

# وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2019

Faculté : Sciences de l'Ingéniorat

Département : Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Thème :

**Valorisation des déchets industriels :**  
**Influence de la Substitution partielle du ciment par les scories d'EL**  
**HADJAR , dans les BAP et BO**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux de construction

Par :

ZIANI CHAIMA

DIRECTEUR DE MEMOIRE :BOUMAAZA FATIHAGRADEDOCTEUR

ETABLISSEMENT UNIVERSITE

BADJI MOKHTAR

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : mr rjam beloutar

EXAMINATEURS :

# *Remerciements*

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadreur M<sup>me</sup> BOUMAAZA, qui a dirigé mon travail avec ses conseils et ses commentaires précieux qui m'ont permis de surmonter mes difficultés et de progresser au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous les membres du jury, tous mes professeurs, pour avoir accepté d'examiner mon travail et pour avoir honoré de leur présence la soutenance.

Bien sûr sans oublier ma famille en particulier, et tous mes amis, pour leur grande aide morale et physique.

## RESUME

L'utilisation des bétons, notamment les bétons innovants tel que le BAP, ne cesse de s'accroître et de s'élargir dans le domaine de la construction des ouvrages d'art, la fabrication et la répartition des infrastructures vu la facilité de leur mise œuvre.

La recherche d'un ajout moins coûteux par exploitation des déchets industriels et des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure pour affronter les difficultés de la formulation de ces bétons

L'utilisation des scories comme une addition dans les bétons présente un intérêt dans le cadre de valorisation du sous-produit issu de la sidérurgie.

Cette étude vise la formulation des BAP et des BO, à base des déchets industriels précisément la scorie sous forme d'addition et voir leur influence selon son dosage sur le comportement rhéologique et mécanique des deux types de béton

La méthode choisie pour la formulation des deux types de béton est celle de DREUX-GORISSE

Ce travail a mis en évidence l'intérêt de la substitution partielle du ciment à plusieurs dosages (de 5% à 25%) dans le béton autoplaçant et le béton ordinaire par la scorie broyée

Mot clé : béton ordinaire (BO), béton autoplaçant (BAP), déchets industriels, scorie, formulation, rhéologie, résistance mécanique, durabilité

## ABSTRACT

The use of concretes, mainly the innovative ones such as self-consolidating concretes (SCC), continues to grow and expand in the field of construction of the structure, the manufacture and distribution of infrastructure due to the ease of their use.

The search for a less expensive addition by exploiting industrial waste and natural resources has become a major concern to face the difficulties of the formulation of these concretes.

The use of ferrous slag (scorie) as an addition in concrete is of interest in the context of recovery of the by-product from the iron and steel industry.

This study aims at formulating the types of concretes (SCC and OPC), based on industrial waste precisely the slag in the form of addition and observe their influence according to its dosage on the rheological and mechanical behavior of the two types of concrete.

The research method, we have chosen, for the formulation of the two types of concrete is that of DREUX-GORISSE.

This work has highlighted the importance of the partial substitution of the cement with several dosage (from 5% to 25%) in the self-compacting concrete and the ordinary concrete by the crushed slag.

**Key words:** Ordinary Portland Cement (OPC), self-compacting concrete (SCC), industrial waste, slag, formulation, rheology, mechanical strength, durability

## ملخص

تلعب الخرسانة لاسيما الأنواع المبتكرة حديثا دورا هاما في إنجاز البنايات الحديثة . هذا الدور مافئ يتزايد ويتوسع في مجال بناء الهياكل القاعدية و تشييد أعمال فنية نظرا لسهولة وضعها .

لقد أصبح البحث عن استغلال النفايات الصناعية و الموارد الطبيعية الرخيصة الثمن يمثل انشغالا كبيرا لتوظيفها في انتاج هذا النوع من الخرسانة .

إن استعمال ركام المعادن المنصهرة كإضافة في الخرسانة يشكل أهمية بالغة من حيث قيمة استرجاع وتوظيف المواد الثانوية في صناعة الفولاذ.

اعتمادا على BO و BAP تهدف هذا الدراسة إلى تشكيل أو صياغة خرسانة من النوع العادي و ذاتية الضغط نفايات صناعية وبالأخص ركام المعادن المنصهرة كإضافة و ملاحظة تأثيرها حسب المقدار المضاف للخرسانة و ماهي التحولات و المقاومة الميكانيكية التي تطرأ على النوعين من الخرسانة و كذا درجة المتانة .

DREUX-GORISSE اعتمدنا في بحثنا هذا من اجل صياغة و تشكيل هذان النوعان من الخرسانة على طريقة ان العمل المنجز خلص الى أهمية الاستبدال (التعويض) الجزئي للاسمنت بجرعات متعددة من 5% الى 25% في الخرسانة ذاتية الضغط والعادية بواسطة مسحوق المعادن المنصهرة.

مفردات مفتاحية : خرسانة عادية - خرسانة ذاتية الضغط - نفايات صناعية - ركام المعادن - صياغة - تحول - مقاومة ميكانيكية - متانة / صلابة

# Table des matières

---

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

**Table des matières**

**Table des figures**

**Liste des tableaux**

**INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	2
<b>RESUME</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>ملخص</b> .....	5
Table des matières .....	6
INTRODUCTION GENERALE .....	1
I. GENERALITES SUR LES BETONS .....	6
I.1 Définition du béton.....	6
I.2 le béton dans l’histoire .....	6
I.3 Les types de béton .....	7
I.3.1 Principaux avantages et inconvénients du béton : .....	9
I.5 CONSTITUANTS DES BETONS ORDINAIRE : .....	10
I.5.1 Le ciment.....	10
I.5.3 Les granulats .....	12
I.6 Approches de formulation du béton ordinaire.....	12
I.6.1 Méthode de DREUX-GORISSE .....	13
I.7 Classes de consistance du béton.....	13
I.8 Propriétés du béton ordinaire .....	14
I.8.1 Le béton frais.....	14
I.8.2 Le béton durci.....	15
I.9 Les bétons autoplaçants.....	16
I.10 Historique des bétons autoplaçants .....	17
I.11 Composition des bétons autoplaçants .....	18
I.12 Mode d’utilisation des bétons autoplaçants .....	19
I.13 Les avantages des bétons autoplaçants.....	20

I.14 Les inconvénients des bétons autoplaçants .....	21
I.15 Constituants d'un béton auto plaçant .....	21
I.15 Les additions minérales .....	22
I.15.1 Les avantages des additions minérales : .....	22
I.15.2 Les fillers calcaires : .....	22
I.15.3 Fumée de silice.....	23
I.15.4 Le laitier de haute Fournaux.....	23
I.15.5 Autres additions.....	24
I.15.6 Les scories d'aciérie .....	24
I.15.6.1 L'origine de scories d'aciérie .....	25
I.15.6.2 Composition chimiques et minéralogiques des scories d'acier.....	28
I.15.6.3 L'utilisation des scories d'aciérie dans le génie civil : .....	28
I.16 Les adjuvants chimiques .....	29
I.16.1 LES SUPER PLASTIFIANTS .....	30
I.16.2 L'agent colloïdal ou de viscosité.....	31
I.17 Approches de formulation des bétons autoplaçants .....	32
I.17.1 Approche japonaise basée sur l'optimisation du mortier .....	32
I.17.2 Approche suédoise .....	33
I.17.3 Approche du laboratoire central des ponts et chaussées LCPC .....	34
I.18 Caractéristique d'un BAP a l'état frai .....	34
I.18.1 Mobilité en milieu non confiné .....	35
➤ Essai d'étalement .....	35
I.18.2 Mobilité en milieu confiné .....	36
➤ Essai de la boîte en l (l-box test).....	36
➤ Essai j-ring .....	37
I.18.3 stabilité .....	37
➤ Essai de stabilité au tamis.....	37

I.19 Caractéristique d'un BAP a l'état durci .....	39
I.19.1 propriété mécanique des BAP .....	39
I.19.1.1 résistance mécanique.....	39
I.19.1.2 Module d'élasticité.....	39
I.19.1.3 Retrait.....	40
I.19.1.3.1 Retrait au jeune âge (0-24 heures).....	40
I.19.1.3.2 Retrait a l'état durci.....	40
I.19.1.4 Déformations et fluage .....	40
I.19.2 Propriétés physico-chimiques .....	41
I.20 Durabilité des bétons autoplaçants .....	41
I.20.1 L'Absorption capillaire .....	42
I.21 Conclusion.....	42
II.1 Introduction.....	44
II.2 Caractérisation des matériaux utilisé .....	44
II.2.1 Le ciment .....	44
II.2.2 L'eau .....	45
II.2.3 Les granulats .....	45
II.2.3.1 Le sable .....	45
II.2.3.2 Le gravier .....	46
II.2.4 Additions minérales .....	47
II.2.4.1 Filler de calcaire .....	47
II.2.4.2 L'adjuvant .....	48
II.2.4.3 Les scories.....	49
II.3 METHODES EXPERIMENTALES: approche de formulation des bétons de référence et d'étude par la méthode de DREUX-GORISSE.....	51
II.3.1 Essais de caractérisation des bétons a l'état frais.....	53
II.3.1.1 La mobilité et la capacité de remplissage : étalement au cône d'abrams sf (NF EN 12350-8)[66].....	53

II.3.1.2	L’aptitude a l’écoulement pl (boite en l) (NF EN 12350-10)[68] .....	55
II.1.3.1	Résistance a la ségrégation : stabilité au tamis (sr) (NF EN 12350-11)[69] .....	55
II.3.1.4	Essai d’affaissement au cône d’abrams (NF EN 12350-2) [70] .....	56
II.3.2	Caractérisation des BAP a l’état durci .....	57
II.3.2.1	Confection et conservation des éprouvettes .....	57
II.3.2.2	Choix des éprouvettes .....	58
II.3.2.3	Essais mécaniques .....	59
➤	Essai de compression simple NF EN 12390-3, 12 [71].....	59
➤	Essai de traction par fendage NF EN 12390-6, 12[72].....	60
II.4	Essai d’absorption d’eau par capillarite (NF EN 480-5 janvier 2006)[73].....	61
II.5	Conclusion .....	62
III.1	INTRODUCTION .....	64
III.2	Les données .....	64
III.3	Calculs de la composition des bétons .....	64
III.4	Conclusion .....	75
IV.1	Introduction.....	77
IV. 2	Caractéristiques des BAP et BO à l’état.....	77
IV.2.1	Essai d’étalement au cône d’Abrams (Slump flow).....	77
IV.2.2	Essai de la boite en L (LBOX) .....	78
IV.2.3	Essai de la stabilité au tamis :.....	78
IV.2.4	Essai d'affaissement au cône d'Abrams .....	79
IV.3	Propriétés a l’état durci.....	80
IV.3.1	Résistance mécanique.....	80
IV.3.1.1	Résistance à la compression .....	80
IV-3.1.2	Résistance traction par fendage.....	84
IV.4.	Vérification de l'absence de ségrégation .....	86
IV.5	Résultats des essais indicateurs de la durabilité des BAP et BO .....	88

IV.5.1	Essais d'absorption par capillarité.....	88
	Conclusion.....	89
	CONCLUSION GENERALE .....	90

## Table des figures

I.1 : Essai d'affaissement ou cône d'Abrams ou Slump-test : (NF P18-439) .....	14
I.2 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP .....	18
I. 3: complexe séurgique d'El-Hadjar .....	24
I.4: convertisseur a oxygène .....	25
I.5: Procédé de fabrication de l'acier .....	26
I.6 : Diagramme ternaire CaO - SiO <sub>2</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	27
I.7: (a) Pâte de ciment non adjuvantes, (b) Pâte de ciment additionnée d'un Superplastifiant.30	
I.8: essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow). .....	34
I.9: essai de la boîte en L (L-box test). .....	35
I.10: Essai J.Ring. ....	36
I.11: essai de stabilité au tamis .....	37
I.12 : essai d'absorption capillaire .....	41
II.1: la courbe granulométrique .....	46
II.2: Filler calcaire .....	47
II.3: Super plastifiant tecknachemSUPERIOR 9 WG .....	48
II.4: les scories avant le broyage granulats .....	49
II.5: les scories après le broyage poudre .....	49
II.6 : Etalement d'un BAP homogène, bonne répartition granulaire, sans signes apparents de séparation des phases en périphérie de la galette .....	53
II.7: Essai à la boîte en L en cours d'écoulement après remplissage de la partie verticale et ouverture de la trappe .....	54
II.8: Essai de stabilité au tamis pendant les deux minutes d'attente .....	55
II.9: essai d'affaissement au cone d'Abrams .....	56
II.10: Les éprouvettes immergées dans l'eau .....	57
II.11: essais de compression simple .....	58
II.12 : essais de traction par fendage .....	59
II.13 : le sciage des éprouvettes a l'aide d'une mèle .....	60
II.14 : essai d'absorption capillaire .....	61
III.1 : Courbe granulométriques BAP. ....	65
III.2 : courbe granulométriques BO. ....	71

IV. 1 : Influence du type et du taux de substitution de scories sur l'étalement BAP .....	76
IV.2 : Influence du type et du taux de substitution de scorie sur l'écoulement à la boîte en L des BAP .....	77
IV.3 : Influence du type et du taux de substitution de scorie sur la stabilité au tamis des BAP.....	78
IV.4 : Influence du type et du taux de substitution de scories sur l'affaissement sur BO ...	78
IV-5 : Résistance à la compression simple à 2 jours des BAP .....	79
IV-6 : Résistance à la compression simple à 7 jours des BAP .....	79
IV-7 : Résistance à la compression simple à 28 jours des BAP .....	80
IV-8 : Evolution de la résistance à la compression simple des BAP .....	80
IV-9 : Résistance à la compression simple à 7 jours des BO .....	81
IV-10: Résistance à la compression simple à 14 jours des BO .....	81
IV-11: Résistance à la compression simple à 28 jours des BO .....	82
IV-12 : Evolution de la résistance à la compression simple des BO .....	82
IV-13 : Evolution de la résistance à la compression simple des BO et BAP .....	83
IV-14: Résistance à la traction par fendage à 2 jours des BAP .....	83
IV-15: Résistance à la traction par fendage à 7 jours des BAP .....	84
IV-16: Résistance à la traction par fendage à 28 jours des BAP .....	84
IV-17 : Evolution de la résistance à traction par fendage des BAP .....	85
IV-18: Résistance à la traction par fendage à 28 jours des BO .....	85
IV-19: vérification de l'absence de ségrégation BAP témoin 0% scorie, 5% de scorie ....	86
IV-20 : vérification de l'absence de ségrégation 10 % scorie, 15% scorie .....	86
IV-21 : vérification de l'absence de ségrégation 20% scorie, 25% scorie .....	87
IV-22 : Cinétique de l'absorption par capillarité des BAP .....	87
IV-23 : Cinétique de l'absorption par capillarité des BO .....	88

## Liste des tableaux

I.1 : différents types de béton	7
I.2 : principaux Avantages et Inconvénients de l'Emploi du béton	8
I.3 : Classement des bétons selon la valeur Affaissement au cône d'Abram's	12
II. 1 : Compositions chimiques du ciment	43
II.2: Compositions minéralogiques du clinker	43
II. 3: Caractéristiques physiques du ciment	44
II. 4 : Analyse granulométrique de sable	44
II.5 : caractéristiques physique de sable	45
II.6 : analyse granulométrique de gravier 3/8	45
II. 7 : analyse granulométrique de gravier 8/16	45
II. 8: caractéristiques physique de g 3/8 et 8/16	46
II. 9: Composition chimique et caractéristiques physiques du filler calcaire	47
II.10 : composition chimique élémentaire de la scorie	48
II.11 : caractéristique physique de scorie	49
II.12: Critères de stabilité au tamis.	55
III-1 : les compositions des dosages du béton	66
III-2 : compositions des dosages du ciment et scorie	67
III.3 : dosage de super plastifiant	68
III-4 : récapitule les compositions des BAP d'étude retenues	69
III- 5 : Composition du béton ordinaire de référence	72
III- 6: récapitule les compositions des BO d'étude retenues	73

## INTRODUCTION GENERALE

### INTRODUCTION GENERALE

Avec une consommation mondiale annuelle d'un mètre cube par personne, le béton est le matériau le plus utilisé sur la planète

Le béton est en réalité un matériau composite avec une grande diversité d'applications et des méthodes de formulation. Les bétons font l'objet de beaucoup de recherche en effet, la relation entre la composition du béton et sa résistance mécanique a intéressé les chercheurs depuis toujours

L'industrie de la construction se tourne de plus en plus vers l'utilisation de béton auto-plaçant (BAP) afin d'améliorer de nombreux aspects de la construction de bâtiments, car le BAP offre plusieurs avantages sur les plans technique, économique et environnemental. Sous son propre poids, le béton auto-plaçant frais s'écoule en place et autour des obstructions pour remplir complètement le coffrage et s'auto-compacter sans ségrégation ni blocage.

L'évolution rapide dans le domaine de construction dans notre pays a confronté des difficultés à cause de la consommation élevée en matériaux de construction

Pour résoudre le problème de manque des matériaux à cause de la demande élevée et l'arrêt des usines par fois, des recherches sont menées en vue de réaliser des matières se prêtant à des changements dans leur composition par des constituants locaux qui peuvent concurrencer ou remplacer les matériaux habituels ou classique

On tenant compte que les scories d'aciérie ont déjà données des bons résultats comme addition dans les bétons par des recherches précédentes en remplacement des filler de calcaire, il apparait que c'est un choix intéressant pour faire d'autre recherche et de trouver d'autre utilisation dans les bétons

Ce déchet industriel, "fabriqué dans le complexe sidérurgique d'EL-HADJAR" a plusieurs aspects positifs comme : la disponibilité, le faible coût, et aussi son utilisation est bénéfique pour la protection de l'environnement

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la scorie en substitution partielle du ciment sur les propriétés rhéologique (état frais) et mécanique (état durcis) dans les bétons auto-plaçant et les bétons ordinaires

## INTRODUCTION GENERALE

Dans cette étude nous avons fait quatre chapitres :

**le premier chapitre** de ce travail est consacré aux connaissances actuelles des propriétés des bétons ordinaires et bétons autoplaçants (BAP). Les méthodes de caractérisation des différentes propriétés de ces bétons sont présentées

Il contient des notions générales sur les différentes additions et leur influence sur les bétons spécialement le BAP. Et les notions générales sur les scories, leur méthode de fabrications et leurs utilisations dans domaine génie civil

**Le deuxième chapitre** est consacré à l'expérimentation, nous présentons dans cette partie les méthodes d'essai réalisé ainsi que les caractérisations des matériaux utilisé.

**Dans le troisième chapitre** on s'intéresse a la présentation des matériaux et des méthodes utilisé pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre programme d'études

**En fin le quatrième chapitre** présente les résultats obtenus des essais sur les bétons à leur états frais et l'état durci, ainsi que les discussions et les interprétations

<u>I. GENERALITES SUR LES BETONS</u> .....	6
<u>I.1 Définition du béton</u> .....	6
<u>I.2 le béton dans l’histoire</u> .....	6
<u>I.3 Les types de béton</u> .....	7
<u>I.3.1 Principaux avantages et inconvénients du béton :</u> .....	9
<u>I.5 CONSTITUANTS DES BETONS ORDINAIRE :</u> .....	10
<u>I.5.1 Le ciment</u> .....	10
<u>I.5.3 Les granulats</u> .....	12
<u>I.6 Approches de formulation du béton ordinaire</u> .....	12
<u>I.6.1 Méthode de DREUX-GORISSE</u> .....	13
<u>I.7 Classes de consistance du béton</u> .....	13
<u>I.8 Propriétés du béton ordinaire</u> .....	14
<u>I.8.1 Le béton frais</u> .....	14
<u>I.8.2 Le béton durci</u> .....	15
<u>I.9 Les bétons autoplaçants</u> .....	16
<u>I.10 Historique des bétons autoplaçants</u> .....	17
<u>I.11 Composition des bétons autoplaçants</u> .....	18
<u>I.12 Mode d’utilisation des bétons autoplaçants</u> .....	19
<u>I.13 Les avantages des bétons autoplaçants</u> .....	20
<u>I.14 Les inconvénients des bétons autoplaçants</u> .....	21
<u>I.15 Constituants d’un béton auto plaçant</u> .....	21
<u>I.15 Les additions minérales</u> .....	22
<u>I.15.1 Les avantages des additions minérales :</u> .....	22
<u>I.15.2 Les fillers calcaires :</u> .....	22

<u>I.15.3 Fumée de silice</u> .....	23
<u>I.15.4 Le laitier de haute Fournaux</u> .....	23
<u>I.15.5 Autres additions</u> .....	24
<u>I.15.6 Les scories d’aciérie</u> .....	24
<u>I.15.6.1 L’origine de scories d’aciérie</u> .....	25
<u>I.15.6.2 Composition chimiques et minéralogiques des scories d’acier</u> .....	28
<u>I.15.6.3 L’utilisation des scories d’aciérie dans le génie civil :</u> .....	28
<u>I.16 Les adjuvants chimiques</u> .....	29
<u>I.16.1 LES SUPER PLASTIFIANTS</u> .....	30
<u>I.16.2 L’agent colloïdal ou de viscosité</u> .....	31
<u>I.17 Approches de formulation des bétons autoplçants</u> .....	32
<u>I.17.1 Approche japonaise basée sur l’optimisation du mortier</u> .....	32
<u>I.17.2 Approche suédoise</u> .....	33
<u>I.17.3 Approche du laboratoire central des ponts et chaussées LCPC</u> .....	34
<u>I.18 Caractéristique d’un BAP a l’état frai</u> .....	34
<u>I.18.1 Mobilité en milieu non confine</u> .....	35
➤ <u>Essai d’étalement</u> .....	35
<u>I.18.2 Mobilité en milieu confiné</u> .....	36
➤ <u>Essai de la boîte en l (l-box test)</u> .....	36
➤ <u>Essai j-ring</u> .....	37
<u>I.18.3 stabilité</u> .....	37
➤ <u>Essai de stabilité au tamis</u> .....	37
<u>I.19 Caractéristique d’un BAP a l’état durci</u> .....	39
<u>I.19.1 propriété mécanique des BAP</u> .....	39

<u>I.19.1.1 résistance mécanique</u> .....	39
<u>I.19.1.2 Module d'élasticité</u> .....	39
<u>I.19.1.3 Retrait</u> .....	40
<u>I.19.1.3.1 Retrait au jeune âge (0-24 heures)</u> .....	40
<u>I.19.1.3.2 Retrait a l'état durci</u> .....	40
<u>I.19.1.4 Déformations et fluage</u> .....	40
<u>I.19.2 Propriétés physico-chimiques</u> .....	41
<u>I.20 Durabilité des bétons autoplaçants</u> .....	41
<u>I.20.1 L'Absorption capillaire</u> .....	42
<u>I.21 Conclusion</u> .....	42

## **I. GENERALITES SUR LES BETONS**

### **I.1 Définition du béton**

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant.

Le liant peut être " hydraulique " (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment. On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux. Le coulis est un mélange très fluide de ciment et d'eau. Enfin, lorsque les agrégats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de mortier (sauf si l'on optimise la courbe granulométrique du sable et dans ce cas on parle de béton de sable)[1]

### **I.2 le béton dans l'histoire**

Si l'on s'en tient à la définition du béton, mélange d'un liant et de granulats, son usage remonte à la haute Antiquité (3 000 à 700 avant J.-C.), avec les mélanges à base d'argile en Mésopotamie notamment. Mais ce matériau se dégradant rapidement, peu de vestiges attestent son utilisation.[2]

Le « véritable » béton, au sens où nous l'entendons aujourd'hui, c'est-à-dire un mélange de ciment et de granulats, est utilisé dès l'époque romaine : les nombreux bâtiments de la Rome antique encore visibles témoignent de la résistance de leurs constructions.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, grâce à l'industrialisation de la fabrication du ciment, de nombreuses avancées successives assurent le succès du béton. Un jardinier créatif, Joseph Monier (1823-1906) dépose, entre 1867 et 1891, plusieurs brevets décrivant un système de construction à base de fer et de ciment, destiné à fabriquer des jardinières, tuyaux et réservoirs à eau. Il est l'inventeur du « ciment armé ».

François Coignet (1841-1888) imagine alors en 1852 le béton armé et construit le tout premier immeuble en béton coulé avec fers profilés enrobés, à Saint-Denis, en région parisienne.

Les brevets se succèdent. En 1867, un immeuble en béton aggloméré est breveté à Paris par François Hennebique (1842-1921). Celui-ci imagine ensuite la première dalle en béton

deciment armé de fers ronds (1880), les poutres creuses en béton armé (1892), le pilote en béton armé à ligatures rapprochées (1896)...

La composition du béton est fixée en 1906 par un règlement, selon lequel 1 m<sup>3</sup> de béton ordinaire est fabriqué à partir de 350 kg de ciment, 590 kg de sable, 1 180 kg de gravier, et 210 litres d'eau.

Mais les déclinaisons et applications du béton se multiplient au XXe siècle : béton à poudres réactives, plus résistant, béton précontraint, contenant des câbles d'acier en tension, **béton** allégé, grâce à des billes de polystyrène...

Enfin, apparaissent à la fin des années 1980 les bétons hautes performances (BHP), puis les bétons autoplaçant et les bétons fibrés à ultra hautes performances. La famille des bétons ne cesse de s'agrandir.[2]

### **I.3 Les types de béton**

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution. Le béton est un matériau dont la composition peut évoluer. On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées. En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous ses différentes formes, répond à nos besoins

**Tableau I:** différents types de béton[3]

	<b>Caractéristiques</b>	<b>Exemples de dosages pour 1m<sup>3</sup> de béton</b>	<b>Applications</b>
<b>Le béton léger</b>	Composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air.	Ciment : 400 kg ; Billes PSE : 350 L ; Sable : 950 kg ; Eau : 170 L ; Adjuvant : 1 à 4%	Hourdis, cloisons, réhabilitation de bâtiment anciens, remplissages
<b>Le béton lourd</b>	Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite)	Ciment : 250 kg ; Hématite 0/1 mm : 1000 kg ; Hématite 0/5 mm : 900 kg ; Hématite 8/25 mm : 1700 kg ; Eau : 120 L	Protection contre les radiations, réalisation de contrepoids
<b>Le béton autoplaçant</b>	Ajout d'adjuvants tels que des super-plastifiants et des agents de viscosité dans la composition. Béton très fluide se mettant en place sans avoir recours à un système de vibration.	Ciment : 350 kg ; Sable : 800 kg ; Gravillons : 900 kg ; Fines 200 kg ; Eau : 180 L	Radier, fondations, sols industriels
<b>Le béton fibré</b>	Ajout de fibres de nature, dimension et forme différentes. Réparties de manière homogène dans le mélange, ces fibres améliorent certaines caractéristiques du béton (résistance à la traction, tenue au feu).		Dalles, sols industriels, poutres, tuyaux
<b>Les bétons décoratifs</b>	Leur composition évolue en fonction des caractéristiques recherchées.	Béton lavé : Ciment : 300 kg ; Granulat : 800 kg ; Sable semi-fin : 400 L ; Eau : 160 L	Murs, terrasses, dalles, allée, trottoirs

<b>Les bétons hautes performances</b>	Bétons aux résistances accrues, très peu poreux. Plus durables.	Dépend du BHP	Ponts, centrales nucléaires, ouvrages de grande ampleur
---------------------------------------	---	---------------	---

### I.3.1 Principaux avantages et inconvénients du béton :

**Tableau I.2 :** Principaux Avantages et Inconvénients de l'Emploi du béton [10].

<b>Les avantages de béton</b>	<b>Les inconvénients de béton</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• résistance, durabilité, longévité résilience sans égal</li> <li>• efficacité énergétique maximisée grâce à sa masse thermique</li> <li>• durabilité dans tout environnement</li> <li>• un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrait pas.</li> <li>• Sûreté et sécurité</li> <li>• versatilité — il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables</li> <li>• n'émet pas de gaz</li> <li>• excellente isolation aux vibrations et au son</li> <li>• faibles coûts d'entretien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible résistance à la traction.</li> <li>• Le placement d'un revêtement de façade lourd (brique, pierre naturelle...) entraîne des coûts considérables, notamment pour les fondations plus épaisses et les linteaux de fenêtre.</li> <li>• Coffrages nécessaires pour sa mise en œuvre. Sa destruction entraîne un cout élevé (en cas de démolition) et n'est pas ou peu recyclable.</li> <li>• Les adeptes d'architecture écologique apprécient moins, même si le béton est entièrement recyclable</li> </ul>

### I.4 Le béton ordinaire

Pour les bétons ordinaires, les granulats sont des grains de pierres (sable, gravier, cailloux) et le liant est le ciment (généralement un ciment portland) qui fait prise par hydratation. La

réaction chimique qui permet au béton de faire prise est lente (50% de la résistance finale au bout de 7 jours). La valeur prise comme référence dans les calculs est celle obtenue à 28 jours (80% de la résistance finale).

Ce type de béton est utilisé pour de très nombreux ouvrages du bâtiment et du génie civil, structures, murs, ponts...etc. le béton courant est un mélange de plusieurs composants (ciment, granulats, eau) ; qui constituent un ensemble hétérogène ils présentent une masse volumique de 2500 Kg/m<sup>3</sup> environ [10]

## **I.5 CONSTITUANTS DES BETONS ORDINAIRE :**

### **I.5.1 Le ciment**

Le ciment usuel est appelé liant hydraulique, car il a la propriété de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

- En fonction de leur composition :

La norme européenne NF197-1<sup>[3]</sup> donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq principaux types à savoir:

- CEM I: Ciment Portland(CPA);
- CEM II: Ciment Portland(CPJ);
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF);
- CEM IV : Ciment Pouzzolanique (CPZ);
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique.

Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20% [4].

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de celle cuisson (clinkérisation) sont :

- Le silicate tricalcique,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , que l'on écrit C3S ;
- Le silicate bi calcique,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , que l'on écrit C2S ;
- L'aluminate tricalcique,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , que l'on écrit C3A ;
- L'aluminoferrite tetracalcique,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , que l'on écrit C4AF.

Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium.

Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, hémi hydrates, anhydrite)[5].

### **I.5.2 l'eau**

L'eau de gâchage est essentielle pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, notre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées[6], au-delà des tolérances réglementaires suivantes [7] :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance ;
- 5 g/l pour les bétons à faibles résistances ;

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons à haute résistance ;
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances ;

### **I.5.3 Les granulats**

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturel ou artificiel [NF P 15-010] [8]. Les dimensions de ces granulats varient d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540[9] donne une définition des principales divisions granulométriques des granulats :

- **Sable** avec  $1 \text{ mm} < D = 6,3 \text{ mm}$
- **Gravillon** avec  $d = 1 \text{ mm}$  et  $D = 125 \text{ mm}$
- **Gravier** avec  $D > 6,3 \text{ mm}$ .

Ils proviennent dans la plupart des cas des roches naturelles. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau. La forme, la texture de la surface et la concentration en granulats influent d'une manière considérable sur le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci [10].

### **I.6 Approches de formulation du béton ordinaire**

Formuler un béton, c'est trouver un arrangement des divers constituants répondant à un cahier des charges donné.

La formulation de la majorité des bétons est généralement établie pour atteindre les objectifs suivants :

- **la stabilité** et la résistance mécanique.
- **La résistance** aux contraintes externes.
- **L'hygiène**, la santé et l'environnement.
- **La sécurité** en cas d'incendie.
- **La protection** contre le bruit (isolation acoustique).
- **L'économie** d'énergie et l'isolation thermique [11].

La formulation définir par une méthode de calcul les proportions optimum d'un mélange granulaire. Tous se jouer ont alors sur la meilleure granularité possible.

Effectivement la plupart des méthodes sont fondées sur la recherche d'une courbe granulométrique de référence conduisant à ce minimum de vide inter granulaire. En vérité, il n'existe pas une composition type, mais des méthodes de composition (FAURY, BOLOMEY, VALLETTE, DREUX- GORISSE,...) sont toutes basées sur une adaptation de résultats expérimentaux. Parmi elles, nous utilisant souvent la méthode dite DREUX-GORISSE.

### **I.6.1 Méthode de DREUX-GORISSE**

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton. Plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats (D).

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport E/C [12]

### **I.7 Classes de consistance du béton**

Il existe 5 différentes classes de consistance des bétons référencés par la norme

NF EN 206-1 [13] Ces classes sont définies par les essais d'affaissement du béton au cône d'Abrams.

**Tableau I.3 :** Classement des bétons selon la valeur Affaissement au cône d'Abram's.

<b>Classe</b>	<b>Consistance de Béton</b>	<b>Affaissement En mm Au cône d'Abram's</b>
<b>S1</b>	Ferme	10-40
<b>S2</b>	Plastique	50-90
<b>S3</b>	Très Plastique	100-150
<b>S4</b>	Fluide	160-210

## I.8 Propriétés du béton ordinaire

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

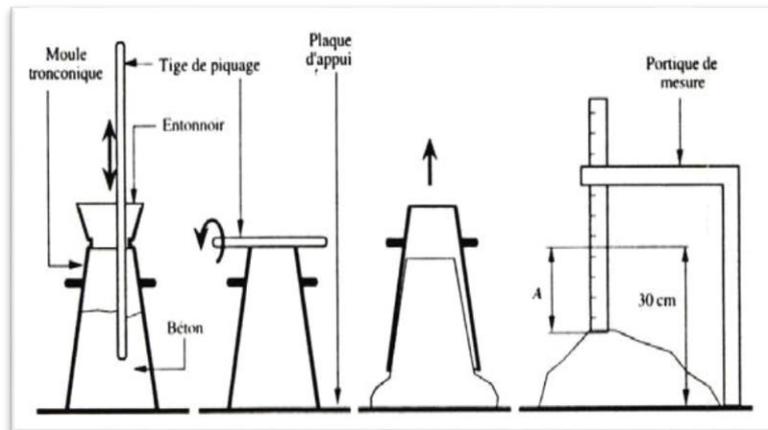
### I.8.1 Le béton frais

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, c'est à dire son aptitude à remplir n'importe quel volume (coffrage ; moule...) et à enrober convenablement les armatures. A la clé, une grande liberté déforme.

- La consistance d'un béton est la grandeur qui caractérise son ouvrabilité
- La composition du béton et les moyens de sa mise en œuvre doivent être appropriés
- La teneur en eau doit être limitée au minimum compatible avec les exigences d'ouvrabilité [14]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité, il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. [15]

Cet essai est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. C'est un essai essentiellement statique et assez limité dans sa plage de mesure pour les bétons très secs et pour les bétons très fluides. L'appareillage est complètement montré dans la **Figure I.1** et décrit dans la norme NF P 18-439[16].



**Figure I.1 :** Essai d'affaissement ou cône d'Abrams ou Slump-test : (NF P18-439)

### I.8.2 Le béton durci

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- La durabilité.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées [17].

Le béton offre une grande pérennité face aux agressions physico-chimiques du milieu environnant (gel, pluie et pollution atmosphérique....). Il est particulièrement adapté pour la réalisation d'ouvrages devant résister à des conditions difficiles et extrêmes.

- La porosité et la compacité.
- Ces propriétés conditionnent les deux premières. Plus un béton est compact (ou moins, il est poreux), plus ses performances seront élevées et sa durabilité importante.
- On améliore la compacité du béton en optimisant la dimension et l'empilement des granulats et en réduisant la quantité d'eau.
- La tenue au feu.

- La capacité d'isolation thermique et acoustique
- La résistance au choc [18].

### **I.9 Les bétons autoplaçants**

Le béton autoplaçant se distingue principalement du béton ordinaire par ses propriétés à l'état frais. En effet, le béton autoplaçant est un béton fluide et parfaitement homogène qui se met en place sans vibration. Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage [19].

Il est capable de s'écouler sous son propre poids quel que soit le confinement du milieu et reste homogène au cours l'écoulement et une fois mis en place (absence de ségrégation dynamique et statique)[20].

Grâce à son homogénéité, sa résistance à la ségrégation, et sa stabilité ce béton garantit des structures résistantes et durables. Pour obtenir un béton fluide il ne s'agit pas d'ajouter de l'eau, au contraire, une telle manipulation conduit à des phénomènes de ségrégation entraînant une chute des performances.

Il s'agit de trouver la composition optimale entre les différents constituants (gravier, sable, ciment, eau, ajouts et adjuvants), et de garantir l'absence de ségrégation et de ressuage [21].

Pour parvenir à les BAP sont formulés différemment des bétons ordinaires. Ils comportent un fort dosage en sable, en ciment et en éléments fins, ainsi que des ajouts chimiques et minéraux qui permettent de modifier leurs propriétés. Les granulats utilisés doivent être de diamètre limité pour prévenir la formation des voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement [22].

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau

libre. Aussi une bonne stabilité est liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de la chaleur et le risque de nuire à la capacité de remplissage [23].

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir la résistance à la compression recherchée. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires [24].

D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation [25,26].

Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. Autrement dit, en plus de garantir un étalement compris entre **550** et **750** mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité ne réduise pas les performances mécaniques du béton [27, 28].

En effet, l'utilisation d'un agent colloïdal peut augmenter l'air occlus dans des proportions suffisantes pour réduire significativement la résistance du béton.

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires notamment par leurs propriétés à l'état frais [29].

Ces propriétés se caractérisent principalement par :

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

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

### **I.10 Historique des bétons autoplaçants**

Les bétons autoplaçant sont des bétons spéciaux à haute performance qui se caractérisent essentiellement par leur fluidité à l'état frais et leur homogénéité à l'état durci.

Ces bétons ont la capacité de se mettre en place sous l'effet de la gravité, sans apport de vibration même dans les coffrages très ferrailés.

L'idée de ces bétons a été lancée vers le milieu des années 1980 par des chercheurs de l'université de Tokyo, puis a été rapidement reprise par les grands groupes industriels Japonais Kajima, Taisei, Obayashi, et pour des projets d'envergure [30].

L'essor important de ce type de bétons se justifie par le fait qu'ils présentent deux intérêts technico-commerciaux :

- **Facilité de mise en place** : diminution du temps de réalisation, diminution du personnel donc du coût de la main-d'œuvre ; ainsi que la possibilité d'utiliser des coffrages de formes complexes et de forte densité d'armatures.
- **Amélioration de la qualité du béton** (résistance et durabilité), qui est indépendante du savoir-faire des ouvriers.

L'intérêt des autres pays pour ce type de béton n'est apparu qu'après quelques années, mais il est en plein essor. En France le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) se penche sur la question au début des années 90. Les premières applications en grandeur réelle sont réalisées au début de 1988, à Brest, sur le chantier d'extension du parc de loisirs Océan polis pour des voiles courbes de grande hauteur fortement ferrailés. Aussi lors de la construction d'un collège dont les façades sont inclinées, à géométrie complexe, et des formes non répétitives excluant toute possibilité de préfabrication.

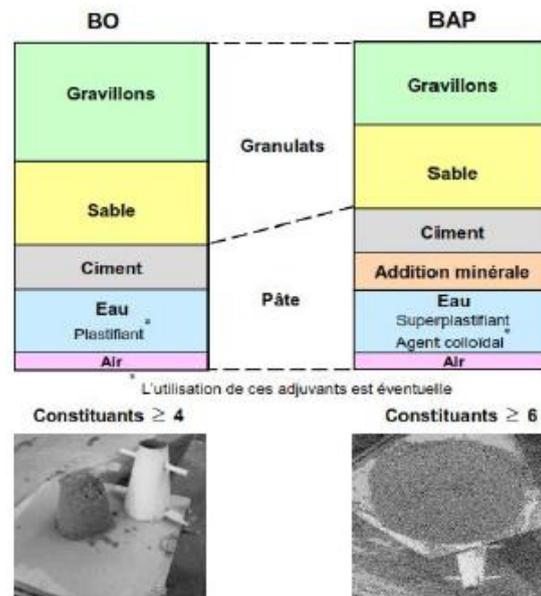
Les chercheurs et les industriels Japonais n'ont pas tout de suite publié leurs recherches. La viabilité des bétons autoplaçant devait être prouvée. Plusieurs équipes de recherche et de développement s'y sont consacré. Des réalisations en vraie grandeur ont confirmé le travail mené au Japon depuis plus de dix ans.

Le challenge actuel consiste à maîtriser la formulation du béton autoplaçant dans plusieurs classes de résistance pour un prix compétitif, en prenant en compte d'une part le cahier des charges intégrant les performances rhéologiques et d'autre part les techniques et matériaux disponibles[31].

### **I.11 Composition des bétons autoplaçants**

Les BAP ont des compositions granulométriques fortement chargées en éléments fins. Des

adjuvants de type (super plastifiants), ou plastifiants (réducteurs d'eau) sont utilisés systématiquement. Le rapport E/C+f, facteur principal dans la qualité d'un BAP, est voisin de 0,35[32].



**Figure I.2 :** Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [32]

### I.12 Mode d'utilisation des bétons autoplaçants

Depuis son développement au Japon en 1989 comme une extension de la technologie de bétonnage sous l'eau, le nombre d'ouvrages réalisés avec le BAP ne cesse d'augmenter surtout au Japon où l'utilisation de ce produit est devenue populaire dans le domaine de construction.

Le BAP a vu aussi une grande utilisation dans le monde entier, en Asie, en Europe, et en Amérique dans plusieurs domaines de la construction.

Ces domaines comprennent le bâtiment, le génie civil, les tunnels, la préfabrication, et les travaux d'assainissement et de réhabilitation.

Leur utilisation est plus délicate sur site car les BAP sont particulièrement sensibles aux variations de teneur en eau. Or, bien que la production soit contrôlée, les lots de matériaux peuvent avoir des caractéristiques légèrement différentes. En effet, la formulation des BAP

est particulière : utilisation d'adjuvants et d'additions minérales. Leur sensibilité en ce qui concerne le dosage et la teneur en eau, la qualité et la régularité des composants ainsi que les conditions de malaxage, nécessite donc la mise en place d'un suivi plus important. Nous verrons que les différentes précautions à prendre sur chantier et que la composition même du matériau peuvent entraîner un surcoût.

Les chantiers, où la solution BAP a été retenue, montrent l'intérêt de ces bétons. Les motivations de ce choix les plus couramment rencontrées sont la facilité de mise en œuvre, la réduction des délais et la qualité des parements. On peut citer quelques ouvrages réalisés en BAP :

- Les voiles de 16 m de hauteur sur 30cm d'épaisseur de la salle principale du cinéma mk2 Bibliothèque, à Paris
- Les massifs d'éoliennes à Plou gras, comportant une densité d'armature importante
- Le barrage Belbezet, nécessitant une consolidation des parois rocheuses et l'obstruction de cavités.[33]

### **I.13 Les avantages des bétons autoplaçants**

Le béton autoplaçant représente un surcoût par rapport à un béton classique, mais présente beaucoup d'avantages qui le rendent économique et largement compétitif, parmi lesquels :

- Ils présentent des résistances et des durabilités analogues à celles des bétons traditionnels ou à celles des Bétons à Hautes Performances mis en œuvre par vibration. Pour être utilisés en structure, ils doivent être conformes à la norme NF EN 206-1[33].

- Les prescriptions et normes de conception et de dimensionnement des structures s'appliquent aux BAP ; Avec comme principaux objectifs :

- La suppression des opérations coûteuses en main d'œuvre (vibration, tirage à la règle, ragréage, etc.).

- Diminution de la pénibilité du travail et suppression de l'apparition du syndrome du vibreur

- Rendements améliorés et exécution plus rapide

- **R**éduction des nuisances sonores durant l'exécution
- **L**iberté accrue des formes de coffrage
- **B**éton de qualité et surface plane et régulière
- **F**acilité de bétonnage des formes complexes
- **Q**ualité accrue des surfaces de béton
- **F**acilité de bétonnage des éléments avec une armature dense ou importante
- **R**emplissage de parties difficilement accessible

### **I.14 Les inconvénients des bétons autoplaçants**

Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire [34].

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame donc un étroit partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [35].

### **I.15 Constituants d'un béton auto plaçant**

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), qui sont les mêmes matériaux de base de béton ordinaire et aussi les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques[36].

### **I.15 Les additions minérales**

Une addition minérale est définie par la norme européenne EN 197-1[37] comme étant un matériau minéral finement divisé pouvant être partiellement substituées au ciment pour améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières [38].

Il existe deux catégories des ajouts minérales :

- Les fines actives : additions à caractère Pouzzolanique ou hydraulique latent (cendres Volantes, fumée de silice, laitier...etc.).
- Les fines inertes: comme les fillers calcaires, l'objectif de leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance.

#### **I.15.1 Les avantages des additions minérales :**

- **Avantages économiques et environnementaux**

L'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO<sub>2</sub> de l'industrie cimentière dans la nature.[39]

- **Avantages techniques**

- Améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons, en raison de leurs petites dimensions.
- Limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble.
- Les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.[39]

#### **I.15.2 Les fillers calcaires :**

Ce sont des poudres de roche (calcaire ou siliceuse) obtenue par broyage et/ou sélection, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18-508[40] et NF P18-509[41] respectivement pour les fillers calcaires et siliceux.

La demande en eau des fines siliceuse telles que le quartz est supérieure à celle des fillers

calcaires d'usage plus courant dans les bétons. Ceci est dû à la forme anguleuse des particules de quartz. En plus de leur effet physique, des études sur les fillers calcaires, ont montré qu'ils présentent une certaine activité physico-chimique, qui favorise l'accélération de l'hydratation du clinker par la création de sites de nucléation (germination) hétérogène, notamment, lorsque l'addition est finement broyée. Néanmoins, l'effet n'est remarquable que seulement au jeune âge. D'après les mêmes études, le calcaire réagit avec les aluminates du ciment pour former des carbo- aluminates de calcium hydratés, qui sont favorables à la durabilité du matériau. À long terme, les fillers siliceux peuvent contribuer faiblement à une réaction Pouzzolanique[42].

### **I.15.3 Fumée de silice**

Il s'agit d'un sous-produit de la fabrication du silicium métal et de ses alliages, en particulier du Ferro-silicium, la fumée de silice obéit à la norme [NF EN 13263-1] Elle se

Caractérise par un diamètre des particules sphériques ultra fines (entre 0,01 et quelques micromètres) et par une teneur en silice amorphe de plus de 90%. L'emploi de la fumée de

Silice doit se faire conjointement avec un fluidifiant du type super plastifiant afin de remédier à l'agglomération causée par sa finesse. Une bonne dispersion, permet aux particules de la fumée de silice de se placer entre les interstices des grains de ciment, diminuant ainsi la quantité d'eau nécessaire au mélange. L'utilisation de la fumée de silice conduit à des bétons extrêmement compacts à caractéristiques mécaniques élevées et une résistance nettement renforcée vis-à-vis des milieux agressifs [43].

### **I.15.4 Le laitier de haute Fournaux**

Le laitier granulé de haut fourneau est un matériau hydraulique latent, c'est-à-dire qui présente des propriétés hydrauliques lorsqu'il subit une activation convenable. Le remplacement d'une partie du ciment par des laitiers de hauts fourneaux permet globalement de réduire le seuil de cisaillement et la viscosité des pâtes de ciment [44, 45]. Shi et al.[46] montrent par exemple que les laitiers de hauts fourneaux adsorbent le super plastifiant. Il est donc possible que la demande en super plastifiant soit plus importante pour obtenir une même fluidité ou valeur de seuil de cisaillement, fluidité ou valeur de seuil de cisaillement.

### **I.15.5 Autres additions**

En plus des additions minérales indispensables caractérisant la composition de la pâte de ciment du BAP, les additions inertes suivantes sont aussi parfois utilisées :

- Les pigments pour la coloration d'éléments architectoniques
- Les fibres d'acier comme armature constructive
- Les fibres de polyéthylène (fibres PE) pour améliorer la résistance au feu
- Les fibres de polyéthylène ne (fibres PP) pour empêcher les fissures de retrait plastique.

### **I.15.6 Les scories d'aciérie**

Avec l'augmentation de la production mondiale en acier, les volumes des scories d'aciéries ont augmenté aussi. Ceux-ci sont souvent mis en décharge ou gardés en stocks internes dans les usines. Ces types de sous-produits contiennent des matières nocives et métaux lourds qui peuvent avoir potentiellement un impact sur l'environnement.

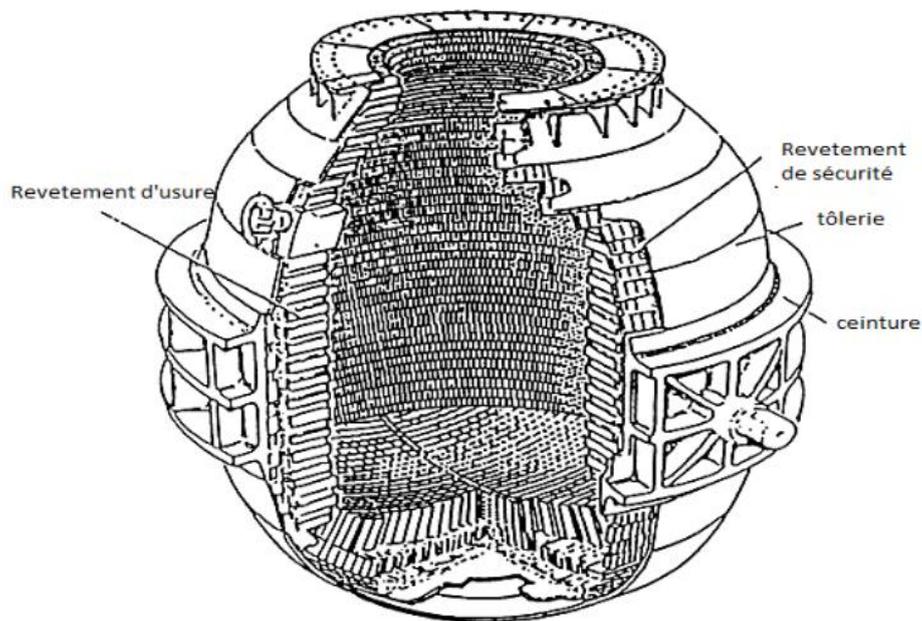
- De nombreux travaux de recherches ont été menés dans le monde en vue de trouver des voies d'utilisations aux scories. Les plus répandues parmi celles-ci dans le domaine de génie civil.  
.[47]



**Figure I 3** : complexe sidérurgique d'EL-HADJAR

### **I.15.6.1 L'origine de scories d'aciérie**

- L'acier fabriqué en Algérie (complexe sidérurgique d'El-Hadjar) par est obtenu par deux procédés : en four électrique et dans un convertisseur à oxygène (**Figure I.13.1**). La grosse quantité est élaborée dans le convertisseur plus connu par le procédé d'élaboration L.D (Lintz–Donawitz).



**Figure I.4 : Convertisseur à oxygène**

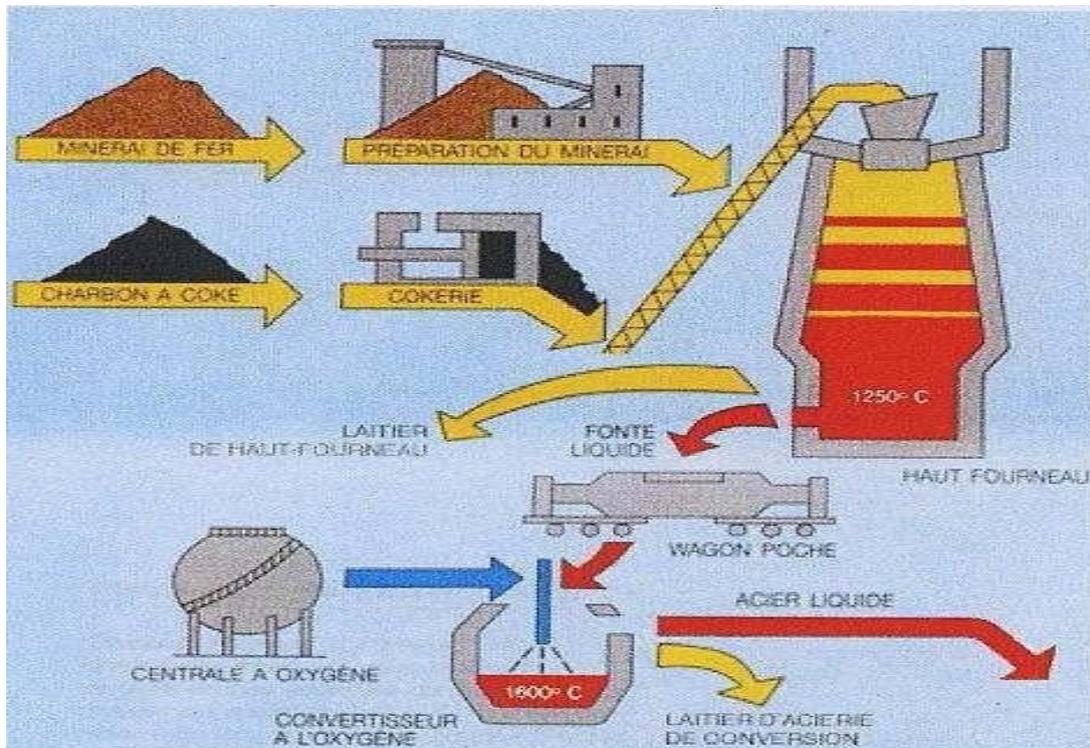
L'utilisation des convertisseurs LD dans les usines sidérurgiques tient à se généraliser pour remplacer les anciens procédés d'élaboration de l'acier

Ce type de four est moins coûteux aussi bien à l'implantation qu'à l'exploitation. Le procédé LD peut traiter uniquement des fontes pauvres en phosphore vu le caractère de son garnissage qui est basique les fontes riches en phosphore sont traitées par les procédés dérivés de LD tels que le procédé LDAC. [48]

Ce processus consiste à affiner la fonte hématite en fusion et en présence de chaux, d'oxygène et éventuellement de ferraille. Ce procédé mis au point vers les années 1950 en Autriche. Les scories se présentent sous la forme d'une roche basique, constituée principalement de chaux, d'oxyde de fer et de silice. Pour une tonne de fonte, on ajoute 75 à 80 Kg de chaux et dolomie ; la quantité de scorie produite est environ 140 à 160 Kg pour une tonne de fonte.

Durant le processus, se produit une combinaison du carbone avec l'oxygène pour former de l'oxyde de carbone. La chaux absorbe la silice et le phosphore après séparation de gangue et de l'acier, différents adjuvants chimiques sont ajoutés en poche afin d'obtenir la nuance

d'acier souhaitée..



• **Figure I.5 :** Procédé de fabrication de l'acier.[47]

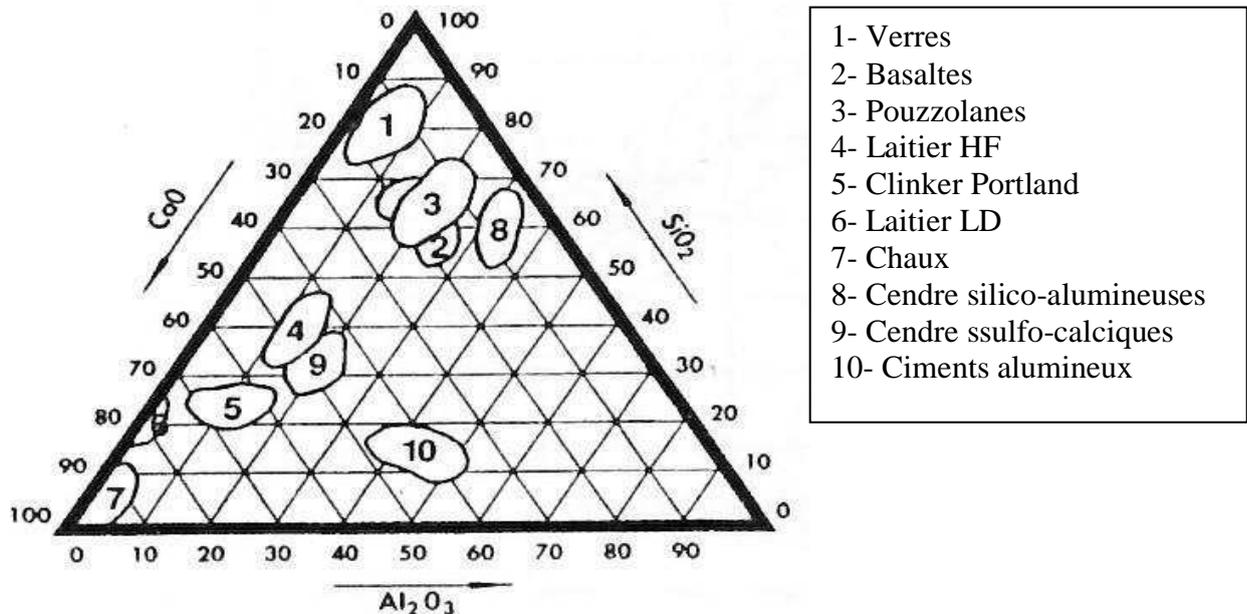
Un tel procédé génère une gangue industrielle appelée scorie LD (et parfois appelée **laitier LD**) qui comprend la majorité de cette chaux libre. Ce matériau qui sort à l'état liquide du convertisseur est d'abord refroidi à l'eau, ensuite passé sous séparateur de métaux et criblé sans concassage pour finalement obtenir des calibres de granulats pierreux, stockés à l'air libre.

La fraction fine appelée « fines de scorie LD » est particulièrement riche en chaux sous forme de CaO ou de Ca(OH)<sub>2</sub> est présente des caractéristiques intéressantes pour le traitement des sols.

Après refroidissement en fosse, le laitier LD est acheminé pour maturation vers un stock intermédiaire sur le crassier pendant environ une année. Il est ensuite dé ferrillé, concassé et criblé. Le principe La fraction fine appelée « fines de scorie LD » est particulièrement riche

en chaux sous forme de CaO ou de Ca (OH)<sub>2</sub> est présente des caractéristiques intéressantes pour le traitement des sols. [47]

**I.15.6.2 Composition chimiques et minéralogiques des scories d’acier**



La composition chimique élémentaire selon le diagramme ternaire (CaO - SiO<sub>2</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de Rankine (**Figure I.6**) classe les scories d’aciérie proche du domaine de la représentation du ciment. Cette composition peut varier du fait de la variété des fontes traitées et des techniques d’affinage.[47]

**Figure I.6 :** Diagramme ternaire CaO - SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**I.15.6.3 L’utilisation des scories d’aciérie dans le génie civil :**

Basé sur la spécification des Travaux autoroute [Volume SSME 1] et le Manuel de conception des ponts et chaussées [HD 35/04], de scories d’aciérie peut être recyclé dans :

- Matériaux liés bitume - scories d’aciérie peuvent être utilisés dans les mélanges bitumineux (couche de base, couche de liaison bien sûr surface).
- On notera en particulier l'utilisation de scories d’aciérie globale au sein de l’asphalte fine surface en raison de sa résistance au polissage bénéfique haute et la forme

globale. Un degré d'altération est nécessaire pour stabiliser le matériau volumétriquement avant utilisation

- Litière de Pipe - scories d'aciérie approprié peut être utilisé comme matériau de lit de pose en supposant qu'il respecte les exigences de notation appropriés et du matériel.
- Dalle de fondation
- En briqueterie
- En technique routière
- En terrassement[49]

### **I.16 Les adjuvants chimiques**

Les adjuvants chimiques sont des agents organiques ou inorganiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de liant, provoquent des modifications de certaines propriétés de ceux-ci comme la rhéologie, les propriétés mécaniques et la durabilité.

L'utilisation des adjuvants avait commencé déjà du temps des Romains et des Grecs qui les ajoutaient au mélange de la chaux et des pouzzolanes pour édifier leurs constructions. À cette époque les adjuvants du béton étaient le sang et le blanc d'œuf.

Depuis plusieurs dizaines d'années, leur usage s'est généralisé et on peut admettre aujourd'hui que la grande majorité des bétons prêts à l'emploi contiennent des adjuvants. Au fur et mesure du développement de leur emploi, la formulation des adjuvants est devenue de plus en plus élaborée et fait appel à des produits de synthèse.

Dans cette section, on s'intéressera seulement aux adjuvants modifiant la rhéologie des BAP puisque cette catégorie d'adjuvants a servi de base aux présents travaux de recherche. Dans cette catégorie d'adjuvants, il existe deux types bien distincts : le premier est celui des super-plastifiants et le second celui des agents colloïdaux [50]

### **I.16.1 LES SUPER PLASTIFIANTS**

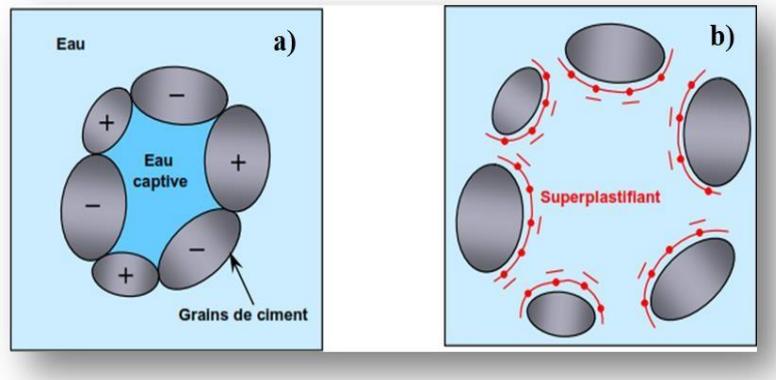
La fluidité des bétons autoplaçant est obtenue en ajoutant des super-plastifiants. Ces fluidifiants sont identiques à ceux employés pour les autres types de béton, à savoir des polymères de type poly carboxylate, polyacrylate/polyacrylate ester acrylique.

Les super-Plastifiants interagissent avec les particules du ciment et des fillers en s'adsorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation au contact de l'eau. Ainsi les particules sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est plus importante.[51]

Le niveau élevé de l'ouvrabilité requis par les bétons autoplaçant tout en maintenant la stabilité du mélange a mené à l'utilisation d'un certain nombre d'adjuvants dans le béton. La demande élevée en eau pour réaliser une fluidité requise par le béton autoplaçant, était impraticable compte tenu du dosage très élevé de ciment qui était souvent requis pour les résistances à la compression souhaitées. L'arrivée des super-plastifiants et la technologie de développements de ces adjuvants, ont joué un rôle essentiel dans le développement des bétons autoplaçant. Les super-plastifiants modernes (basés sur les éthers poly carboxyliques) favorisent la conservation de la fluidité souhaitée tout en maintenant la stabilité du mélange béton. Ces super plastifiants réalisent ce qui est montré dans la (**Figure I.7**), avec un mécanisme de répulsion électrostatique en combinaison avec l'obstacle stérique. Le mode d'action des super plastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit [33].

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton. Les super plastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification

du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.[52]



**Figure I.7 :** (a) Pâte de ciment non adjuvannée, (b) Pâte de ciment additionnée d'un Super-plastifiant.

### I.16.2 L'agent colloïdal ou de viscosité

L'ajout d'un super plastifiant dans un béton augmente son ouvrabilité mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage.

L'utilisation d'agents de viscosité a pour but de stabiliser le béton en fixant l'eau dans le mélange, ce qui diminue le phénomène de ressuage et donne une plus grande cohésion au béton. Ces produits sont à la base de longues molécules polymères (polysaccharides) ou de dérivées cellulosiques. Ils se présentent généralement sous forme de poudre. L'intérêt de leur utilisation est parfois discuté du point de vue de leurs conséquences sur la rhéologie. Toutefois, il est démontré qu'ils permettent, dans le contexte de la production industrielle, de diminuer la sensibilité des bétons autoplaçant aux variations de teneur en eau.

En général, pour une ouvrabilité donnée, la quantité de super plastifiant croit avec celle de l'agent de viscosité. Un dosage trop important en agent de viscosité empêche la pâte de se déformer et entraîne une perte de fluidité, il peut conduire au à un entraînement d'air excessif.

Les agents de viscosité permettent un maintien de la fluidité et de la capacité de remplissage au cours du temps estimé à environ une heure [53].

## **I.17 Approches de formulation des bétons autoplaçants**

### **I.17.1 Approche japonaise basée sur l'optimisation du mortier**

Les japonais sont les pionniers dans le développement des bétons auto-plaçants de masse volumique normale. Leur méthode de formulation considère le béton comme un composé diphasique constitué de gravillons et de mortier. Elle est basée sur l'approche volumique et vise à augmenter l'étalement et la viscosité apparente du béton en utilisant une grande quantité de fines et une adjuvantation adaptée. La méthode dite « japonaise » préconise un rapport volumique gravillons/sable autour de 1 pour limiter la quantité des gros granulats et suggère que les gravillons occupent 50 % de la densité volumique compactée du béton. De même, les auteurs fixent la quantité de sable dans le mortier à 40 % de la densité compactée du mortier afin d'assurer une ouvrabilité suffisante au mortier.[54] Les propriétés de la pâte (rapport eau/poudre et quantité de super plastifiant) sont ensuite optimisées et caractérisées à l'aide d'essais sur mortiers. Ces mortiers sont caractérisés conjointement par un essai d'étalement au cône et un essai d'écoulement à l'entonnoir dont découlent deux grandeurs adimensionnelles que sont:

- **L'étalement** relatif ( $\Gamma_m$ ) déterminé à l'aide de l'essai au mini-cône et qui s'exprime par la relation 
$$\Gamma_m = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2}$$
- la vitesse relative d'écoulement ( $R_m$ ) déterminée par un essai à l'entonnoir en V pour mortier et qui s'exprime par la relation  $R_m = 10/t$
- **d** : diamètre final de la galette de mortier (mm)
- **d** : diamètre de base du cône pour mortier (100mm)
- **t** : temps d'écoulement à l'entonnoir en V du mortier(s)

Selon les auteurs, l'étalement relatif caractérise la fluidité du mortier tandis que la vitesse relative d'écoulement renseigne sur la viscosité apparente. Il faut simultanément  $\Gamma_m = 5$  et  $R_m = 1$  pour obtenir un béton autoplaçant.

Cette méthode qui repose sur une approche expérimentale présente l'intérêt d'être simple

dans sa mise en œuvre. Elle permet de formuler des BAPN pour une large gamme d'applications, depuis les bétons à faible résistant, tels que les bétons destinés aux ouvrages massifs jusqu'aux bétons à haute performance. Toutefois, la méthode dite « japonaise » conduit à des bétons trop riches en fines et par conséquent plus coûteux d'un point de vue industriel du fait du sous-dosage en gravillons pour garantir l'absence de blocage en présence d'obstacle. Dans un souci d'économie d'autres auteurs ont donc cherché à optimiser la quantité de pâte.[51]

### **I.17.2 Approche suédoise**

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation.

Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G /S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées.

Les dosages des fines, de l'eau et du super plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante et la résistance souhaitée.

Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats. [51]

### **I.17.3 Approche du laboratoire central des ponts et chaussées LCPC**

Cette approche consiste à développer un modèle mathématique à partir d'un modèle de suspension solide. Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire et de prendre en compte l'effet de confinement de sar matures sur la compacité du béton et donc

Sur son ouvrabilité. La compacité du mélange est déterminée avec une précision inférieure à 1% à partir des caractéristiques des constituants suivants :

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

Ce modèle est utilisé pour prévoir l'évolution de l'ouvrabilité des bétons en fonction de leur composition, il sert aussi à :

- Comprendre et évaluer l'influence des différents constituants sur les propriétés du béton.
- Choisir les matériaux qui permettent d'obtenir un béton avec de bonnes caractéristiques, que ce soit à l'état frais (ouvrabilité, stabilité) ou à l'état durci (résistance, retrait, fluage).
- Prendre en compte la spécificité et la nature d'un projet lors de la formulation du béton (béton pompé par exemple).[55][39]

### **I.18 Caractéristique d'un BAP a l'état frai**

En France, trois essais de caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais ont été recommandés par l'association Française de Génie Civil « AFGC » en juin 2000. Initialement provisoires, ces recommandations sont devenues par la suite des essais de référence pour valider une formule de BAP. L'ouvrabilité des bétons autoplaçant se décompose en trois caractéristiques

- La mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement);
- La mobilité en milieu confiné (décrit par la boîte en L);

- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage).

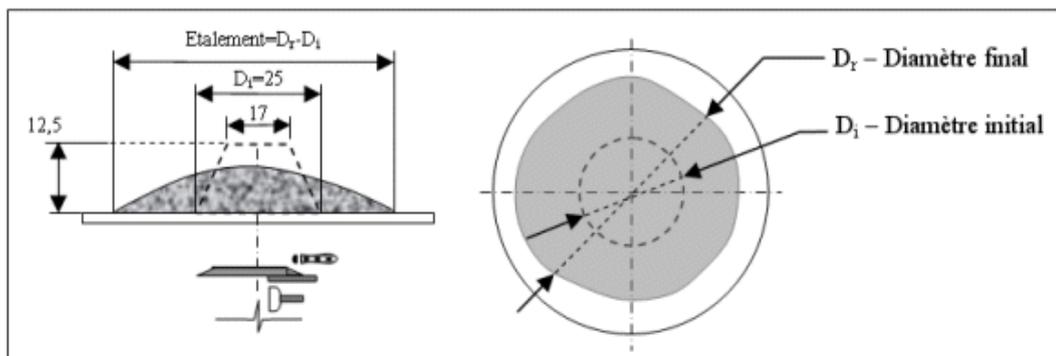
L'essai d'étalement modifié fut développé par J-Ring au Japon publié par le Groupe Holcim Bétons dans ces recommandations et peut remplacer la boîte en L pour la mobilité en milieu confiné.[32]

### I.18.1 Mobilité en milieu non confiné

#### ➤ Essai d'étalement

L'essai d'étalement est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d'un béton. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (**Figure I.8**). Cependant l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention du diamètre d'une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur la viscosité du matériau. Une observation permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non.

Cet essai réalisable sur chantier ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. Une valeur de 60 à 75 cm est en général visée pour obtenir un BAP. [45]



**Figure I.8 :** essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow).

Des observations complémentaires peuvent aider à appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons autoplaçant :

- Un ressuage peut être détecté si de l'eau est présente en grande quantité sur les bords de la galette,
- En traçant à la truelle des lignes dans la „galette“, on peut vérifier si le béton se referme bien, ce qui est synonyme de bon comportement, La fluidité du béton peut être évaluée en

mesurant les temps de passage du béton aux diamètres 50 et 60 cm durant un écoulement au cône,

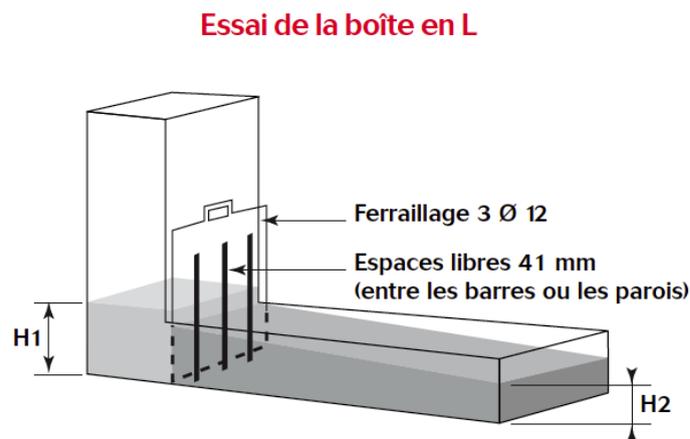
- Une forme bombée de la „galette“ traduit un effet de voute, ce qui peut nuire à l'homogénéité du béton

Toutes ces indications sont plus ou moins subjectives mais aident le formateur expérimenté à effectuer certaines corrections en vue d'obtenir un béton qui correspond plus à ses attentes. [56]

### I.18.2 Mobilité en milieu confiné

#### ➤ Essai de la boîte en L (l-box test)

Tout comme l'essai à l'anneau Japonais, cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique. La partie verticale du L (**Figure I.9**) est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres Ø 14) qui correspond à des ouvrages très ferrailés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres). [56]

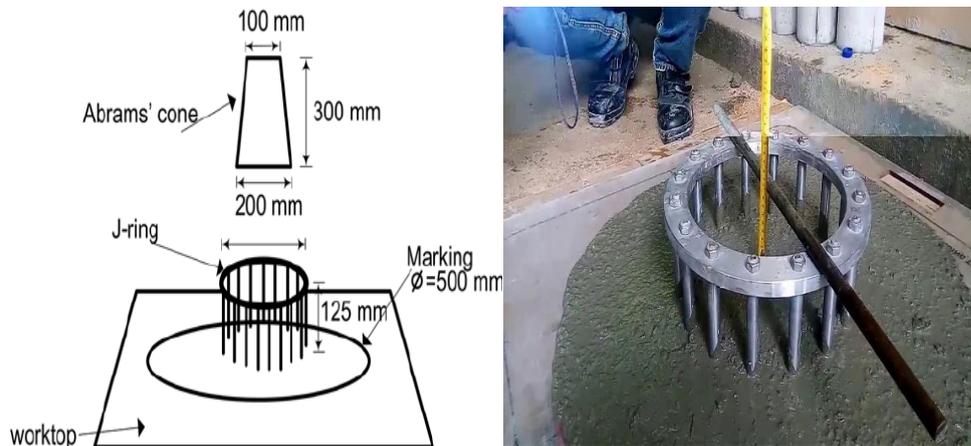


**Figure I.9 :** essai de la boîte en L (L-box test).

Pour que le béton autoplaçant soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs H/L max comme indiqué sur la figure 1.5) doit être supérieur à 0,8. Des temps d'écoulement peuvent aussi être mesurés pour apprécier la viscosité du béton. Les essais du tube en U, du caisson et de la passoire permettent aussi de caractériser la ségrégation dynamique et donnent un autre aspect de la capacité de remplissage des bétons autoplaçants. [56]

**➤ Essai j-ring**

Cet essai consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armatures afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. Le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique (Figure I.10). On caractérise donc la tendance à la ségrégation et l'enrobage d'armatures. De plus, la répartition des granulats doit être homogène.[57]



**Figure I.10: Essai J.Ring. [21]**

**I.18.3 stabilité****➤ Essai de stabilité au tamis**

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçant, il vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier [58].

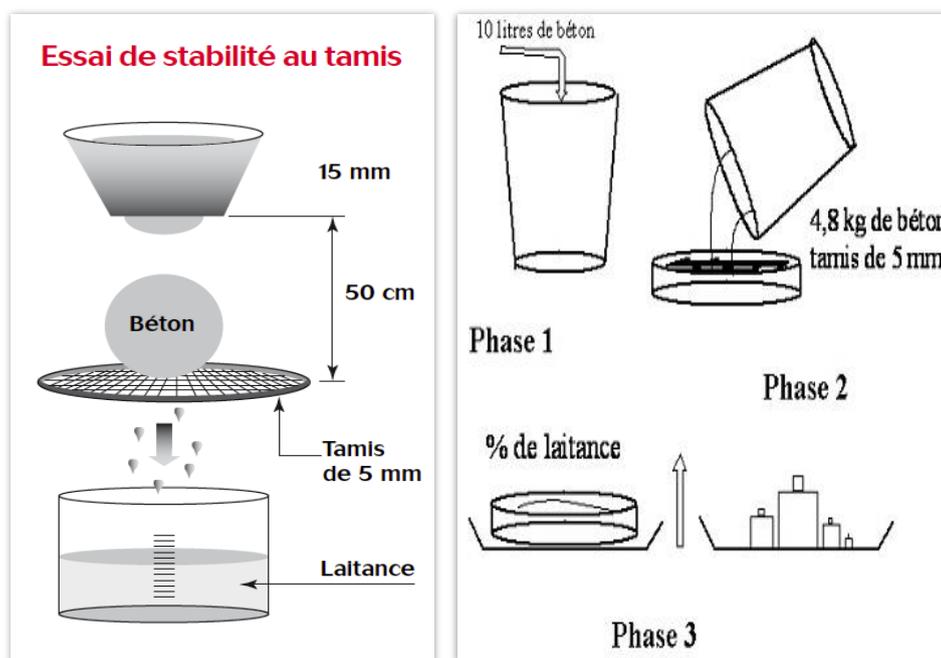
La ségrégation peut être définie comme la séparation des constituants d'un matériau hétérogène de sorte que leur distribution n'est plus uniforme. Dans le cas du béton, ce sont les différences de grosseurs des granulats ainsi que celles des masses volumiques des constituants du béton qui sont la cause principale de la ségrégation.

Ainsi, les risques de ségrégation peuvent être contrôlés par le choix d'une granulométrie appropriée et les soins pris lors de la mise en place du béton. La viscosité de la pâte de ciment contrebalance le mouvement descendant des gros éléments. En conséquence, les bétons de faible rapport E/C sont moins sujets à la ségrégation [59].

Il existe deux formes de ségrégation : dans la première forme, les gros éléments tentent de se séparer parce qu'ils ont tendance à se déplacer plus vite ou à se compacter plus rapidement

que les grains fins. La seconde forme de ségrégation se produit particulièrement dans les bétons fluides et se manifeste par la séparation de la pâte (ciment et eau) du mélange. L'ajout d'eau améliorerait la cohésion du béton, mais, si celui-ci devient trop fluide, le deuxième type de ségrégation risque de se produire.[60]

L'essai de la stabilité au tamis complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (noté PLAITANCE par la suite) d'un échantillon de béton ( $4,8 \pm 0,2$  kg) passant à travers un tamis de 5 mm (**Figure I.11**).



**Figure I.11:** Essai de stabilité au tamis

Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes:

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

Les BAP correspondant aux rapports E/C = 0,4 et 0,5 ont un taux de ségrégation inférieur à 15% et un ressuage n'excédant pas les 3 % est synonyme d'une stabilité correcte. Les BAP a

(E/C = 0,6) présente la particularité d'engendrer une mauvaise stabilité vis-à-vis de l'écoulement ce qui paraît logique puisqu'il renferme une plus grande quantité d'eau [60].

Les recherches ont montrées que le ressuage diminue lorsque le dosage en fines augmente ( $\geq 20\%$ ), vraisemblablement parce que les particules fines s'hydratent plus rapidement et aussi leur taux de sédimentation est plus faible. Donc les BAP fortement dosés en fines sont moins susceptibles de ressuer [61]

## **I.19 Caractéristique d'un BAP a l'état durci**

### **I.19.1 propriété mécanique des BAP**

#### **I.19.1.1 résistance mécanique**

Les résistances mécaniques d'un BAP sont, comme pour la plupart des bétons, directement liées à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment. Elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances jusqu'à des BAP à hautes performances 80 à 100 MPa au 28<sup>ème</sup> jour. L'évolution des résistances à la compression des BAP semble être voisine de celle des bétons ordinaires en raison de l'utilisation fréquente de fillers calcaires connus pour avoir un effet accélérateur sur l'hydratation des silicates de calcium. Aux très jeunes âges, les résistances des BAP peuvent être affectées lorsque ces bétons contiennent des quantités importantes de super plastifiant, un dosage trop élevé pouvant conduire à un retard de prise considérable. Il est possible cependant d'atteindre des résistances mécaniques élevées au démoulage en optimisant le choix et le dosage en adjuvants. En fonction des propriétés Pouzzolanique des additions, les résistances mécaniques des BAP peuvent continuer à croître au-delà de 28 jours.[19]

#### **I.19.1.2 Module d'élasticité**

Pour des rapports gravier sur sable G/S similaires, le module d'élasticité des BAP est équivalent à celui des BO. Par ailleurs, pour des rapports G/S différents, le module d'élasticité des BAP est inférieur à celui des BO. Ceci est expliqué par le fait que le volume de pâte est plus important pour les bétons autoplaçants. En effet, le module d'élasticité d'un béton est fonction des proportions volumiques de ses constituants et de leurs modules respectifs (le module de la pâte est bien inférieur à celui des granulats).[39]

### **I.19.1.3 Retrait**

Tenant compte du volume de pâte plus important qu'ils contiennent, les BAP sont susceptibles d'être plus déformables que les bétons ordinaires. Les données de la littérature dans ce domaine montrent bien une tendance au retrait total plus importante pour les BAP. Comme leur retrait endogène varie entre 180 et 250 m/m, il semble être inférieur ou égal à celui des bétons ordinaires. Leur retrait de séchage est donc plus élevé (environ 800 m/m). Ce retrait de séchage est d'autant plus important que le rapport E/C est grand mais paraît d'autant plus faible que le rapport G/S est élevé.[62]

#### **I.19.1.3.1 Retrait au jeune âge (0-24 heures)**

Pour une même classe de résistance, le coefficient de dilatation thermique au jeune âge (0-24 heures) est équivalent pour les bétons autoplacants et les bétons ordinaires. Le retrait au jeune âge en dessiccation des bétons autoplacants est supérieur à celui des bétons ordinaires (en particulier pour les faibles gammes de résistance). [62]

#### **I.19.1.3.2 Retrait a l'état durci**

En dessiccation, les bétons autoplacants et les bétons ordinaires vibrés possèdent en général un retrait total équivalent. Cependant, les deux types de bétons affichent une différence pour les gammes de résistance élevées (pour les BHP), où le retrait des BAP est supérieur. En mode endogène, les bétons autoplacants et les bétons ordinaires présentent un retrait similaire à 28 jours. Au-delà d'un an, les BAP présentent un retrait légèrement supérieur à celui des BO. Il est vraisemblable que les légères différences entre les retraits des deux types de béton sont dues au volume de pâte qui est plus important dans les bétons autoplacants.[62]

#### **I.19.1.4 Déformations et fluage**

Le fluage étant directement lié à la déformabilité de la matrice cimentaire, on peut s'attendre à ce que le volume de pâte des BAP, généralement supérieur à ceux des bétons ordinaires, conduise à des déformations de fluage importantes. Selon PERSSON (1999) , le fluage des BAP augmente significativement lorsque les charges sont appliquées aux jeunes âges, et diminue lorsqu'il s'agit de BAP à hautes performances.[63]

### **I.19.2 Propriétés physico-chimiques**

Dans le domaine physico-chimique, les résultats des essais expérimentaux (perméabilité à l'oxygène, diffusion des ions chlore, absorption d'eau, carbonatation accélérée et lessivage au nitrate d'ammonium) ont été comparés en fonction de la résistance mécanique pour les deux types de béton (BAP et BO). La perméabilité à l'oxygène des bétons autoplaçants est inférieure à celle des bétons ordinaires vibrés pour une gamme de résistance donnée. Il n'y a pas de différence significative entre les BAP et les BO en termes de diffusion des ions chlore et d'absorption d'eau par capillarité. Et toujours à résistance équivalente, le taux de carbonatation et la cinétique de lessivage au nitrate d'ammonium des deux types de béton restent comparables. Ces propriétés évoluent avec la résistance en compression de manière identique pour les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires. [62]

### **I.20 Durabilité des bétons autoplaçants**

La pérennité d'un ouvrage en béton et sa durabilité dans le temps, dépend de plusieurs paramètres liés d'une part à l'environnement (nature, concentration et renouvellement ou non des éléments agressifs) et d'autre part au matériau lui-même (nature et dosage des constituants, conditions de fabrication et de cure). Il est généralement admis qu'un béton durable est un béton résistant aux agressions. La pénétration de gaz et des différents fluides dans le béton s'effectue par l'intermédiaire du réseau poreux de la matrice cimentaire, qui représente une barrière ouverte au milieu extérieur, permettant ainsi le passage des différents agents agressifs. Les principaux processus qui gouvernent ces transferts sont l'absorptivité, la perméation et la diffusivité :[63]

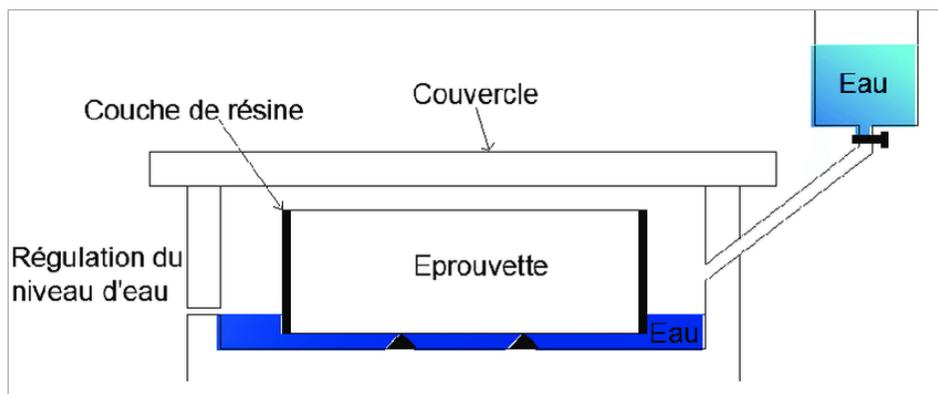
- L'absorptivité est définie comme un transfert des liquides dans un matériau poreux dû à des tensions de surface dans les capillaires.
- La perméation est définie comme étant le transfert de fluides sous l'effet d'un gradient de pression, elle est généralement assimilée à deux principales grandeurs, la perméabilité au gaz et la perméabilité à l'eau.
- La diffusion quant à elle est définie comme un transfert ionique sous l'effet d'un gradient de concentration. La grandeur qui lui est associée est la diffusion des ions chlorurés.
- Dégradation spécifique : la carbonatation et la lixiviation sont des dégradations accélérées qui traduisent des désordres causés dans le béton par la carbonatation naturelle et la dégradation en eau pure. On a vu précédemment, que les BAP se caractérisent par un volume

de pâte élevé, ce dernier est obtenu généralement par l'ajout d'une quantité importante d'additions minérales. Les additions minérales développent une microstructure différente de celle développée par un ciment Portland ordinaire. Ceci dépend étroitement de la nature de l'addition (inerte ou réactive) et de sa finesse, mais aussi du mode d'introduction de l'addition par substitution et/ou ajout.[63]

### I.20.1 L'Absorption capillaire

Définie par le transfert de liquides dans un matériau poreux grâce à des tensions de surface dans les capillaires. Ce phénomène n'est pas attaché uniquement à la porosité du matériau mais aussi à son humidité. En général, l'absorption d'eau à l'intérieur d'un béton sec dépend de deux grandeurs, la porosité effective du matériau et la vitesse d'absorption. [EN 206-1] affirment que l'absorption capillaire des BO est supérieure à celle des bétons autoplçants et ces bétons peuvent avoir des propriétés remarquables s'ils contiennent des laitiers ou des fillers calcaires.

[Hermann Kurt, « les ajouts : les fumées de silice », *Bulletin du ciment*, Vol 63, 1995.]



**Figure I.12 :** essai d'absorption capillaire

## I.21 Conclusion

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons ordinaires et les bétons autoplçants, Leurs compositions, Leurs applications, les principaux avantages et inconvénients du ces bétons

Ce chapitre présente aussi la méthode de fabrication des scories d'EL-HADJAR, leurs composition chimique et leurs domaine d'utilisation l'étude a pour objectif l'utilisation des déchets industriel tel que "les scories broyé", dans les bétons autoplçants et les bétons ordinaires par une substitution en quantité progressive, pour améliorer les propriétés du béton a l'état frais et a l'état durci.

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

<u>II.1 Introduction</u> .....	44
<u>II.2 Caractérisation des matériaux utilisé</u> .....	44
<u>II.2.1 Le ciment</u> .....	44
<u>II.2.2 L'eau</u> .....	45
<u>II.2.3 Les granulats</u> .....	45
<u>II.2.3.1 Le sable</u> .....	45
<u>II.2.3.2 Le gravier</u> .....	46
<u>II.2.4 Additions minérales</u> .....	47
<u>II.2.4.1 Filler de calcaire</u> .....	47
<u>II.2.4.2 L'adjuvant</u> .....	48
<u>II.2.4.3 Les scories</u> .....	49
<u>II.3 METHODES EXPERIMENTALES: approche de formulation des bétons de référence et d'étude par la méthode de DREUX-GORISSE</u> .....	51
<u>II.3.1 Essais de caractérisation des bétons a l'état frais</u> .....	53
<u>II.3.1.1 La mobilité et la capacité de remplissage : étalement au cône d'abrams sf (NF EN 12350-8)[66]</u> .....	53
<u>II.3.1.2 L'aptitude a l'écoulement pl (boîte en l) (NF EN 12350-10)[68]</u> .....	55
<u>II.3.1.3 Résistance a la ségrégation : stabilité au tamis (sr) (NF EN 12350-11)[69]</u> .....	55
<u>II.3.1.4 Essai d'affaissement au cône d'abrams (NF EN 12350-2) [70]</u> .....	56
<u>II.3.2 Caractérisation des BAP a l'état durci</u> .....	57
<u>II.3.2.1 Confection et conservation des éprouvettes</u> .....	57
<u>II.3.2.2 Choix des éprouvettes</u> .....	58
<u>II.3.2.3 Essais mécaniques</u> .....	59
➤ <u>Essai de compression simple NF EN 12390-3, 12 [71]</u> .....	59
➤ <u>Essai de traction par fendage NF EN 12390-6, 12[72]</u> .....	60
<u>II.4 Essai d'absorption d'eau par capillarite (NF EN 480-5 janvier 2006)[73]</u> .....	61
<u>II.5 Conclusion</u> .....	62

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

#### II.1 Introduction

Dans cette partie on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisés pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre programme d'études, la caractérisation des matériaux de construction tels que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ces composants, par ailleurs la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'utilisation de certaines interprétations ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés. C'est l'objet de ce chapitre.

On finira par présenter les différentes procédures de fabrication, aux séquences de malaxage, de mise en place et de la conservation des différentes éprouvettes.

#### II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

Les matériaux que nous avons utilisés pour l'exécution de tous les travaux expérimentaux sont d'une gamme de constituants disponibles et très utilisés localement.

##### II.2.1 Le ciment

Le ciment employé dans cette étude est un CEM II/A 42.5 (CPJ) qui provient de la cimenterie de Hadjar-Soude, il répond à la norme Algérienne (NA 442, 2005). Les différentes caractéristiques chimico-physiques et mécaniques du ciment utilisé sont données dans les **Tableaux (II.1, II.2 et II.3)**.

**Tableau II.1 :** Compositions chimiques du ciment.

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CL
55-65	22-28	5-6	3-3.6	1-2	0.3-0.6	0.1-0.16	1.8-2.5	0-0.01

**Tableau II.2:** Compositions minéralogiques du clinker.

Minéraux	Désignation	Teneur calculée (% massique)
Silicate tricalcique	C <sub>3</sub> S	52-58
Silicate bicalcique	C <sub>2</sub> S	10-25
Aluminate tricalcique	C <sub>3</sub> A	8-12
Ferro-aluminate-tétra calcique	C <sub>4</sub> AF	9-13

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

**Tableau II.3:** Caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Consistance Normale	%	27
Début de prise	min	150
Fin de prise	min	250
masse volumique absolue	kg/m <sup>3</sup>	3100
masse volumique apparente	kg/m <sup>3</sup>	1020
surface spécifique Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3420
refus au tamis 80 µm	%	8,85
résistance moyenne en compression à 28 jours	MPA	46

### II.2.2 L'eau

Pour la confection des différents mélanges nous avons utilisées l'eau du robinet, au niveau de laboratoire des matériaux. 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.

### II.2.3 Les granulats

#### II.2.3.1 Le sable

Le sable utilisés dans cette étude est un sable siliceux de dune de la sablière (COUDIET EL OULED ALI) de Tébessa de module de finesse de 2,2 ce qui correspond à un sable (0/5).

**Tableau II.4:** Analyse granulométrique de sable

Tamis	ni(g)	ai(%)	Ai (%)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	0.7	0.70	0.70	99.93
3.15	3.9	0.391	0.461	99.539
2.5	5.6	0.561	1.022	98.978
2	7	0.702	1.724	98.276
1.25	37.4	3.749	5.473	94.527
1	24.1	2.416	7.889	92.111
0.63	185	18.546	26.435	73.565
0.5	500.7	50.195	76.63	23.37
0.315	901	9.032	85.662	14.338
0.2	99.6	9.985	95.647	4.353
0.16	17.3	1.734	97.381	2.619

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

0.08	22.5	2.226	99.607	0.393
Fond	3.6	0.361	99.968	0.032
La somme	997.5			

**Tableau II.5:** caractéristiques physique de sable

Désignation	Mv absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Mv apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Equivalent de sable (%)	Module de finesse
Sable dune	2.69	2.84	68.96	2.2

### II.2.3.2 Le gravier

Les gravillons naturels concassés utilisés dans cette étude sont issus d'une roche calcaire, ils sont disponibles sur le marché Algérien sous forme granulaire de 3/8 et 8/16 qui provient de la localité d'Ain Abid, située à 40 km de Constantine.

- Gravier 3/8

**Tableau II.6:** analyse granulométrique de gravier 3/8

Tamis	n <sub>i</sub> (g)	a <sub>i</sub> (%)	A <sub>i</sub> (%)	Tamisât
8	3.7	0.231	0.231	99.769
6.3	161.9	10.129	10.36	89.64
5	491.7	30.762	41.122	58.878
3.15	854.5	53.460	94.582	5.418
Fond	86.6	5.418	100	0

- Gravier 8/16

**Tableau II.7 :** analyse granulométrique de gravier 8/16

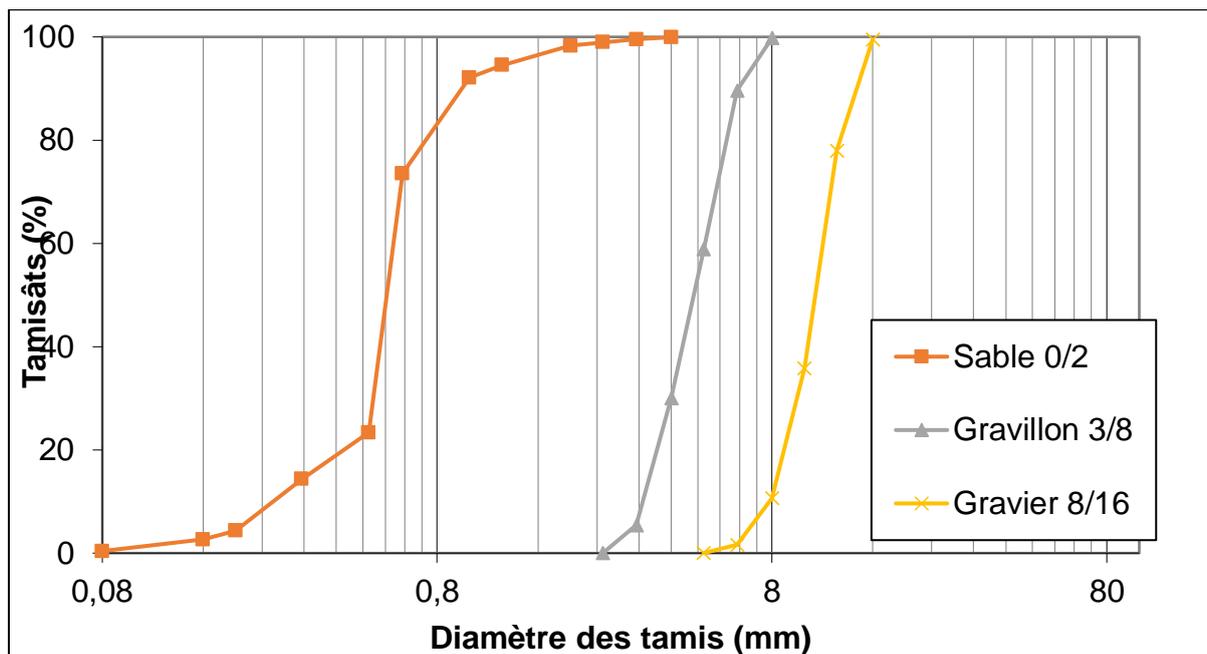
Tamis	n <sub>i</sub> (g)	a <sub>i</sub> (%)	A <sub>i</sub> (%)	Tamisât
16	14.3	0.478	0.478	99.522
12.5	644.7	21.547	22.025	77.975
10	1261.4	42.159	64.184	35.816
8	753	25.167	89.351	10.649
6.3	270.7	9.047	98.398	1.602
Fond	47.9	1.601	99.99	0.01

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

**Tableau II.8:** caractéristiques physique de g 3/8 et 8/16

Désignation	Mv absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Mv apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Los Angeles (%)	Micro deval (%)	Coefficient d'aplatissement
G 3/8	2.65	2.59	21.2	16	8.56
G 8/16	2.73	2.61	21.2	16	10.08



**Figure II.1 :** la courbe granulométrique

### II.2.4 Additions minérales

#### II.2.4.1 Filler de calcaire

Ce sont des déchets de concassage des roches calcaires composées essentiellement de calcite  $\text{CaCO}_3$  avec une teneur supérieure à 80 %. Il se présente sous forme d'une poudre de couleur blanche (**Figure II.2**) et d'une finesse supérieure à celle du ciment. Le filler calcaire

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES  
EXPERIMENTALES**

utilisé provient d'El-khroub de Constantine (carrière de ben Brahim). La composition chimique et les propriétés physiques du filler calcaire sont présentées dans le **Tableau II.9**.

**Tableau II.9:** Composition chimique et caractéristiques physiques du filler calcaire

Analyse chimique		Analyse physiques		
Oxyde	% Massique	Désignation	Unité	Valeurs
CaO	55.91	Masse volumique absolue	g/cm <sup>3</sup>	2,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06			
SiO <sub>2</sub>	0.40	Masse volumique apparente	g/cm <sup>3</sup>	0.96
MgO	0.18			
Na <sub>2</sub> O	0.05	S.S.B	cm <sup>2</sup> /g	6285
K <sub>2</sub> O	0			
Cl <sup>-</sup>	0.009	refus au tamis 5µm	%	19
SO <sub>3</sub>	0.04			
P.A.F	42.68	refus au tamis 40µm	%	24



**Figure II.2:** Filler calcaire

#### II.2.4.2 L'adjuvant

L'adjuvant employé est un plastifiant SUPERIOR 9 WG est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible tous les types de ciment. Le

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

dosage de **SUPERIOR 9 WG** varie entre 0,6 à 2 % du poids du ciment soit de 0.6 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment. (Voir Abaque)



**Figure II.3:** Super plastifiant **teknachem SUPERIOR 9 WG**

#### **II.2.4.3 Les scories**

Les scories d'aciérie sont aujourd'hui reconnues comme de véritables matériaux valorisés. Ils constituent une ressource industrielle pérenne et régulière, soumise à une assurance qualité qui permet de générer des produits de haute gamme, conformes aux normes techniques en vigueur.

**Tableau II.10 :** composition chimique élémentaire de la scorie

Elément	Masse (%)	Atomique (%)
Ok	23.96	45.79
MgK	1.00	1.26
ALK	0.56	0.63
Si K	6.77	7.37
Ca K	36.26	27.66
Mn K	8.27	4.60
Fe K	23.17	12.68

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES  
EXPERIMENTALES**

**Tableau II.11** : caractéristique physique de scorie

Caractéristique	Valeurs	Unités
masse volumique absolue	3.66	g/cm <sup>3</sup>
masse volumique apparente	1.32	g/cm <sup>3</sup>
La finesse de scorie broyée tamisât sur tamis 0.08µm	8.5	%



**Figure II.4**: les scories avant le broyage granulat.



**Figure II.5**: les scories après le broyage poudre

### **II.3 METHODES EXPERIMENTALES: approche de formulation des bétons de référence et d'étude par la méthode de DREUX-GORISSE**

Plusieurs méthodes sont proposées parmi lesquelles la méthode pratique simplifiée dite méthode de "**Dreux Gorisse**". Elle propose différents abaques pour estimer les dosages en eau et en ciment permettant d'obtenir la résistance et l'affaissement souhaités.

Dans cette approche empirique [**Dreux, Festa, 1995**], les proportions des constituants granulaires du mélange sont déduites d'une courbe de référence OAB présentée par deux segments de droite dans le diagramme granulométrique. Cette courbe représente la distribution optimale, sans le ciment (liant), qui conduit à la plus forte compacité granulaire. La formule s'appuie sur quatre relations principales citées par :

- Une relation (équation (II-2)) entre la résistance en compression du béton et le rapport eau/ciment dans la matrice cimentaire en fonction de la classe des ciments et la nature des agrégats. Cette relation s'appuie sur des modèles prédictifs de la résistance en compression comme ceux de Bolomey ou de Féret. Elle permet de relier les résistances requises pour le béton à un paramètre clef de la formulation du béton qui est le rapport eau/ciment. A partir de ce rapport et d'un dosage minimal en ciment fixé pour l'ouvrage ou de la consistance désirée.
- Une relation entre le rapport eau/ciment et le dosage en ciment, d'une part et sa consistance, d'autre part. Elle permet de choisir le dosage en eau et la consistance, soit le dosage en ciment et en eau. A partir du dosage en ciment (voir abaque Annexe II-1)
- Une relation (équation II-3) entre la consistance du béton frais et la compacité ou la masse volumique apparente du mélange frais après la mise en place en fonction des moyens de serrage et la dimension maximale des granulats. Elle permet de déterminer le volume total des granulats (voir tableau Annexe II-2)
- Une relation (équation II-4) qui permet de définir le rapport entre les classes granulaires grossières et les classes granulaires fines conduisant à l'optimisation du squelette granulaire du mélange et à l'obtention de la compacité maximale. Elle permet de déterminer le volume relatif des différentes classes granulaires à mettre en œuvre dans le mélange.

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES**  
**EXPERIMENTALES**

**La résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en MPa**

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15\% \sigma_n \dots \dots \dots (\text{II-1})$$

**1. Dosage en ciment et en eau :**

A partir de la formule ci-dessous on détermine le rapport C/E

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_c \cdot (C/E - 0,5) \dots \dots \dots (\text{II-2})$$

Avec :

- $\sigma_{28}$  : résistance moyenne en compression désirée à 28 j en bars
- $\sigma_c$  : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en bars
- C : Dosage en ciment (en kg/m<sup>3</sup>)
- G : Coefficient granulaire : valeur tabulée en fonction de la qualité des granulats
- (Bonne ou courant, excellente, passable) et de la dimension D des gros granulats; les valeurs approximatives de G supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).

Coefficient granulaire G en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D<sub>max</sub>

- E : Dosage en eau sur matériaux secs (en litres pour 1 m<sup>3</sup> de béton)

Le dosage en ciment est tiré de l'abaque en fonction de C/E et A. (voir abaque Annexe II-1).

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, on calcule alors le dosage approximatif de l'eau (E).

La norme NF EN 206-1[65] définit les modalités de prise en compte des additions :

$$\text{L'équivalent} = C + K.A$$

**2. Dosage en granulat :**

Les proportions des constituants granulaires du mélange sont déduites d'une courbe de référence OAB.

Le point **O** (origine) a pour coordonnées [X<sub>0</sub>=0,08 mm, Y<sub>0</sub>=0 % passant].

Le point **B** (extrémité) a pour coordonnées [X<sub>B</sub>=D<sub>max</sub>, Y<sub>B</sub>=100 % passant] (avec

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

Dmax la taille du plus gros granulat).

Le point **A** (brisure de la courbe) a pour coordonnées [XA=Dmax/2 et YA = 50 - D + K+ Ks + Kp]. Les valeurs de K, Ks et Kp sont donnés à partir de tableaux (voir Tableau Annexe II-2) ou d'abaques associés à la méthode.

Les proportions volumiques des différents granulats dans le mélange sont alors tirées du graphique (**Figure III.3**) selon les lignes de partage. La projection sur l'axe des tamisât des points d'intersection entre les lignes reliant le point 95 % des passants d'un granulat au point 5 % des passants du granulat suivant et la courbe granulaire de référence permet de lire les quantités (gi) en pourcentage de chaque fraction de granulaire (sable et gravier).

Le volume total absolu des granulats.

$$V_{GT} = 1000 \cdot \gamma - V_c - V_F \dots \dots \dots (II-3).$$

Avec :

- $\gamma$ : coefficient de compacité qui est fonction de D max, de la consistance et du moyen du serrage (voir Tableau annexe III-3).

Les volumes absolus de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$V_i = g_i \cdot V_{GT} \dots \dots \dots (II-4).$$

Avec :

- **V<sub>i</sub>** : Volume du granulat en (Kg / m<sup>3</sup> de béton).
- **g<sub>i</sub>** : Pourcentage du granulat tiré du graphique (%).
- **V** : Volume total des granulats (m<sup>3</sup>).

### **II.3.1 Essais de caractérisation des bétons a l'état frais**

Le béton autoplaçant doit être très fluide sans présenter des signes de ségrégation ou de ressuage, alors il doit être homogène et sans pour autant entraîner une diminution des performances mécaniques. Dans cette étude, nous avons choisis trois essais recommandés par l'AFGC, ces essais nous aident à garantir les propriétés essentielles des BAP à l'état frais et pour assurer les propriétés rhéologiques.

#### **II.3.1.1 La mobilité et la capacité de remplissage : étalement au cône d'abrams sf (NF EN 12350-8)[66]**

L'essai est utilisé pour estimer la fluidité des BAP sans confinement il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier, l'essai est

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

caractérisé par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou Slump flow) (**Figure II.6**).

Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante, puis il est rempli de béton. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue. La ségrégation peut être évaluée qualitativement, les granulats grossiers devraient être répartis uniformément et aucune concentration ou séparation de fines ne devrait apparaître sur les bords de la galette.

La façon de disposer le cône n'est pas réglementée, l'important est de procéder toujours de la même manière. Lorsque la petite ouverture se trouve en bas, le remplissage du cône avec le BAP est facilité et son soulèvement est empêché dans ce cas il en résulte une valeur d'étalement plus élevée de 20 à 40 mm, par rapport à celle obtenue avec le cône disposé en sens contraire pour le même béton.

Différentes classes de BAP ont été désignées en fonction du type d'application (NF EN 206-9, 2010) [66]

- Classe SF1 : étalement compris entre 550 et 650 mm,
- Classe SF2 : étalement compris entre 660 et 750 mm,
- Classe SF3 : étalement compris entre 760 et 850 mm.



**Figure II.6:** Etalement d'un BAP homogène, bonne répartition granulaire, sans signes apparents de séparation des phases en périphérie de la galette

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES**  
**EXPERIMENTALES**

**II.3.1.2 L'aptitude à l'écoulement pl (boîte en L) (NF EN 12350-10)[68]**

L'essai consiste à tester la mobilité du béton en milieu confiné et à vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage. Le dispositif d'essai est constitué d'une boîte en forme de L, d'où son nom (Figure II.7). La partie verticale de la boîte est remplie de béton. Ensuite la trappe est soulevée, ce qui provoque l'écoulement du béton qui doit passer au travers un ferrailage, formé de 3 barres d'armature de diamètre 14 mm distantes de 39 mm, avant de pouvoir atteindre la partie horizontale de la boîte. On mesure la hauteur atteinte aux deux extrémités de la partie horizontale par le béton ( $H_1$  et  $H_2$ ).

Le rapport  $H_2/H_1$  devait être supérieur à 0,8. L'essai permet en outre de vérifier la capacité du béton à s'écouler au travers d'un réseau d'armatures d'écartement défini.

Le taux de remplissage (PL) est calculé à 0,01 près à partir l'équation:

$$PL = \frac{H_2}{H_1}$$



**Figure II.7:** Essai à la boîte en L en cours d'écoulement après remplissage de la partie verticale et ouverture de la trappe

**II.1.3.1 Résistance à la ségrégation : stabilité au tamis (sr) (NF EN 12350-11)[69]**

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

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

**II.8).** Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 15 et 20 % selon l'équation.

$$SR = \frac{P_{laitance} \cdot 100}{P_{échantillon}}$$



**Figure II.8:** Essai de stabilité au tamis pendant les deux minutes d'attente

La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formulations de béton autoplaçant de la façon suivante :

**Tableau II.12:** Critères de stabilité au tamis.

Condition	Critères de stabilité	Remarques
$0\% \leq P \leq 15\%$	<b>Stabilité satisfaisante</b>	<b>Béton homogène et stable</b>
$15\% \leq P \leq 30\%$	<b>Stabilité critique</b>	<b>Vérifier les autres critères d'ouvrabilité</b>
$P \geq 30\%$	<b>Stabilité très mauvaise</b>	<b>Ségrégation systématique, béton inutilisable</b>

#### **II.3.1.4 Essai d'affaissement au cône d'abrams (NF EN 12350-2) [70]**

L'affaissement est un essai sur le béton frais peu fluide pour déterminer sa consistance.

Pour réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés :

- La plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante ;
- Le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm<sup>2</sup>.

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

- Une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- Le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque.
- Le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige.
- Le cône est arasé avec une tige.
- Le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ;
- L'affaissement du béton frais est mesuré.

L'affaissement est la distance mesurée entre le sommet du cône et le haut du béton affaissé.



**Figure II.9:** essai d'affaissement au cône d'Abrams

### **II.3.2 Caractérisation des BAP à l'état durci**

#### **II.3.2.1 Confection et conservation des éprouvettes**

Le malaxage des bétons a été réalisé à l'aide d'une bétonnière d'une capacité de 30 litres qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve, suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement penché. Le meilleur brassage des éléments est obtenu lorsque l'inclinaison de la cuve sur l'horizontale ne dépasse pas 15 à 20° environ.

Les pales collées à la paroi intérieure du tambour sont d'une grande importance, et leurs dispositions permettent le bouleversement des constituants dans la cuve, ainsi une bonne homogénéisation du mélange.

La séquence de malaxage des différents constituants est décrite comme suit :

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

- Chaque constituant est introduit dans la bétonnière dans l'ordre suivant : gravier, gravillon, ciment, sable roulé et sable concassé.
- Puis malaxage à sec pendant 60 secondes.
- Introduction de 75 % d'eau et malaxage pendant 2 minutes.
- L'adjuvant est noyé dans les 25 % d'eau restante, ensuite introduit dans la bétonnière.
- Puis malaxage pendant 2 minutes. Alors la durée totale du malaxage est de 5 minutes.

D'abord, on détermine les essais d'ouvrabilité, ensuite on remet le béton dans la bétonnière pour un deuxième malaxage afin d'effectuer la mise en place dans les différents moules. Les moules sont remplis du béton et placés à l'air libre sans aucune vibration.

Les éprouvettes sont démoulées 24 heures après le remplissage et conservées sous l'eau jusqu'au jour de l'écrasement.



**Figure II.10:** Les éprouvettes immergées dans l'eau

#### **II.3.2.2 Choix des éprouvettes**

Dans notre travail, la forme cubique des éprouvettes est la plus adoptée pour les essais de compression. Les dimensions de ses derniers sont (10×10×10 cm), les moules sont en acier doux (non déformable lors de l'usage), lubrifier à l'aide d'une huile synthétique (commun pour

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

les véhicules et les engins) au quel assure un surfacage parfaits sans collage aux parois du moules au moment de décoffrage. Pour chaque essai on utilise 3 éprouvettes.

Nous avons utilisé aussi des éprouvettes cylindriques de dimensions 11x22 (cm), pour observer la répartition des granulats sur la hauteur de l'éprouvette sciée.

#### II.3.2.3 Essais mécaniques

##### ➤ Essai de compression simple NF EN 12390-3, 12 [71]

L'essai de compression simple a été réalisé sur des éprouvettes cubiques de dimensions (10x10x10) cm, sur une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN. Après démoulage à 24 heures, les éprouvettes sont conservées dans l'eau jusqu'aux échéances des essais qui sont de 2, 7 et 28 jours. Pour chaque béton et chaque échéance d'essai la résistance obtenue est la moyenne issue de 3 résultats.

La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma = P/S \text{ (MPa)}$$

**P** : l'effort de rupture.

**S** : la section d'éprouvette.



**Figure II.11:** essais de compression simple

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

#### ➤ Essai de traction par fendage NF EN 12390-6, 12[72]

L'essai de traction par fendage à été réalisé sur des éprouvettes cylindrique selon les étapes suivantes :

- Assuyer toute humidité ou corps étrange del'éprouvette% des bandes de chargement et des plateaux de la machine
- Placer le dispositif de fendage dans la machine de compression
- Placer l'éprouvette mettre les bandes de chargement puis centrer l'ensemble entre le plateau inférieure supérieur de la machine.
- Choisir une vitesse de 0.05 MPa puis mettre en charge.

A la rupture la force appliquée est affiché sur l'écran de la machine. La résistance au fendage est donnée par la relation suivante :

$$d'où : \mathbf{f_t = 2P/\pi dl}$$

- **P** : est la charge maximale en kN,
- **d** : le diamètre de l'éprouvette en cm
- **l** : longueur de l'éprouvette en cm.
- 



**Figure II.12** : essais de traction par fendage

**CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES**  
**EXPERIMENTALES**

**II.4 Essai d'absorption d'eau par capillarité (NF EN 480-5 janvier 2006)[73]**

L'essai consiste à suivre par peser la quantité d'eau absorbée par un échantillon de béton préalablement séché et permet la caractérisation indirecte de la porosité capillaire.

Des échantillons de forme cylindrique, prélevés par sciage d'éprouvettes cylindriques.



**Figure II.13 :** le sciage des éprouvettes à l'aide d'une scie à béton

La procédure de pré conditionnement des échantillons est la suivante :

- Les échantillons sont séchés dans une étuve ventilée à  $80 \pm 2^\circ \text{C}$ , jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées espacées de 24 h soit inférieure à 0,1 % avant chaque pesée, les échantillons sont placés dans un dessiccateur pour permettre leur retour à la température ambiante et en présence de silica-gel afin d'éviter la réhydratation.

Une fois la masse de l'échantillon stabilisée, sa surface latérale est alors enduite de résine pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai. Puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à  $20^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$  pour permettre le durcissement complet de la résine.

Les échantillons sont placés sur des supports espacés les uns des autres et immergés sous l'eau sur une hauteur de 3 mm. Des trous la hauteur d'immersion ont été percés afin de réguler le niveau d'eau, le bac est relié à réservoir d'eau d'une grande capacité ce qui permet d'alimenter le dispositif tout au long de l'essai avec un faible débit régulé par une vanne. Un couvercle est disposé sur le bac pour éviter l'évaporation de l'eau. La masse d'eau absorbée a été déterminée par pesées successives des éprouvettes aux échéances de 0 à 15 mn, 30 mn, 1h,

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODES

### EXPERIMENTALES

....., 24h. Avant chaque pesée la face de l'éprouvette en contact avec l'eau est essuyée avec une éponge humide afin d'enlever la pellicule d'eau superficielle retenu, sans pour autant dessécher les pores de surface remplie d'eau.

Détermination du coefficient d'absorption capillaire :

$$Cat = (Mt - M0) / A$$

Avec : Cat : est le coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m<sup>2</sup>).

Mt : est la masse de l'éprouvette à une échéance donnée.

M0 : est la masse initiale de l'éprouvette.

A : est la section de l'éprouvette au contact de l'eau.  $A = \pi * r^2$



**Figure II.14** : essai d'absorption capillaire

### **II.5 Conclusion**

Après caractérisation des différents matériaux utilisés pour la confection des mélanges et la mise en place d'un programme expérimental, le chapitre trois, traite l'effet des Scories sur le comportement à l'état frais des BAP et BO.

III.1 INTRODUCTION ..... 64

III.2 Les données ..... 64

III.3 Calculs de la composition des bétons ..... 64

III.4 Conclusion ..... 75

### III.1 INTRODUCTION

Réaliser un béton autoplaçant est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP.

### III.2 Les données

- ❖  $f_{c28}$  : Résistance en compression à 28 jours,
- ❖ La plasticité désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abraham (**AC**) pour avoir un béton peu plastique.  $AC=6\text{cm}$
- ❖  $D$  : Dimension maximale des granulats en mm.
- ❖ Classe vrais est 42,5 MPa
- ❖ Résistance vrai de ciment a 28 joures =43 MPa
- ❖ Pour les filler le dosage à partir  $150\text{ kg/m}^3$
- ❖ Les bétons d'étude ont : Un rapport  $E/Léq = 0.5$

### III.3 Calculs de la composition des bétons

#### Composition du béton autoplaçant

#### La résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en MPa

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15\% \sigma_n$$

$$\sigma_{28} = 25 + 15\% 25$$

$$\sigma_{28} = 28.75 \text{ MPa}$$

#### 1. Dosage en ciment et en eau :

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_c \cdot (C/E - 0, 5)$$

$$C/E = \sigma_{28/G} \cdot \sigma_c + 0.5$$

$$C/E = 2$$

On détermine la quantité d'eau :

$$C/E = 2$$

$$E = C/2 = 400/2$$

$$E = 200 \text{ Kg/m}^3$$

D'après l'abaque on obtient le ciment

$$C=400\text{kg/m}^3$$

L'équivalent =  $C + K.A$

Pour notre cas :

$k=0.25$  pour les fillers calcaire

$$L \text{ équi} = 400 + 170 \cdot 0,25 = 442,5 \text{ Kg/m}^3.$$

$$L \text{ équi} / \text{Eau équi} = 2 \quad \rightarrow \quad E \text{ équi} = 442,5 / 2 = 221,25 \text{ Kg}$$

## **2. Dosage en granulat :**

Tracé de la courbe de référence OAB :

le point O (origine) a pour coordonnées ( $X_0=0$  ;  $Y_0=0\%$ )

le point A (bisurde de la courbe) a pour coordonnées ( $X_A= 8$  ;  $Y_A=53.62$ )

$$X_A = D_{\text{max}}/2 \rightarrow X_A=8$$

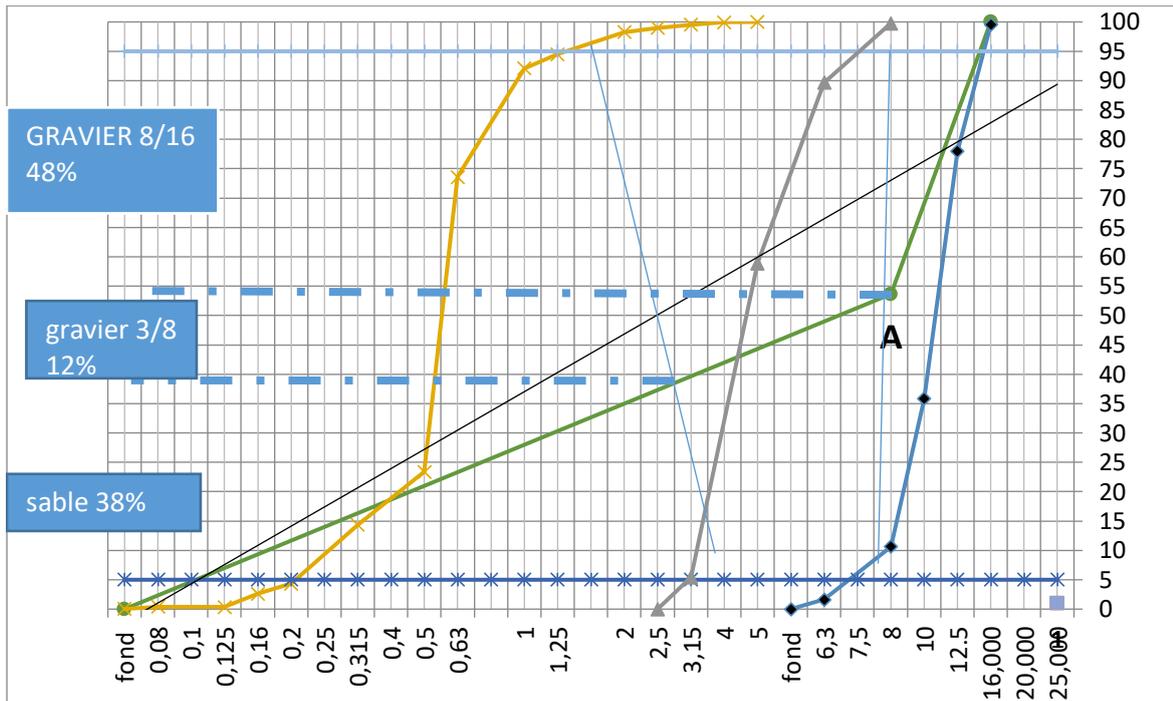
$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{\text{max}}} + K + K_S + K_P \rightarrow Y_A = 50 - \sqrt{16} - 1 + 10 - 1.8 \rightarrow Y_A = 53.62$$

$$K_S = 6M_f - 15 \rightarrow 6(2.2) - 15 = -1.8$$

$$K_P = +10 ; K = - 1$$

Le point B (extrémité) a pour coordonnées ( $X_B=D_{\text{max}} =16$  ;  $Y_B=100\%$  a la taille

$D_{\text{max}}$



**Figure III.3 :** Courbe granulométriques BAP.

Les pourcentages :

38%	12%	48%
sable dune	gravier (3/8)	Gravier (8 /16)

Le volume total absolu des granulats :

$$V_{GT} = 1000 \cdot \gamma - V_c - V_f$$

$$V_{GT} = 1000 \cdot \gamma - m_c / \rho_c - m_f / \rho_f$$

$$V_{GT} = 1000 \cdot 0.799 - (400 / 3.1) - (150 / 2.70)$$

$$V_{GT} = 614.41 \text{ L}$$

Les volumes absolus de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$V_i = g_i \cdot V_G$$

Sable dune :

$$V_s = 12\% \cdot V_{GT}$$

$$V_s = 12\% \cdot 614.41$$

$$V_s = 233.47 \text{ L}$$

Gravier 3/8 :  $V_{g1}=12\% \cdot V_{GT}$

$V_{g1}=12\% \cdot 614.41$

$V_{g1}=73.72 \text{ L}$

Gravier 8/16 :  $V_{g2}=48\% \cdot V_{GT}$

$V_{g2}=48\% \cdot 614.41$

$V_{g2}=294.91 \text{ L}$

Les masses absolues de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$M_i = V_i \cdot \rho_{abs}$

Sable dune :  $S = V_{s1} \cdot \rho_{abs}$

$S = 233.47 \cdot 2,69$

$S = 628,03 \text{ kg}$

Gravier 3/8 :  $S = V_{g1} \cdot \rho_{abs}$

$S = 73.72 \cdot 2,65$

$S = 195.35 \text{ kg}$

Gravier 8/16 :  $S = V_{g2} \cdot \rho_{abs}$

$S = 294.91 \cdot 2,73$

$S = 805,12 \text{ kg}$

D'après les calculs on résumé les dosages des constituants de béton par le tableau suivant :

**Tableau III-1 :** les compositions des dosages du béton

Constituant	Cimen	Eau	Sable	Gravie	Fille	Gravie
s	t		dune	r 3/8	r	r 8/16
Dosage en	400	221.	628.0	195.35	150	805.12
kg/m <sup>3</sup>		5	3			

**Tableau III-2** : compositions des dosages du ciment et scorie

Composition	Ciment	Scorie
<b>BAP 1 (Témoin)</b>	100%	0%
<b>BAP 2</b>	95%	5%
<b>BAP 3</b>	90%	10%
<b>BAP 4</b>	85%	15%
<b>BAP 5</b>	80%	20%
<b>BAP 6</b>	75%	25%

### **Optimisation du dosage en filler de calcaire**

Pour le dosage de filler de calcaire on commencé de prendre un dosage entre 120 et 200 suivant la norme (NF EN 206-1)

Nous avons utilisé plusieurs expériences jusqu'à atteindre une valeur qui nous aiderait un béton autoplaçant .

### **❖ Optimisation du dosage en super plastifiant**

Pour le dosage de en super plastifiant on commencé de prendre un dosage entre le dosage minimal 0,6 et le dosage de saturation 2% qui de 1%. le pourcentage du dosage en super plastifiant doivent être jusqu'a l'obtention d'un BAP dont les critères de qualification sont vérifiés par la norme.

**Tableau III-3:** dosage de super plastifiant

N° de l'essai	Filler Calcaire, kg	SP, %	Diamètre d'étalement en cm	Observation (apparition de phénomènes)
<b>BAP 1 témoin</b>	170	1.3	67	Répartition homogène des Granulats sans ressuage
<b>BAP 2 (5%)</b>	170	1.3	68	Réduction de ressuage mais l'observation d'un petit Amoncèlement
<b>BAP 3 (10%)</b>	170	1.2	68.5	Observation d'un ressuage et Amoncèlement

On remarque qu'avec l'augmentation du dosage de scorie on trouve que l'étalement aussi augmente donc on a diminué le dosage de super plastifiant à cause de l'effet de scorie.

**Tableau III-4:** récapitule les compositions des BAP d'étude retenues

Constituant	Unité	BAP	BA	BA	BA	BA	BA
		1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
		<b>Témoin</b>	<b>95</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>80</b>	<b>75</b>
		<b>100</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
		<b>% C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
		<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
		<b>SC</b>	<b>SC</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
				<b>SC</b>	<b>SC</b>	<b>SC</b>	<b>SC</b>
<b>Ciment</b>	Kg/ m <sup>3</sup>	400	380	360	340	320	300
<b>Eau</b>	L	221. 5	221. 5	221. 5	221. 5	221. 5	221. 5
<b>Sable dune</b>	Kg/ m <sup>3</sup>	628. 03	628. 03	628. 03	628. 03	628. 03	628. 03
<b>Gravier 3/8</b>	Kg/ m <sup>3</sup>	195. 35	195. 35	195. 35	195. 35	195. 35	195. 35
<b>Gravier 8/16</b>	Kg/ m <sup>3</sup>	805. 12	805. 12	805. 12	805. 12	805. 12	805. 12
<b>Addition</b>	C	Kg	400	380	360	340	320
	%						
	S	Kg	0	20	40	60	80
	%						
<b>Filler calcaire</b>	<b>de</b>	Kg	170	170	170	170	170
<b>Super plastifiant</b>	%		1.3%	1.2	1,1	1%	0.9
			%	%		%	0.8
							%

**Composition du béton ordinaire****La résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en MPa**

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15\% \sigma_n$$

$$\sigma_{28} = 25 + 15\% 25$$

$$\sigma_{28} = 28.75 \text{ MPa}$$

**1. Dosage en ciment et en eau :**

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_c \cdot (C/E - 0, 5)$$

$$C/E = \sigma_{28}/G \cdot \sigma_c + 0.5$$

$$C/E = 2$$

on détermine la quantité d'eau :

$$C/E = 2$$

$$E = C/2 = 400/2$$

$$E = 200 \text{ Kg/m}^3$$

**1. Dosage en granulat :**

Tracé de la courbe de référence OAB :

le point O (origine) a pour coordonnées ( $X_0=0$  ;  $Y_0=0\%$ )

le point A (bisur de la courbe) a pour coordonnées ( $X_A=8$  ;  $Y_A=43.2$ )

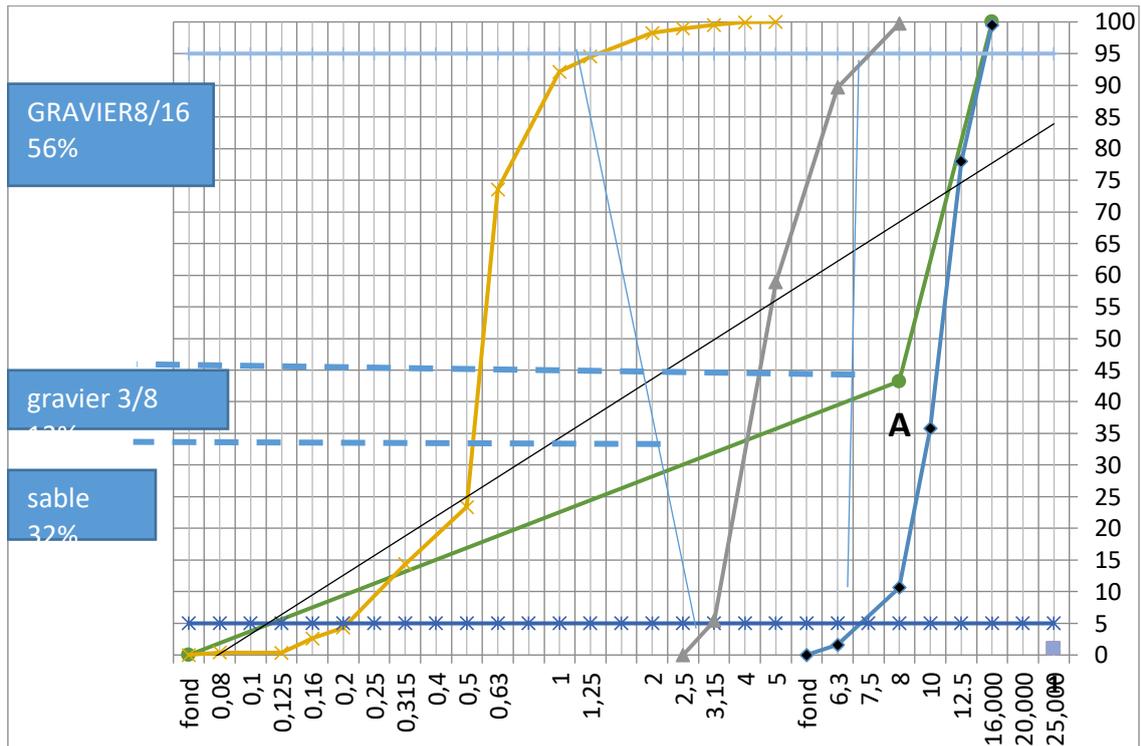
$$X_A = D_{\max}/2 \rightarrow X_A = 8$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_S + K_P \rightarrow Y_A = 50 - \sqrt{16} - 1 + 0 - 1.8 \rightarrow Y_A = 43.2$$

$$K_S = 6M_f - 15 \rightarrow 6(2.2) - 15 = -1.8$$

$$K_P = 0 ; K = -1$$

Le point B (extrémité) a pour coordonnées ( $X_B = D_{\max} = 16$  ;  $Y_B = 100\%$  a la taille  $D_{\max}$ )



**Figure III.2 :** Courbe granulométriques BO.

Les pourcentages :

32%	12%	56%
sable dune	gravier ( 3/8)	Gravier(8/16)

Le volume total absolu des granulats :

$$V_{GT} = 1000 \cdot \gamma - V_c$$

$$V_{GT} = 1000 \gamma - m_c / \rho_c$$

$$V_{GT} = 1000 \cdot 0.799 - (400 / 3.1)$$

$$V_{GT} = 669.97 \text{ L}$$

Les volumes absolus de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$V_i = g_i \cdot V_{GT}$$

Sable dune :

$$V_s = 32\% \cdot V_{GT}$$

$$V_s = 32\% \cdot 669.97$$

$$V_s = 214.39 \text{ L}$$

Gravier 3/8 :

$$V_{g1} = 12\% \cdot V_{GT}$$

$$V_{g1} = 12\% \cdot 669.97$$

$$V_{g1}=80.39 \text{ L}$$

Gravier 8/16 :

$$V_{g2}=56\% \cdot V_{GT}$$

$$V_{g2}=56\% \cdot 669.97$$

$$V_{g2}=375.97 \text{ L}$$

Les masses absolues de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$M_i = V_i \cdot \rho_{abs}$$

Sable dune :

$$S = V_{s1} \cdot \rho_{abs}$$

$$S = 214.39 \cdot 2,69$$

$$S = 576.70 \text{ kg}$$

Gravier 3/8 :

$$S = V_{g1} \cdot \rho_{abs}$$

$$S = 80.39 \cdot 2,65$$

$$S = 213.03 \text{ kg}$$

Gravier 8/16 :

$$S = V_{g2} \cdot \rho_{abs}$$

$$S = 375.18 \cdot 2,73$$

$$S = 1024.25 \text{ kg}$$

**Tableau III- 5:** Composition du béton ordinaire de référence

Constituants		Ciment	Eau	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/16
<b>Dosage</b>	<b>en</b>	400	200	576.70	213.03	1024.25
	<b>kg/m<sup>3</sup></b>					

**Tableau III- 6 :** récapitule les compositions des BO d'étude retenues

Constituant	Unités	BO 1	BO 2	BO 3	BO 4	BO 5	BO 6
			Témo	95	90	85	80
		100	5%	10	15	20	
		%	S	%	%	%	
		C		S	S	S	
		0					
		%S					
<b>Ciment</b>	Kg	400	380	360	340	320	300
	/m <sup>3</sup>						
<b>Eau</b>	Kg	200	200	200	200	200	200
	/m <sup>3</sup>						
<b>E/C</b>		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>Sable dune</b>	Kg	576	576	576	576	576	576.70
	/m <sup>3</sup>	.70	.70	.70	.70	.70	
<b>Gravier 3/8</b>	Kg	213	213	213	213	213	213.03
	/m <sup>3</sup>	.03	.03	.03	.03	.03	
<b>Gravier 8/16</b>	Kg	102	102	102	102	102	1024.25
	/m <sup>3</sup>	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
		5	5	5	5	5	

<b>Addition</b>	Kg	400	380	360	340	320	300
	kg	0	20	40	60	80	100

### **III.4 Conclusion**

Les résultats trouvés montrent que la substitution du ciment dans les BAP et les BO par la scorie à des taux de 5 à 25% présentent une convergence en terme de rhéologie c.à.d. l'étalement, l'écoulement à la boîte en L et la stabilité au tamis pour les BAP, et l'affaissement pour les BO

On peut dire que les bétons obtenus sont homogènes, ils ne présentent ni un ressuage, ni une ségrégation ni un risque de blocage, mais à partir de 5% on a commencé à voir un peu de ressuage à cause de la faible demande en eau de la scorie par rapport au ciment d'où une diminution du dosage en super plastifiant est utile pour garder les critères d'autoplaçance (pour les BAP)

<u>IV.1</u>	<u>Introduction</u> .....	77
<u>IV. 2</u>	<u>Caractéristiques des BAP et BO à l'état</u> .....	77
<u>IV.2.1</u>	<u>Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow)</u> .....	77
<u>IV.2.2</u>	<u>Essai de la boîte en L (LBOX)</u> .....	78
<u>IV.2.3</u>	<u>Essai de la stabilité au tamis :</u> .....	78
<u>IV.2.4</u>	<u>Essai d'affaissement au cône d'Abrams</u> .....	79
<u>IV.3</u>	<u>Propriétés a l'état durci</u> .....	80
<u>IV.3.1</u>	<u>Résistance mécanique</u> .....	80
<u>IV.3.1.1</u>	<u>Résistance à la compression</u> .....	80
<u>IV-3.1.2</u>	<u>Résistance traction par fendage</u> .....	84
<u>IV.4.</u>	<u>Vérification de l'absence de ségrégation</u> .....	86
<u>IV.5</u>	<u>Résultats des essais indicateurs de la durabilité des BAP et BO</u> .....	88
<u>IV.5.1</u>	<u>Essais d'absorption par capillarité</u> .....	88
<u>Conclusion</u>	.....	89

## IV.1 Introduction

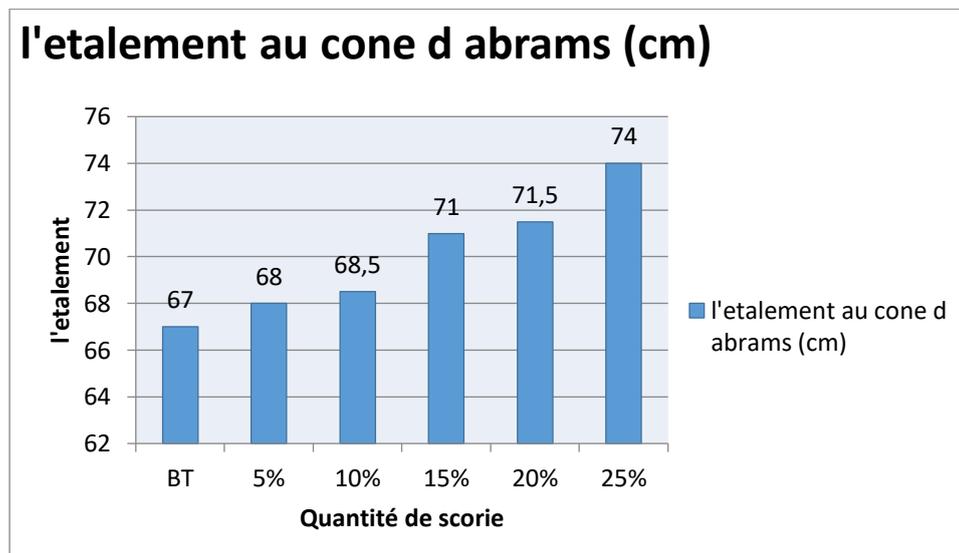
Après avoir formulé les BAP et BO, il était nécessaire de mener une série d'essais pour la caractérisation des BAP et BO à l'état frais et durci. Cette étape est aussi importante pour leur formulation, car elle permet de contrôler les principaux paramètres d'autoplaçance sur le BAP et l'affaissement sur les BO à l'état frais et de vérifier les résistances mécaniques sur béton durci en relation avec le dosage en scorie

## IV.2 Caractéristiques des BAP et BO à l'état

### IV.2.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow)

L'essai d'étalement au cône d'Abrams caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

L'influence de la substitution de scorie à des différents taux sont présentés sur la figure (IV .1)



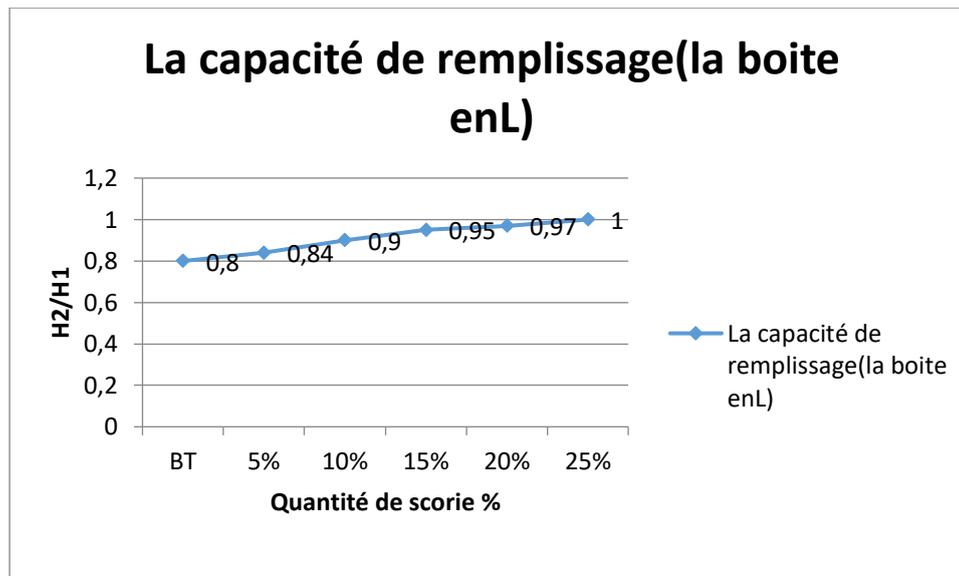
**Figure IV. 1 :** Influence du type et du taux de substitution de scories sur l'étalement BAP

### ✓ Discussion :

Les résultats obtenus montrent que la substitution du ciment par les scories broyées dans les BAP entraîne une augmentation de l'ouvrabilité et diminue la viscosité de la pâte, alors pour garder une même fluidité pour tous les BAP et éviter cette augmentation de viscosité on a diminué le dosage en super-plastifiant

### IV.2.2 Essai de la boîte en L (LBOX)

Un BAP doit être assai fluide pour pouvoir se faufiler à travers un ferrailage plus ou moins dense sans pour autant ce bloqué rendant l'opération de remplissage parieuse. Pour vérifier qu'un BAP dispose de la fluidité nécessaire et d'une bonne résistance à la ségrégation dynamique un essai à la boîte en L avec une configuration à trois barres a été appliqué à l'ensemble des bétons. La figure IV.2 présente les résultats obtenus.



**Figure IV.2** : Influence du type et du taux de substitution de scorie sur l'écoulement à la boîte en L des BAP

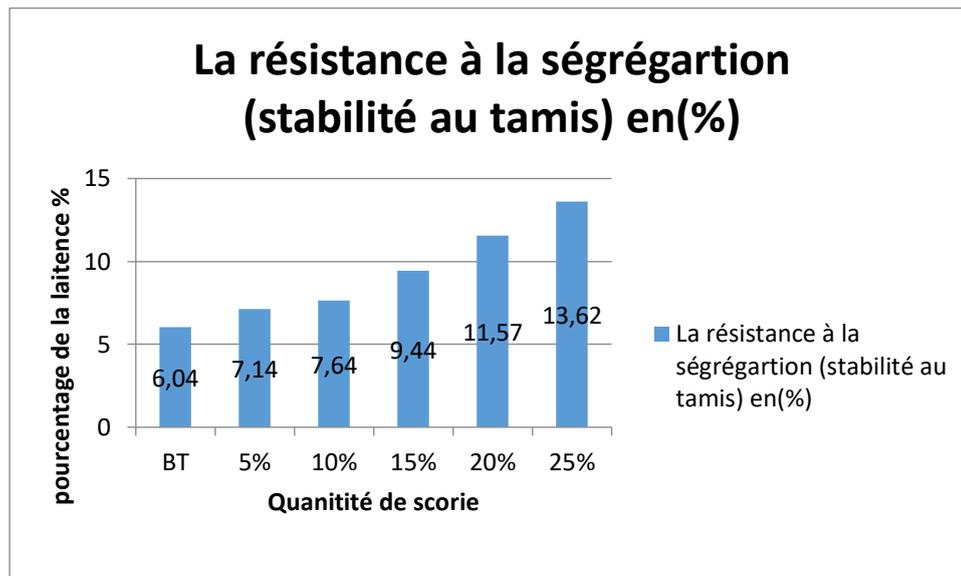
#### Discussion :

On remarque qu'il y'a une grande influence des scories sur l'écoulement de béton, la substitution du ciment par des dosages défèrent conduit à une augmentation de la mobilité et absence de blocage des gros grains entre le ferrailage

Le dosage donnant la meilleure rhéologie est celui de 25% de scorie

### IV.2.3 Essai de la stabilité au tamis :

Afin de quantifier l'influence de scorie sur la résistance à la ségrégation statique l'essai de stabilité au tamis a été réalisé et les résultats obtenus sont consignés sur la **Figure IV.3**

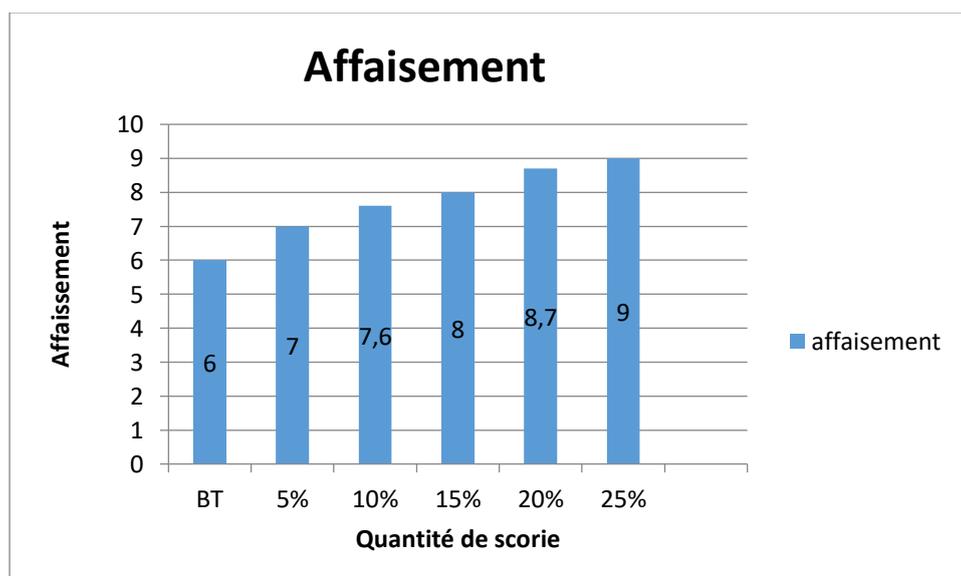


**Figure IV.3 :** Influence du type et du taux de substitution de scorie sur la stabilité au tamis des BAP

#### Discussion :

Le résultat obtenu présentés sur la figue IV.3, montre que les compositions testées à une stabilité satisfaisante SR moins de 20, L'augmentation de la scorie conduit à une diminution de la ségrégation et amélioration de la stabilité

#### IV.2.4 Essai d'affaissement au cône d'Abrams



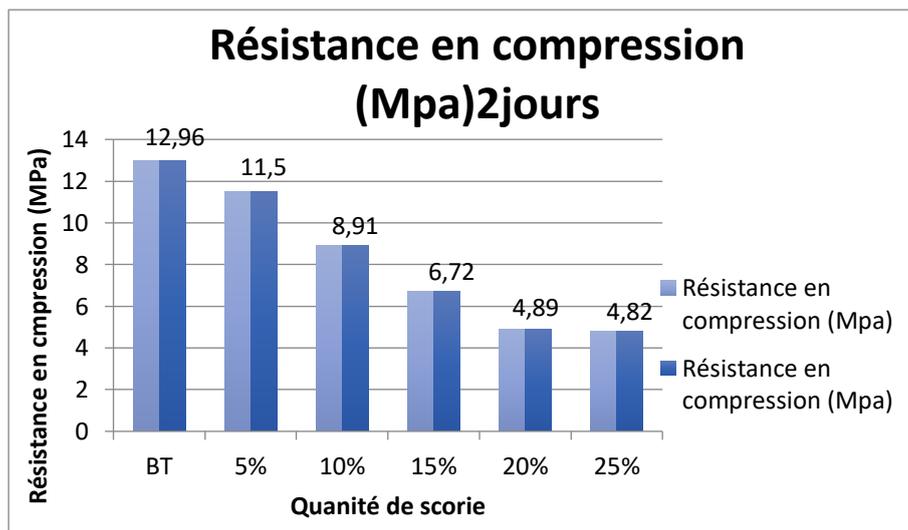
**Figure IV. 4 :** Influence du type et du taux de substitution de scories sur l'affaissement dans BO

**Discussion :**

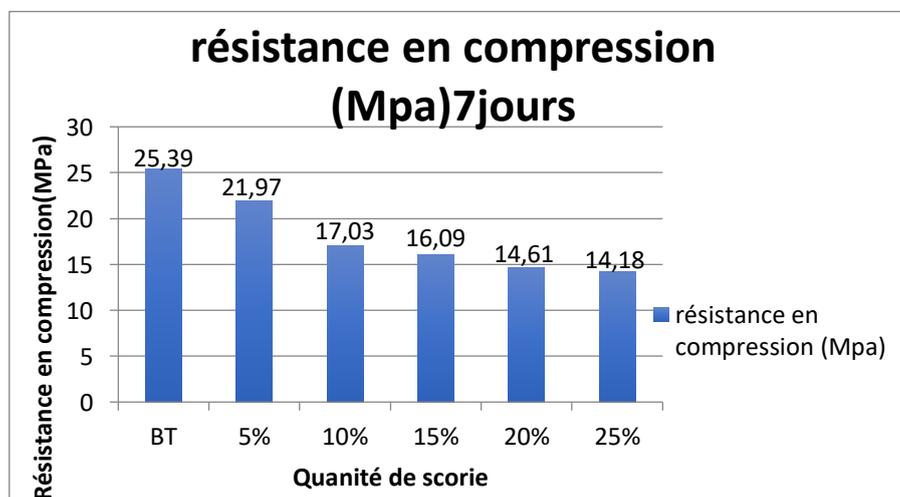
On observe que l'augmentation de scorie au mélange à une influence sur l'affaissement du béton ordinaire. L'affaissement augmente avec l'augmentation des dosages en scorie ce qui est logique c'est ont tien compte que la scorie ont une capacité d'absorption d'eau moins que le ciment

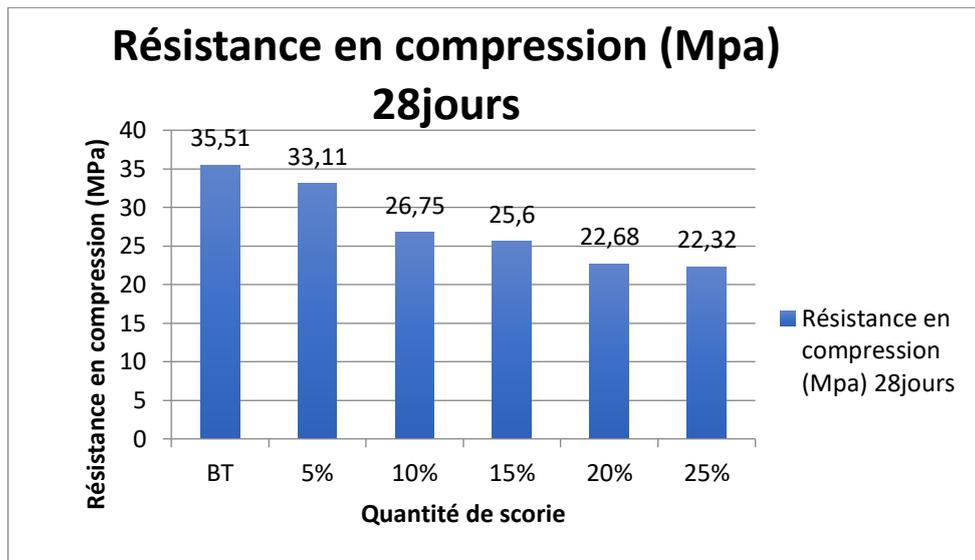
**IV.3 Propriétés a l'état durci**

Après avoir mis en évidence l'utilisation de la méthode de Dreux pour la formulation des BAP par la validation des paramètres d'autoplaçance, nous abordons dans cette partie les propriétés mécaniques de béton autoplaçant.

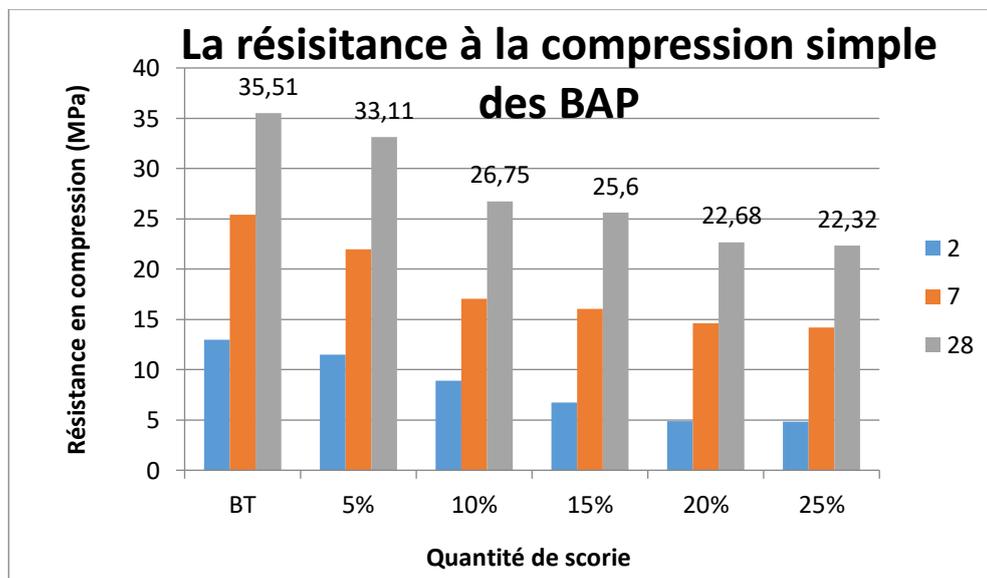
**IV.3.1 Résistance mécanique****IV.3.1.1 Résistance à la compression**

**Figure IV-5 :** Résistance à la compression simple à 2jours des BAP

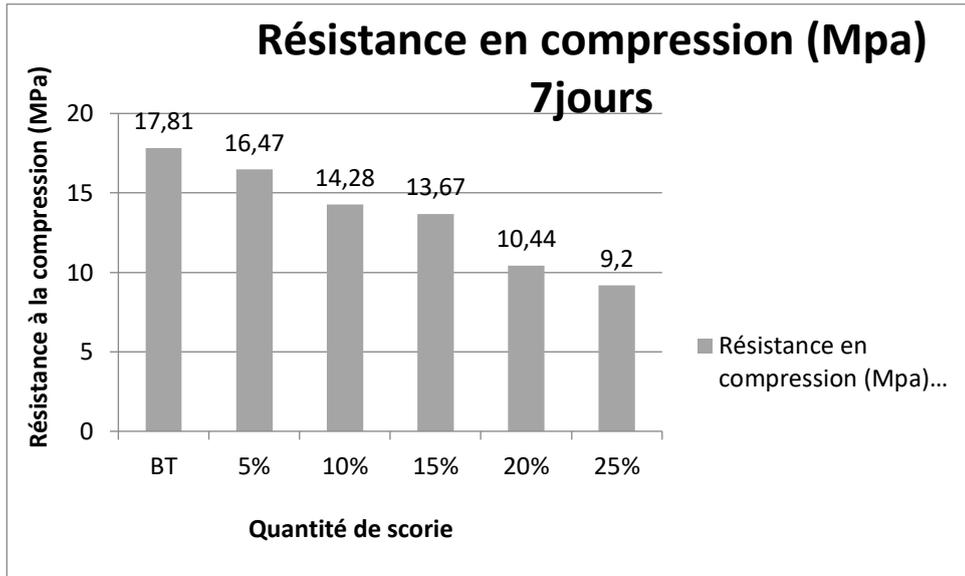


**Figure IV-6 :** Résistance à la compression simple à 7 jours des BAP**Figure IV-7 :** Résistance à la compression simple à 28 jours des BAP**Discussion :**

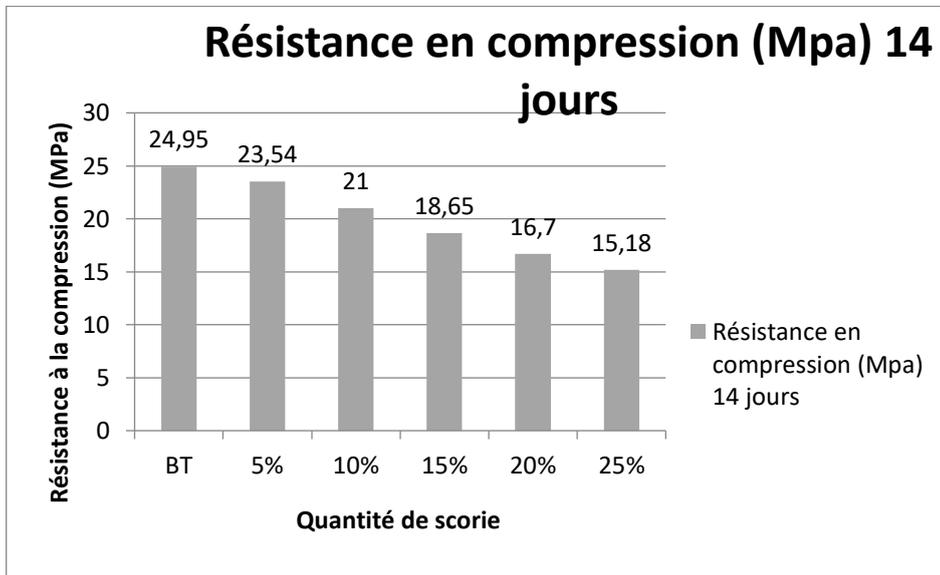
On remarque que plus la quantité de scorie en substitution augmente plus la résistance diminue mais on remarque bien aussi que la résistance est acceptable jusqu'à 15%.

**Figure IV-8 :** Evolution de la résistance à la compression simple des BAP**Discussion :**

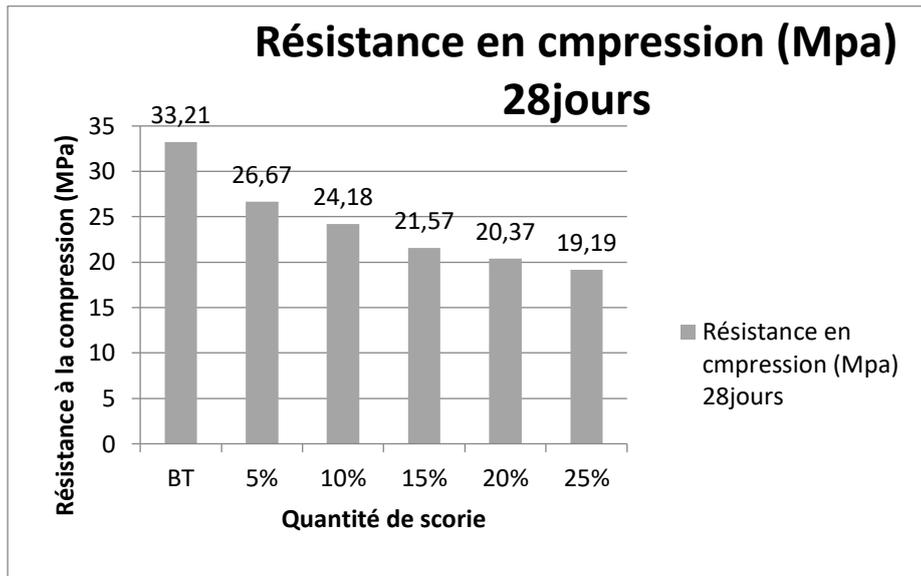
On observe que la résistance en compression à court et à long terme diminue avec l'augmentation du dosage de scorie et on remarque que la résistance est acceptable jusqu'à 15% ce qui est logique car la scorie n'a pas des réactions à court terme.



**Figure IV-9 :** Résistance à la compression simple à 7 jours des BO



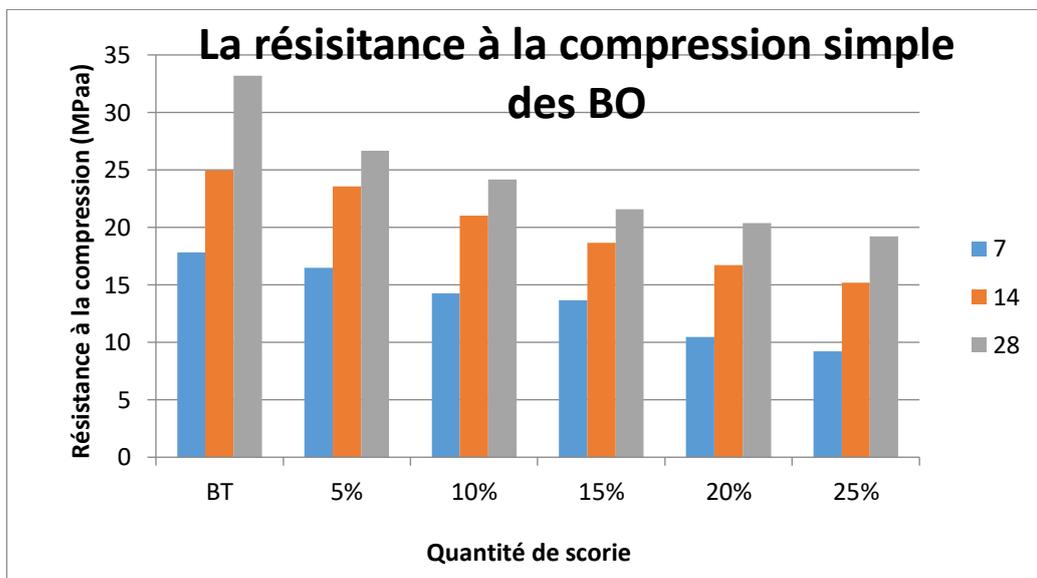
**Figure IV-10 :** Résistance à la compression simple à 14 jours des BO



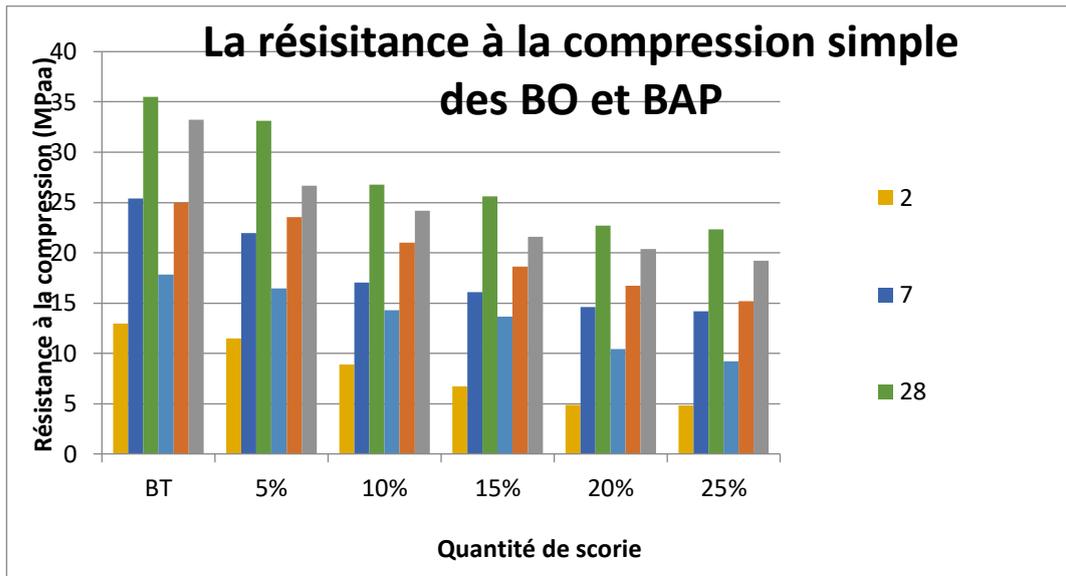
**Figure IV-11 :** Résistance à la compression simple à 28jours des BO

Discussion :

On remarque que la résistance en compression diminue avec l’augmentation du dosage en scorie, mais elle reste acceptable autour de 10%



**Figure IV-12 :** Evolution de la résistance à la compression simple des BO



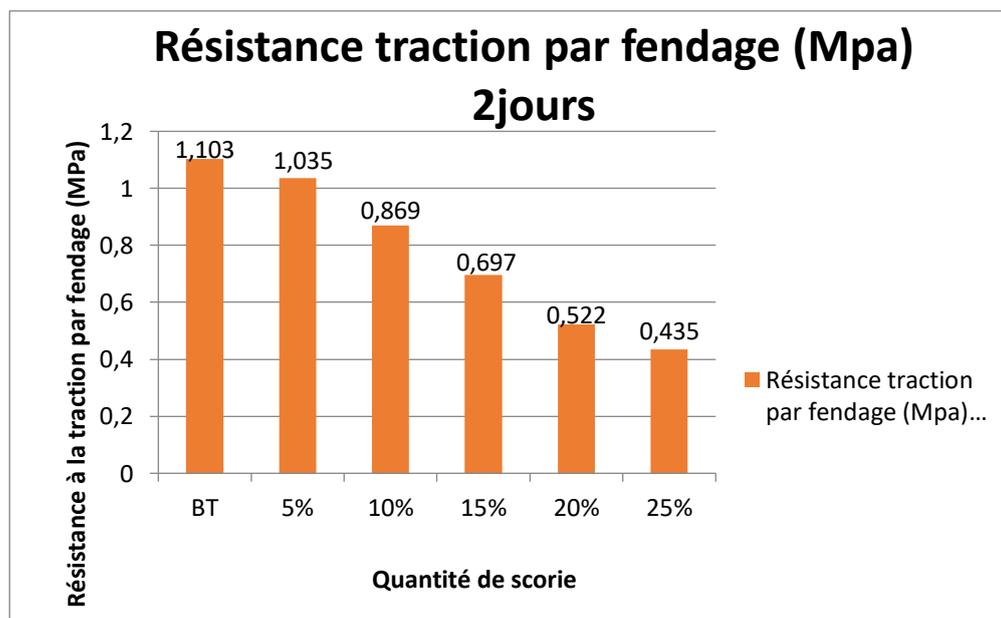
**Figure IV-13 :** Evolution de la résistance à la compression simple des BO et BAP

### Discussion

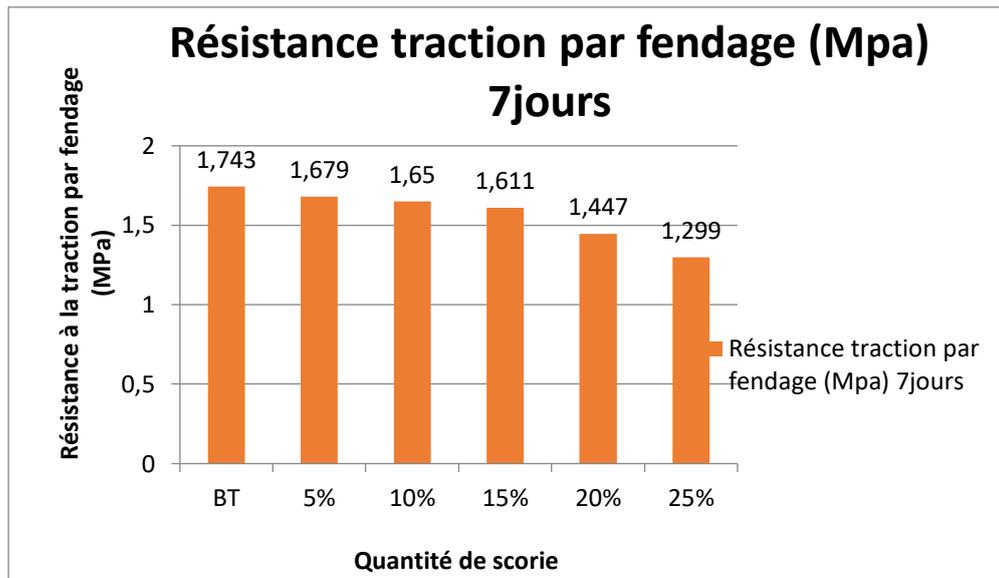
On remarque que les résistances atteintes par les deux bétons sont en diminution progressive dans le temps et en augmentant le dosage de scorie broyée, et on remarque aussi que les BAP ont atteint des résistances meilleures que les BO ce qui est dû à la présence du filler calcaire, qui a joué le rôle de remplissage

On remarque aussi qu'à 15% de substitution les BAP et BO ont atteint des résultats acceptables autour de 25 MPa, ce qui est la résistance visée dans la formulation

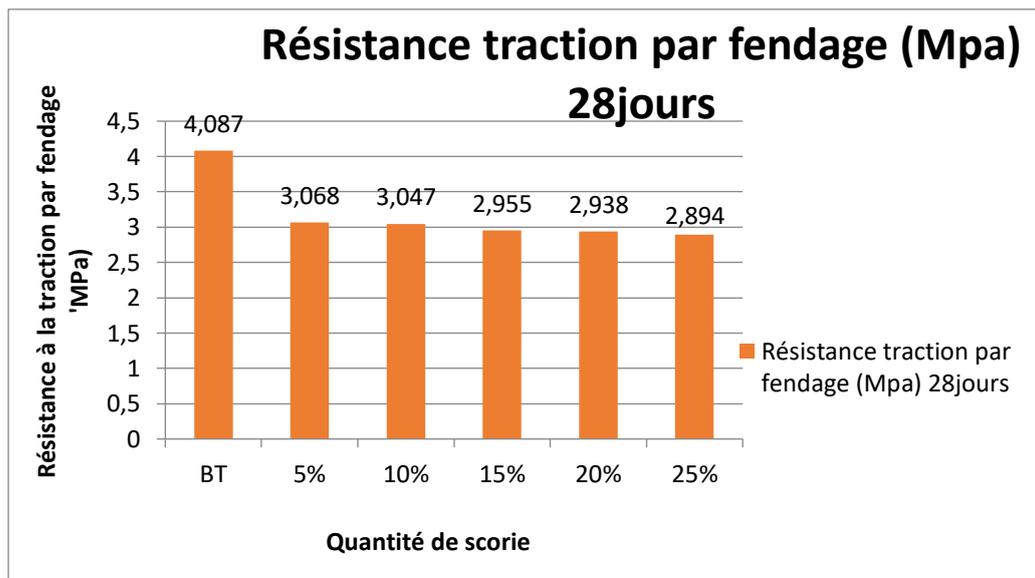
#### IV-3.1.2 Résistance traction par fendage



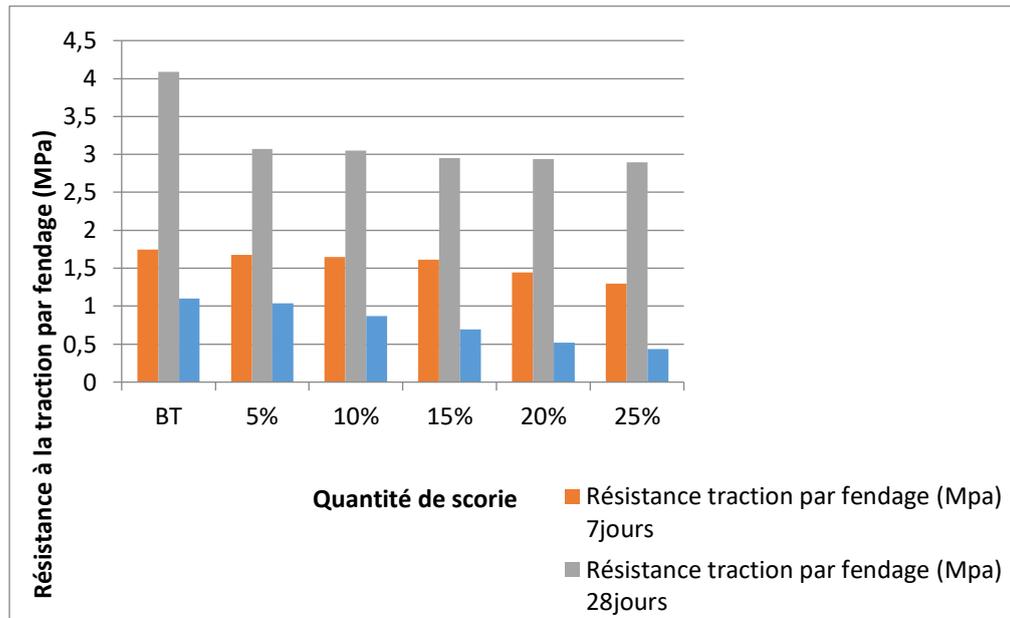
**Figure IV-14:** Résistance à la traction par fendage à 2 jours des BAP



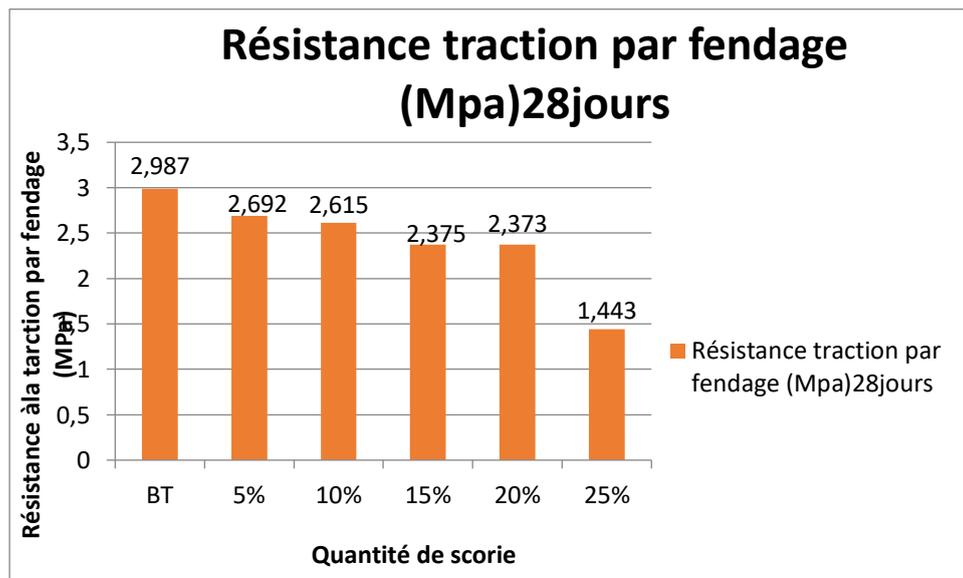
**Figure IV-15:** Résistance à la traction par fendage à 7 jours des BAP



**Figure IV-16:** Résistance à la traction par fendage à 28 jours des BAP



**Figure IV-17 :** Evolution de la résistance à la traction par fendage des BAP



**Figure IV-18:** Résistance à la traction par fendage à 28 jours des BO

#### Discussion :

On remarque que la résistance à la traction par fendage diminue dans les deux types de bétons et avec l'augmentation des dosages en scorie

#### **IV.4. Vérification de l'absence de ségrégation**

La vérification de l'absence de ségrégation sur béton frais est utile et nécessaire, mais la corroborer par une vérification sur béton, constitue une garantie de la bonne qualité du béton.

À cet effet, nous avons préparé des éprouvettes cylindriques (11x22) cm que nous avons laissé durcir et démoulé 24 heures après coulage. Au-delà de 7 jours de conservation dans

l'eau (durée suffisante pour le béton ne risque pas de s'effriter lors de son sciage) nous les avons scié dans le sens longitudinale. L'observation des sections suivant le sens du coulage nous renseigne sur la répartition des granulats dans la matrice cimentaire et donc sur la ségrégation. La **Figure IV.19** présente les photographies des sections sciées des différents BAP.



**Figure IV-19:** vérification de l'absence de ségrégation BAP témoin 0% scorie, 5% de scorie



**Figure 20 :** vérification de l'absence de ségrégation 10 % scorie, 15% scorie



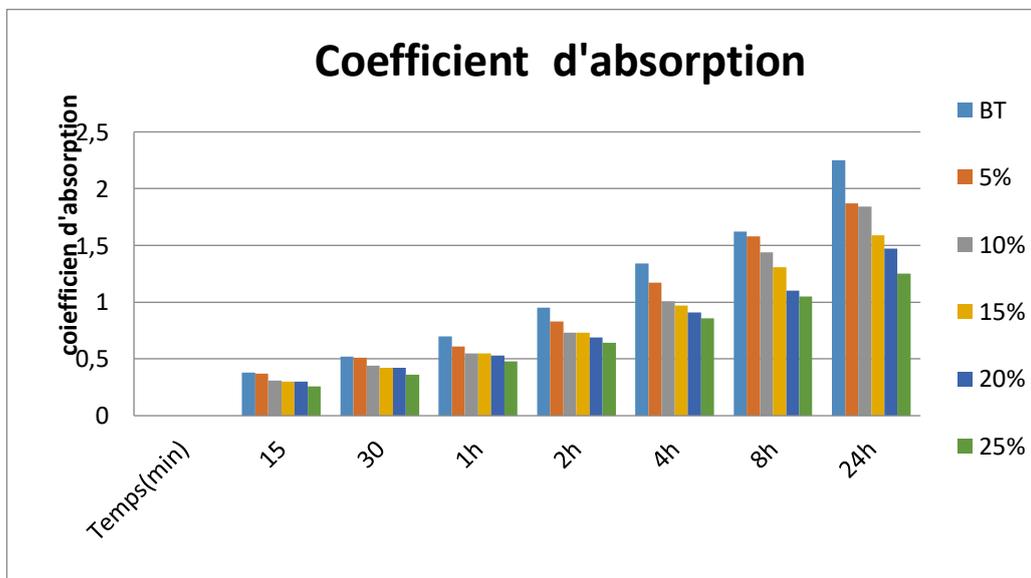
**Figure 21** : vérification de l'absence de ségrégation 20% scorie, 25% scorie

**Discussion :**

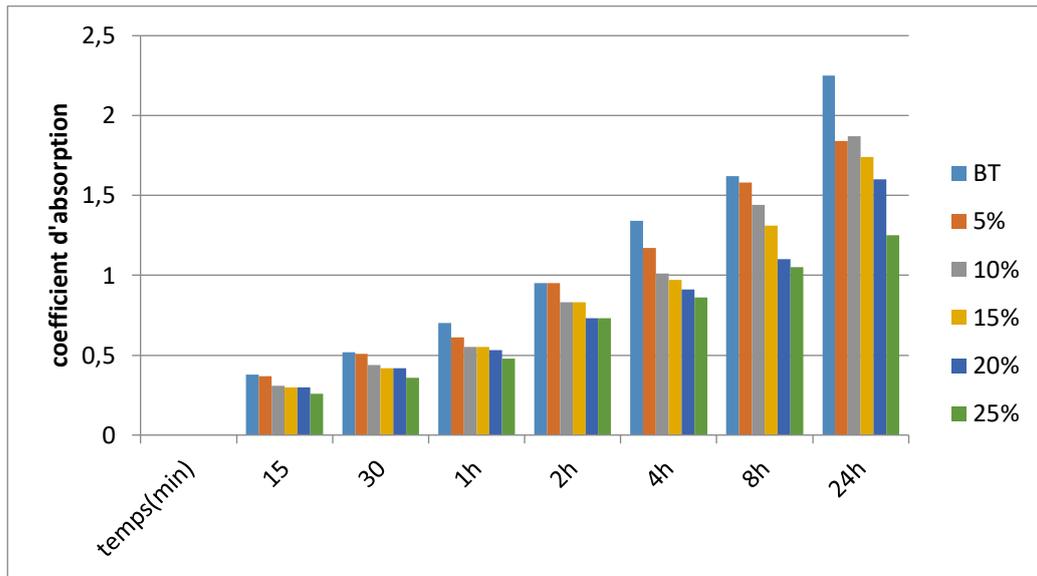
L'observation de la répartition granulaire des BAP montre une distribution homogène du squelette granulaire et une absence de ségrégation ce qui confirme les résultats obtenus sur la stabilité au tamis

**IV.5 Résultats des essais indicateurs de la durabilité des BAP et BO**

**IV.5.1 Essais d'absorption par capillarité**



**Figure IV-22** : Cinétique de l'absorption par capillarité des BAP



**Figure IV-23 :** Cinétique de l'absorption par capillarité des BO

### Conclusion

La cinétique de l'absorption par capillarité montre que le comportement du dosage de scorie par rapport au béton témoin change dans le temps ou l'absorption par capillarité du béton témoin commence la plus faible pour terminer après 24heures supérieure à la plupart des dosages de scorie

## CONCLUSION GENERALE

### CONCLUSION GENERALE

L'étude de la valorisation du déchet industriel d'EL HADJAR dans les bétons a apporté quelques éléments de réponse quant à la possibilité d'introduire les scories broyées dans le ciment comme substitution

Les objectifs de ce travail de mémoire, étaient donc d'apporter une contribution, à l'étude des bétons autoplaçants et les bétons ordinaires, ainsi nous avons fixé un objectif, cet objectif est de formuler un BAP et un BO à base d'un filler de déchet industriel (les scories broyées) avec substitution partielle du ciment et d'étudier leur influence sur les propriétés à l'état frais (rhéologie) et durci (résistance mécanique)

Pour répondre à nos objectifs, nous avons commencé par la formulation du béton autoplaçant témoin à base de filler calcaire et 100% ciment CEM2 et un béton ordinaire témoin avec 100% de ciment

Ensuite la formulation des bétons d'étude (BAP ET BO) par substitution du ciment par "les scories broyée" a des dosages progressive (5%, 10%, 15%, 20%, 25%), beaucoup d'essais ont été réalisés pour obtenir des bétons qui respectent les critères spécifiques de chaque type de béton (BAP ET BO)

Les résultats expérimentaux ont montré que :

Avec l'augmentation de pourcentage de scorie il y a une augmentation et amélioration de l'ouvrabilité des BAP (étalement et remplissage), et de BO (affaissement), on rappelle que ces résultats répondent aux critères exigés par des essais a l'état frais

Ensuite on a remarqué qu'avec une augmentation du dosage en scorie qu'il y a une diminution de la résistance mécanique à la compression et traction par fendage, mais la résistance reste acceptable jusqu'à 15% dans les BAP, et jusqu'à 10% dans les BO

Les résultats obtenus dans cette étude, montre que la valorisation des déchets industriel et notamment les scories de d'EL HADJAR comme substitution partielle du ciment sont acceptable sur le comportement des BAP et des BO a l'état frais (pour tous les dosages) et a l'état durci (jusqu'à certain dosage)

## Références

- [1]question sur le béton <https://www.etudier.com/dissertations/Question-Sur-Le-B%C3%A9ton/61796959.html>
- [2]<https://www.lafarge.fr/histoire-du-beton>
- [3]<http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>
- [4]**Khélifa R.**, «Influence des ciments à base d'ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons, Thèse de Magistère en Génie Civil, Université Mentouri de Constantine, le 11Juillet 2001.
- [5]**Khelifa R.**, «L'impact des cimenteries sur l'environnement – Cas de la cimenterie de Ain-Touta», Mémoire de DEA en Aménagement, Développement et Environnement, Université d'Orléans, le 18 Septembre 2002.
- [6] **Hanaa Fares.** «Propriétés mécaniques et physicochimiques De bétons autoplaçants exposés à une température élevée», thèse de doctorat en Génie Civil, université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009.
- [7]**Dreux G et Festa J.**, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », 8ème édition, Eyrolles, 1998.
- [8] NF P 15-010 , Octobre 1997
- [9] XP P 18-540
- [10]**RACHIL, DENDANI.M**, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.
- [11]**RACHIL, DENDANI.M**, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De
- [12]**BENTATA.A**, « Etude expérimentale de béton avec le sable dune». Mémoire de magister. Université de Ouargla, 2004.
- [13] NF EN 206-1
- [14]**ADAMM.N**, « Propriétés des bétons », Edition Eyrolles.2000.
- [15]**DREUX. G**, « Nouveau guide du béton».1979.
- [16] NF P 18-439
- [17]**BOUFEDAH BADISSI. A**, «Influence de la granularité (classe granulaire 4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires». Thèse de Doctorat. Université de MENTOURI Constantine, 2011.

## Références

- [18] Béton-Définition-Encyclopédie scientifique en ligne  
www.techno-science.net, 2008.
- [19] **Haddad O.**, 1er congrès international sur la technologie et la durabilité du béton à Alger, les 24, 25 et 26 Mai 2004.
- [20] **Arch. Gie Wollaert**, Béton autoplaçant ,2005
- [21] **Arch. Gie Wollaert**, Béton autoplaçant ,2005
- [22] **Mme CHIBANI Naouel** FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS AUTOPLAÇANTS (BAP) A BASE DE GRANULATS RECYCLES : Cas des fines de marbre.
- [23] **Abib Z.**, Thèse de Magistère en Génie Civil, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, le 06 Juillet 2006.
- [24] **Sedran T.**, Thèse de Doctorat en Structure et Matériaux, « Rhéologie et rhéométrie des bétons - Application aux bétons autonivelants », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Nantes, le 08 Mars 1999.
- [25] Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.
- [26] Ecoles Française du Béton (EFB), mis en ligne par le lycée du Bâtiment Saint-Lambert, Internet, 2004.
- [27] **Seddik A.** Thèse de magistère en Génie Civil, « Le béton autoplaçant sous conditions locales », Département de Génie Civil, Université de Sétif (Algérie), Février 2008.
- [28] Béton autoplaçant – wikipédia en ligne, www.wikipédia.org, 2008.
- [29] Net, www.termsscience.fr, 2008.
- [30] **J-C.BRAQUENIER et J.DESNYTER**, le béton autoplaçant ou autocompactant, 2000.
- [31] CSTC (centre de recherche), Béton et ouvrages en béton, rapport d'activités, Belgique, 2004.
- [32] **Yagoub.M**, « matériaux de construction (chapitre 2) », cours en génie civil, université Mohamed Khaider à Biskra, 2009.
- [33] NF EN 206-1
- [34] Direction technique et commerciale béton  
www.béton-vicats.Fr

## Références

[35] NF EN206-1, « Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité » ; Avril 2004

[36] <http://www.guidebeton.com/beton-autoplacant>.

[37] EN 197-1

[38] **Boudchicha Abdelaziz**, « utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants

pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécanique des bétons», thèse doctorat, université Mentouri à Constantine, Décembre 2007.

[39] **Merniz Mohamed**, « étude de l'influence de la nature et les dimensions des fibres sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP) », mémoire master,

université Mohamed Boudiaf à M'sila, 2015.

[40] NF P18-508

[41] NF P18-509

[42] **ZHU et GIBBS**, « Use of different limestone and chalk powders in self-Compacting concrete », Cement and concrete research, vol 35, pp1457-1462, 2005.

[43] **Chatra Yassine**, « effet des fillers de calcaire sur le comportement d'un béton auto plaçant (BAP) à base des matériaux locaux », mémoire master, université Mohamed Boudiaf

à M'sila, juin 2016.

[44] **Turcry.P, Loukili. A**, "Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants : incidence sur les caractéristiques rhéologiques", Forum des associations AFGC/AUGC/IREX : innovation et développement en génie civil et urbain - nouveaux bétons,

Toulouse, 30-31 mai 2002.

[45]. **KASMI ZIN EDDINE**, « Propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons autoplaçant fibrés exposés à haute température », thèse de magister université de Mohammed Boudiaf-M'sila 2014.

[46]. **Projet National de Recherche CERIB**, " béton autoplaçant BAP " France, Article de presse du BTP, 12 Octobre 2001.

[47]. cour valorization des déchets industriel , prof arabi , badji mokhtar , annaba

## Références

- [48] **Mr: Chelighem yasser** L'ajustement de la désoxydation –clé de l'atténuation du défaut de paille sur le tube sans soudure
- [49] **Noureldin, AS et RS McDaniel.** «Évaluation des mélanges de scories d'aciérie surface en asphalte», présenté au Transportation Research Board Meeting annuel 69e,
- [50] **Washi SCORIES MÉTALLURGIQUES** - Encyclopédie Universalis\_fichiersngton, DC, Janvier, 1990.
- [51] **Merniz Mohamed,** « étude de l'influence de la nature et les dimensions des fibres sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplacants (BAP) », mémoire master, université Mohamed Boudiaf à M'sila, 2015.
- [52] **Ali Bouzidi,** « généralité sur les adjuvants », cours en génie civil, université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, Décembre 2016.
- [53] **Abdelhamid R'mili, Mongi Ben Ouezdou** "Caractéristiques et propriétés des bétons autoplacants (BAP)"
- [54] **OKAMURA H.ET AL,** "self-compacting high performance concrete" Proceeding of the fifth sec vol.3, pp.2381-2388, 1995
- [55] **Mme Ben akili Sarah,** «caractérisation expérimental des bétons autoplacant obtenus par ajout des déchets de construction ", thèse de magister université de Mouloud Mammeri deTizi-Ouzou 2009.
- [56] Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplacants – Recommandations provisoires, p63, Juillet 2002.
- [57] THESE EN COTUTELLE Présentée pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE CERGY-PONTOISE ET DE L'UNIVERSITE DE MOSTAGANEM : « Durabilité des bétons autoplacants à base de VASE ET DE pouzzolane» .(2014-2015).
- [58 ] **TURCRY P.,** « Retrait et fissuration des bétons autoplacants – Influence de la formulation », Thèse de doctorat en Génie Civil, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, le 3 février 2004.
- [59 ] **ADAM N.,** « Propriétés des bétons », traduit par le CRIB (Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton, Sherbrooke - Laval), septembre 2000.

## Références

[60 ] AFGC « Recommandations provisoires », document scientifique et technique (juillet2000).

[61] BOUHAMOU N. « Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état frais et durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux Algériens». Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem, Algérie. (2008).

[62] K.Ayed,A.Benaissa,Etude du comportement differe du BAP l' influence de la pozzolane naturel de benisaf sur le retrait du BAP,ENSET Oran, 2009..

**[63]Benaddad Sabrina Melle : BenatsouNacira**

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Civil Promotion 2012

---

# *ANEXE*

---



شركة الإسمنت لحجار السود

FICHE TECHNIQUE CIMENT

F03-01/1000

date 06/08/2017

Version : 06

Page 1 sur 1

CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE CEMII/A-L 42,5N

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa
PAF 975° C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60		02 jours 13-17,5
SiO2	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 23 - 33
Al2O3	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 42.5 -47
Fe2O3	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm <sup>2</sup> /g	3300 - 4000	NA 234	FLEXION
MgO	1 - 2	NA231				02 jours 3,0-4,0
K2O	0,3 - 0,6					07 jours 5,0-6,5
Na2O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER μm/m	≤ 1000		28 jours 6,5-8,5
SO3	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 - 1,8	C3S	52-58	CLINKER	≥ 74%	
CL <sup>-</sup>	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6%	
NB: Dans le mélange ajout:		C3A	8 - 12	CALCAIRE	16 %-18%	
calcaire+tuf:		C4AF	9 - 13	pouzzolaine+ calcaire	/	
le tuf est de l'ordre de 05%				calcaire + TUF	12 %-18%	

**DOMAINE D'UTILISATION**

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton , Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment) .

**PRECAUTION D'EMPLOI**

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industrielles) emploi obligatoire de ciment

ES pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.

- Travaux à la mère ( emploi obligatoire de ciment PM pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5° C ( il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R )

**STOCKAGE :**

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

**EMBALLAGE :**

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du sac.

**ATTENTION**

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.



SNC BEXCAR BENBRAHIM ET ASSOCIES  
N° 02 Cité 1600 Logts BT 116 EL-KHROUB, 25 100 Constantine, Algérie  
Tel/ Fax : + 213 31 96 54 66  
E-mail : [bexcarb.dz@gmail.com](mailto:bexcarb.dz@gmail.com)

## Bexcarb 10N

Usine de Production : El-Khroub, Constantine.

Description de Production : Carbonate de Calcium naturel de la région d'El-khroub, du Djebel Oum Seltas, il est constitué par des calcaires du Cénomaniens d'une grande blancheur, c'est un calcaire d'origine néritique caractérisé par une grande pureté chimique.

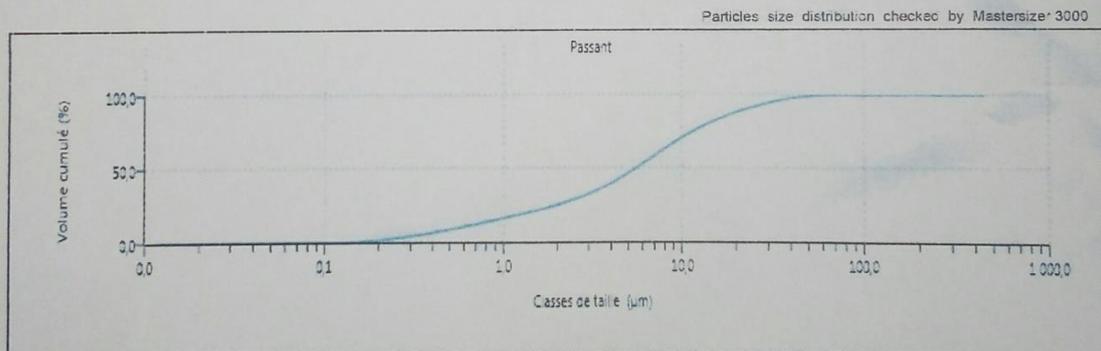
Analyse chimique du Produit :

CaCO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
≥ 98 %	0,35 %	0,18 %	0,13 %

Propriétés Physique du Produit :

Coupe d98	45 μm
Diamètre médian d50	6,7 μm
Particules % < 2 μm	22
Blancheur (Elrepho) L*,a*,b*	96.6 / 0.28 / 2
Dureté (Mohs)	3
Humidité Maximum	0.2 %

Spécifications de Production :



Ces spécifications sont des valeurs moyennes résultantes de plusieurs mesures de production.

Principales Applications :

- \* Industrie de peinture.
- \* Plastique : PVC
- \* Colles.
- \* Mastics.
- \* Enduits.

#### NA.5.2.5.2.1 Généralités

Le concept de coefficient  $k$  et de liant équivalent autorise la prise en compte des additions de type II et de certaines additions de type I :

- en remplaçant le terme « rapport eau/ciment » par celui de « rapport eau/(ciment +  $k \times$  addition) », l'eau étant par définition l'eau efficace (voir 3.1.30 et NA.3.1.30) ;
- en remplaçant l'exigence relative au dosage minimal en ciment par la même exigence appliquée au liant équivalent.

Le liant équivalent est constitué de ciment de type CEM I 42,5 N ou CEM I 42,5 R ou CEM I 52,5 N ou CEM I 52,5 R et d'une des additions normalisées mentionnées ci-après à l'exclusion d'autres ciments ou d'autres additions.

Pour tenir compte des apports respectifs des constituants vis-à-vis de la durabilité, la quantité de liant équivalent est définie par la formule :

$$\text{Liant équivalent} = C + kA$$

où :

- $C$  est la quantité de ciment par mètre cube de béton (en  $\text{kg/m}^3$ ) ;
- $A$  est la quantité d'addition par mètre cube de béton prise en compte dans le liant équivalent (en  $\text{kg/m}^3$ ) et dont la valeur maximale est définie par le rapport  $A/(A + C)$  précisée dans le Tableau NA.F.1 pour les différentes classes d'exposition. Si une plus grande quantité d'addition est utilisée, l'excédent ne doit être pris en compte ni pour le calcul du rapport eau/(ciment +  $k \times$  addition), ni pour le dosage minimal en liant équivalent ;
- $k$  est le coefficient de prise en compte de l'addition considérée (voir NA.5.2.5.2.2).

L'aptitude générale à l'emploi pour des bétons utilisés en France est établie pour les additions normalisées suivantes pour la substitution partielle du ciment et pour la détermination de la teneur minimale en liant équivalent :

- les cendres volantes pour béton conformes à la norme NF EN 450, puis à la norme NF EN 450-1 ;
- les fumées de silice, conformes à la norme NF P 18-502, puis à la norme NF EN 13263-1 ;
- les laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau de classe B, conformes à la norme NF P 18-506 ;
- les additions calcaires, conformes à la norme NF P 18-508 ;
- les additions siliceuses de catégorie A conformes à la norme NF P 18-509.

**NA.5.2.5.2.2** *Concept du coefficient k pour les additions prises en compte*

L'aptitude générale à l'emploi pour des bétons dont le lieu d'utilisation est la France, est établie pour les valeurs suivantes du coefficient *k* données dans le Tableau NA.3.

**Tableau NA.3 — Valeurs du coefficient *k***

Dénomination de l'addition	Valeur du coefficient <i>k</i>	Conditions supplémentaires à remplir
<b>Additions de type II</b>		
Cendres volantes pour béton	0,60	Si $i_{28} \geq 0,83$ et $i_{90} \geq 0,95$
	0,50	Si $i_{28} \geq 0,80$ et $i_{90} \geq 0,90$
	0,40	Si $i_{28} \geq 0,75$ et $i_{90} \geq 0,85$
Fumées de silice	2,00	Si dans les expositions XA $E / C \leq 0,45$ et $C \geq 295 \text{ kg/m}^3$ Si dans les expositions différentes de XA $E / C \leq 0,45$ et $C \geq 280 \text{ kg/m}^3$
	1,00	Dans les autres cas ou sur prescription particulière
Laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau, de classe B	0,90	$h_{3/7} \geq 0,70$ $h_{3/28} \geq 0,85$

**Tableau NA.3 — Valeurs du coefficient *k* (fin)**

Dénomination de l'addition	Valeur du coefficient <i>k</i>	Conditions supplémentaires à remplir
<b>Additions de type I</b>		
Additions calcaires	0,25	$i_{28} \geq 0,71$
Additions siliceuses de classe A	0,25	$i_{28} \geq 0,71$
<b>Toutes additions</b>		
Pour les quantités d'additions dépassant les valeurs indiquées au Tableau NA.F.1 ou au Tableau NA.F.2 et pour les autres ciments ou les autres additions que celles mentionnées dans NA.5.2.5.2.1	0,00	

NOTE  $i_{28}$ ,  $i_{90}$ ,  $h_{3/28}$  et  $h_{3/7}$  sont des indices d'activité ou de pouvoir hydraulique déterminés selon les normes d'essais de l'addition considérée.