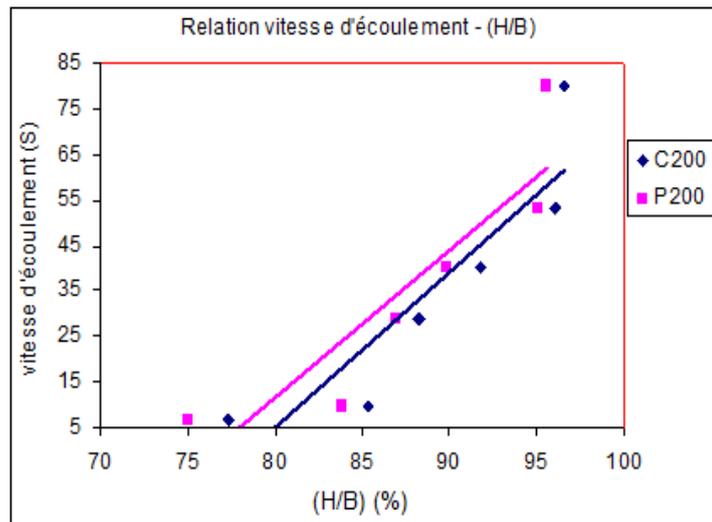


Fig. II.24 : Vitesse d'écoulement – résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200).

❖ **Relation entre l'affaissement et la résistance à la ségrégation :**

Il a remarqué également pour tous les moules, quand il a une bonne résistance à la ségrégation, il a obtenu un affaissement inférieur à 7cm. Le BAP présente un étalement supérieur à 70cm, tandis que sa résistance à la ségrégation est mauvaise. [LOU.12]

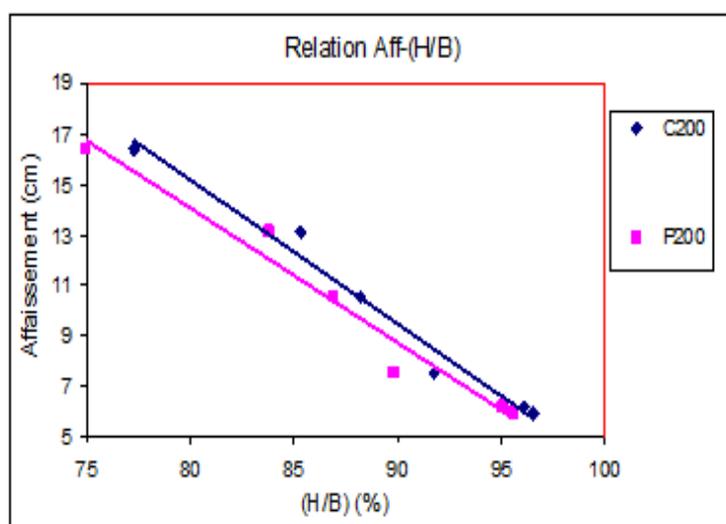


Fig. II.25 : Affaissement (cm) – résistance à la ségrégation H/B (C200 et P200).

Il est arrivé à la conclusion suivante : **[LOU.12]**

Les résultats obtenus par l'auteur montrent une augmentation de la vitesse d'écoulement, de l'affaissement et la laitance avec l'augmentation du rapport E/C et en contre partie une diminution de la résistance (à l'exception du BAP). Ce qui est conforme aux prévisions.

La forme du moule a un faible effet sur la résistance à la ségrégation, les moules prismatiques favorisent un peu la ségrégation comparativement aux moules cylindriques. Le BAP est plus sensible au type du moule, pour la mesure de la résistance que les bétons ordinaires.

Les relations entre les différentes propriétés mesurées semblent suivre une certaine linéarité, donc on peut déduire une des propriétés à partir de l'autre.

## **II.5. CONCLUSION**

Cette recherche bibliographique nous a permis de présenter les principaux essais de caractérisation des mortiers et des bétons à l'état frais ainsi que les valeurs cibles (ou limites) préconisées par différents groupes de travail ayant travaillé sur l'ouvrabilité.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré.



# CHAPITRE III

*Etude*

*Expérimentale*

---

### III.1. INTRODUCTION

Le béton est constitué des composantes dont les caractéristiques physiques et mécaniques sont différentes, chacun joue un rôle dans le comportement et la qualité du béton.

Ce chapitre présente une étude expérimentale des caractéristiques principales des bétons à l'état frais qui est l'ouvrabilité, ainsi que les modes opératoires et l'appareillage utilisé pour déterminer l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur les bétons élaborés.

Les essais ont été effectués au laboratoire de recherche, de génie civil et d'hydraulique (L.G.C.H) de l'université 08 Mai 45 de Guelma.

### III.2. TECHNIQUES EXPERIMENTALES POUR LA CARACTERISATION DE L'OUVRABILITE DES BETONS D'ETUDE

#### III.2.1. caractéristiques physiques des matériaux utilisés

##### III.2.1.1. Sable :

Nous avons utilisé pour la confection des bétons un sable local dont les caractéristiques ont été déterminées expérimentalement au laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique de l'université de 08 Mai 45 de Guelma, suivant les normes françaises [NF\_91], dont les résultats d'essais sont exposés dans le tableau suivant :

Tableau .III.1: Caractéristiques physiques du sable de carrière utilisé. [LOU.12]

Caractéristiques		Résultats
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )		1.47
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )		2.53
Equivalent de sable	E.S.V (%)	84
	E.S (%)	81
Teneur en eau (%)		2.45



Photo. III.1: Le sable de carrière utilisé.

### III.2.1.2. Gravier :

Le gravier utilisé dans l'étude des bétons, a été soumis à trois essais physiques au laboratoire détaillés déjà dans le premier chapitre.

Les résultats de ses essais sont regroupés dans le tableau suivant : **[LOU.12]**

Tableau .III.2: Caractéristiques physiques du gravier utilisé.

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique absolue ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.63
Masse volumique apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.58
Teneur en eau (%)	0.315



Photo. III.2: Le gravier utilisé.

**III.2.1.3. Ciment :**

Le ciment utilisé, dans notre travail, est un ciment portland composé CEM II/A (CPJ) de classe 42.5, qui provient de la cimenterie de Hedjar Essoud (wilaya de SKIKDA).



Photo. III.3: Le ciment utilisé.

Les différentes caractéristiques du ciment sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau .III.3: Caractéristiques physiques du ciment utilisé. [LOU.12]

Caractéristiques	ciment CEM II/A (CPJ, classe 42.5)
Masse volumique absolue ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	3.1
Masse volumique apparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.12
Surface spécifique ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	3702

**III.2.1.4. Eau de gâchage :**

L'eau de gâchage utilisée est l'eau disponible au niveau du laboratoire de génie civil et d'hydraulique de l'université 08 Mai 45 de Guelma.

**III.2.1.5. Filler :**

Nous avons utilisé le filler calcaire de l'ENG EL KHROUB.

### III.2.1.6. Superplastifiant :

Le MEDAPLAST SP-40 est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération.



Photo. III.4: Le superplastifiant utilisé.

### III.2.2. Préparation des bétons

- Equipement utilisé pour la préparation des bétons : (voir Photos. III.5 et III.6).
  - Une balance qui nous permet de mesurer les quantités nécessaires de ciment, gravier, sable et de l'eau.
  - Une bétonnière pour malaxer les composantes de béton.



Photo. III.5 : Balance utilisée.



Photo. III.6 : Bétonnière utilisée.

### III.2.3. Processus de fabrication des bétons étudiés

La préparation du béton est celle d'un béton normal suivant la norme EN 196-1 [NF\_95], le gravier, le sable et le ciment sont gâchés avec de l'eau dans les proportions décrites dans la composition des bétons.

Le béton est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire le gravier et le sable dans la bétonnière.
- Verser ensuite le ciment.
- Mélanger les matériaux en sec pendant quelques minutes.
- Ajouter la quantité d'eau après le malaxage des secs.
- Laisser les composantes se mélanger pendant 4 minutes.
- Arrêter la bétonnière et mettre le mélange dans la brouette pour l'utilisation.



Photos. III.7 : Les étapes de fabrication des bétons étudiés.

### III.2.4. Composition des bétons d'étude

Nous avons utilisé les matériaux suivants (Tableau .III.4) pour déterminer cette composition :

- Le sable de carrière de FEDJOU DJ (Guelma).
- Gravier concassé 5/15 de la carrière de BENDJERAH (Guelma).
- Le ciment de CPJ 42.5 qui provient de la cimenterie de Hadjar Essoud (Skikda).
- L'eau au niveau du laboratoire.

On peut ajouter pour le béton Autoplaçant :

- Filler calcaire de la carrière ENG (EL KHROUB).
- Un superplastifiant MEDAPLAST-SP 40 de Granitex.

Tableau .III.4: Composition des bétons utilisés.

Béton composition [kg/m <sup>3</sup> ]	Béton 1	Béton 2	Béton 3	Béton 4	Béton 5
Gravier	775	775	775	775	775
Sable	736	736	736	736	736
Ciment	494	477	477	465	477
Eau	237.6	200	190	160.3	150.5
Filler		24	24	23.8	45
SP		9.5	9.5	9.45	9
E/C	0.48	0.42	0.40	0.34	0.31
E/C+F	0.48	0.40	0.38	0.33	0.29

Remarque :

- Le rapport (E/C) va se réduire du béton 01 jusqu'au béton 5.

### III.2.5. Les essais utilisés sur les bétons à l'état frais

#### III.2.5.1. Béton autoplaçant

Les trois essais que nous aurons à aborder pour le béton autoplaçant sont ceux déjà détaillés dans le deuxième chapitre.

##### III.2.5.1.1. Essai de stabilité au tamis

Après avoir malaxé le béton, nous l'avons versé dans le seau, puis nous avons couvert le seau pour protéger ce béton, en suite nous avons fait les étapes suivantes (photos. III.8) :

- On a posé le tamis + fond sur la bascule, et avons fait la tare.
- Après 15 minutes, on a versé sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg, puis nous avons noté le poids réel de l'échantillon.
- Nous avons attendu 2 minutes, puis avons fait la tare.
- Nous avons pesé le fond avec la laitance, et on a noté la valeur.

En dernier, nous avons calculé le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.



Photos. III.8 : Etapes de la conduite de l'essai de stabilité au tamis utilisé.

### III.2.5.1.2. Essai d'étalement

Dans l'essai d'étalement nous avons employé les étapes suivantes (Photos. III.9) :

- Nous avons placé le cône d'Abrams au centre de la plaque, et l'avons rempli avec le béton en versant de manière continue, jusqu'à la face supérieure du cône.
- Puis nous avons soulevé le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, nous avons mesuré le diamètre final sur les deux cotés (P1, P2) perpendiculaires.



Photos. III.9 : Etapes de la conduite de l'essai d'étalement utilisé.

### III.2.5.1.3. Essai de la boîte en L

Le principe que nous avons suivi dans cet essai est le suivant (photos. III.10) :

- Nous avons rempli entièrement le béton dans la partie verticale de la boîte.
- Après arasement, nous avons laissé le béton reposer pendant une minute, puis on a levé la trappe et on a laissé le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage.
- Nous avons attendu jusqu'à l'arrêt du béton, puis on a mesuré les hauteurs  $H_1$  et  $H_2$ .



Photos. III.10 : Etapes de la conduite de l'essai de la boîte en L utilisé.

### III.2.5.2. Résultats des essais expérimentaux :

Les trois essais (stabilité au tamis, l'étalement et la boîte en L) qu'on a utilisés pour plusieurs bétons dans le laboratoire, nous ont donné les résultats qui figurent dans le tableau suivant :

Tableau .III.5: Résultats des essais sur les bétons "autoplaçants" utilisés à l'état frais.

	Stabilité au tamis % $\Pi = (P_2/P_1).100$	L'étalement (cm) Slump Flow= $(D_1+D_2)/2$	Boîte en L % $(H_2/H_1)$
Béton 1	$\Pi = 0.16/4.8 = 3.33$	D = 36.5	Blocage à 27 cm après l'armature.
Béton 2	$\Pi = 0.6/4.86 = 12.37$	D = 78	$H_2/H_1 = 9/15 = 60$
Béton 3	$\Pi = 0.86/4.94 = 17.4$	D = 74	$H_2/H_1 = 8.5/15 = 56.66$
Béton 4	$\Pi = 0.58/4.86 = 12.03$	D = 69.5	$H_2/H_1 = 6/19 = 31.6$
Béton 5	$\Pi = 0.27/4.99 = 5.41$	D = 67.5	$H_2/H_1 = 5.6/18 = 31$

**Commentaire :**

A partir des résultats des essais réalisés dans le laboratoire pour faire un béton autoplaçant, on essaye d'établir les relations qui peuvent exister entre les différentes propriétés à savoir : la mobilité en milieu confiné (boite en L), l'étalement, la stabilité au tamis et le rapport (E/C) des différents bétons employés.

**✚ Sur la ségrégation statique des BAP :**

1- L'essai de stabilité au tamis permet de calculer un taux de ségrégation et déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non (critique, très mauvaise). Tous les bétons ont un taux de ségrégation inférieure à 15 % synonyme d'une stabilité correcte seule la composition B3, ne respecte pas cette condition (le taux de ségrégation est le germent supérieur à 15% [Béton 3 = 17.4%] → une stabilité critique). La figure III.1 montre les résultats de la stabilité au tamis des différentes compositions des bétons.

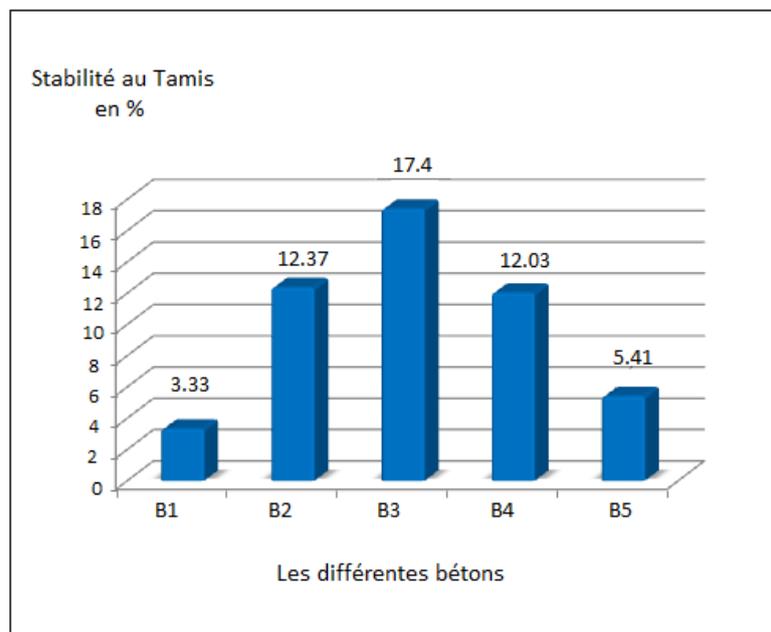


Fig. III.1 : La stabilité au tamis des différentes compositions des bétons.

### ✚ Sur l'étalement des BAP :

1- Il faut tout d'abord rappeler qu'il est considéré comme auto-plaçant, un béton qui forme une galette d'un diamètre compris entre 60 et 70 cm. La figure III.2 montre que cette exigence de cahier des charges a été convenablement remplie par les différents bétons (à l'exception du B2 et B3 dont l'étalement est un peu élevé 78 cm et 74 cm successivement).

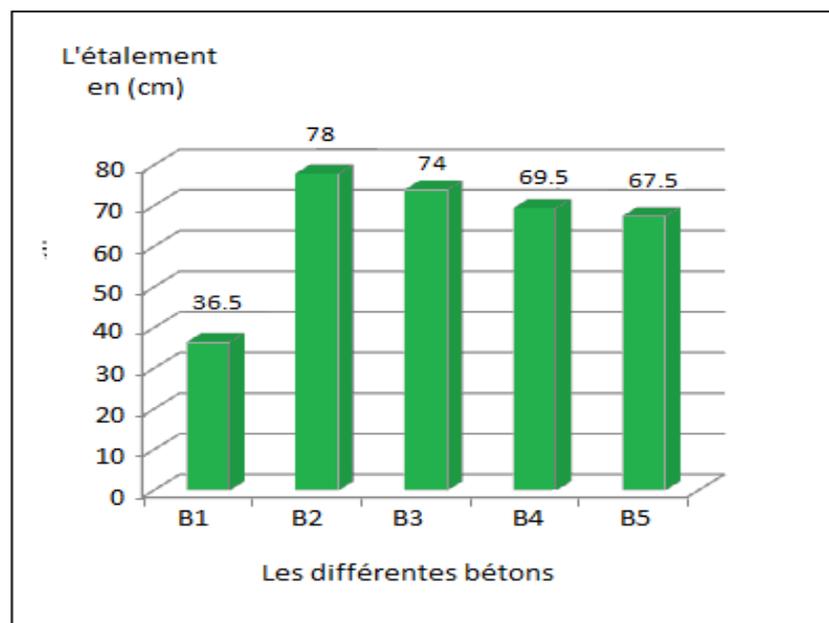


Fig. III.2 : L'étalement des différentes compositions des bétons.

2- A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. Selon la figure III.3, il apparaît clairement que l'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité (l'étalement) des bétons, sauf le premier rapport  $E/C=0.48$  pour son cas spécial (sans fillers et superplastifiant).

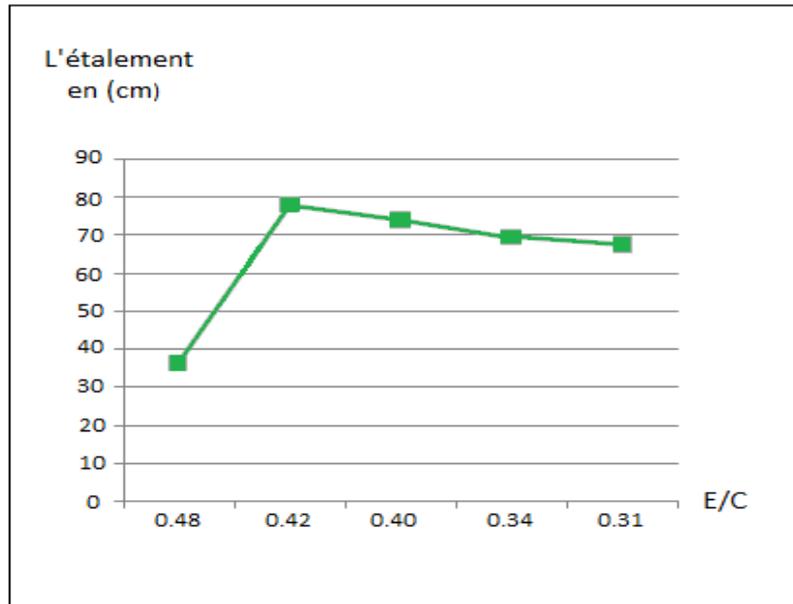


Fig. III. 3 : L'influence d'E/C sur l'étalement.

#### ✚ Sur la ségrégation dynamique des BAP :

1- L'essai de la boîte en L est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton en fond et en début de boîte), qui doit en principe être supérieure à 0.8%.

Tous les bétons utilisés ne respectent pas cette condition surtout le béton 01 qui a eu un blocage à 27 cm après les armatures (Fig. III.4), à cause de l'introduction excessive d'eau qui provoque l'apparition des phénomènes de ségrégation dynamique on peut dire aussi que le filler joue un rôle très important sur la ségrégation dynamique.

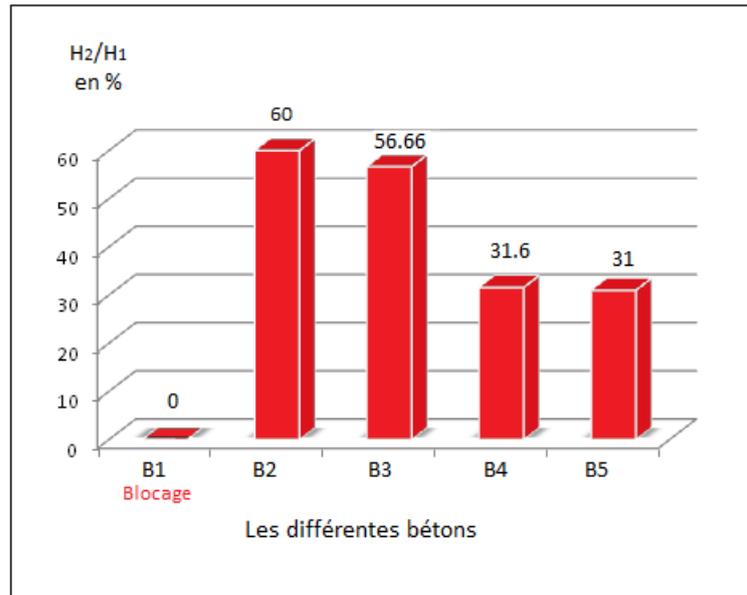


Fig. III.4 : Le rapport H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> de la boîte en L des différents bétons.

2- Dans la figure. III.5, on remarque que la valeur H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> augmente lorsque le rapport E/C augmente aussi sauf le béton1 à cause du manque de superplastifiant et filler, puisque pour la composition de nos bétons, c'était une hypothèse de départ.

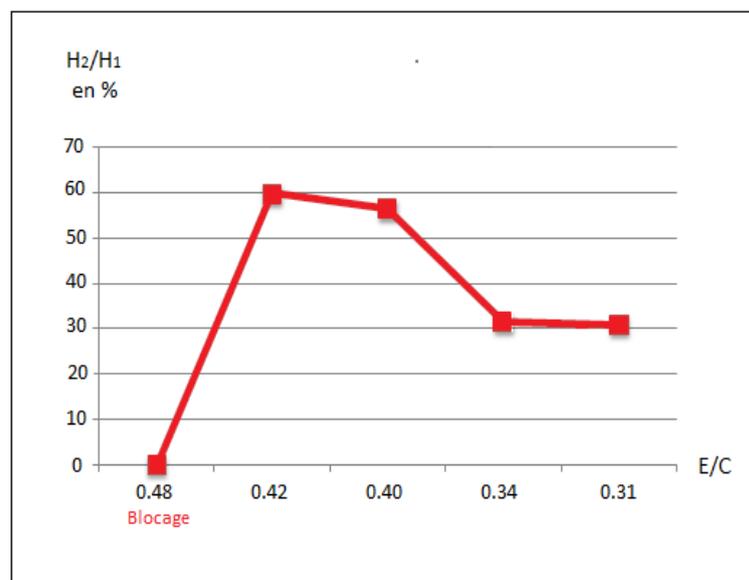


Fig. III.5: L'influence d'E/C sur le rapport H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> de la boîte en L.

### III.2.6. Bétons ordinaires

#### III.2.6.1. Composition des bétons d'étude

La formulation des bétons consiste, d'une certaine façon à la caractérisation des constituants du béton à la fin d'éclairer leur choix car les performances du béton sont en relation avec le choix et les proportions de ces constituants, Tableau .III.6 présente les compositions des bétons utilisés :

Tableau .III.6 : Compositions des bétons utilisés.

Béton	Béton 1	Béton 2
Composition [kg/m <sup>3</sup> ]		
Gravier	1162	1162
Sable	601.25	601.25
Ciment	350	350
Eau	157.5	175
E/C	0.45	0.5

#### Remarque :

- Les bétons 01 et 02 présentent la même composition avec une seule différence, qui est la quantité d'eau.

#### III.2.6.2. Les essais utilisés

Les deux essais (l'affaissement au cône d'Abrams et le maniabilimètre du LCPC) que nous aurons à faire pour les bétons ordinaires sont ceux déjà détaillés dans le deuxième chapitre.

##### III.2.6.2.1. L'affaissement au cône d'Abrams

Après avoir préparé le béton que nous aurons à utiliser dans cet essai, nous avons suivi les étapes suivantes (Photos. III.11) :

- Nous avons humidifié la plaque d'appui et y fixé le moule.
- Nous avons introduit le béton frais en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage.
- On a démoulé immédiatement en soulevant le moule verticalement à l'aide des poignées.
- A la fin, on a attendu une minute en suite nous avons mesuré l'affaissement à partir du point le plus haut du béton.



Photos. III.11 : Etapes de la conduite l'affaissement au cône d'Abrams.

#### III.2.6.2.2. Le maniabilimètre du LCPC

Après la préparation de l'appareil du LCPC :

- nous avons introduit le béton dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 4 couches.

- Après avoir attendu 4 minutes après la fin du malaxage, nous avons retiré la cloison, ayant provoqué la mise en route du vibreur et avons déclenché le chronomètre, sous l'effet de la vibration le béton s'écoule.
- Nous avons arrêté le chronomètre quand le béton atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.



Photos. III.12 : Etapes de la conduite de l'essai du maniabilimètre du LCPC.

### III.2.7. Résultats des essais expérimentaux

Les deux essais (l'affaissement au cône d'Abrams et le maniabilimètre du LCPC) qu'on a utilisés pour les deux bétons dans le laboratoire, nous ont donné les résultats figurant dans le tableau suivant :

Tableau .III.7: Résultats des essais sur les bétons utilisés à l'état frais.

	Béton O1	Béton O2
L'affaissement au cône d'Abrams (cm)	11.5	14.8
Le maniabilimètre du LCPC (seconde)	13.32	6.31

**Commentaire :**

A partir des résultats des essais réalisés dans le laboratoire des bétons ordinaires, on essaye d'établir les relations qui peuvent exister entre les différentes propriétés à savoir : l'affaissement et la maniabilité et le rapport (E/C) des deux bétons employés.

**✚ Sur l'affaissement des bétons :**

1- L'essai de cône d'Abrams permet l'appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement qui est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage.

On voit sur la figure. III.6 que les bétons (B1= 11.5 cm et B2=14.8 cm) respectent la troisième condition de la norme de cet essai, elle indique une consistance très plastique (affaissement compris entre 10 et 15 cm).

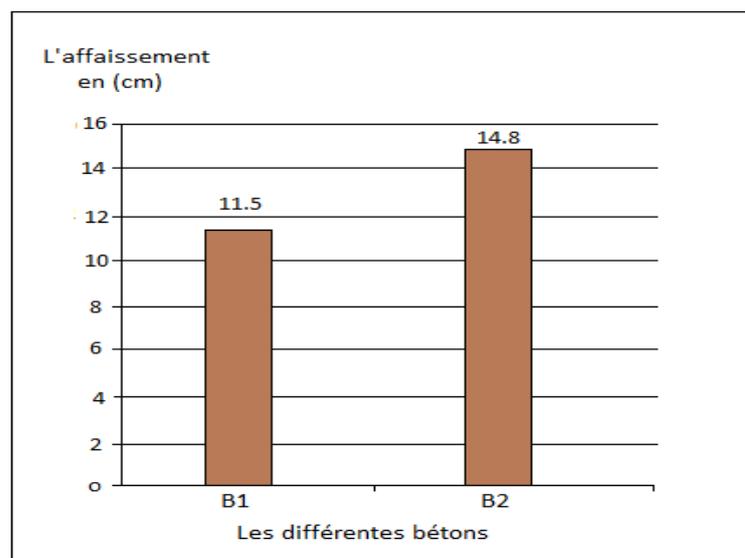


Fig. III.6: L'affaissement des différents bétons.

2- Pour l'influence du rapport E/C sur l'affaissement des bétons à l'état frais, la figure III.7 montre que l'augmentation de E/C engendre aussi une augmentation de l'affaissement des deux bétons.

On observe que l'augmentation du rapport E/C de 11% (du béton 1 au béton2) provoque une augmentation de l'affaissement de plus de 28%.

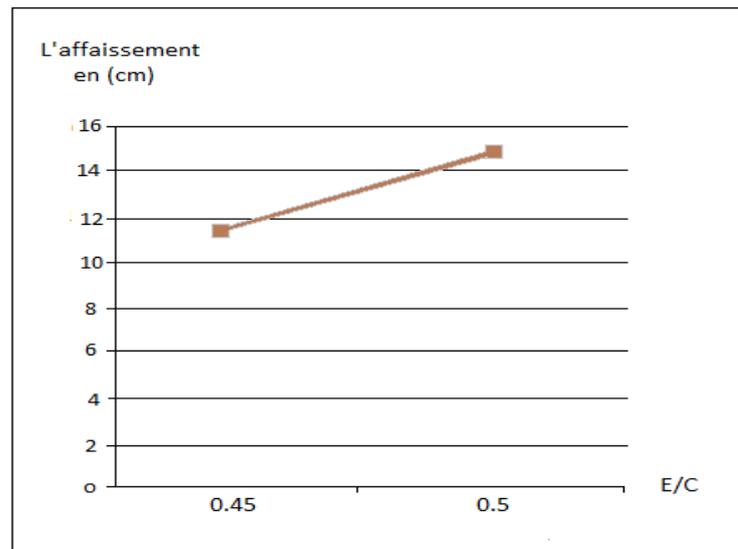


Fig. III. 7: L'influence d'E/C sur l'affaissement.

#### ✚ Sur la maniabilité dynamique :

1- Le résultat de la mesure est le temps en seconde, mis par le béton pour atteindre le trait repère du maniabilimètre du LCPC, on en déduit la consistance du béton testé.

On voit sur la figure. III.8 que le temps déterminé par le maniabilimètre du LCPC

Permet de classer le béton 2 comme béton fluide (T entre 0 et 10 s) et le béton 1 comme béton plastique (T entre 11 et 40 s).

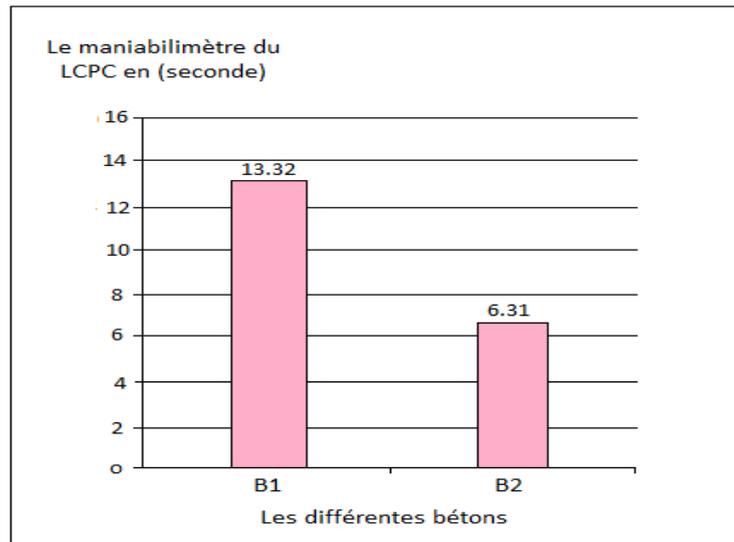


Fig. III.8 : Temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC.

2- Selon la figure III. 9, il apparaît clairement que l'augmentation de rapport E/C engendre une diminution du temps du maniabilimètre du LCPC ( $E/C=0.45 \rightarrow T = 13.32$  seconde et pour  $E/C = 0.5 \rightarrow T= 6.31$  seconde), pour cela on peut conclure que le rapport influe beaucoup sur la maniabilité déterminée par cet essai.

L'augmentation d'E/C de 11% engendre une diminution du temps d'écoulement au maniabilimètre de 21%.

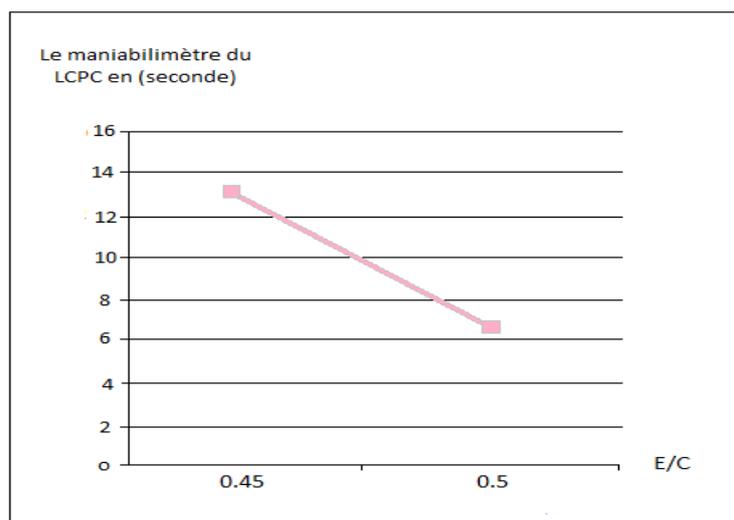


Fig. III.9 : L'influence d'E/C sur le temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC.

### **III.3. CONCLUSION**

Ce travail a consisté à déterminer expérimentalement la caractéristique principale des bétons à l'état frais qui est l'ouvrabilité, pour cela on a fait plusieurs essais au laboratoire, aussi bien sur des bétons autoplacants que sur des bétons ordinaires.

Les résultats obtenus pour les bétons destinés à être autoplacants ont montré l'effet du rapport E/C ainsi que la présence ou non de filler et au superplastifiant. Le béton 1 qui ne contient pas de filler, et de superplastifiant a un problème d'étalement. Alors que le béton 3 a présenté une stabilité au tamis dépassant la valeur exigée. Tous les bétons ont donné des rapports H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> inférieurs à 0.8, avec un blocage carrément du béton 1 (ce béton ne contient un filler, ni superplastifiant).

Les essais de maniabilité, sur les bétons ordinaires, au cône d'Abrams et au maniabilimètre LCPC ont montré l'effet du rapport E/C sur cette propriété. On a remarqué que l'effet du rapport E/C est plus important sur le temps d'écoulement déterminé par le maniabilimètre LCPC que sur l'affaissement déterminé par le cône d'Abrams.



# *Conclusion*

# *Générale*

---

## **Conclusion générale**

Cette étude bibliographique a été menée pour faire le point sur les connaissances relatives aux différents constituants, méthodes de formulations, essais de propriétés à l'état frais des mortiers et des bétons (ordinaire, autoplaçant et hautes performances).

Cette recherche nous a permis aussi de présenter les principaux essais de caractérisation des mortiers et des bétons à l'état frais ainsi que les valeurs cibles préconisées par différents groupes de travail ayant travaillé sur l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers pour calculer les différents facteurs de l'ouvrabilité des bétons. Pour cela on a fait plusieurs essais au laboratoire, aussi bien sur des bétons autoplaçants que sur des bétons ordinaires.

Les résultats obtenus pour les bétons destinés à être autoplaçants ont montré l'effet du rapport E/C ainsi que la présence ou non de filler et de superplastifiant. Le béton qui ne contient pas de filler, et de superplastifiant a un problème d'étalement. Alors que l'un des bétons (B3) a présenté une stabilité au tamis dépassant la valeur exigée. Tous les bétons ont donné des rapports H2/H1 par la boîte en L inférieurs à 0.8, avec un blocage carrément du béton qui ne contient pas de fillers et de superplastifiant.

Les essais de maniabilité, sur les bétons ordinaires, au cône d'Abrams et au maniabilimètre LCPC ont montré que l'effet du rapport E/C est plus important sur le temps d'écoulement déterminé par le maniabilimètre LCPC que sur l'affaissement déterminé par le cône d'Abrams.

## ***Références bibliographiques***

- [LET.78] Letertre F. et Renaud H. ; « Technologie de bâtiment – gros œuvre : travaux de maçonneries et finition » ; édition faucher ; 1978.
- [RIC.04] Richane S. ; « Prise en compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton » ; Mémoire de magister ; M'sila ; 2004.
- [BOU.08] Bouglada M.S. ; « Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier » ; mémoire de magister ; université de M'sila ; 2008.
- [CHE.07] Cherait Y. et Nafa Z. ; « Élément de matériau de construction et essais » ; édition OPU ; 2007.
- [BRA.96] Brahma A. ; « Le béton » ; édition OPU ; 1996.
- [DRE.98] Dreux G. et Festa J. ; « Nouveau guide du béton et des ces constituants » ; édition : Eyrolles ; 1998.
- [ASS.04] Assié S. ; «Durabilité des bétons autoplaçants». Thèse de doctorat en génie civil, Spécialité : génie civile Université de Toulouse. 29 octobre 2004.
- [CHI.08] Chiekh-Zouaoui M. ; «Contribution à l'étude de la cinétique d'hydratation au jeune âge des bétons a hautes résistances».Thèse de doctorat en génie civil, Spécialité : Matériaux de construction ; Université de Constantine (Algérie). 2008.
- [DRE.81] Dreux G. ; « Nouveau guide du béton», Editions Eyrolles, paris, 1981.
- [KHE.09] Khelifa M.R. ; «Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants».Thèse de doctorat en génie civil, Spécialité : génie civile Université de Constantine (Algérie). Université de d'Orléans (France) ; 20 Juin 2009.

- [KHA.97] Khayat K. ; « Les bétons autonivelants, Les bétons, bases et données pour leur formulation », p 479-483, Eyrolles, 1997.
- [SAN.05] Sandrine B. ; «Mécanismes des ségrégations dans les bétons autoplaçants (BAP) ».Thèse de Doctorat, Spécialité : Structures et Matériaux. L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 15 Décembre 2005.
- [BOU.07] Boukni B. ; «Tenue au feu des bétons autoplaçants». Mémoire magister en Génie Civil Option : Mécanique des Structures. Université Mentouri Constantine. Décembre 2007.
- [GHE.10] Gherdaoui M. ; «Etude bibliographique sur les nouveaux bétons».Mémoire de Mastère Spécialité : Génie Civil, Option: Structures ".Université du 8 Mai 1945 Guelma. Juin 2010.
- [AIT.01] Aitcin P.C. ; « Bétons haute performance ». Eyrolles. Janvier 2001.
- [GRA.10] Grairia S. ; «Contribution à la Formulation des Bétons Autoplaçant à Hautes Résistances».Mémoire de Magister en génie civil, Option : Risques naturels et vulnérabilités des ouvrages. Université de Guelma Novembre 2010.
- [LAO.12] Laouaouda D. ; « Contribution à l'étude da la ségrégation statique des bétons fluides ».Mémoire de Magister en génie civil, Option : structures et matériaux. Université de Guelma Mai 2012.
- [DUP.04] Dupain R. et Lanchon R. et Saint-Arroman J.C. ; « Granulat sol ciment et béton » ; 3<sup>ème</sup> édition ; édition Casteilla ; 2004.
- [NEV.00] Neville A.M. ; « Propriétés des bétons » ; édition Eyrolles 2000.
- [BEN.08] Benouis A. et Cheriat Y. et Kechkar C. ; Algérie Equipement, Revue Technique de l'Ecole Nationale des Travaux Publics, N°44, Algérie, Mai 2008.
- [NF\_04] **NF EN 206-1** (IDC P 18-325-1) - Avril 2004 Béton - Performances, production, mise en œuvre et critères de conformité (édition française).

- [NF\_99] **NF EN 12350-5** (IDC P 18-432) - Déc. 1999 Essai pour béton frais - Partie 5 : essai d'étalement à la table à chocs.
- [NF\_88] **NF P 18-452** - Mai 1988 Bétons - Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre.
- [NF\_88] **NF P 18-451** - Mai 1988 Bétons - Mesure d'affaissement des bétons au cône d'Abrams.
- [NF\_92] **NF P 18-305** - Nov. 1992 Additions pour béton frais- Besoin en eau, régularité - Méthode par mesure de la fluidité et la viscosité des mortiers par écoulement "au cône ".
- [NF\_07] **NF EN 445** Décembre 2007 - Boutique AFNOR La présente Norme européenne décrit les méthodes d'essai relatives aux coulis spécifiés dans l'EN 447.
- [NF\_05] **NF EN 206** La norme NF EN 206 avec son Annexe Nationale est devenue, depuis 2005, la base normative pour tous les bétons de structure.
- [NF\_01] **NF EN 12350** - (Déc. 1999 Jusqu'au Mars 2001) les essais pour les bétons frais : affaissement, d'étalement à la table à chocs, essai Vébé.
- [BS\_83] **BS 1881: part 103: 1933**, London. 250. British Standards Institution (1983).Of concrete testing methods. Method of determining the time Vébé.
- [ACI\_92] **ACI 211.3-75** ; Reapproved in 1992, standard practice for selecting. Proportions for no-stump concrete, ACI Manual of concrete practice Part 1: Materials and general properties of concrete, 11 pp (Detroit, Micligan 1994).
- [NF\_01] **NF EN 197-1** Ciment partie1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants février 2001.
- [NF\_03] **NF EN 1008** Juillet 2003. Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux.

- [NF\_12] **NF EN 933-1** Mai 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.
- [NF\_96] **NF EN 1097-1** essai pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats –partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (Micro-DEVAL), 1996.
- [NF\_08] **NF EN 12620** au paragraphe 3.3 : « granulat composé d'un mélange de gravillons et sables Juin 2008.
- [NF\_12] **NF EN 934-2** Août 2012 Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.
- [NF\_11] **NF P 15 - 361** 29 oct. 2011 – Le retrait (Norme NF P 15- 361): Il est mesuré sur prismes de 4 x 4 x 16 cm, conservés à 20 °C et à 50,5 % d'humidité relative
- [NF\_95] **NF EN 196-1** Méthodes d'essais des ciments partie 1 : Déterminations des résistances mécaniques Aout 1995.
- [NF\_91] Recueil de normes françaises, béton et constituants du béton, paris 1991.

# Netographie

- [Net 1] <http://www.betons-lemagazine.fr/Page=abc>.
- [Net 2] <http://www.Cimbéton.com>.
- [Net 3] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 5 : les mortiers » ; disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_cinq\\_deux.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_cinq_deux.html).
- [Net 4] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 3 : les granulats » ; disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_trois\\_exp.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_trois_exp.html).
- [Net 5] [http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_six\\_cinq.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_six_cinq.html)
- [Net 6] Les matériaux : <http://www.brico.be/wabs/fiches/pdf/fr/2-8.pdf>.
- [Net 7] <http://s4.e-monsite.com/2011/05/16/1851080les-essais-sur-mortier-pdf.pdf>
- [Net 8] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 2 : les ciments » ; disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_deux\\_cinq.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux_cinq.html).
- [Net 9] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 5 : les mortiers » ; disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_cinq\\_quatre.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_cinq_quatre.html).
- [Net 10] [http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GC/matériaux/mtx3/Cours\\_Matériaux/5.1.PDF](http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GC/matériaux/mtx3/Cours_Matériaux/5.1.PDF)

[Net 11] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 6 : le béton » ;  
disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_six\\_cinq.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_six_cinq.html).

[Net 12] «High performance concrete structural designers guide».  
<http://knowledge.fhwa.dot.gov/cops/hpcx.nsf/home> 2005.

[Net 13] [www.termsscience.fr](http://www.termsscience.fr).2008.

[Net 14] <http://www.beratest.com/catalog/francais/pdf/ciment.pdf>.