

Année Universitaire : 2021-2022

**Master Sciences et Techniques GMP  
Génie des Matériaux et des Procédés**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques**

**Etude de formulation et choix de l'adjuvant**

**Présenté par:**

- **SOUISSEN FOUAD**

**Encadré par:**

- **Pr. MELIANI ABDESSALEM**

**Soutenu Le 20 Juillet devant le jury composé de:**

- **Pr. MELIANI ABDESSALEM**

- **Pr. BOULAHNA AHMED**

- **Pr. BOUAYAD ABDELOUAHED**

**Stage effectué à : BETON Zalagh**

## *Dédicaces :*

**À ma chère mère,**

Qui ne m'a jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

**À l'âme de mon cher père,**

Qui nous a laissé, que son âme repose dans la paix éternelle.

**À mes très chers frères FAISAL et ADIL,**

Les mots ne sauraient exprimer l'estime que j'ai pour vous et la fierté que je ressens d'être votre Frère.

**À la famille SOUISSEN et FARAH ,**

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

**À mon cher ami, YOUSSEF KHRIFA,**

Qui m'a aidé et supporté dans mes moments difficiles

**À mon cher ami, MOUATAZ EL YOUSFI,**

Pour son soutien moral et ses conseils précieux tout au long de mes études, que Dieu t'aide à compléter toutes tes ambitions.

**À mes amis,**

ACHRAF HACHI, AMINE OUKILI, IBRAHIM , REDA LAMDABBAR ,ALAMI, AYOUBE ALAMI ,Hicham BENLAMLIH, Mehdi OUEDOUAFI , YASSINE MIKO ,ANASS BEN CHERKI,,YOUSSEF ELSALAMA,HAMZA NKHILI ,ANNAS KANABAL.

Pour leurs aides, appuis et encouragements.

**.....À tous mes autres amies et amis et collègues.....**

## Remercîments :

*P*remièrement nous remercions Dieu source de toute connaissance.

*C*e s'est réalisé au sein de zalagh béton usine Sefrou , cette équipe m'a acceptée entant que stagiaire pour une durée de quatre mois. Ce stage m'a permis d'avoir un contact avec le monde professionnel et de me familiariser de plus en plus avec la mise en pratique des notions acquises au cours de mes études.

*J*e tiens à remercier mon maître de stage et mon encadrant industriel, Madame LAHLOU HOUDA, responsable qualité, pour l'aide qu'elle a fournie et les connaissances qu'elle a su me transmettre, je la remercie également pour sa disponibilité et la qualité de ses conseils.

*J*e remercie profondément Monsieur MELIANI ABDESLEM, qui a pris la responsabilité de m'encadrer, me diriger et m'orienter pour enrichir le contenu de ce rapport.

*M*es remerciements vont également à Messieurs les professeurs membres du jury pour avoir supporté la fastidieuse tâche de lecture de ce rapport, son évaluation et sa discussion, et à tous mes enseignants pour la richesse et la qualité de leur enseignement, et qui déploient de grands efforts pour nous assurer une formation actualisée, ainsi que tout le corps administratif de la faculté des sciences et technique de Fès.

*E*t finalement, Je tiens à remercier Le personnel d'usine pour le climat d'échange convivial et familial qu'ils m'ont procuré, ainsi toutes celles et tous ceux qui, par leur expertise, leurs conseils ou leurs compétences ont bien voulu m'apporter une aide précieuse à la rédaction du présent travail.

## Résumé :

Aujourd'hui, ZALAGH BETON , compte parmi les pionniers dans le domaine du béton prêt à l'emploi dans sa région, et est reconnue par les professionnels pour qualité des prestations, disponibilité, réactivité, et écoute de ses clients, et d'une Forte expérience de plus de 10 ans dans la production du Béton prêt à l'emploi .

La formulation du béton dépend de critères techniques, normatifs mais aussi économiques tels que les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et de son environnement lors de son exploitation, les caractéristiques du béton lors de sa mise en œuvre et de son durcissement, les conditions de production et la mise en œuvre du béton, les matériaux disponibles localement, les normes en vigueur .

Pour choisir le meilleur adjuvant, on doit comparer leurs influences à différents pourcentages en poids sur les trois grandeurs : La résistance à la compression, la maniabilité et la masse volumique.

On ajoute aussi que cette comparaison ne peut se faire que sur des intervalles de dosage recommandé liés à chaque adjuvant ( entre 0,6 % et 1 % ) . Les résultats obtenus montrent le meilleur adjuvant.

A la lumière de ce comparatif technique, nous aboutissons à de meilleures propriétés rhéomécanique en utilisant l'adjuvant chryso-1440. Concernant l'aspect financier, le prix des deux adjuvants est presque le même. En conséquent, il est fortement recommandé de retirer le Sika-1400 de la production du béton pré a l'emploi à base des granulats de Sefrou et ikeder et utiliser uniquement chryso-1440 .

**Mots clés:** La résistance à la compression, la maniabilité , la masse volumique, la formulation , superplastifiant .

# TABLE DE MATIERES :

<i>Dédicaces</i> : .....	
Remercîments : .....	
Résumé : ..	
<b>TABLE DE MATIERES</b> : .....	
Liste des figures : .....	
Liste des tableaux : .....	
Liste des abréviations : .....	
Introduction : .....	<b>1</b>
Chapitre I :Présentation DE BETON Zalagh .....	<b>2</b>
<b>I. PRESENTATION DE BETON ZALAGH</b> .....	<b>2</b>
1. FICHE SIGNALETIQUE : .....	2
<b>II. DOMAINE D'ACTIVITE</b> .....	<b>3</b>
<b>III. NOS IMPLANTATIONS</b> .....	<b>3</b>
1. CENTRALES A BETON : KM 14, ROUTE DE SEFROU FES .....	3
Chapitre II : le béton et ses constituants .....	<b>4</b>
<b>I. LE BETON</b> .....	<b>4</b>
2. CLASSIFICATION DES BETONS : .....	4
3. LES DIFFERENTS TYPES DE BETON : .....	6
<b>II. LA COMPOSITION PRINCIPALE DU BETON</b> : .....	<b>6</b>
1. LE CIMENT PORTLAND : .....	6
a) <i>Définition</i> .....	6
2. LES GRANULATS : .....	7
a) <i>Les différents types de granulats</i> : .....	8
b) <i>Influence des granulats sur le comportement de béton</i> : .....	8
3. LES ADJUVANTS POUR AMELIORER LES PROPRIETES DU BETON : .....	9
a) <i>Quelque utilisation principale des adjuvants</i> : .....	9
b) <i>Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité des bétons</i> : .....	10
c) <i>Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement</i> : .....	11
d) <i>Les adjuvants modifiant les propriétés du béton</i> : .....	13
4. -L'EAU : .....	15
Chapitre III : Procède de fabrication.....	<b>16</b>
<b>I. PROCESSUS DE FABRICATION DU BETON</b> : .....	<b>16</b>
1. CENTRALE A BETON : .....	16
2. L'ARRIVAGE ET STOCKAGE DES MATIERES PREMIERES : .....	17
a) <i>Les granulats et les sables</i> : .....	17
b) <i>Le ciment</i> : .....	17
c) <i>les adjuvants</i> : .....	18
d) <i>L'eau</i> : .....	18
3. -FONCTIONNENT DE LA CENTRALE A BETON : .....	18

a)	LE DOSAGE DES COMPOSANTS :	18
b)	LE MALAXAGE :	19
c)	Chargement du béton pour l'acheminement :	19
d)	Retour du béton en centrale :	19
<b>II.</b>	<b>LES REACTIONS MISES EN JEU DANS LA FORMATION DU BETON :</b>	<b>19</b>
1.	L'HYDRATATION DES SILICATES :	20
2.	L'HYDRATATION DES ALUMINATES :	20
3.	L'HYDRATATION DES ALUMINOFERRITES :	21
<b>Chapitre IV:</b>	<b>Etude de formulation et choix de l'adjuvant :</b>	<b>21</b>
<b>I.</b>	<b>CALCULE DE LA COMPOSITION PAR LA METHODE DE DREUX-GORISSE :</b>	<b>22</b>
1.	DONNES DE BASE :	22
2.	METHODE DE CALCULE :	23
a)	Détermination de C/E :	23
b)	le dosage en eau et en ciment :	23
c)	Détermination du coefficient de compacité $\delta$ :	24
d)	Détermination du volume total du granulats :	24
e)	Détermination des pourcentages volumiques des granulats :	24
f)	La quantité de chacun des constituants :	26
3.	LA COMPOSITION DE BETON :	27
<b>II.</b>	<b>CHOIX D'ADJUVANT :</b>	<b>27</b>
1.	LES FORMULATIONS :	28
2.	SIKA-1400 :	29
a)	Caractéristiques :	29
b)	Les Résultats :	29
3.	CHRYSO-1440 :	31
a)	Caractéristiques :	31
b)	Les résultats :	32
4.	OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS :	34
<b>III.</b>	<b>ETUDE COMPARATIVE DES ADJUVANTS :</b>	<b>35</b>
1.	ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE LA NATURE DE L'ADJUVANT UTILISE :	35
2.	ETUDE COMPARATIVE D'AFFAISSEMENT EN FONCTION DE LA NATURE DE L'ADJUVANT UTILISE :	37
3.	ETUDE COMPARATIVE DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DE LA NATURE DE L'ADJUVANT UTILISE :	38
<b>Conclusion :</b>		<b>39</b>
<b>Webographie :</b>		<b>40</b>
<b>Les Annexes :</b>		<b>41</b>
<b>I.</b>	<b>ANNEXES 1 :</b>	<b>41</b>
1.	ÉVALUATION DE L'OUVRABILITE PAR REFERENCE A L'AFFAISSEMENT AU CONE :	41
2.	COEFFICIENT GRANULAIRE KDG , METHODE DREUX-GORISSE :	41
3.	ABAQUE POUR L'ESTIMATION DE LA QUANTITE DE CIMENT :	41
4.	VALEUR DU COEFFICIENT DE COMPACITE $\gamma$ :	41
5.	VALEUR DU TERME CORRECTEUR K EN FONCTION DU DOSAGE EN CIMENT, DE LA PUISSANCE DE LA VIBRATION ET DE L'ANGULARITE DES GRANULATS :	42
6.	MODULE DE FINESSE :	42
7.	LES FICHES DES ANALYSES UTILISE POUR TRACER LES COURBES GRANULOMETRIQUES :	43
<b>II.</b>	<b>ANNEXES 2 :</b>	<b>47</b>

1.	RESISTANCE A LA COMPRESSION :	47
a)	PRINCIPE:	47
b)	APPAREILLAGE :	47
c)	PREPARATION DES ECHANTILLONS :	47
d)	CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS :	47
e)	RÉALISATION DES TESTS SUR LES ÉCHANTILLONS :	47
f)	RÉPARATION ET POSITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS :	48
2.	L'AFFAISSEMENT :	49
a)	PRINCIPE:	49
b)	APPAREILLAGE :	49
c)	Mode opératoire :	50
3.	MASSE VOLUMIQUE :	51
a)	Principe :	51
b)	Appareillage :	51
c)	Mode opératoire :	51

## Liste des figures :

FIGURE 1 :	MODE DE REPULSION D'UN PLASTIFIANT	10
FIGURE 2 :	MODE D'ACTION D'UN PLASTIFIANT	10
FIGURE 3 :	MODE D'ACTION D'UN SUPERPLASTIFIANT	11
FIGURE 4 :	MODE DE REPULSION D'UN SUPERPLASTIFIANT	11
FIGURE 5 :	MODE D'ACTION D'UN ACCELERATEUR DE PRISE	12
FIGURE 6 :	MODE D'ACTION D'UN RETARDATEUR DE PRISE	13
FIGURE 7 :	TEMPS DE PRISE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DU BETON	13
FIGURE 8 :	ACTION DES HYDROFUGES DE MASSE	14
FIGURE 9 :	MODE D'ACTION D'UN ENTRAINEUR D'AIR	14
FIGURE 10 :	RESISTANCE DU BETON EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU	15
FIGURE 11 :	FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE A BETON	16
FIGURE 12 :	COURBES GRANULOMETRIQUES	25
FIGURE 13 :	COURBE GRANULAIRE DE REFERENCE	26
FIGURE 14 :	EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE DE TEMPS ET DES DEFFIRENTS POURCENTAGE D'ADJUVANT	30
FIGURE 15 :	EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	30
FIGURE 16 :	EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	31
FIGURE 17 :	EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	31
FIGURE 18 :	EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE DE TEMPS ET DES DEFFIRENTS POURCENTAGE D'ADJUVANT/	32
FIGURE 19 :	EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	33
FIGURE 20 :	EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	33
FIGURE 21 :	EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT	33
FIGURE 22 :	HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 7 JOURS	35
FIGURE 23 :	HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS	35
FIGURE 24 :	HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE L'AFFQISSEMENT	37
FIGURE 25 :	HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA MASSE VOLUMIQUE	38

## Liste des tableaux :

TABLEAU 1:FICHE SIGNALÉTIQUE.....	2
TABLEAU 2: CLASSES DE RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES BETONS DE MASSE VOLUMIQUE NORMALE ET LES BETONS LOURDS. ....	5
TABLEAU 3: CLASSE DE RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES BETONS LEGERS .....	5
TABLEAU 4: INFLUENCE DES GRANULATS SUR LE COMPORTEMENT DE BETON.....	9
TABLEAU 5:UTILISATION DES ADJUVANTS .....	9
TABLEAU 6 : LES QUANTITES DES CONSTITUANTS POUR 1 M <sup>3</sup> DU BETON .....	27
TABLEAU 7 : LES QUANTITES DES CONSTITUANTS POUR 20 L DU BETON.....	27
TABLEAU 8 :FORMULATION DU BETON TEMOIN.....	28
TABLEAU 9 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.6 % D'ADJUVANT.....	28
TABLEAU 10 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.7% D'ADJUVANT .....	28
TABLEAU 11 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.8 % D'ADJUVANT.....	28
TABLEAU 12 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.6 % D'ADJUVANT.....	29
TABLEAU 13 : CARACTERISTIQUES DE SIKA-1400 UTILISEE .....	29
TABLEAU 14: VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION.....	29
TABLEAU 15 :VARIATION DE L'AFFAISSEMENT .....	30
TABLEAU 16 : VARIATION DE DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ÉTAT DURCI DE BETON.....	31
TABLEAU 17: CARACTERISTIQUES DE SIKA-1400 UTILISEE .....	31
TABLEAU 18: VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION .....	32
TABLEAU 19 : VARIATION DE L'AFFAISSEMENT .....	33
TABLEAU 20: VARIATION DE DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ÉTAT DURCI DE BETON.....	33

## Liste des abréviations :

**JC** : Jésus Christ

**PCE** : des polymères carboxyliques d'éther

**BPE** : béton prêt à l'emploi

**(TSA)** : l'ettringite, aussi appelé trisulfoaluminate de calcium hydraté

**Fckcyl** :la résistance caractéristique mesurée sur cylindres;

**Fckcube** :la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

**C** : CaO

**S** :SiO<sub>2</sub>

**H** : H<sub>2</sub>O

**A** :Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**F**: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**SC** : sable concassé

**SF** ; sable fin

**MF** : module de finesse

## Introduction :

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. Environ, quatre milliards de mètres cubes de béton sont utilisés tous les ans dans le monde pour la Construction d'ouvrage de toutes sortes : bâtiment, ponts, routes, tunnels, aéroports, centrales thermiques et nucléaires et de plates-formes offshore. Ce choix universel est fondé sur des critères techniques et économiques, C'est-à-dire, le bon comportement dans le temps, face aux agressions physico-chimiques de l'environnement. Les critères économiques sont évalués à partir de la disponibilité et du coût des matières premières.

la course aux performances dans le domaine du béton a été toujours suivie par un approfondissement équivalent des connaissances sur le rôle des adjuvants dans les mélanges cimentaires.

Les adjuvants sont des composants très importants dans la composition des bétons modernes, ils permettent de modifier certaines de leurs propriétés à l'état frais ou durci. En dispersant les grains de ciment, à un dosage volumique en eau constant, on peut rendre le béton plus fluide. Plusieurs types de molécules organiques peuvent être utilisés pour obtenir des meilleurs résultats, selon des mécanismes qui les différencient légèrement les uns des autres.

Vu l'importance des adjuvants dans la production du béton prêt à l'emploi, à savoir les superplastifiants qui ont une grande influence sur la qualité finale du béton, notre sujet va se baser sur une étude comparative entre deux types de superplastifiants de fournisseurs différents. À la suite de cette étude nous proposerons le meilleur adjuvant afin de permettre à l'entreprise d'améliorer les formules pour tous les sites de production.

Pour cela nous avons mené une étude pour voir l'influence à différents pourcentages en poids des adjuvants sur les trois grandeurs : La résistance à la compression, la maniabilité et la masse volumique. Et aussi nous souhaitons contribuer à dégager des règles pour la maîtrise de cette utilisation. Car, outre la réponse aux besoins technologiques, l'utilisation des adjuvants dans les mélanges cimentaires constitue aussi un enjeu économique et un intérêt scientifique pertinent.

Dans ce travail, nous avons procédé de la façon suivante:

- la première partie, nous avons donné une brève présentation de la société.
- la deuxième partie, s'intéresse à l'étude bibliographique des caractéristiques du béton et des adjuvants.
- La troisième partie, nous avons développé le processus de fabrication de béton prêt à l'emploi
- La quatrième partie, nous avons donné les résultats obtenus avant de les interpréter.
- Enfin, nous avons terminé par une conclusion et des recommandations

# Chapitre I :Présentation DE BETON Zalagh

## I. Présentation DE BETON Zalagh

FONDEE EN 2009, BETON ZALAGH est devenue une référence en matière de PRODUCTION ET de livraison du béton prêt à l'emploi dans les régions DE FES et Meknès.

Depuis sa création, BETON ZALAGH, ne cesse de développer ses moyens de production et de contrôle. Elle dispose actuellement de quatre centrales à béton de dernière génération réparties sur ses deux sites de production. Son laboratoire interne de contrôle qualité dispose de tous les équipements nécessaires pour la réalisation des contrôles aussi bien sur les matières premières que sur le produit fini.

Tout ceci s'inscrit dans la volonté permanente de BETON ZALAGH de satisfaire ses clients et leur proposer un produit de qualité qui REPOND A toutes les exigences normatives.

Aujourd'hui, BETON ZALAGH, compte parmi les pionniers dans le domaine DU BETON prêt à l'emploi dans sa région, et est reconnue par les professionnels du bâtiment pour la qualité de ses PRODUITS ET services. Consciente qu'elle ne préservera cette position qu'à condition de renforcer ses points forts, c'est à dire : qualité des prestations, disponibilité, réactivité, et écoute de ses clients, BETON ZALAGH, fait de l'amélioration continue, le cœur de son système qualité.

BETON ZALAGH est certifiée ISO 9001 version 2015.

### 1. Fiche SIGNALÉTIQUE :

#### BLEAU 1:FICHE SIGNALÉTIQUE

Raison sociale	<b>BETON ZALAGH</b>
Forme Juridique	SARL
Capital	7 200 000 DH
Date de création	2009
Adresse correspondance	Siège social : N°5, Méga pole office AV Allal Ben Abdellah 2 <sup>ème</sup> Et. Appt N°11 -Fès
Usine	Km 14 Route de Séfrou, Fès
Adresse E- mail	plancherzalagh@yahoo.fr
Registre de commerce	31519 FES
Identification fiscale	40297987
Patente N°	13612320
CNSS	8235831
Effectif	74

## **II. Domaine d'activité**

BETON ZALAGH offre un très large éventail de bétons, allant des bétons courants aux bétons spéciaux développés pour des applications spécifiques. Nos bétons sont destinés aussi bien aux particuliers qu'aux professionnels et sont fabriqués dans des unités de production spécialisées pour être livrés directement sur les chantiers.

Forte d'une expérience de plus de 10 ans dans la production du Béton prêt à l'emploi, BETON ZALAGH vous accompagne dans tous vos projets de construction en vous offrant des bétons de qualité, adaptés à vos projets et à vos configurations de chantiers.

Avec un réseau de 4 centrales à béton, un grand parc de camions malaxeur et pompes à béton, BETON ZALAGH vous garantit précision, rigueur et ponctualité des livraisons.

## **III. NOS IMPLANTATIONS**

### **1. CENTRALES A BETON : KM 14, route de Séfrou Fès**

BETON ZALAGH dispose de trois centrales à béton installées dans son usine de FES. Ces centrales ont été conçues pour pouvoir répondre aux exigences accrues du marché du béton que ce soit, en termes de qualité ou de rapidité du service. La capacité maximale de production journalière des centrales est supérieure à 1200 m<sup>3</sup>.

# Chapitre II : le béton et ses constituants

## I. Le béton

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant. La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin en 1824.

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

### 2. Classification des bétons :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

❖ *En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :*

- Béton normal :  $\rho$  entre 2 000 et 2 600 kg/m<sup>3</sup>
- Béton lourd :  $\rho > 2600$  kg/m<sup>3</sup>
- Béton léger :  $\rho$  entre 800 et 2 000 kg/m<sup>3</sup>
- Les bétons cellulaires : (bétons très légers)  $\rho$  est inférieure de 500 kg/m<sup>3</sup>.

❖ *Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :*

- Béton de ciment (le ciment)
- Béton silicate (la chaux)
- Béton de gypse (le gypse) et Béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

❖ *Le béton courant peut aussi être classé en fonction de leur résistance caractéristique à la compression :*

La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément aux tableaux 2 et 4. Dans ces tableaux  $f_{ck}$  est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres;  $f_{cd}$  est la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

**TABEAU 2: CLASSES DE RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES BETONS DE MASSE VOLUMIQUE NORMALE ET LES BETONS LOURDS.**

Classe	fck-cyl (en N/mm <sup>2</sup> )	fck-cube (en N/mm <sup>2</sup> )
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

**TABEAU 3: CLASSE DE RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES BETONS LEGERS**

Classe	fck-cyl (en N/mm <sup>2</sup> )	fck-cube (en N/mm <sup>2</sup> )
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	50	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

### 3. Les différents types de béton :

#### ❖ *Bétons spéciaux :*

Ce sont des bétons qui n'ont pas été prévus par la norme, mais qui sont expressément demandés par les clients, ce sont principalement des:

Bétons à remblayage/Bétons à résistances (B35, B25, B20...)/Mortiers.

#### ❖ *Bétons à Caractéristiques Spécifiées (BCS) :*

Ces Bétons à caractéristiques spécifiées sont désignés par toutes les données précisant leur composition ou leurs caractéristiques particulières répondant à une spécification du client (dosage, coloration...). Ce sont des bétons bénéficiant d'une garantie de résistance nominale à la compression (de 13 MPa à 30 MPa).

#### ❖ *Bétons à Caractéristiques Normalisées (BCN) :*

- bétons imprimés : bétons architectoniques répondant à une conception architecturale ou esthétique.

- Bétons à fibres de polypropylène: bétons spécialement étudiés pour limiter la microfissuration de surface.

- Bétons colorés : bétons de couleur distincte de la couleur usuelle du béton.

- Bétons prêts à l'emploi autoplaçants: bétons fabriqués en usine puis transportés et livrés sur chantier.

## II. La composition principale du béton :

### 1. Le ciment portland :

Le béton est constitué principalement de ciment, d'additions, de granulats, d'eau, d'adjuvants et également de produits d'ajouts.

#### a) Définition

Le ciment est le liant principal du béton, il s'agit d'un liant hydraulique. Au contact de l'eau, le ciment forme une pâte qui durcit par suite de réactions et processus d'hydratations et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Pour fabriquer du ciment, il est nécessaire de mélanger 80% de calcaire et 20% d'argile. Ces deux composés mélangés et broyés forment une poudre appelée « le cru ». Lors de ce broyage, plusieurs composés se forment à partir du calcaire et de l'argile. On retrouve ainsi de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer (III). Cette poudre est d'abord préchauffée pour déshydrater le calcaire, puis chauffée à haute température pour obtenir le clinker. Lors de cette étape, le calcaire subit une calcination où il y a décarbonatation et celui-ci se décompose en chaux vive et en dioxyde de carbone :  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . On obtient également des silicates et aluminates de calcium à partir de 1000 à 1200°C en provenance de la chaux.

« le cru ». Lors de ce broyage, plusieurs composés se forment à partir du calcaire et de l'argile. On retrouve ainsi de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer (III). Cette poudre est d'abord préchauffée pour déshydrater le calcaire, puis chauffée à haute température pour

obtenir le clinker. Lors de cette étape, le calcaire subit une calcination où il y a décarbonatation et celui-ci se décompose en chaux vive et en dioxyde carbone :  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . On obtient également des silicates et aluminates de calcium à partir de 1000 à 1200°C en provenance de la chaux.

Les silicates et aluminates formés lors de la calcination jouent chacun un rôle dans la prise du béton. Le silicate tricalcique (62%) confère la résistance du béton, notamment à cours terme, alors que le silicate bicalcique (22%) joue sur la résistance du béton à long voire à très long terme. L'aluminate tricalcique (8%) permet d'accélérer la prise du béton et contribue à l'obtention de la résistance initiale. Enfin, l'alumino-ferrite tétracalcique (8%) donne au ciment sa couleur. On réalise ensuite un dernier broyage auquel on peut ajouter d'autres constituants et du sulfate de calcium hydraté (gypse) qui permet de réguler la prise.

Les constituants anhydres donnent en présence d'eau des silicates et aluminates de calcium hydratés et de la chaux hydratée. En effet, à l'issue de la calcination, la chaux vive va s'hydrater pour éteindre la chaux vive non combinée :  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ . Cette réaction produit beaucoup de chaleur, ce qui pulvérise le produit. Les chaux éteintes sont généralement broyées. Les silicates et les aluminates de calcium leur donnent la propriété de faire prise et même de durcir sous l'eau.

Les chaux peuvent également durcir par carbonatation lente :  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

## 2. Les granulats :

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm.

Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Ceux, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures. Ils améliorent ainsi la résistance du béton.

Le choix d'un granulats est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

La granulométrie est l'étude de la taille des grains qui forment le granulats, elle consiste à tamiser le granulats sur une série de tamis à mailles décroissantes et à peser le refus (reste non tamisé) sur chaque tamis.

Un granulats est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe  $d/D$ ,  $d$  et  $D$  étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. Lorsque  $d$  est inférieur à 2 mm, le granulats est désigné  $0/D$ . La norme XP P 18-540 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions :

- Fillers  $0/D$  :  $D < 2$  mm
- Sablons  $0/D$  :  $D < 1$  mm
- Sables  $0/D$  :  $1 < D < 6,3$  mm

- Gravillons d/D :  $d > 1 \text{ mm}$  ;  $D < 125 \text{ mm}$
- Graves 0/D :  $D > 6,3 \text{ mm}$
- Ballast d/D :  $d \geq 25 \text{ mm}$  ;  $D \leq 50 \text{ mm}$

#### a) Les différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels.

##### ❖ -Les granulats naturels :

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres. Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

##### -les granulats roulés :

Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

##### -les granulats concassés :

Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

##### ❖ -Les granulats artificiels :

d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comportant par exemple des transformations thermiques : sous-produits industriels, granulats réfractaires

##### ❖ Recyclé :

Obtenu en transformant un matériau inorganique précédemment utilisé dans la construction, tel que le béton issu de la démolition de bâtiments ou de structures de chaussée.

#### b) Influence des granulats sur le comportement de béton :

**TABLEAU 4: INFLUENCE DES GRANULATS SUR LE COMPORTEMENT DE BETON**

Caractère du granulat	Influence sur le béton
Nature minéralogique	La plupart des granulats conviennent pour le béton. Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux (gonflement et altération a terme)
Présence de matières organiques	Influence défavorable sur la prise et le durcissement, chute de résistance.
Teneur élevée en sulfates, sulfures, chlorures	Réaction avec ciment, fissuration, corrosion des armatures.
Propreté des granulats	Critère important. Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats /pate
Forme des grains, angularité	Peu importante généralement : certains sables concassés peuvent parfois être défavorables a la mise en œuvre du béton et a sa compacité finale
Granularité	Importante pour la bonne composition du béton

### 3. Les adjuvants pour améliorer les propriétés du béton :

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés dans le béton au moment du malaxage afin de modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci. Il existe différents types d'adjuvants qui chacun spécifique à une propriété bien définie.

#### a) Quelques utilisations principales des adjuvants :

**TABLEAU 5:UTILISATION DES ADJUVANTS**

Adjuvant	Utilisation
Accélérateur	Décoffrage rapide; Temps froid; Préfabrication; Travaux d'étanchement, cachetage, travaux à la mer,Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes
Retardateur	Temps chaud; Injection à grande profondeur; Voile d'étanchéité; Transport de béton sur grande distance; Reprise de bétonnage
Plastifiant	Transports pneumatiques du béton (béton pompé); Béton coulé sous l'eau ; Béton maigre ; Sables manquant de fines ; Béton très ferrailé ; Injection.
Hydrofuge	Mortiers d'enduit, Enduit et chapes d'étanchéité pour cuvelage - Citernes -Réservoirs- Piscines - Galeries - Tunnels - Travaux souterrains

## b) Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité des bétons :

Dans cette catégorie on retrouve deux types d'adjuvants : les plastifiants réducteurs d'eau et les superplastifiants hauts réducteurs d'eau.

Les plastifiants réducteurs d'eau sont des adjuvants de base pour les bétons courants. Ils permettent une bonne maniabilité et apportent un surcroît de résistance et de durabilité. Les plastifiants permettent de modifier la consistance, de réduire la teneur en eau du béton (10%), ou, sans modifier la teneur d'eau, d'augmenter la fluidité du béton. Ces adjuvants sont essentiellement composés à base de lignosulfonates modifiés ainsi que d'éventuels gluconates. Les superplastifiants ont les mêmes propriétés que les plastifiants réducteurs d'eau, mais de manière beaucoup plus puissante. Les superplastifiants les plus connus sont les polynaphtalènes sulfonés et les sulfonates de mélamines.

Tout d'abord, la fluidité est liée à la séparation des molécules entre elles. Le principe est donc de fluidifier le mélange de béton par la dispersion rapide des particules de ciment (**Figure 2**), qui, sinon ont tendance à rester agglomérées au contact de l'eau seule. Les plastifiants sont des polymères en solutions à structure peigne. Ils ont d'un côté des sites ioniques pour l'absorption et de l'autre côté, des chaînes pendantes pour la répulsion électrostatique (**Figure 1**). Les plastifiants approchent et interagissent avec les particules de ciment et s'absorbent grâce à leurs fonctions ioniques. L'effet dispersant est obtenu grâce à la répulsion électrostatique créée par la

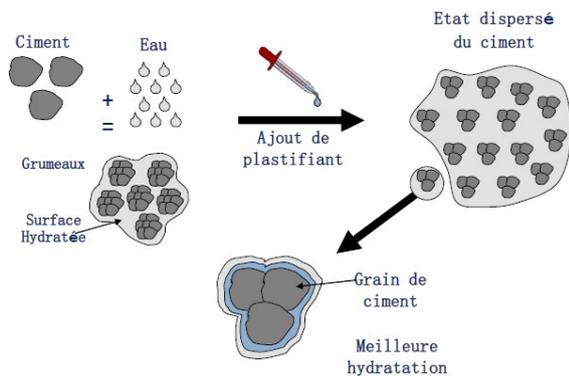


FIGURE 2 : MODE D'ACTION D'UN PLASTIFIANT

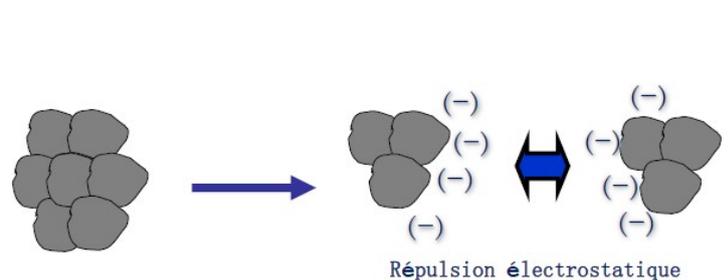
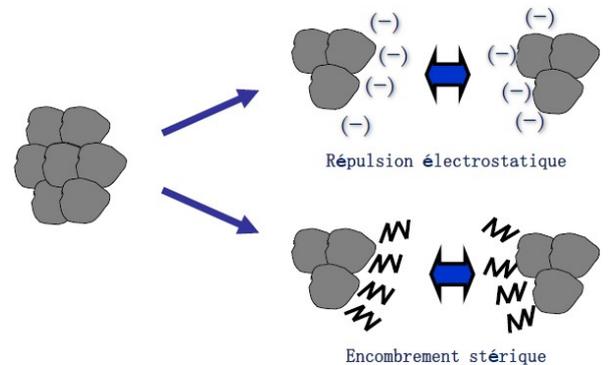
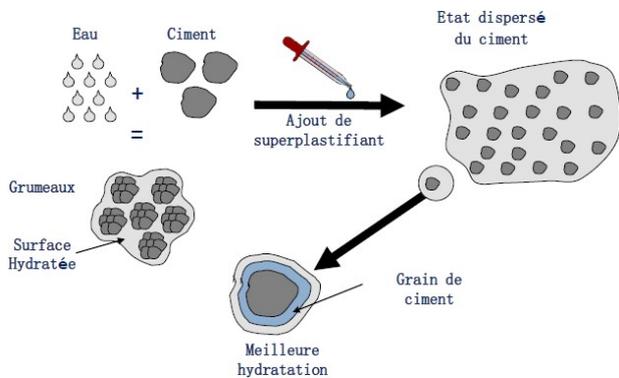


FIGURE 1 : MODE DE REPULSION D'UN PLASTIFIANT

présence de molécules « plastifiantes » de signes identiques. Les forces ainsi créées étant supérieures aux forces d'attraction des grains de ciment entre eux, la fluidification se produit sous l'influence du malaxage du béton.

Les superplastifiants sont des polymères avec de plus longues répétitions de monomères. Ainsi, en plus de l'effet électrostatique, une répulsion se crée à cause de l'encombrement stérique des molécules de superplastifiants(**Figure 4**). Cela rend le béton encore plus fluide et permet une meilleure ouvrabilité pendant plus longtemps.



**FIGURE 3 : MODE D'ACTION D'UN SUPERPLASTIFIANT**      **FIGURE 4 : MODE DE REPULSION D'UN SUPERPLASTIFIANT**

De nos jours, il existe également des adjuvants de nouvelles générations qui sont des polymères carboxyliques d'éther (PCE) possédant de longues chaînes latérales. Ces PCE permettent une réduction d'eau jusqu'à 30%. Leur particularité est le maintien de l'ouvrabilité pendant de longues heures.

Chaque molécule présente dans les plastifiants, les superplastifiants et les PCE présentent des modes d'actions (**Figure 3**) différents tout en ayant le même effet. Par exemple, les mélamines sulfonées forment une couche lubrifiante isolant les grains de ciment les uns des autres. En revanche, les polynaphtalènes sulfonés créent des forces de répulsion afin d'empêcher le contact entre les grains de ciment. Les lignosulfonates de calcium ou sodium modifiés, eux, réduisent la tension superficielle de l'eau par rapport aux grains de ciment. Enfin, les PCE agissent par un mécanisme d'actions successives. La première agit immédiatement et la seconde au fur et à mesure que la basicité du mélange augmente. Ceci explique l'augmentation de l'ouvrabilité.

### c) Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

Dans cette catégorie, on trouve aussi deux types d'adjuvants : les accélérateurs de prise et de durcissement et les retardateurs de prise.

#### ❖ Les accélérateurs

Les accélérateurs de durcissement augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. Ces adjuvants chimiques sont des produits solubles dans l'eau et d'origine minérale : acide fort ou base forte et leurs sels. Parmi les produits de base, on y trouve deux classes :

- Les adjuvants chlorés tels que le chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) ou le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ). Ces adjuvants chlorés ne doivent pas dépasser la concentration de 1g/L pour les bétons armés au risque de corroder les armatures.

- Les adjuvants non chlorés tels que l'aluminate de sodium ( $\text{NaAlO}_2$ ) ou de potassium ( $\text{KAlO}_2$ ), le silicate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ou de potassium ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) ainsi que le nitrate de calcium ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ).

Le but est de favoriser la diffusion des ions calcium en rajoutant une concentration supplémentaire relativement importante sous forme de sels, en général chlorures ou nitrates. Ces ions vont favoriser la cristallisation (**Figure 5**), ce qui va accélérer le durcissement du mélange. Ces produits favorisent également la dissolution des éléments actifs comme la chaux et l'alumine, ainsi que l'hydratation de silicates. En hiver, ils sont largement utilisés, sinon la prise est ralentie par le froid, et la nuit, le gel détruit les premiers hydrates formés. Les adjuvants accélérateurs améliorent donc la résistance à court terme mais on observe une baisse de la résistance finale du béton d'environ 5% par rapport à un béton sans accélérateur de prise.

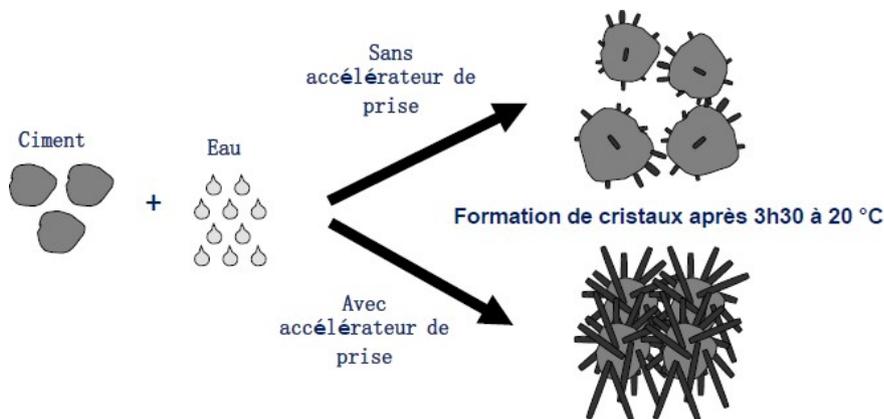


FIGURE 5 : MODE D'ACTION D'UN ACCELERATEUR DE PRISE

#### ❖ *Les retardateurs*

Les retardateurs de prises permettent de retarder le début de prise du béton. Le but est de ralentir la croissance des cristaux (**Figure 6**) qui se forment lorsque le béton commence sa prise. Les adjuvants retardateurs sont généralement composés de différentes molécules. On y trouve :

- Des lignosulfonates qui sont des sous produits de la cellulose obtenus par un procédé au bisulfite dans le traitement du bois. Leur taux élevé en sucre, notamment du xylose, est la raison de leur effet retardateur.
- Des gluconates de sodium qui ont un très fort effet retardateur
- Des gluconates de calcium
- De l'acide citrique
- Des sucres (glucose, saccharose...)

On incorpore un faible dosage de ce mélange qui vont ralentir la diffusion des ions à l'intérieur du mélange en formant une sorte d'enveloppe plus ou moins imperméable et d'épaisseur variable autour des grains de ciment. Ainsi, la formation des cristaux, donc la prise, sera

beaucoup plus lente à se produire. Les retardateurs de prises peuvent être utilisés par temps chaud car l'augmentation de température favorise la prise du béton. Contrairement aux accélérateurs de prises, les retardateurs de prises améliorent les résistances mécaniques au bout de 28 jours et plus

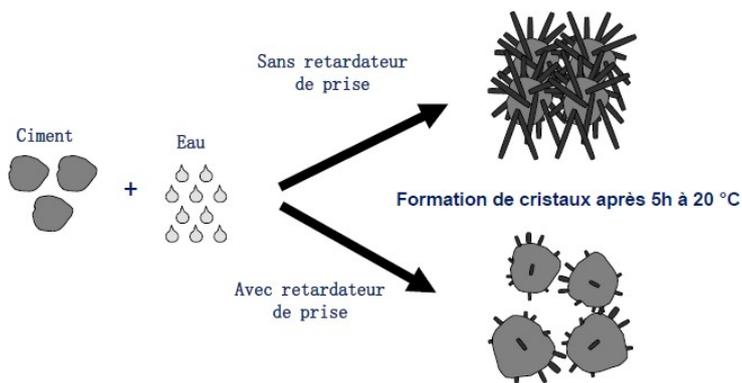


FIGURE 6 : MODE D'ACTION D'UN RETARDATEUR DE PRISE

On remarque ainsi que si la température augmente, le temps de prise diminue (**Figure 7**). On déduit que par temps froid, la prise du béton augmente, voire même de commence pas. En effet, si la température extérieure est inférieure ou égale à 4°C, le béton ne prend pas. Ainsi, il faut adapter l'adjuvant en fonction de la température extérieure.

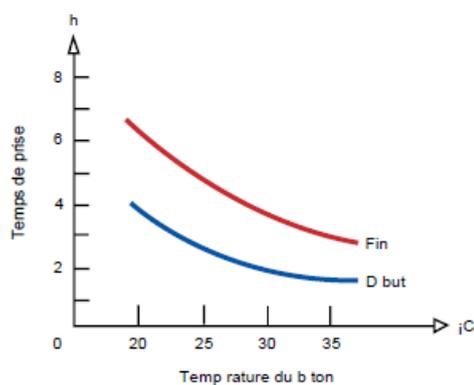


FIGURE 7 : TEMPS DE PRISE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DU BETON

#### d) Les adjuvants modifiant les propriétés du béton :

Dans cette catégorie d'adjuvants, on compte également 2 types de produits : les hydrofuges de masse, les entraîneurs d'air.

#### ❖ *Les hydrofuges*

Les hydrofuges de masses améliorent l'étanchéité des bétons et protègent de l'humidité en arrêtant l'absorption capillaire(**Figure 8**). Ces adjuvants sont généralement des sels d'acides gras solubles dans l'eau tels que le stéarate de sodium ou l'oléate de sodium. Ces sels, dissous dans l'eau, entrent en contact avec la chaux du ciment et forment des cristaux de sels de calcium insoluble dans l'eau. Ces cristaux bloquent le réseau capillaire du béton.

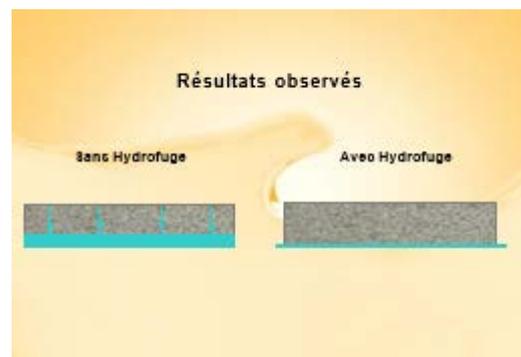


FIGURE 8 : ACTION DES HYDROFUGES DE MASSE

#### ❖ *Les entraîneurs d'air*

Les entraîneurs d'air permettent de créer dans le béton un réseau de bulles d'air parfaitement calibrées et espacées reliées aux capillaires (**Figure 9**). Le principal objectif de ces bulles est de jouer un rôle de vase d'expansion lorsque l'eau piégée dans le béton gèle. Ainsi, cela augmente la durabilité du béton face aux cycles gel/dégel mais diminue la résistance à la compression. À l'état frais, les entraîneurs d'air augmentent la cohésion et la thixotropie, ce qui facilite sa mise en œuvre.

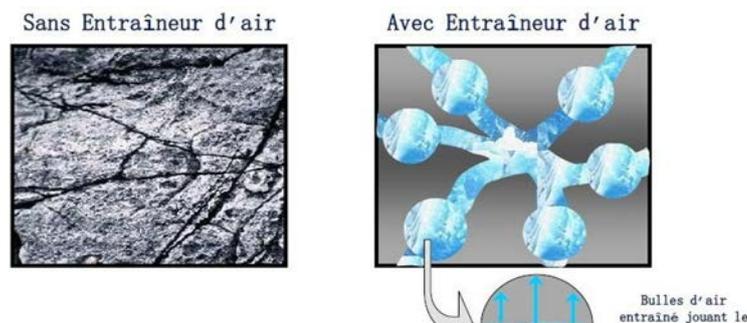


FIGURE 9 : MODE D'ACTION D'UN ENTRAÎNEUR D'AIR

En général les entraîneurs sont composés de sels de résines de bois, de lignosulfonates, de tensioactifs tels que des sulfates d'alkyl-éther plus connus sous le nom de lauryl éther sulfate de sodium et encore d'huiles minérales et végétales.

#### 4. -L'eau :

L'eau utilisé lors de la fabrication du béton est plus communément appelé « eau de gâchage ». Elle possède des origines différentes et doit être analysée selon sa provenance, sauf pour l'eau du réseau. On peut également pomper l'eau des nappes phréatiques. Il est nécessaire d'avoir une autorisation pour pomper l'eau des nappes phréatiques et il faut obligatoirement analyser cette eau. De même pour l'utilisation des eaux par captage fluvial. Pour fabriquer le béton, on peut également utiliser les eaux recyclées issues des bacs de décantation des centrales à béton. Les eaux de lavage des camions et de la centrale sont décantées dans des bassins successifs. La quantité de fines présente dans l'eau diminue progressivement jusqu'à atteindre une concentration de 30 g/L .

Il est nécessaire de nettoyer et purifier les eaux car une eau chargée en fines possède un pouvoir hydratant très inférieur à une eau claire. Il faut éviter l'excès d'eau dans le béton car cela entraîne un risque de ressuage et une diminution de la résistance du béton durci. Comme le montre La **Figure 10**, si la quantité d'eau augmente, la résistance par compression du béton au bout de 28 jours diminue. Donc Il est nécessaire de faire un bon dosage de l'eau .

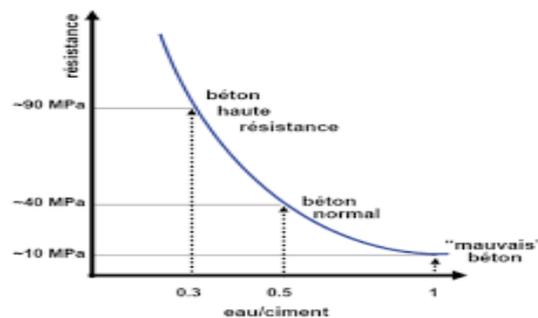


FIGURE 10 : RESISTANCE DU BETON EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU

## Chapitre III : Procède de fabrication

### I. Processus de fabrication du béton :

La fabrication du béton est un processus spécifique : en fonction de la nature et la quantité de chacun des composants (ciment, granulats, eau, adjuvants), il présentera des caractéristiques différentes. Une fois fabriqué, le béton prêt à l'emploi est un produit frais, qui doit être transporté et utilisé rapidement sur des marchés locaux, et dans des conditions optimales.

La fabrication industrielle du béton pourrait se résumer en quelques étapes relativement simples. De manière générale, le béton est un mélange de ciment, d'eau et de granulats en proportions différentes selon le type de béton souhaité et Comme pour chaque formulation, le dosage ne va pas être le même. En plus de ces 3 constituants, on peut ajouter des éléments complémentaires, les adjuvants, qui vont être incorporés pendant le malaxage et qui vont renforcer certaines propriétés du béton.

#### 1. Centrale à béton :

Indispensable dans le domaine du travail du béton, une centrale à béton permet de produire une grande quantité de mortier en peu de temps. Son utilisation relève souvent du domaine professionnel, mais elle sert surtout l'intérêt du grand public, notamment dans le monde de la construction.

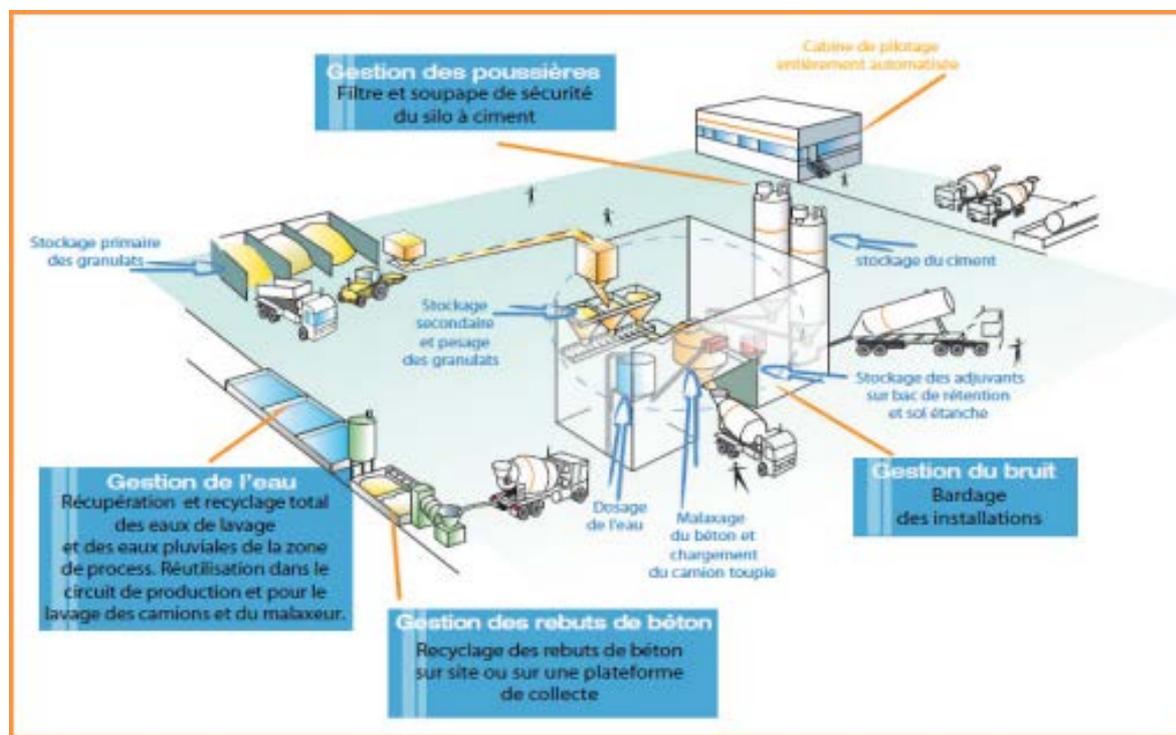


FIGURE 11 : FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE A BETON

Une centrale à béton se présente généralement comme une installation qui sert à produire du béton prêt à l'emploi (BPE) au niveau industriel. D'une grande performance, elle facilite surtout la fabrication de différents types de bétons, Elle assure les fonctions suivantes :

- Stockage des composants.
- Dosage des composants.
- Malaxage des composants.
- Chargement du matériel de transport du béton (camions toupies).

Dans sa version traditionnelle, une centrale à béton se compose de différents éléments principaux, dont :

- Un silo à ciment
- des cases des granulats
- Un conteneur d'adjuvant
- Une cuve de dosage
- Un système de pesage
- Des pompes
- Un malaxeur
- une cabine de pilotage

## **2. L'Arrivage et stockage des Matières Premières :**

### **a) Les granulats et les sables :**

Les centrales à béton reçoivent les matières premières provenant directement de notre carrière , Lors de l'arrivage des différentes matières premières par les carrières partenaires, il est assuré par des camions, tous les contenants se vident dans des cases extérieures de capacité va de 300 Tonnes a 500 tonnes . Le but est d'augmenter la réserve de granulats et de sables pour éviter une rupture de stock.

Les sable et les graviers sont acheminés par des chargeuses, ils passent par des trémies de déversement situées dans la centrale avant d'être transportés vers le malaxeur en général par bandes transporteuses.

### **b) Le ciment :**

le ciment est livré en vrac par camion-citerne (d'une capacité en général de 25 tonnes) déchargé pneumatiquement (par circulation d'air) et stocké dans des silos verticaux de forme cylindrique d'une capacité de 60 tonnes.

Une centrale à béton est équipée de plusieurs silos, lui permettant ainsi de stocker différents types de ciments et différentes additions (**Figure 11**). Chaque silo est identifié pour éviter les mélanges.

#### **c) les adjuvants :**

Les adjuvants sont entreposés dans un local spécifique fermé et hors gel attenant à la centrale (local à adjuvants). les adjuvants sont stockés dans des cubitainers (1000 ou 1500 L) ou bien des fûts (200 L), tous placés sur bac de rétention, fermés et bien identifiés pour éviter les mélanges. Puis les adjuvants sont acheminés vers les cuves de la central de capacité de 2000 à 10000 L pour éviter les ruptures de stock . Les précautions concernant le stockage par temps froid, ainsi que les dates limites d'emploi doivent être scrupuleusement respectées.

#### **d) L'eau :**

L'eau de gâchage peut être de l'eau potable (eau du réseau) ou bien de l'eau naturelle (ex : puits, rivière, étang). Dans ce cas la centrale à béton est alimentée directement. L'eau récupérée du process de fabrication du béton (eau recyclée), qui peut être utilisée sous réserve contrôler sa conformité, est pompée dans des bassins de décantation.

Il peut être nécessaire, selon les cas, de stocker

### **3. -Fonctionnement de la centrale a béton :**

La centrale à béton dispose d'un fonctionnement automatisé. Une armoire de commande permet d'effectuer les étapes suivantes : contrôle du pesage, transport des matériaux, mesure de l'humidité du béton et de son niveau de fluidité, malaxage...Pour chaque type de béton, une formule est préétablie et un programme est associé. Il suffit donc au professionnel de lancer le programme correspondant à la commande du client : type de béton choisi et quantité.

Très concrètement, voici les différentes étapes de préparation du béton en centrale :

#### **a) LE DOSAGE DES COMPOSANTS :**

-Les granulats : dans le cas le plus courant d'une centrale de type trémies en ligne, ils sont dosés par un tapis peseur (convoyeur à bande monté sur pesons) situé sous les trémies de stockage. Une fois dosés, les granulats sont remontés vers le malaxeur par un tamis transporteur ou un skip.

-Les liants (ciment et additions) : ils sont extraits de l'embase des silos et amenés jusqu'à la bascule à liants via une vis sans fin. Ils sont dosés par pesage dans la bascule à liant qui est située juste au- dessus du malaxeur

- L'eau : le dosage en eau est effectué par pesage dans la bascule à eau. Une fois pesée elle tombe dans le malaxeur par l'arrivée d'eau. La quantité d'eau d'ajout (encore appelée eau de

gâchage) tient compte de l'eau apportée par les granulats (humidité naturelle contenue dans les sables et gravillons). Afin d'obtenir un béton de qualité constante, la teneur en eau des granulats est mesurée en continu par des sondes d'humidité situées au niveau des trémies de stockage.

Les adjuvants sont dosés par compteurs volumétriques. Ils sont acheminés jusqu'à la bascule à eau par des pompes.

### **b) LE MALAXAGE :**

Une fois les matières premières pesées, elles tombent dans un malaxeur de 2 m<sup>3</sup> et le mélange se brasse pendant 54 secondes avant d'être déversé dans le camion.

Durant ce processus, tous les éléments déterminant la nature du béton commandé vont être mélangés entre eux pendant un certain temps. Le plus souvent, la durée de malaxage dépend surtout du rapport entre le volume du malaxeur centrale béton et la quantité de produits à produire.

Pour avoir une efficacité optimale, le malaxage doit prendre en compte les éléments suivants :

-La séquence d'introduction des constituants : elle est généralement la suivante : 1/ Granulats, 2/ Liants, 3/ Eau mélangée aux adjuvants.

- La vitesse de rotation des pales : celle-ci est fixe, de l'ordre de 20 à 30 tours par minute.

- La durée du malaxage : elle est généralement de 35 secondes après introduction de l'ensemble des constituants (durée minimale fixée par le référentiel de certification NF BPE). Pour des bétons spéciaux (bétons autoplaçants par exemple) elle peut nécessiter des durées plus longues : 1 à 3 minutes.

### **c) Chargement du béton pour l'acheminement :**

Une fois le béton fabriqué, celui-ci est déversé dans une toupie béton, Pour acheminer vers le site de coulage.

L'arrivée au chantier doit se faire impérativement dans l'heure : cela permet au béton de conserver une consistance et donc une résistance optimale. Sur le trajet, la toupie béton malaxe le mélange en continu afin que celui-ci ne durcisse pas.

### **d) Retour du béton en centrale :**

Au retour à la centrale, le béton dit "de retour" (résidus présents dans la toupie) est éliminé lors du nettoyage de la bétonnière dans une zone dédiée de la centrale. L'eau et le béton restants passent dans plusieurs cuves de décantation jusqu'à obtention d'une eau filtrée, qui devra par la suite être réutilisée pour le lavage des camions toupine. .

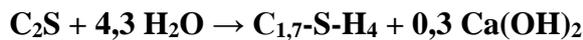
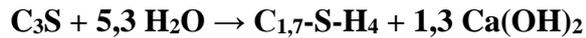
## **II. Les réactions mises en jeu dans la formation du béton :**

Tout d'abord, la prise du ciment n'est pas un séchage après l'ajout d'eau. Il s'agit d'un ensemble de réactions chimiques d'hydratation permettant le passage de la pâte de ciment de l'état liquide

à l'état solide. Lors de l'hydratation, il y a une réorganisation complète des composés du ciment. Il se forme des composés nouveaux, hydrates, qui sont insolubles dans l'eau et qui, avec le temps, forment une masse rigide.

### 1. L'hydratation des silicates :

Au contact de l'eau, les silicates bicalciques et tricalciques se dissolvent sous forment d'ions qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés<sup>4</sup> et de la portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>). Les équations bilans sont données ci-dessous :



Ces deux réactions d'hydratation sont fortement exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation. Dans le cas du C<sub>2</sub>S, la cinétique d'hydratation est plus lente que celle du C<sub>3</sub>S et la quantité de Portlandite est plus faible, ainsi la réaction du C<sub>3</sub>S dégage plus de chaleur que celle du C<sub>2</sub>S. Le C<sub>2</sub>S et C<sub>3</sub>S représente près de 84% du ciment. Ceux sont eux qui offrent la résistance au béton, ainsi que son durcissement. Du fait que la réaction du C<sub>3</sub>S est plus rapide, il offre une résistance à courte terme alors que le C<sub>2</sub>S permet une résistance à plus long terme. Les C-S-H se développent à la surface des grains de ciment non hydratés et comblent progressivement les interstices capillaires entre les grains. Au bout d'un certains temps, la couche d'hydrates qui enrobe les grains de ciment devient épaisse et empêche la diffusion des ions et de l'eau vers les composés anhydres. L'hydratation ralentit de plus en plus et peut de poursuivre pendant plusieurs mois

### 2. L'hydratation des aluminates :

L'aluminate tricalcique est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est pourquoi on ajoute du gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O) au ciment pour réguler cette réaction. Les réactions avec les aluminates se font en plusieurs étapes :

#### a) Formation d'ettringite primaire :

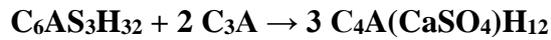
Les aluminates réagissent avec les sulfates du gypse pour former une espèce minérale, l'ettringite, aussi appelé trisulfoaluminate de calcium hydraté (TSA) :



Cette réaction est fortement exothermique. Une couche d'hydrate vient entourer les aluminates qui forment une couche protectrice autour du grain.

#### b) Transformation de l'ettringite primaire en monosulfoaluminate de calcium :

Lorsque le sulfate de calcium est épuisé, l'ettringite réagit avec le C<sub>3</sub>S résiduel pour former le monosulfoaluminate de calcium hydraté :



Du fait de la réaction très rapide et violente, le C<sub>3</sub>A offre la résistance à très court terme et accélère la prise du béton.

### 3. L'hydratation des aluminoferrites

d'hydratation qui sont similaires à ceux formés à partir de C<sub>3</sub>A dans des conditions comparables, mais généralement ils contiennent Fe<sup>3+</sup> ainsi que Al<sup>3+</sup>. Un gel d'hydroxyde de fer (III) et un gel de ferrite de calcium sont également des produits possibles de l'hydratation de l'aluminoferrite. La réactivité du C<sub>4</sub>AF est beaucoup plus lente que celle du C<sub>3</sub>A et n'apparaît de manière significative seulement lorsque le gypse est totalement épuisé. Cette réaction lente dégage peu de chaleur et C<sub>4</sub>AF contribue peu à la résistance du béton, mais permet de donner une couleur au bé

## Chapitre IV: Etude de formulation et choix de l'adjuvant

# I. Calcule de la composition par la méthode de DREUX-GORISSE :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton pour que les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage souhaité.

Les méthodes sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes : elles aboutissent à des dosages « volumiques » ou de préférence « pondéraux ».

Parmi les méthodes proposées on peut citer :

- 1.METHODE DE BOLOMEY.
- 2.METHODE D'ABRAMS.
3. METHODE DE FAURY.
- 4.METHODE DE VALETTE.
- 5.METHODE DE JOISELE.
- 6.METHODE DE DREUX GORISSE.

Concernant la METHODE DE DREUX GORISSE, elle sera citée en détail dans la partie pratique , c'est une méthode pratique qui simplifie la formulation du béton. 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 telle que la dimension des granulats.

Les quantités optimales de matériaux (eau, ciment, sable, gravillon et gravier) nécessaire sa la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique Du béton.

## 1. Donnes de base

Il est nécessaire de savoir :

**-la résistance moyenne en compression a 28 jours 25 MPa**

❖ *-les caractéristiques physiques du sable :*

-masse volumique de sable fin :  $2.77\text{kg/m}^3$

-masse volumique de sable concasse :  $2.70\text{kg/m}^3$

-masse volumique de gravies G1 :  $2.79\text{kg/m}^3$

-masse volumique de gravies G2 :  $2.78\text{kg/m}^3$

-module finisse (sable fin )= $2.42\%$

-module de finisse (sable concasse ) =3.4%

❖ *les caractéristiques technique des granulats :*

- $D_{max}=20$  mm

-Les granulats concassés

-Consistance plastique /7cm/vibration normal

Vous trouvez le tableau de l'évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône en Annexe 1 .

❖ *Les caractéristiques technique des granulats :*

-Ciment CPJ55

-masse volumique=3.1kg/m<sup>3</sup>

❖ *Les analyses granulométrique par tamissage de SC ;F ;G1 ; G2.*

Vous trouvez les fiches des analyses utilise pour tracer les courbes granulométriques en Annexe 1 .

## 2. METHODE DE CALCULE

### a) Détermination de C/E :

Il d'abord ,il faut évaluer approximativement le rapport C/E (Le dosage en ciment/ dosage en eau totale sur matériaux secs )

$$R_{28}=1.2 \times R_n = G \times \sigma_c \times \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad \text{la formule de bolomey}$$

$R_{28}$  : la résistance moyenne en compression a 28 jours (MPS) .

$R_n$  : la résistance projetée du béton (MPS)

G : coefficient granulaire en fonction de la nature du granulat et du  $D_{max}$

$\sigma_c$  :la classe vraie du ciment a 28 jours

$$\frac{C}{E} = \frac{1.2 \times R_n}{G \times \sigma_c} + 0.5 = 1.5$$

D'après le tableau du coefficient granulaire qui se trouve en annexe 1

On a G égal 0.55 (Sable courante,  $D_{max} =20$  )

### b) le dosage en eau et en ciment :

D'après L'abaque qui se trouve en annexe 1 permet d'estimer la quantité de ciment nécessaire en fonction du rapport C/E et l'ouvrabilité désire on trouve :

$$C = 300 \text{ Kg/m}^3 \text{ donc } E = \frac{C}{1.5} = 200 \text{ l/m}^3$$

**c) Détermination du coefficient de compacité  $\delta$  :**

Le coefficient de compacité estime à l'aide du tableau qui se trouve en annexe 1

Dans cette étude on cherche un consistance plastique, la vibration est normale et  $D_{\max} = 20$  on trouve  $\delta = 0.822$

**d) Détermination du volume total du granulats :**

On a  $\delta = \frac{\text{volume absolu}}{\text{volume apparent}}$  avec  $V_{\text{absolu}} = V_{\text{réel}} - V_{\text{pores}}$

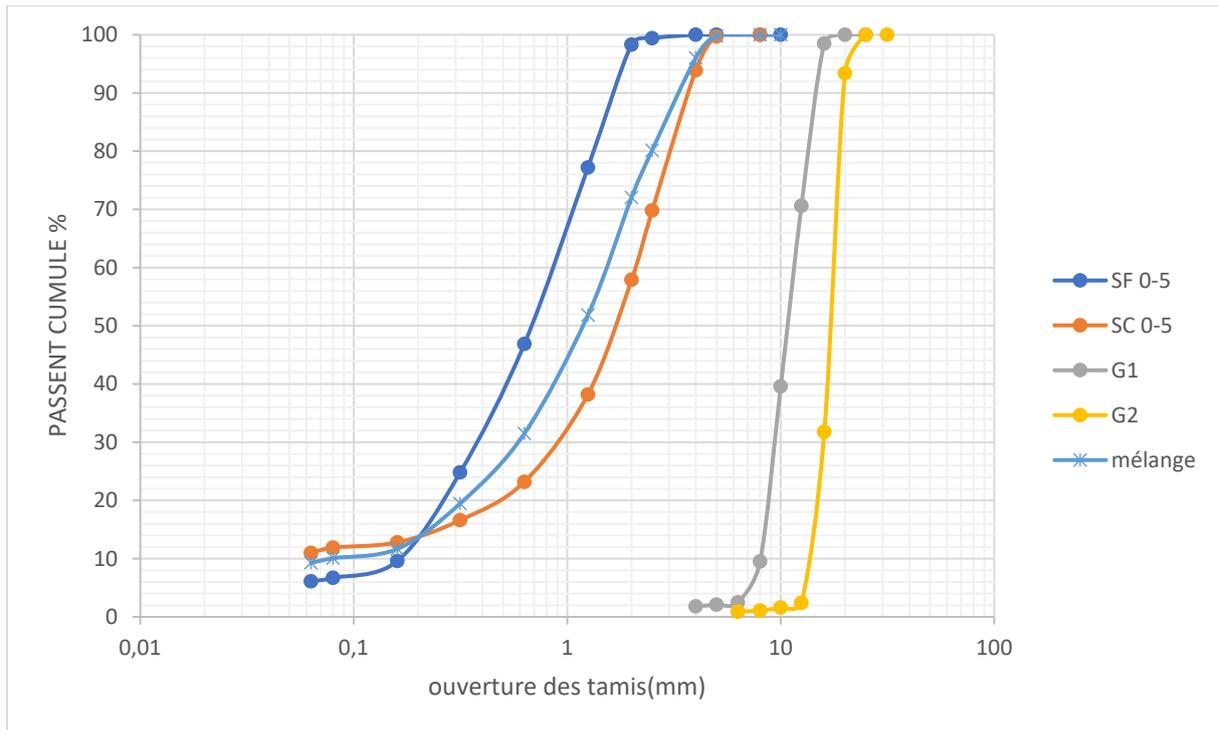
$$\delta = \frac{V_{\text{ciment}} + V_{\text{granulat}}}{V_{\text{béton}}} = \frac{V_{\text{ciment}} + V_{\text{granulat}}}{1}$$

$$V_{\text{granulat}} = \delta - V_{\text{ciment}} = 0.822 - \frac{300}{3100} = 725.23 \text{ l}$$

**e) Détermination des pourcentages volumiques des granulats :**

❖ **Courbes granulométriques :**

Vous trouvez les fiches des analyses utilise pour tracer les courbes granulométriques en Annexe 1 :



**FIGURE 12 : COURBES GRANULOMETRIQUES**

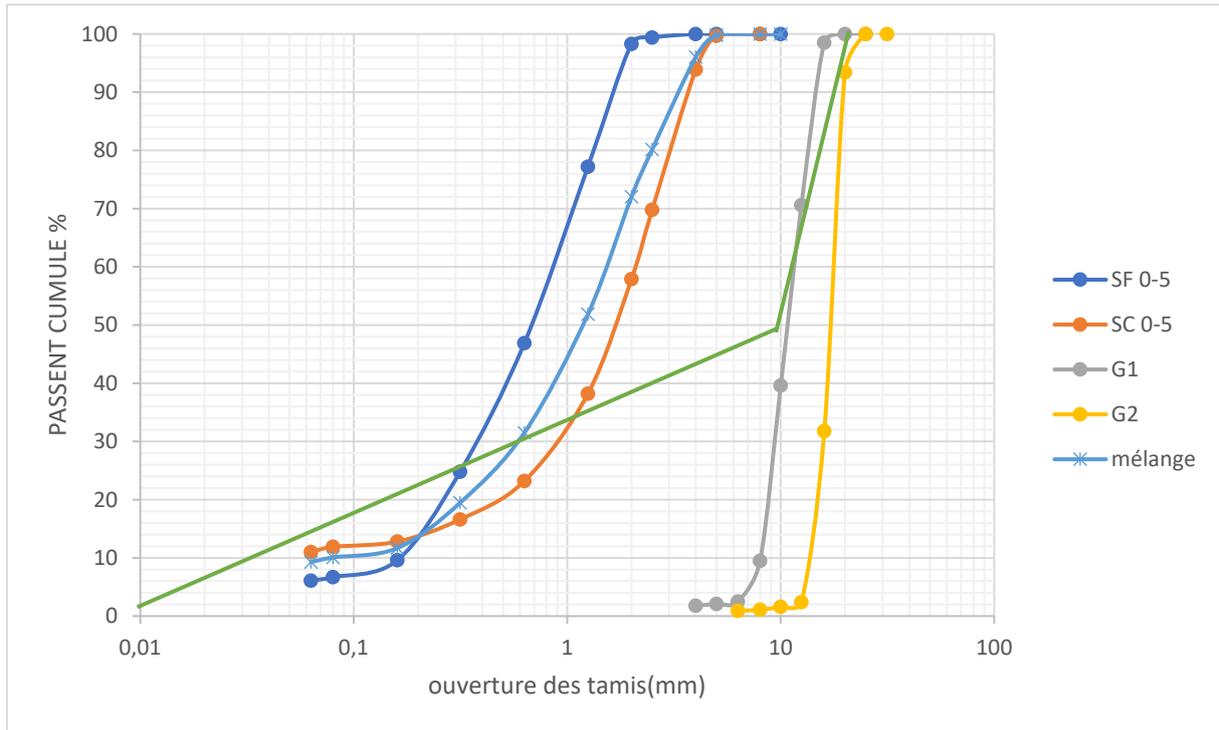
❖ **Courbe granulaire de référence :**

Sur la courbe granulométrique on trace une composition granulaire de référence A.B.C. Le point A est placé à l'origine des coordonnées (0.0) , le point C correspond à la dimension  $D_{max}$  des plus gros granulats à l'ordonnée 100 et le point de brisure B est Déterminé par :  $X_A = \frac{D_{max}}{2} = 10 \text{ mm}$   $Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + k = 49.5$

Avec  $D_{max} = 20 \text{ mm}$

Le coefficient correcteur estime à l'aide du tableau qui se trouve en annexe 1

Dans cette étude de formulation on a des granulats concassé avec une vibration normale et le dosage en ciment  $C = 300 \text{ Kg /m}^3$  d'après le tableau du coefficient de compacité on a  $k=4$



**FIGURE 13 : COURBE GRANULAIRE DE REFERENCE**

Les éléments fins ne soient ni en excès ni en trop faible pourcentage dans le sable.

Afin de quantifier la proportion des éléments fins, nous devons calculer le module de finesse (MF). Vous trouvez la méthode utilisée pour calculer le module de finesse en Annexe 1.

Un bon sable pour béton correspond à un module de finesse:  $2 < MF < 3.4$

On a  $MF(SF\ 0-2.5)=2.42$  et  $MF(SC\ 0-5)=3.4$

Pour avoir un mélange de sable acceptable, qui donnera par la suite un béton rentable et de bonne qualité, il est indispensable d'utiliser 35% de sable fin 0-2.5 et de 65% de sable concassé 0-5 avec  $MF_{mélange} = 0.35 MF(SF\ 0-2.5) + 0.65 MF(SC\ 0-5) = 3.057$ .

D'après la courbe on trouve :

Sable  $\longrightarrow$  40%

40 % de sable dont 35 % de sable 0-2.5 et 65 % de sable 0-5

-Sable fin 0/2.5  $\longrightarrow$  14%

-sable concassé 0/5  $\longrightarrow$  26%

- gravier G1  $\longrightarrow$  31 %

-gravies G2  $\longrightarrow$  19%

#### f) La quantité de chacun des constituants

$$m = V_{\text{granulat}} \times \text{pourcentage volumique} \times \text{densité réel}$$

$$m (\text{Sable fin } 0/2.5) = 0.14 \times 2.67 \times 725.23 = 272 \text{ kg}$$

$$m (\text{sable concassé } 0/5) = 0.26 \times 2.63 \times 725.23 = 496 \text{ kg}$$

$$m(\text{gravier G1}) = 0.31 \times 2.73 \times 725.23 = 614 \text{ kg}$$

$$m(\text{gravier G2}) = 0.19 \times 2.72 \times 725.23 = 375 \text{ kg}$$

### 3. La composition de béton :

❖ *Les quantités des constituants pour 1 m<sup>3</sup> du béton sont résumées dans le tableau suivant (à l'échelle industrielle) :*

**TABLEAU 6 : LES QUANTITES DES CONSTITUANTS POUR 1 M3 DU BETON**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1	Gravies G2
Masse en Kg	200	300	272	496	614	375

❖ *Les quantités des constituants pour 20 l du béton sont résumées dans le tableau suivant (à l'échelle laboratoire) :*

**TABLEAU 7 : LES QUANTITES DES CONSTITUANTS POUR 20 L DU BETON**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5

## II. Choix d'adjuvant :

Pour choisir le meilleur adjuvant, on doit comparer leurs influences à différents pourcentages en poids sur les trois grandeurs : La résistance à la compression, la maniabilité et la masse volumique.

On ajoute aussi que cette comparaison ne peut se faire que sur des intervalles de dosage recommandé liés à chaque adjuvant ( entre 0,6 % et 1 % ) . Les résultats obtenus montrent le meilleur adjuvant.

### 1. Les formulations :

Les pourcentages d'adjuvant sont calculés par rapport au poids du ciment

#### ❖ Béton témoin ( sans adjuvant ) :

**TABLEAU 8 : FORMULATION DU BETON TEMOIN**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)	Adjuvant
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5	0

#### ❖ Béton dosé a 0.6 % d'adjuvant :

**TABLEAU 9 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.6 % D'ADJUVANT**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)	Adjuvant
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5	0.036

#### ❖ Béton dosé a 0.7 % d'adjuvant :

**TABLEAU 10 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.7% D'ADJUVANT**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)	Adjuvant
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5	0.042

#### ❖ Béton dosé a 0.8 % d'adjuvant :

**TABLEAU 11 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.8 % D'ADJUVANT**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)	Adjuvant
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5	0.048

❖ *Béton dosé a 0.9 % d'adjuvant :*

**TABLEAU 12 : FORMULATION DU BETON TEMOIN DOSE A 0.6 % D'ADJUVANT**

Constituant	Dosage en eau	Dosage en ciment	Sable fin ( 0/2.5)	Sable concassé (0/5)	Gravie G1 (Kg)	Gravies G2 (kg)	Adjuvant
Masse en Kg	4	6	5.44	9.92	12.28	7.5	0.054

**2. Sika-1400 :**

Sika-1400 est un polycarboxylate superplastifiante de troisième génération. Il a été spécialement développé pour être utilisé dans le béton prêt à l'emploi pour donner une rétention d'affaissement prolongée et un développement à haute résistance des mélanges de béton de qualité normale.

**a) Caractéristiques :**

**TABLEAU 13 : CARACTERISTIQUES DE SIKA-1400 UTILISEE**

<b>Forme</b>	<b>Liquide</b>
<b>Couleur</b>	<b>Brun</b>
<b>Type</b>	<b>Super plastifiant</b>
<b>Ph</b>	<b>4.5 ±1.5</b>
<b>Densité</b>	<b>1.95±0.02</b>
<b>Teneur en chlore</b>	<b>≤0.1%</b>

**b) Les Résultats :**

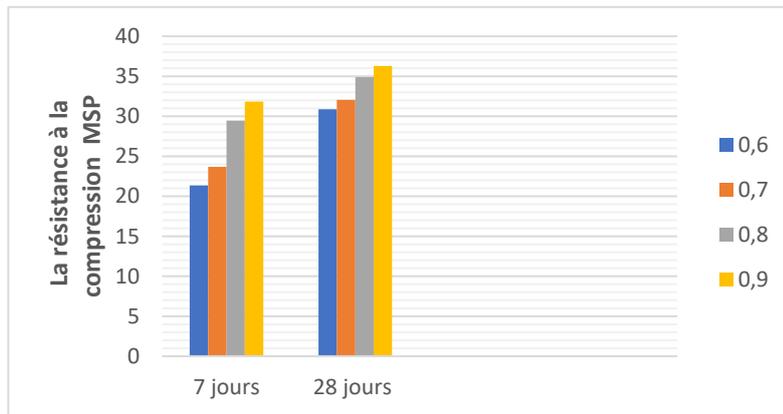
❖ *La résistance à la compression :*

Vous trouvez le mode opératoire de préparation, de conservation et d'encrassement des éprouvettes en Annexe 2 :

**TABLEAU 14: VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION**

<b>% Sika-1400</b>	<b>La résistance à la compression a 7 jours (MPS)</b>	<b>La résistance à la compression a 28 jours (MPS)</b>
<b>0.6</b>	<b>21.35</b>	<b>30.87</b>
<b>0.7</b>	<b>23.67</b>	<b>32.06</b>
<b>0.8</b>	<b>29.46</b>	<b>34.9</b>
<b>0.9</b>	<b>31.84</b>	<b>36.29</b>

les résultats obtenus sont présentés sous forme d'histogramme sur la figure suivante :



**FIGURE 14 : EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE TEMPS ET DES DIFFERENTS POURCENTAGE D'ADJUVANT**

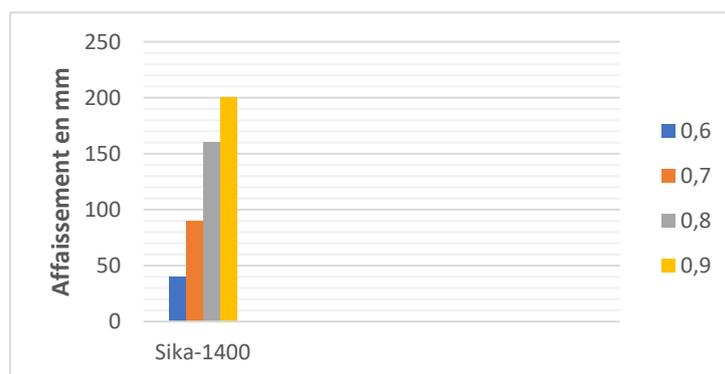
❖ **Maniabilité de béton :**

Vous trouvez le mode opératoire d'essai d'affaissement au cône en Annexe 2 :

**TABLEAU 15 : VARIATION DE L'AFFAISSEMENT**

% Sika-1400	0.6	0.7	0.8	0.9
Affaissement (mm)	40	90	160	200

les résultats obtenus sont présentés sous forme d'histogramme sur la figure suivante :



**FIGURE 15 : EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT**

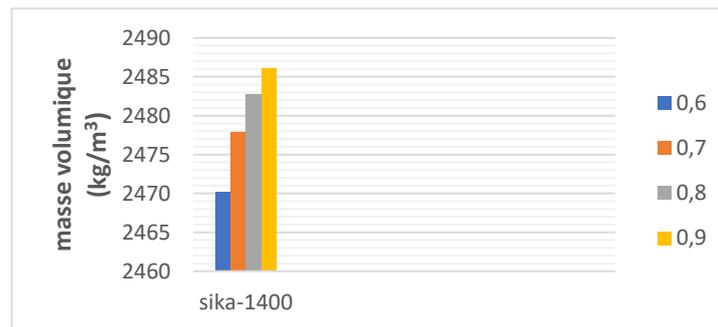
❖ **Masse volumique :**

Vous trouvez le mode opératoire pour mesurer à l'Etat durci la masse volumique en Annexe 2:

**TABLEAU 16 : VARIATION DE LA MASSE VOLUMIQUE A L'ETAT DURCI DE BETON**

% Sika-1400	0.6	0.7	0.8	0.9
Masse volumique	2470.15	2477.93	2482.74	2486.16

LES RESULTATS OBTENUS SONT PRESENTES SOUS FORME D'HISTOGRAMME SUR LA FIGURE SUIVANTE :



**FIGURE 16 : EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D'ADJUVANT**

### 3. Chryso-1440 :

Chryso-1440 est superplastifiante de troisième génération à base de polymères combinés. Il a été spécialement développé pour être utilisé dans le béton prêt à l'emploi pour donner une rétention d'affaissement prolongée et un développement à haute résistance des mélanges de béton de qualité normale.

#### a) Caractéristiques :

**TABLEAU 17: CARACTERISTIQUES DE SIKA-1400 UTILISEE**

<b>Forme</b>	<b>Liquide</b>
<b>Couleur</b>	<b>Brun</b>
<b>Type</b>	<b>Super plastifiant</b>
<b>Ph</b>	<b>5.5 ±1.5</b>
<b>Densité</b>	<b>1.12±0.015</b>
<b>Teneur en chlore</b>	<b>≤0.1%</b>

## b) Les résultats :

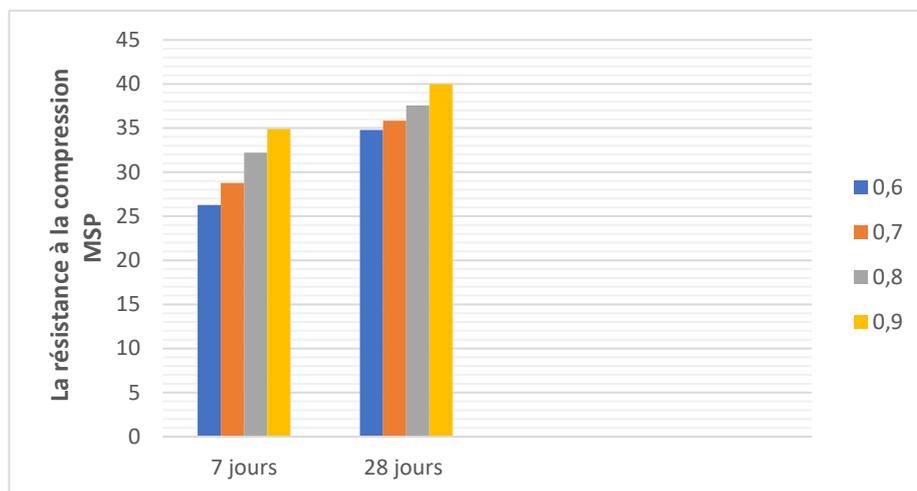
### ❖ *La résistance à la compression :*

Vous trouvez le mode opératoire de préparation, de conservation et d'encrassement des éprouvettes en Annexe 2 :

**TABLEAU 18: VARIATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION**

<b>% Chryso-1440</b>	<b>La résistance à la compression a 7 jours</b>	<b>La résistance à la compression a 28 jours</b>
<b>0.6</b>	<b>26.28</b>	<b>34.78</b>
<b>0.7</b>	<b>28.78</b>	<b>35.83</b>
<b>0.8</b>	<b>32.21</b>	<b>37.58</b>
<b>0.9</b>	<b>34.9</b>	<b>39.99</b>

les résultats obtenus sont présentés sous forme d'histogramme sur la figure suivante :



**FIGURE 18 : EVOLUTION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DE TEMPS ET DES DIFFERENTS POURCENTAGE D'ADJUVANT/**

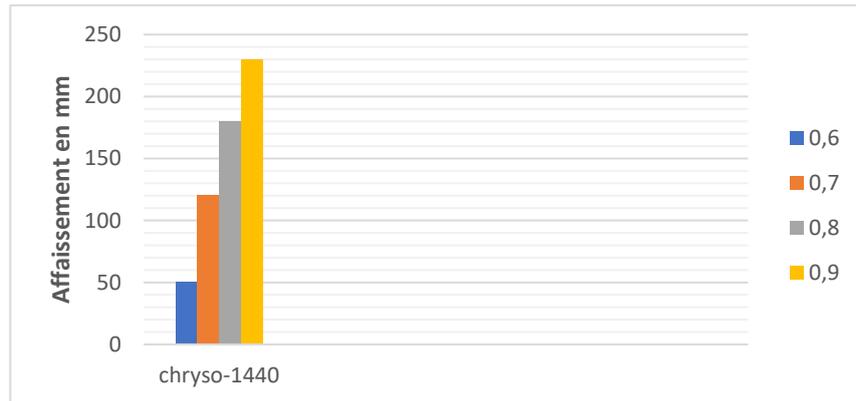
### ❖ *Maniabilité de béton :*

Vous trouvez le mode opératoire d'essai d'affaissement au cône en Annexe 2 :

**TABLEAU 19 : VARIATION DE L’AFFAISSEMENT**

% Chryso-1440	0.6	0.7	0.8	0.9
Affaissement (mm)	50	120	180	230

les résultats obtenus sont présentés sous forme d’histogramme sur la figure suivante :



**FIGURE 19 : EVOLUTION DE L’AFFAISSEMENT EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D’ADJUVANT**

❖ **Masse volumique :**

Vous trouvez le mode opératoire pour mesurer à l’Etat durci la masse volumique en Annexe 2 :

**TABLEAU 20: VARIATION DE DE LA MASSE VOLUMIQUE A L’ETAT DURCI DE BETON**

% Chryso-1440	0.6	0.7	0.8	0.9
Masse volumique	2500.62	2516.63	2527.04	2549.27

les résultats obtenus sont présentés sous forme d’histogramme sur la figure suivante :



**FIGURE 21 : EVOLUTION DE LA MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DES DIFFERENTS POURCENTAGES D’ADJUVANT**

#### **4. Observations et interprétations :**

On observe que L'augmentation du pourcentage de l'adjuvant implique une augmentation directe de la masse volumique, d'affaissements et de la résistance à la compression pour les deux adjuvants.

De même, la résistance à la compression à 28 jours augmente par rapport à celle de 7 jours dans le béton adjuvant, que ce soit sika-1400 ou chryso-1440.

L'augmentation de la masse volumique montre que le rôle de l'adjuvant est de combler les vides entre les grains de ciment.

Les meilleures valeurs de la masse volumique, d'affaissement, et de la résistance à la compression correspondent au pourcentage (0.9%) pour les deux adjuvants.

### iii. Etude comparative des adjuvants :

#### 1. Etude comparative de la résistance à la compression en fonction de la nature de l'adjuvant utilisé :

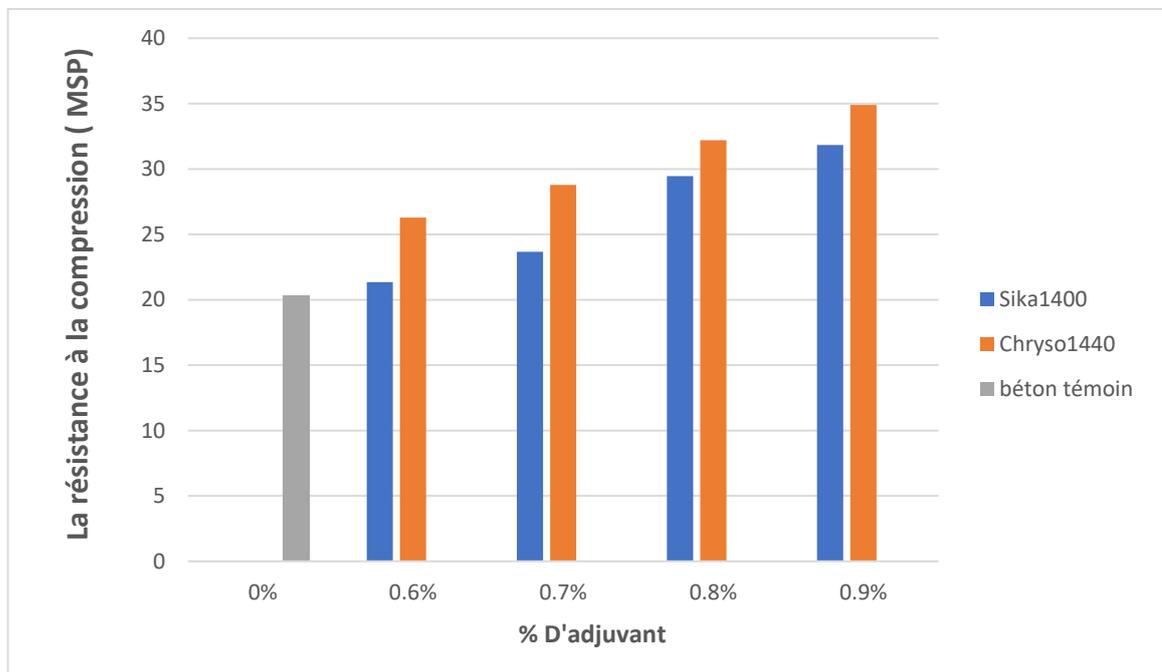


FIGURE 22 : HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 7 JOURS

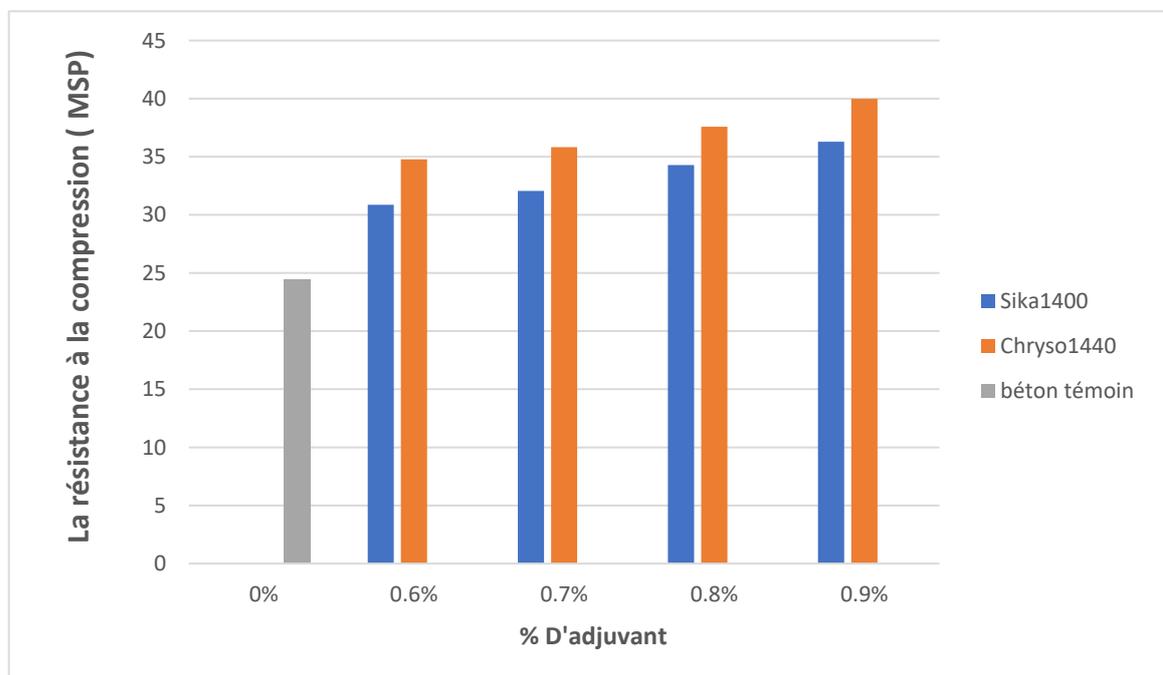


FIGURE 23 : HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS

La figure représente la résistance à la compression en fonction des différents adjuvants superplastifiants (sika-1400 et chryso-1440) en différents pourcentages (0.6%,0.7%,0.8%,0,9%).

On observe que la résistance à la compression à 28 jours augmente par rapport à celle de 7 jours que ce soit dans le béton témoin ou bien dans le béton dosé par l'un les deux types d'adjuvant (sika-1400 , chryso-1400 ) , et aux quatre différents pourcentages (0.6%,0.7%,0.8%,0,9%).

Le béton avec adjuvant donne une résistance à la compression plus importante par rapport au béton témoin.

L'augmentation du dosage des adjuvants a un effet remarquable sur la résistance à la compression , en effet si on augmente le pourcentage des adjuvants, la résistance augmente.

le béton avec adjuvant donne une résistance à la compression élevée qui évolue progressivement après 7 jours et 28 jours , par contre l'évolution de la résistance du béton témoin augmente de manière rapide.

Le dosage de 0,9 % donne la meilleure résistance à la compression avec les deux types d'adjuvant.

L'adjuvant Chryso-1440 donne une meilleure résistance à la compression par rapport à l'adjuvant sika-1400 .

## 2. Etude comparative d'affaissement en fonction de la nature de l'adjuvant utilise :

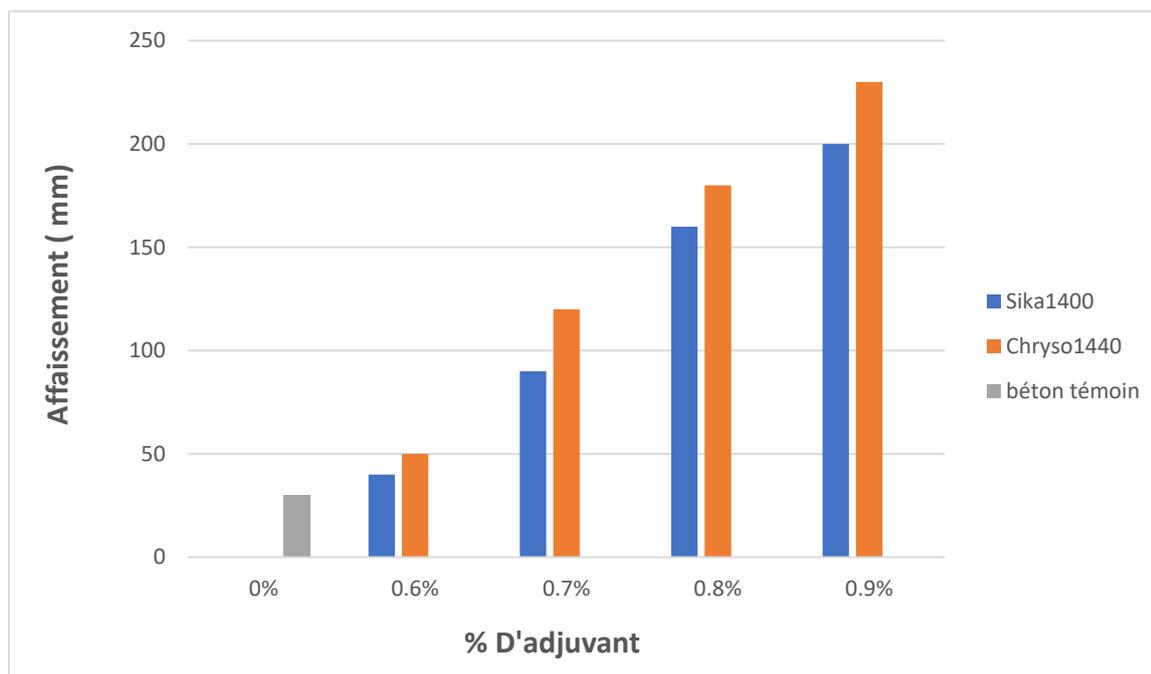


FIGURE 24 : HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE L'AFFAISSEMENT

La figure représente l'évolution de l'affaissement en fonction des différents adjuvants superplastifiants (sika-1400, chryso-1440) de différents pourcentages (0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%).

D'après l'histogramme, on constate que l'affaissement est plus important quand il s'agit d'un béton dosé par l'adjuvant que celui sans adjuvants.

L'augmentation du pourcentage d'adjuvant (sika-1400, Chryso-1440) entraîne une augmentation d'affaissement du béton.

Le dosage de 0,9% donne le meilleur affaissement avec les deux types d'adjuvants : sika-1400 et Chryso-1440.

L'adjuvant Chryso-1440 a donné un meilleur affaissement au cône d'Abrams par rapport à l'adjuvant sika-1400.

### 3. Etude comparative de la masse volumique en fonction de la nature de l'adjuvant utilise :

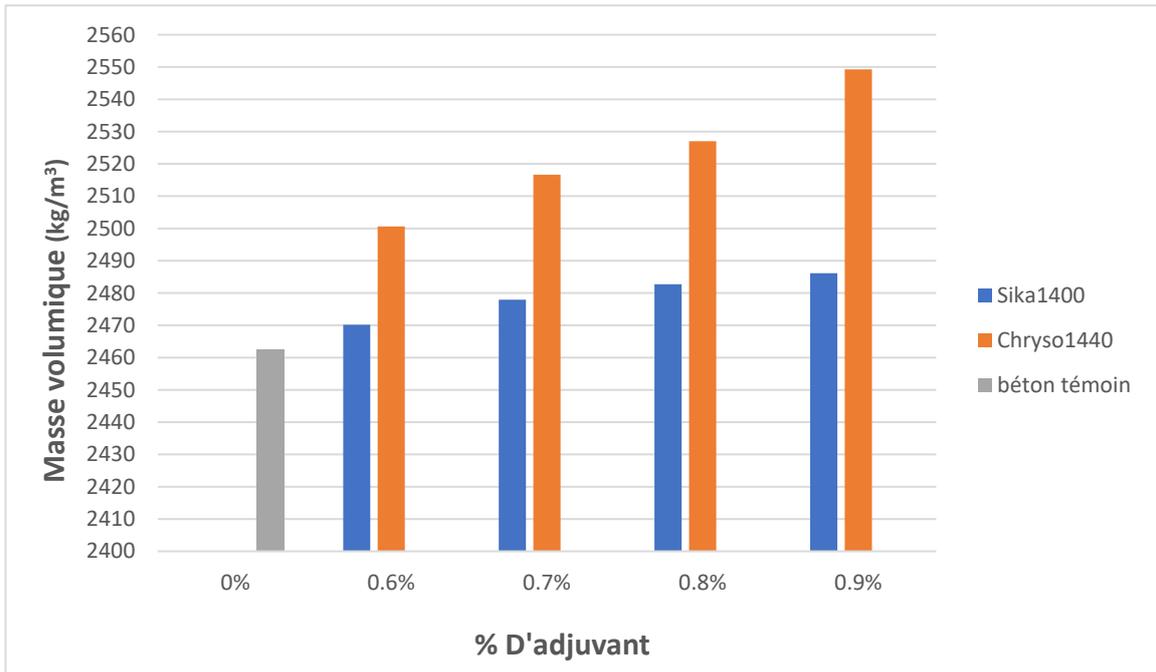


FIGURE 25 : HISTOGRAMME DE L'ETUDE COMPARATIVE DE LA MASSE VOLUMIQUE

La figure représente l'évolution de la masse volumique en fonction des différents adjuvants superplastifiants (sika-1400, chryso-1440) de différents pourcentages (0.6%, 0.7%, 0.8%, 0.9%).

On remarque que la masse volumique du béton avec adjuvant est plus grande que celle du béton témoin.

L'augmentation du dosage des adjuvants implique une augmentation de la masse volumique, donc le rôle de l'adjuvant est de combler les vides entre les particules de ciment.

L'augmentation du dosage des adjuvants a un effet remarquable sur la masse volumique, c'est à dire, si on augmente le pourcentage des adjuvants, la résistance augmente.

Le dosage de 0,9 % donne la meilleure valeur de la masse volumique avec les deux types d'adjuvants : sika-1400 et Chryso-1440.

-L'adjuvant Chryso-1440 a donné une meilleure masse volumique par rapport à l'adjuvant sika-1400.

## Conclusion :

Le but de notre projet consiste à étudier la formulation et l'influence des adjuvants sur les propriétés rhéo-mécaniques du béton pour en choisir le meilleur adjuvant .

Pour notre béton témoin qui est fabriqué à partir du sable de deux carrières IKEDER/SEFROU , de gravier concassé de la carrière SEFROU et de ciment de classe 50 avec dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup>, possède de bonnes résistances.

En ce qui concerne le béton à base d'adjuvant Sika-1400 ou bien Chryso-1440 avec un pourcentage de 0,9 %, il présente de bons affaissements, de meilleures résistances ainsi qu'une masse volumique significative.

Ceci dit, la présence des adjuvants est primordiale à la formulation des bétons étant donné qu'il améliore la qualité et la durabilité des bétons en question.

En outre, nous remarquons que le pourcentage de l'adjuvant influe les différentes propriétés rhéo-mécanique des bétons.

A la lumière de ce comparatif technique, nous aboutissons à de meilleures propriétés rhéo-mécanique en utilisant l'adjuvant chryso-1440. Concernant l'aspect financier, le prix des deux adjuvants est presque le même. En conséquence, il est fortement recommandé de retirer le Sika-1400 de la production du béton pré a l'emploi à base des granulats de Sefrou et ikeder et utiliser uniquement le chryso-1440

Notre choix a justifié son efficacité par l'obtention des propriétés rhéo-mécanique satisfaisante pour l'équipe du laboratoire et pour les clients qui vont profiter de ce nouveau béton.

### **Webographie :**

[classification du béton.pdf \(accesmad.org\)](#)

[https://www.infociments.fr/norme-beton-nf-en-206-cn-classification-des-betons#:~:text=88-Classe%20de%20masse%20volumique,000%20kg%2Fm3\).](https://www.infociments.fr/norme-beton-nf-en-206-cn-classification-des-betons#:~:text=88-Classe%20de%20masse%20volumique,000%20kg%2Fm3).)

[LES CONSTITUANTS DES BETONS MORTIERS.pdf](#)

[http://prescripteur.chez.com/presentation\\_adjuv.htm](http://prescripteur.chez.com/presentation_adjuv.htm)

<https://slideplayer.fr/amp/1213556/>

[http://data.over-blog-kiwi.com/0/64/77/39/201306/ob\\_931aee7a9b0ba621867e53b37c2fd88a\\_la-technologie-du-beton.pdf](http://data.over-blog-kiwi.com/0/64/77/39/201306/ob_931aee7a9b0ba621867e53b37c2fd88a_la-technologie-du-beton.pdf)

<http://www.guidebetn.com/fabrication-industrielle-bpe>

<https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/fabrication-en-centrale-a-beton/>

<https://conseils.hellopro.fr/comment-fonctionne-une-centrale-a-beton-1134.html>

<http://www.guidebetn.com/centrale-a-beton>

<https://www.infociments.fr/betons/fabrication-du-beton>

<https://www.martelgroupe.fr/processus-de-fabrication-du-beton-pret-a-lemploi/>

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/10328/10328-formulation-dun-beton-ordinaire-ensps.pdf>

## Les Annexes :

### I. Annexes 1 :

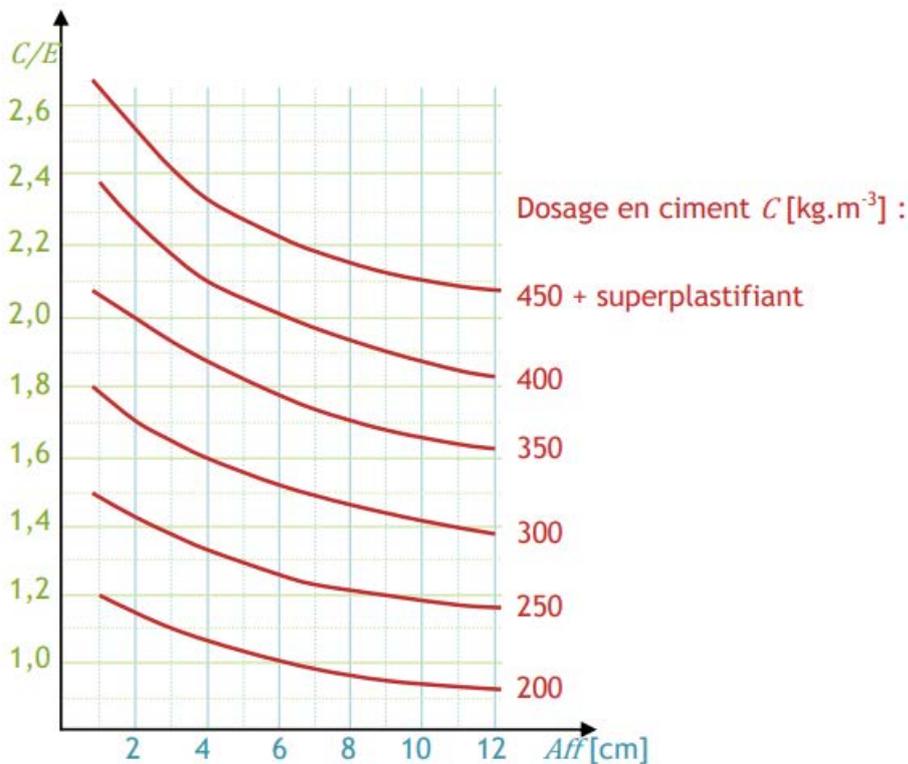
#### 1. Évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône :

Plasticité	Serrage	Affaissement [cm]	Dénomination NF-EN 206/CN
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	S1
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	S1 / S2
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	S2
Béton mou	Piquage	10 à 13	S3
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	S3 / S4 / S5

#### 2. Coefficient granulaire KDG , méthode Dreux-Gorisse :

Qualité des granulats	Granulats fins ( $D_{max} < 16\text{mm}$ )	Granulats moyens ( $25 < D_{max} < 40\text{mm}$ )	Gros granulats ( $D_{max} > 63\text{mm}$ )
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,55	0,60
Passable	0,35	0,40	0,45

#### 3. Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment :



#### 4. Valeur du coefficient de compacité $\gamma$ :

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter une correction [1] : sable roulé et gravier concassé  $-0,01$  ; sable et gravier concassés  $\diamond -0,03$

Consistance	serrage	Coefficient de compacité $\gamma$						
		$D_{max}=5$	$D_{max}=10$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

**5. Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats :**

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+Superplastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+7	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

**6. Module de finesse :**

$$MF = \frac{\sum \% \text{ de refus cumulés des tamis (5-2.5-1.25 mm; et 630-315-160}\mu\text{m)}}{100}$$

7. les fiches des analyses utilise pour tracer les courbes granulométriques :

	<b>ENREGISTREMENT</b> <b>Essai d'analyse granulométrique par tamisage</b> <b>NM EN 933-1</b>	Ref: ENG-LAB-009 Version: 00 Date: 1/12/2020 Page: 1/1		
Date de prélèvement : 02/04/2022 Nature de granulats : SC 0/2,5 N° d'arrivage : CAB3	Date d'essai : 02/04/2022 Provenance : IKEDER Fournisseur : ADAROUCHE			
<b>Préparation des masses pour essais</b>				
Masse totale humide de l'échantillon analysé	M <sub>0</sub> (kg) = 0,700	Masse totale humide de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>0</sub> = 1,024	
Masse totale sèche de l'échantillon analysé	M <sub>1</sub> (kg) = 0,660	Masse totale sèche de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>1</sub> = 0,965	
Teneur en eau (%) = (M <sub>0</sub> -M <sub>1</sub> )/M <sub>1</sub> x 100	W = 6,06	Masse après lavage au dernier tamis (kg)	M <sub>2</sub> = 0,912	
<b>RESULTATS DE TAMISAGE</b>				
Ouverture des tamis (mm)	Masse du refus R <sub>i</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (%) R <sub>c</sub> (%) = R <sub>c</sub> (g)/M <sub>1</sub> x 100	P. sant Cumulé P <sub>c</sub> (%) P <sub>c</sub> = 100 - R <sub>c</sub> (%)
31,5				
25				
20				
16				
14				
12,5				
10	0	0	0,0%	100,0%
8	0	0	0,0%	100,0%
6,3				
5	0		0,0%	100,0%
4	0,000		0,0%	100,0%
3,15				
2,5	0,006	0,006	0,6%	99,4%
2	0,010	0,016	1,7%	98,3%
1,6				
1,25	0,204	0,22	22,8%	77,2%
1				
0,8				
0,63	0,292	0,512	53,1%	46,9%
0,5				
0,4				
0,315	0,214	0,726	75,2%	24,8%
0,25				
0,2				
0,16	0,146	0,872	90,4%	9,6%
0,125				
0,1				
0,06	0,028	0,900	93,3%	6,7%
0,063	0,006	0,906	93,9%	6,1%
P(kg) = masse des fines	0,004	0,910	$\frac{100 - (M_1 - \sum R_i + P)}{M_1} \times 100$ %	0,22%
<b>Cas du sable :</b>				
Taux de fines en % =	$f(\%) = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$			5,91%
	Mf(%) =			2,42%
<b>Observations</b>				
ES - 83				
<b>Laborantin :</b>			<b>Responsable Laboratoire :</b>	
Nom :			Nom :	
3			Visa :	



ENREGISTREMENT

Essai d'analyse granulométrique par tamisage  
NM EN 933-1

Ref: ENG-LAB-009  
Version: 00  
Date: 1/12/2020  
Page: 1/1

Date de prélèvement :	02/04/2022	Date d'essai :	02/04/2022
Nature de granulats :	SC 0/5	Provenance :	SEFROU
N° d'arrivage :	CAB3	Fournisseur :	OMARI

Préparation des masses pour essais

Masse totale humide de l'échantillon analysé	M <sub>0</sub> (kg) =	0,914	Masse totale humide de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>0</sub> =	1,164
Masse totale sèche de l'échantillon analysé	M <sub>1</sub> (kg) =	0,900	Masse totale sèche de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>1</sub> =	1,146
Teneur en eau (%) = (M <sub>0</sub> -M <sub>1</sub> )/M <sub>1</sub> x 100	W =	1,56	Masse après lavage au dernier tamis (kg)	M <sub>2</sub> =	1,024

RESULTATS DE TAMISAGE

Ouverture des tamis (mm)	Masse du refus R <sub>i</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (%) R <sub>c</sub> (%) = R <sub>c</sub> (g)/M <sub>1</sub> x 100	Passant Cumulé P <sub>c</sub> (%) P <sub>c</sub> = 100 - R <sub>c</sub> (%)
31,5				
25				
20				
16				
14				
12,5				
10	0	0	0,0%	100,0%
8	0	0	0,0%	100,0%
6,3				
5	0,004	0,004	0,3%	99,7%
4	0,066	0,07	6,1%	93,9%
3,15				
2,5	0,276	0,346	30,2%	69,8%
2	0,136	0,482	42,1%	57,9%
1,6				
1,25	0,226	0,708	61,8%	38,2%
1				
0,8				
0,63	0,172	0,88	76,8%	23,2%
0,5				
0,4				
0,315	0,076	0,956	83,4%	16,6%
0,25				
0,2				
0,16	0,044	1	87,2%	12,8%
0,125				
0,1				
0,08	0,010	1,010	88,1%	11,9%
0,063	0,010	1,02	89,0%	11,0%
P(kg) = masse des fines	0	$\sum R_i + P$	1,02	$\frac{100 \cdot (M_1 - (\sum R_i + P))}{M_1} = 0,39\%$

Cas du sable :

Taux de fines en % =	$f(\%) = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	10,66%
----------------------	--	--------

Mf(%) =

3,40%

Observations

ES = 76%

Laborantin :	Responsable Laboratoire :
Nom :	Nom :
Visa :	Visa :



## ENREGISTREMENT

Essai d'analyse granulométrique par tamisage  
NM EN 933-1REF ENG-LAB  
009  
Version : 00  
Date  
1/12/2020  
Page : 1/1

Date de prélèvement :	04/01/2022	Date d'essai :	04/01/2022
Nature de granulats :	G1	Provenance :	SEFROU
N° d'arrivage :	CAB/3	Fournisseur :	OMARI

## Préparation des masses pour essais

Masse totale humide de l'échantillon analysé	M <sub>0</sub> (kg) =	3,290	Masse totale humide de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>0</sub> =	3,290
Masse totale sèche de l'échantillon analysé	M <sub>1</sub> (kg) =	3,274	Masse totale sèche de l'échantillon analysé (kg)	M <sub>1</sub> =	3,274
Teneur en eau (%) = (M <sub>0</sub> -M <sub>1</sub> )/M <sub>1</sub> x 100	W =	0,49	Masse après lavage au dernier tamis (kg)	M <sub>2</sub> =	3,234

## RESULTATS DE TAMISAGE

Ouverture des tamis (mm)	Masse du refus R <sub>i</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (kg)	Refus Cumulé R <sub>c</sub> (%) R <sub>c</sub> (%) = R <sub>c</sub> (g)/M <sub>1</sub> x 100	Passant Cumulé P <sub>c</sub> (%) P <sub>c</sub> = 100 - R <sub>c</sub> (%)
50				100,0%
40	0	0	0,0%	100,0%
31,5	0	0	0,0%	100,0%
25	0	0	0,0%	100,0%
20	0	0	0,0%	100,0%
16	0,048	0,048	1,5%	98,5%
14				
12,5	0,916	0,964	29,4%	70,6%
10	1,012	1,976	60,4%	39,6%
8	0,986	2,962	90,5%	9,5%
6,3	0,23	3,192	97,5%	2,5%
5	0,013	3,205	97,9%	2,1%
4	0,009	3,214	98,2%	1,8%
3,15				
2,5				
2				
1,6				
1,25				
1				
0,8				
0,63				
0,5				
0,4				
0,315				
0,25				
0,2				
0,16				
0,125				
0,1				
0,08				
0,063	0,0180	3,232	98,7%	1,3%
P(kg) = masse des fines	0	$\sum R_i + P$ 3,232	$\frac{100 \cdot (M_1 - (\sum R_i + P))}{M_1} = \dots \%$	0,06%

## Cas du sable :

$$\text{Taux de fines en \%} = f(\%) = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

$$Mf(\%) =$$

## Observations

L'échantillon de gravettes G1 analysé est conforme aux exigences de la norme NM 10.1.271

Laborantin :	Responsable Laboratoire :
Nom :	Nom :
Visa :	Visa :



## ENREGISTREMENT

Essai d'analyse granulométrique par tamisage  
NM EN 933-1Ref: ENG-LAB  
009  
Version: 00  
Date:  
1/12/2020  
Page: 1/1

Date de prélèvement :	04/01/2022	Date d'essai :	04/01/2022
Nature de granulats :	GII	Provenance :	SEFROU
N° d'amivage :	CAB/3	Fournisseur :	OMARI

## Préparation des masses pour essais

Masse totale humide de l'échantillon analysé	$M_0$ (kg) =	6,29	Masse totale humide de l'échantillon analysé (kg)	$M_h$ =	6,288
Masse totale sèche de l'échantillon analysé	$M_1$ (kg) =	6,25	Masse totale sèche de l'échantillon analysé (kg)	$M_s$ =	6,248
Teneur en eau (%) = $(M_0 - M_1) / M_1 \times 100$	$W$ =	0,64	Masse après lavage au dernier tamis (kg)	$M_f$ =	6,206

## RESULTATS DE TAMISAGE

Ouverture des tamis (mm)	Masse du refus $R_i$ (kg)	Refus Cumulé $R_c$ (kg)	Refus Cumulé $R_c$ (%) $R_c(\%) = R_c(g) / M_s \times 100$	Passant Cumulé $P_c$ (%) $P_c = 100 - R_c(\%)$
50				
40	0	0	0,0%	100,0%
31,5	0	0	0,0%	100,0%
25				
20	0,412	0,412	6,6%	93,4%
16	3,852	4,264	68,2%	31,8%
14				
12,5	1,832	6,096	97,6%	2,4%
10	0,05	6,146	98,4%	1,6%
8	0,034	6,180	98,9%	1,1%
6,3	0,014	6,194	99,1%	0,9%
5				
4				
3,15				
2,5				
2				
1,6				
1,25				
1				
0,8				
0,63				
0,5				
0,4				
0,315				
0,25				
0,2				
0,16				
0,125				
0,1				
0,08				
0,063	0,012	6,206	99,3%	0,7%
$P$ (kg) = masse des fines	0	$\sum R_i + P$	6,206	$\frac{100 \times (M_s - (\sum R_i + P))}{M_s} = \dots < 1\%$

## Cas du sable :

$$\text{Taux de fines en \%} = f(\%) = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

$$M_f(\%) =$$

## Observations

Laborantin :	Responsable Laboratoire :
Nom :	Nom :
Visa :	Visa :

CS Scanné avec CamScanner

## **II. Annexes 2 :**

### **1. Résistance à la compression :**

#### **a) PRINCIPE:**

Les éprouvettes sont chargées jusqu'à la rupture dans une machine pour essai

Compression, la charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance à la compression calculée.

#### **b) APPAREILLAGE :**

-machine d'essai de compression

- pieds acoulisse

-règles

#### **c) PREPARATION DES ECHANTILLONS :**

Pour réaliser ce test, quatre éprouvettes cylindriques (16x32) (cm) ont été préparées, pour chaque âge (7/28 jours) afin de prendre une valeur moyenne.

#### **d) CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS :**

- Les éprouvettes préalablement préparées sont immergées dans l'eau juste après démoulage à une température de 20°C.
- Cette opération est réalisée pour éviter l'évaporation de l'eau pendant la phase de prise du ciment et pour assurer le bon déroulement du durcissement, afin de maintenir les caractéristiques réelles du béton.

#### **e) RÉALISATION DES TESTS SUR LES ÉCHANTILLONS :**

Surfaçage :

Avant de commencer l'essai, il est recommandé de préparer les éprouvettes en surfaçant les deux bases de l'éprouvette selon les recommandations suivantes.

- Avant le surfaçage, s'assurer que l'extrémité de l'éprouvette à surfacier et qu'elle est propre de toutes particules étrangères
- Le surfaçage doit être le plus fin possible (<5 mm).

- Les mortiers de surfacage à base de soufre sont convenables, un sable fin de siliceux peut être ajouté à parts égales avec le soufre.
- Chauffer le mélange à la température recommandée
- Faire descendre verticalement l'une des extrémités de l'éprouvette dans un mortier de soufre en fusion préalablement déversé sur un plateau moule horizontale.
- Laisser le mélange durcir avant de répéter cette opération pour l'autre extrémité.
- Utilisez une hausse de surfacage pour assurer que les deux surfaces sont parallèles et de l'huile de démoulage comme agent de démoulage pour les plateaux/moules

#### f) RÉPARATION ET POSITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS :

Avant de procéder à l'écrasement, tenez compte des recommandations suivantes :

- Essuyez tout excès d'humidité de la surface de l'échantillon avant pour le positionner dans la machine d'essai.
- Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés et toutes particules ou corps étrangers doivent être retirés des surfaces de l'éprouvette qui seront en contact avec eux.
- Centrer l'éprouvette sur la plateau avec une précision de  $\pm 1 \%$  de la dimension du diamètre de l'éprouvette cylindrique.

Expression des résultats :

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$R = \frac{F}{S}$$

R: la résistance en compression exprimée en MPa.

.F: la charge maximale exprimée en MPa.

S: l'air de la section sur laquelle la force de compression est Appliquée en  $\text{mm}^2$



## 2. L'affaissement :

### a) PRINCIPE:

Le béton frais est compacté dans un moule en forme de tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

### b) APPAREILLAGE :

- moule pour former l'éprouvette (cône d'Abrams)
- Tige de piquage
- Entonnoir
- Règle
- Surface ou plateau de base
- Récipient de ré-homogénéisation
- Chronomètre
- pelle-écope
- Pelle carrée
- chiffon humide

### c) Mode opératoire :

- Humidifiez le moule et la plaque de base, puis placer le moule sur le plateau, la surface de base horizontale.
- Maintenir fermement le moule en place pendant le remplissage en le fixant avec les deux pattes de fixation, ou en appui vertical sur les deux pattes de base.
- Remplir le moule en trois couches, chacune correspondant approximativement , après serrage, au tiers de la hauteur du moule.
- Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage , répartir les coups uniformément sur la section de chaque couche pour la couche inférieure, il faut incliner légèrement la tige et de donner approximativement la moitié des piquages avec des coups en spirale jusqu'au centre.
- Piquer la deuxième couche et la couche supérieure, chacune dans toute son épaisseur, de sorte que la tige pénètre légèrement dans la couche sous-jacente, lors du remplissage et du compactage de la couche supérieure, mettre un excé de béton au-dessus du moule avant de commencer le piquage.

Si lors du piquage de la couche supérieure apparaît un manque de béton sous le bord supérieur du moule, ajouter du béton pour toujours avoir un surplus, après avoir piqué la couche supérieure, niveler le béton le long du bord supérieur du moule en portant effectuer un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage.

- Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau de la surface de base. Démouler le béton en soulevant verticalement le moule avec précaution.
- L'enlèvement du moule doit se faire en 5 s à 10 s, par une remontée verticale régulière sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion.
- L'ensemble des opérations, depuis le début du remplissage jusqu'à l'enlèvement du moule, doit être réalisé sans interruption et terminé en moins de 150 s.
- Immédiatement après avoir retiré le moule, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point le plus haut du corps d'épreuve affaissé.

### 3. Masse volumique :

#### a) Principe :

La présente procédure spécifie une méthode de détermination de la masse volumique du béton durci elle s'applique aux bétons de granulats légers, coutants, et lourds elle différencie les bétons durcis selon leur état :

- état de réception
- état saturé en eau
- état séché en étuve

la masse et le volume de l'échantillon de béton durci sont déterminés , puis sa masse volumique est calculée .

#### b) Appareillage :

- Réglets, avec une précision de 0,5%
- Balance avec une précision égale 0,1 % de la masse
- Etuve ventilée ( $105 \pm 5$  °C)
- Cuve à eau.

#### c) Mode opératoire :

- **Détermination du volume des éprouvettes**

Vérifier que l'éprouvette cubique a été confectionnée dans un moule étalonné, calculer le volume de l'éprouvette , en mètres cubes, à trois décimales près.

NOTE : Les éprouvettes, après rectification par surfaçage, ne doivent pas être utilisées pour la mesure de la masse volumique du béton durci.

- **Masse de l'échantillon en l'état de réception**

- Peser l'échantillon en l'état de réception, avec une précision égale à 0,1 % de la masse (mr) de l'éprouvette.

-Noter la valeur indiquée, en kilogrammes.

- **Masse de l'échantillon à l'état de saturation en eau**

-Immerger l'échantillon dans de l'eau à ( $20 \pm 2$ ) °C jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées à l'air libre soit inférieure à 0,2 % en 24 h.

- Essuyer l'échantillon avant chaque pesée pour en éliminer l'excès d'eau.

-Noter la valeur de la masse de l'échantillon à l'état humide (ms), en kilogrammes.

- **Masse de l'échantillon séché à l'étuve**

- Sécher l'échantillon dans une étuve ventilée à  $(105\pm 5)$  °C jusqu'à ce que la variation de la masse entre deux pesées soit inférieure à 0,2 % en 24 h.

- Avant chaque pesée, amener l'échantillon à une température voisine de la température ambiante en la plaçant dans une enceinte fermée et «sèche» ou dans un dessiccateur.

- Noter la valeur de la masse de l'échantillon à l'état séché ( $m_0$ ), en kilogrammes.

Calculer la masse volumique de l'échantillon au moyen des valeurs de la masse et du volume précédemment déterminés, à l'aide de la formule suivante :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$ : est la masse volumique, en  $\text{Kg/m}^3$  cube, pour un état de l'échantillon et une méthode de détermination du volume donnés ;

$m$ : est la masse de l'échantillon, en Kg

$V$  : est le volume de l'échantillon,  $\text{m}^3$ , déterminé selon la méthode choisie.