

SOMMAIRE

Résumé	
Abstract	
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	xi
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : État de l'art sur les centrales à béton.....	3
1- Béton prêt à l'emploi	5
1.1- Définitions.....	5
1.2- Les avantages du BPE	7
1.2.1- Les avantages techniques.....	7
1.2.2- Les avantages économiques.....	7
1.2.3- Autres avantages du BPE.....	7
1.2.4- Avantages de la livraison du béton	8
1.3- Les produits du BPE	8
1.3.1- Bétons retardés	8
1.3.2- Bétons autoplaçants.....	8
1.3.3- Bétons colorés	9
1.3.4- Bétons fibrés.....	9
1.3.5- Les bétons routiers.....	9
2- Les Centrales à béton.....	9
2.1- Généralités.....	9
2.2- Historique	10
2.3- La classification des centrales à béton	10
2.3.1- Répartition selon la méthode de fabrication utilisée	10
2.3.2- Répartition selon la configuration de la centrale.....	11
2.3.3- Répartition selon le degré de mobilité.....	12
2.4- Fonctionnement des centrales	12
2.4.1- En automatique	12

2.4.2-	En semi-automatique	13
2.4.3-	En manuel.....	13
2.5-	La fabrication du béton prêt à l'emploi.....	13
2.5.1-	Les composantes du BPE	13
2.5.2-	Les étapes de fabrication du BPE	14
2.6-	L'approvisionnement et le stockage des constituants	14
2.6.1-	Le stockage du ciment.....	15
2.6.2-	Le stockage des granulats	15
2.6.3-	Le stockage de l'eau	16
2.6.4-	Le stockage des adjuvants.....	17
2.7-	Le dosage	18
2.7.1-	Chaîne de dosage	19
2.7.2-	Le dosage des constituants	20
2.8-	Le malaxage des constituants.....	22
2.8.1-	Cycle de malaxage	23
2.8.2-	Le matériel de malaxage	24
2.9-	Le transport	25
2.9.1-	Le transport du béton : l'approvisionnement du chantier	25
2.9.2-	Le transport du béton par benne, goulotte, tapis	26
2.9.3-	Le transport du béton par pompage	26
2.9.4-	Les règles à respecter lors du transport.....	27
2.10-	Le laboratoire et les contrôles	27
2.10.1-	Le laboratoire.....	27
2.10.2-	Le BPE et le développement durable	27
2.11-	Les risques dans une centrale à béton	28
2.12-	Les aspects généraux de sécurité	30
2.12.1-	Escaliers et échelles	30
2.12.2-	Les équipements de protection individuelle	31
2.12.3-	Les premiers soins en cas d'accident.....	33
2.12.4-	La sécurité incendie	33
3-	Influence des paramètres de production industrielle du béton sur sa qualité	36
3.1-	Impact du dosage et du stockage	37

3.1.1-	Risque de fluctuation des paramètres de composition	37
3.1.2-	Conséquences de fluctuations des paramètres de composition	38
3.1.3-	Variations du dosage en eau	38
3.2-	Impact du malaxage.....	42
3.2.1-	Mécanisme du malaxage.....	43
3.2.2-	Observation de l'évolution d'homogénéité au cours du malaxage	43
3.2.3-	Effets des paramètres de malaxage	44
4-	Moyens de contrôle de la régularité de qualité du béton	47
4.1-	Réglementation normative.....	47
4.2-	Enregistrement des paramètres de fabrication	48
4.3-	Contrôle de la teneur en eau du granulat	48
4.3.1-	Principales méthodes de mesure de la teneur en eau	48
4.3.2-	Mode de mesure et précision	49
4.4-	Contrôle de l'humidité du béton frais dans le malaxeur.....	49
4.5-	Contrôle de consistance effectuée sur la gâchée courante	50
5-	Conclusion.....	50
	Chapitre 2 : La centrale à béton SOGERHWIT.....	51
1-	La centrale à béton 'SOGERHWIT'	52
1.1-	Historique	52
1.2-	Le plan de situation	52
1.3-	Description de la centrale à béton 'Sogerhwit'	53
1.3.1-	Les travailleurs.....	53
1.3.2-	Matériels	53
1.3.3-	Les matériaux de construction	56
1.4-	Fonctionnement de la centrale à béton	57
1.4.1-	La centrale automatique	57
1.4.2-	La centrale manuelle	64
1.5-	Statistiques de production	66
1.5.1-	Formules utilisées.....	66
1.5.2-	Production des centrales Sogerhwit	67

1.6-	Spécifications de la centrale à béton 'Sogerhwit' et comparaison avec les autres centrales.....	68
1.6.1-	Le temps de malaxage.....	68
1.6.2-	L'ordre d'introduction des constituants	68
1.6.3-	La présence et l'influence de l'eau dans la centrale	68
1.6.4-	Le nettoyage du malaxeur et le tapis transporteur	70
1.6.5-	L'existence du laboratoire.....	70
2-	Conclusion.....	71
Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux		72
1-	Eau.....	73
2-	Ciment.....	73
2.1-	Caractéristiques techniques	73
3-	Granulats.....	76
3.1-	Le sable	76
3.2-	Graviers.....	78
3.3-	Essai d'analyse granulométrique.....	79
4-	Interprétations des résultats	80
5-	Conclusion.....	80
Chapitre 4 : Partie expérimentale		81
1-	Formulation de référence	83
1.1-	Détermination de la résistance à la compression	83
1.2-	Dimension maximale 'D' des granulats	83
1.3-	Calcul de la quantité d'eau	83
1.4-	Détermination de la composition granulaire	84
1.4.1-	Tracé de la courbe granulométrique de référence	84
1.4.2-	Détermination des proportions de granulats	85
1.5-	Détermination de la composition en volume absolu	86
1.5.1-	Volume de ciment	86
1.5.2-	Volume de granulats	86
1.5.3-	Volume du sable.....	87

1.5.4-	Volume des graviers	87
1.6-	Détermination de la composition pondérale en Kg pour 1m ³	87
1.6.1-	Masse de ciment	87
1.6.2-	Masse d'eau	87
1.6.3-	Masse de sable	87
1.6.4-	Masse des graviers	87
1.7-	Ajustement	87
2-	Variation de la quantité d'eau par rapport à la quantité de ciment pour un dosage de 350 kg	88
3-	Utilisation des adjuvants.....	88
3.1-	Choix des adjuvants	88
3.1.1-	L'adjuvant 'UNICUM PC 6'	88
3.1.2-	L'adjuvant 'TEKSUPERFLOW 2000 R'	89
3.1.3-	L'adjuvant 'SUPERIOR RM 34'	89
3.1.4-	L'adjuvant 'GLENIUM 26'	89
3.2-	Formulations étudiées	90
4-	Variation du dosage en ciment	91
4.1-	Masse de ciment.....	91
4.2-	Masse d'eau.....	91
4.3-	Masse de sable	91
4.4-	Masse des graviers	91
5-	Utilisation des adjuvants.....	92
5.1-	Formulations des bétons adjuvantés étudiés	92
6-	Caractérisation des bétons	93
6.1-	A l'état frais.....	93
6.2-	Confection des éprouvettes	93
6.2.1-	Mise en place du béton	94
6.2.2-	Conservation des éprouvettes	94
6.3-	A l'état durci	94
6.3.1-	Mesure de la masse volumique	94
6.3.2-	Essai d'écrasement.....	95

7- Résultats obtenus	96
7.1- Bétons ordinaires non adjuvés	96
7.2- Bétons adjuvés	97
8- Etude d'une formulation au niveau de la centrale	103
9- Comparaison entre les bétons proposés et ceux commercialisés par la centrale	105
10- Recommandations	107
11- Etude technico-economique.....	110
12- Conclusion.....	111
Conclusion générale et perspectives	112
Références bibliographiques	
Annexes	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le béton est actuellement l'un des principaux matériaux de construction. Pour réaliser des éléments qui nécessitent de grandes quantités de béton, on fait en général appel à une centrale à béton.

Fabriqué en centrale à béton, le BPE permet de mettre au point et de livrer des bétons dont les caractéristiques sont précisément adaptées au chantier tel que le dosage et la consistance ainsi que les propriétés techniques et esthétiques qui sont bien déterminées. Le béton prêt à l'emploi compte parmi ses avantages, une qualité optimale obtenue grâce à la fabrication industrielle et un gain de pénibilité appréciable (livraison sur le chantier, pas de chargement nécessaire).

Cependant, la maîtrise de la qualité du BPE passe par une maintenance régulière des équipements fixes au niveau de la centrale et des moyens de transport qu'elle utilise, une régularité dans l'approvisionnement de la matière première : granulats, ciments et adjuvants en s'assurant de leurs qualités respectives et au respect des paramètres de stockage, de préparation et de mélange des différentes compositions de BPE au niveau de la centrale. Tout changement doit être signalé et pris en compte pour la correction des formulations.

La société publique SOGERHWIT dispose de deux centrales à béton au niveau de la zone industrielle de Tlemcen et commercialise quelques variantes de BPE pour la réalisation de structures de bâtiments et d'ouvrages hydrauliques. Les responsables de ces centrales ont sollicité le laboratoire EOLE afin de les accompagner dans leur quête de BPE de meilleure qualité.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail de fin d'études qui est réalisé à la fois au laboratoire et au sein de la centrale appartenant à SOGERHWIT. Nous y avons effectué un diagnostic détaillé sur les équipements et les méthodes. Nous avons par la suite, identifié les propriétés physiques de la matière première utilisée par la centrale pour déterminer la composition à l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse et élaborer un programme expérimental où nous avons vérifié l'effet de l'eau et des adjuvants sur la qualité mécanique des mélanges arrêtés. En dernier lieu, nous avons procédé à la fabrication in situ des formulations choisies au laboratoire pour vérifier leurs qualités et procéder in fine aux corrections d'usage.

Notre mémoire de fin d'études est organisé autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons un état de l'art sur les centrales à béton ainsi que le béton prêt à l'emploi. Le deuxième chapitre comporte une présentation détaillée de la centrale à béton SOGERHWIT avec leur mode de fonctionnement. Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés dans cette étude (ciment, gravier, sable, eau, adjuvant)

selon les normes en vigueur. Le quatrième chapitre présente la campagne d'essais constituée de parties :

- La première partie comporte le calcul de la formulation du béton en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse en ajoutant par la suite des adjuvants à ce béton.
- La deuxième partie présente la proposition de composition qui répond aux attentes de la centrale à béton SOGERHWIT.

Ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats trouvés tout en suggérant de nouvelles perspectives.

CHAPITRE 1 : ÉTAT DE L'ART SUR LES CENTRALES À BÉTON

SOMMAIRE DU CHAPITRE 1

Chapitre 1 : État de l'art sur les centrales à béton	3
1- Béton prêt à l'emploi	5
1.1- Définitions.....	5
1.2- Les avantages du BPE	7
1.3- Les produits du BPE	8
2- Les Centrales à béton.....	9
2.1- Généralités.....	9
2.2- Historique	10
2.3- La classification des centrales à béton	10
2.4- Fonctionnement des centrales	12
2.5- La fabrication du béton prêt à l'emploi.....	13
2.6- L'approvisionnement et le stockage des constituants	14
2.7- Le dosage	18
2.8- Le malaxage des constituants.....	22
2.9- Le transport	25
2.10- Le laboratoire et les contrôles	27

2.11-	Les risques dans une centrale à béton.....	28
2.12-	Les aspects généraux de sécurité	30
3-	Influence des paramètres de production industrielle du béton sur sa qualité	36
3.1-	Impact du dosage et du stockage	37
3.2-	Impact du malaxage.....	42
4-	Moyens de contrôle de la régularité de qualité du béton.....	47
4.1-	Réglementation normative.....	47
4.2-	Enregistrement des paramètres de fabrication	48
4.3-	Contrôle de la teneur en eau du granulat	48
4.4-	Contrôle de l'humidité du béton frais dans le malaxeur.....	49
4.5-	Contrôle de consistance effectuée sur la gâchée courante	50
5-	Conclusion.....	50

Dans ce chapitre relatif à l'état de l'art sur le béton prêt à l'emploi (**BPE**), on commence par aborder la fabrication du béton dans les centrales jusqu'à son transport en passant en revue les différents types des centrales, les paramètres de production et on finit par les moyens de contrôle de la régularité du béton.

1- BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

1.1- Définitions

L'appellation « **Béton Prêt à l'Emploi** » (**BPE**) est réservée au béton préparé en usine dans des installations industrielles appelées « centrales à béton » fabriqué sur demande et transporté jusqu'au lieu d'utilisation dans des camions malaxeurs (bétonnières portées), ou dans des camions bennes pour certains bétons fermes. En France, l'industrie du BPE a pris un grand essor après 1970 et s'est vu triplé de 1970 à 2005 accompagnée d'une très forte consommation de ciment ; cet effort reste loin des taux de pénétration observés aux USA et au Japon (voir tableau 1.1).

Concernant le Béton prêt à l'emploi (BPE) en Algérie, il ya une production de 4 millions de m³ en 2014 avec la réalisation de 16 unités réparties sur tout le territoire national.

La figure 1.1 montre l'évolution de la production du ciment et de la consommation du B.P.E en France de 1991 jusqu'à 2013.

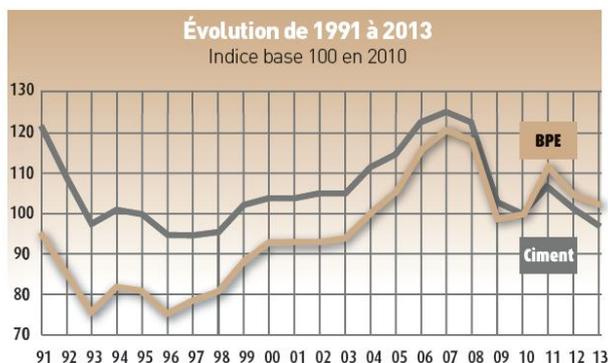


Figure 1. 1 : Evolution de la production ciment - B.P.E en France (SNBPE, 2015)

Tableau 1. 1 : Comparaison internationale pour le B.P.E. (SNBPE, 2015)

	PRODUCTION			CONSOMMATION/AN /HABITANT		TAUX DE PÉNÉTRATION
	EN MILLIONS DE m ³	RANG EUROPÉEN	EVOLUTION m ³ 2013/2012 EN %	m ³	RANG EUROPÉEN	% TOTAL DE CIMENT DANS LE BPE
Allemagne	45,6	1	- 0,9	0,6	3	51,9
Autriche	10,5	8	- 0,9	1,2	1	60,0
Belgique	12,5	7	0,0	1,1	2	55,0
Danemark	2,3	14	15,0	0,4	10	45,0
Espagne	16,3	6	- 24,5	0,3	12	42,0
Finlande	2,7	11	0,0	0,5	6	52,0
France	38,7	2	- 1,7	0,6	4	60,2
Irlande	2,4	13	0,0	0,5	7	85,0
Italie	31,7	3	- 20,6	0,5	8	50,8
Pays-Bas	6,6	9	- 9,5	0,4	11	50,0
Pologne	18,0	5	- 7,7	0,5	9	35,2
Portugal	2,7	12	- 27,0	0,3	13	18,0
Rép. Tchèque	6,5	10	- 6,1	0,6	5	65,0
Royaume- Uni	19,6	4	11,4	0,3	14	56,0
Slovaquie	1,7	15	- 10,1	0,3	15	40,0
États-Unis	230,0	/	2,2	0,7	/	73,0
Japon	99,0	/	7,6	0,8	/	72,4

Pour l'Algérie, il ya plusieurs sociétés de production de BPE ; parmi elles Lafarge Algérie, dont la production du BPE pour l'année 2014 est estimée à environ 950 000 m³, représentant ainsi moins de 20 % du marché national (Aït Ouakli, 2014).

1.2- Les avantages du BPE

Parmi les avantages apportés par la fabrication du béton en centrale, il faut souligner (CIMbéton, 2013) :

1.2.1- Les avantages techniques

En fonction des exigences du chantier, les centrales peuvent mettre au point et livrer les B.P.E les mieux adaptés, dont les caractéristiques font l'objet d'un suivi grâce à des contrôles de laboratoire, qui permettent de s'assurer également de la conformité des constituants.

L'automatisation très poussée des centrales dans les pays développés et la précision des dosages contribuent à la régularité et à la qualité des produits livrés. Les centrales disposent d'une large gamme de produits : bétons autoplaçants, bétons légers, bétons colorés, etc.

1.2.2- Les avantages économiques

Le BPE évite le gaspillage et l'immobilisation de stocks sur le chantier, réduisant les investissements en matériel et humaines. Par la ponctualité des livraisons et grâce aux délais courts, la productivité des chantiers se trouve améliorée.

1.2.3- Autres avantages du BPE

❖ **Le service** : La livraison est faite par camions adaptés, pour des quantités correspondant strictement aux besoins. Des pompes ou des camions équipés de tapis permettent de faciliter la mise en place du béton.

❖ **La qualité** : Le BPE apporte des garanties de qualité, car :

- Les matériaux dont il est constitué sont eux-mêmes soumis à des exigences de qualité,
- Des contrôles qualité rigoureux accompagnent la fabrication et la livraison du béton,
- La formulation et la fabrication des bétons sont couvertes par de nombreuses normes de qualité.

❖ **La diversité des solutions** : Le BPE répond à une grande variété de besoins en termes de technicité, d'exigences de mise en œuvre et d'esthétique grâce :

à la capacité des centres d'essais et des laboratoires à étudier et industrialiser des bétons toujours plus innovants et en phase avec les tendances de l'architecture et de la

construction, à l'utilisation de multiples combinaisons de ciments, de granulats et d'adjuvants stockés sur les sites des centrales de production.

❖ **Le confort :**

- Le béton prêt à l'emploi peut être fourni directement sur la centrale, ou bien il peut être livré sur le chantier par camion malaxeur,
- Le rythme des livraisons s'adapte aux besoins et peut varier d'heure en heure ou de jour en jour,
- L'utilisation du béton prêt à l'emploi permet de limiter les nuisances sur le chantier : saleté, encombrement, bruit, etc.

1.2.4- Avantages de la livraison du béton

La livraison de béton prêt à l'emploi l'usage est un gain :

- ❖ **De temps :** trouver la bétonnière (achat ou location), les agrégats et les adjuvants, gâcher le béton, nettoyer et entretenir la bétonnière.
- ❖ **D'espace :** pas de zone de gâchage à aménager et à nettoyer, pas de stockage de bétonnière.
- ❖ **De choix :** le béton est livré avec les adjuvants requis (antigel, plastifiant, colorant, etc.).
- ❖ **De qualité :** le béton livré est contrôlé en sortie de centrale et répond à des normes de qualité testées et par analyse d'échantillons.
- ❖ **De disponibilité :** le béton est livré où et quand le client le souhaite, sans retard.

1.3- Les produits du BPE

En fonction des besoins particuliers du chantier, des bétons aux propriétés particulières peuvent être fabriqués et livrés (CIMbéton, 2013) :

1.3.1- Bétons retardés

Ces bétons permettent des cadences de bétonnage faibles ou scindées en phases.

1.3.2- Bétons autoplaçants

Ces bétons présentent une exceptionnelle facilité de mise en œuvre. En effet, il s'agit d'un matériau se mettant en œuvre sans faire appel à la vibration, ce qui présente de nombreux avantages sur les chantiers, tant au niveau de la diminution des nuisances sonores dues à

l'effet du serrage du béton que de l'amélioration de la pénibilité dans le travail du personnel de chantier.

1.3.3- Bétons colorés

Ces bétons, colorés dans la masse par des pigments minéraux permettent de réaliser des bétons d'aménagements particulièrement esthétiques.

1.3.4- Bétons fibrés

Pour certains travaux particuliers, les fibres métalliques confèrent au béton une résistance améliorée en traction, ainsi qu'aux chocs. Les bétons avec fibres synthétiques offrent une bonne résistance à la fissuration de surface.

1.3.5- Les bétons routiers

Le développement des chaussées béton et de leurs équipements (séparateurs, bordures et caniveaux coulés en place) a conduit à étudier des formulations de béton appropriées.

2- LES CENTRALES À BÉTON

2.1- Généralités

Le béton peut être fabriqué de trois manières différentes :

- Dans une petite bétonnière sur le chantier,
- Dans une centrale à béton installée ou non sur le chantier,
- Dans une usine pour la fabrication des produits à base de béton.

Dans le cadre de ce travail, on s'intéressera aux centrales à béton installées ou non sur le chantier, dont les règles de base suivantes doivent être respectées lors de la fabrication du béton prêt à l'emploi :

- Le lieu de stockage des matières premières est aisément et rapidement accessible depuis une route et/ou une voie d'eau,
- Le lieu de stockage et l'installation de malaxage constituent un tout et sont proches l'un de l'autre de manière à réduire au minimum le déplacement des matières premières.

Lors de la fabrication du BPE sur le chantier, il faut en outre tenir compte des aspects suivants :

- L'espace disponible pour le stockage des matières premières doit être suffisant,
- L'approvisionnement des matières premières ne perturbe pas l'avancement du chantier et vice versa.

2.2- Historique

Une première tentative eut lieu en 1903 en Allemagne où un fabricant monta une centrale. Dix ans plus tard à Baltimore aux USA, une centrale de béton prêt à l'emploi commença à fonctionner suivant les principes que nous connaissons aujourd'hui : pesage et mélange du ciment, des granulats, de l'eau puis transport jusqu'au chantier à l'aide de camions à bascule.

Les premières centrales de BPE sont donc apparues au début du vingtième siècle aux États-Unis et en Allemagne.

Les malaxeurs à l'époque fonctionnaient à la vapeur et le béton parfois transporté dans des chariots tirés par des chevaux. L'idée de transporter du béton frais serait due à l'ingénieur anglais Deacon qui montra en 1872 les avantages présentés par une telle opération.

Stephanian (Ohio) dessina en 1916 le plan d'un malaxeur porté sur un châssis de camion (voir fig. 1.2) et qui était tout à fait comparable, quant à son principe aux malaxeurs actuels (Ghomari, 2014).

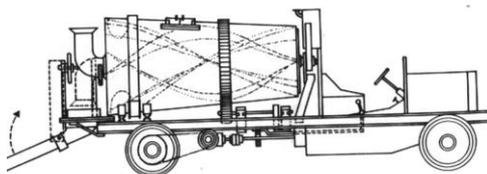


Figure 1. 2 : Plan du malaxeur dessiné par Stephanian aux USA. (Ghomari, 2014)

Pour L'Algérie, le groupe des centrales Marcantonini, du nom de leur fondateur Lamberto Marcantonini est un grand groupe qui a connu un début d'activité en 1967, soit 40 ans d'expérience dans le domaine de la production et du transport de béton et de la réalisation des systèmes automatisés de dosage pour des applications industrielles hors béton et du développement.

2.3- La classification des centrales à béton

Les différents types de centrales à béton peuvent se classer comme suit (C.N.A.C., 1999) :

- Selon la méthode de fabrication utilisée,
- Selon la configuration de la centrale,
- Selon le degré de mobilité.

2.3.1- Répartition selon la méthode de fabrication utilisée

- ❖ **Centrale sans malaxeur** : Dans ce type de centrale, les matières premières sont uniquement dosées et déversées dans un camion malaxeur. Le malaxage a lieu dans le camion malaxeur ; cette méthode, moins appréciée, est très peu utilisée de nos jours.

- ❖ **Centrale avec malaxeur** : Dans ce type de centrale, les matières premières ne sont pas uniquement pesées ; mais aussi mélangées dans un malaxeur fixe d'où le béton frais est déversé vers un mode de transport approprié.
- ❖ **Centrale mixte** : Dans le cas d'une centrale mixte, le sable, le ciment, l'eau et les éventuels adjuvants et/ou additions sont dosés et pré-malaxés dans un malaxeur fixe. Le malaxage du mortier et des gros granulats s'effectue dans le camion malaxeur.

2.3.2- Répartition selon la configuration de la centrale

- ❖ **Centrale de type vertical** : Dans cette centrale, les matières premières descendent depuis la partie supérieure des tours le long des silos et des trémies peseuses, vers le malaxeur et ce, sous le simple fait de la gravité. Ce type de centrale est souvent utilisé aux endroits où la superficie est limitée (par ex. en ville) (figure 1.3).
- ❖ **Centrale de type horizontal** : Dans ce type de centrale, les composants sont dosés les uns à côté des autres et conduits par bande transporteuse ou par benne d'alimentation vers le malaxeur (figure 1.3).

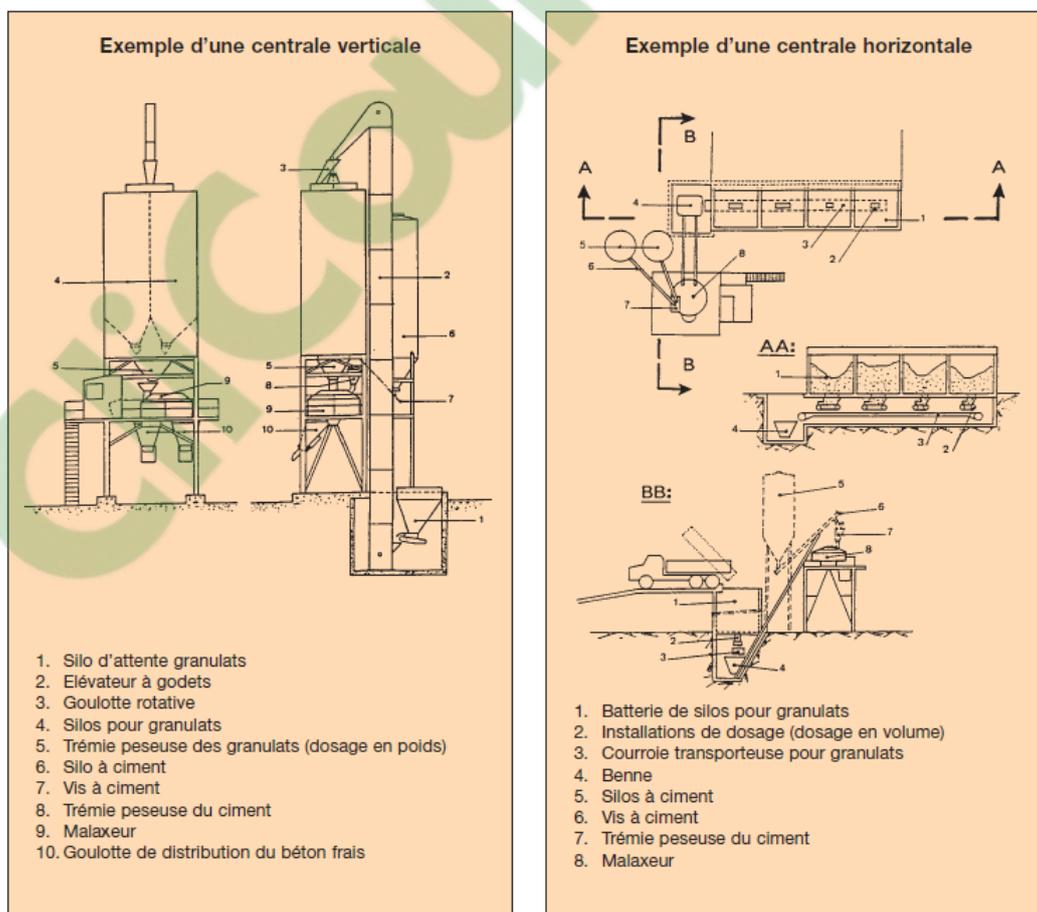


Figure 1. 3 : Types de centrales (C.N.A.C., 1999)

2.3.3- Répartition selon le degré de mobilité

- ❖ **Centrale fixe** : Une centrale fixe ne peut être déplacée (c'est le cas général). Seuls certains éléments sont récupérables en cas de remontage (fig. 1.4).



Figure 1. 4 : Centrale fixe (www.concretebatchingplants.com)

- ❖ **Centrale mobile** : Une centrale mobile est équipée de roues (voir fig. 1.5) permettant un déplacement sur route ou installée sur bateau pour un déplacement sur eau.



Figure 1. 5 : Centrale mobile (www.concretebatchingplants.com)

2.4- Fonctionnement des centrales

Les centrales à béton peuvent fonctionner sous les trois manières suivantes (Ghomari, 2014) :

2.4.1- En automatique

Le processus de dosage et de malaxage est entièrement automatique avec les différentes compositions des bétons qui sont programmées par ordinateur. Le cycle de fabrication est

déclenché par un technicien qui affiche le type de ciment, la teneur en eau (compte tenu de l'humidité des agrégats), l'adjuvant utilisé, le type et le volume du béton à délivrer.

2.4.2- En semi-automatique

En mode automatique, on peut passer en mode manuel partiel à tout moment pour la partie dosage, l'autre partie restant en mode automatique. L'application en manuel se fait par l'intermédiaire de la souris au niveau de l'écran.

2.4.3- En manuel

Au niveau de l'écran de visualisation du synoptique, on peut passer du mode automatique au mode manuel à tout moment par l'intermédiaire de la souris. Les commandes de l'ensemble de la centrale ainsi que les dosages se font maintenant avec la souris. Le mode automatique est complètement désactivé.

2.5- La fabrication du béton prêt à l'emploi

Avant d'aborder la fabrication du béton, il n'est pas inutile de rappeler qu'il s'agit d'un matériau obtenu en mélangeant un ensemble de constituants présentant des états et des caractéristiques très différents (CIMbéton, 2013) :

- Un liant : le ciment, poudre d'une très grande finesse,
- Des granulats de forme et de densité variée,
- Un liquide : l'eau de gâchage,
- Eventuellement des adjuvants soit liquides, soit en poudre.

L'air qui se trouve enfermé dans le béton frais lors de sa fabrication, joue un rôle non seulement sur sa plasticité, mais également sur ses déformations et ses propriétés finales.

2.5.1- Les composantes du BPE

Pour élaborer un béton, matériau homogène, il faut tenir compte au cours des phases de fabrication et de transport, de l'homogénéité de ses constituants.

Il faut aussi réaliser un mélange efficace, qui ne puisse pas subir ensuite de ségrégation ou de décohesion.

Parmi les facteurs influant sur l'homogénéité du mélange béton, on peut notamment souligner (CIMbéton, 2013) :

- La détermination d'une composition de béton tenant compte de sa destination et des constituants utilisés : type et classe de ciment, nature et granularité des granulats, adjuvants,

- La teneur en eau,
- Le type de matériel utilisé pour le malaxage,
- Le temps de malaxage,
- Les conditions et temps de transport du béton entre sa fabrication et sa mise en œuvre.

2.5.2- Les étapes de fabrication du BPE

Le béton prêt à l'emploi est fabriqué dans des centrales (figure 1.6).

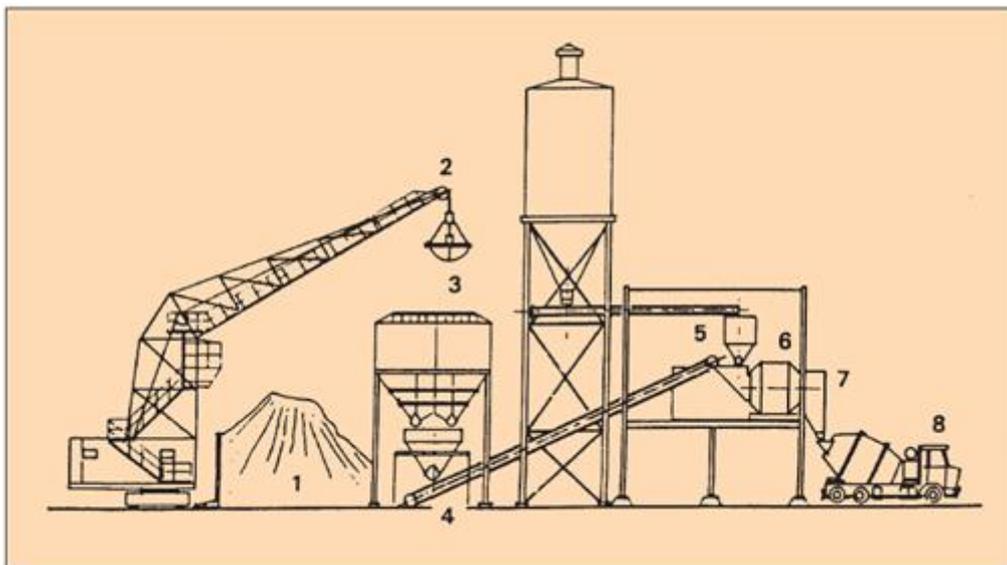


Figure 1. 6 : Les étapes de fabrication du béton prêt à l'emploi (C.N.A.C., 1999)

Légende :

- 1- Stockage des matières premières, 2- Manutention des granulats, 3- Alimentation des silos,
- 4- Distribution depuis les silos, 5- Dosage des matières premières, 6- Malaxage du béton frais
- 7- Vidange du malaxeur, 8- Transport du béton frais.

2.6- L'approvisionnement et le stockage des constituants

Le but du stockage est de conserver les propriétés des constituants, de faciliter leur prélèvement lors de la production, et d'assurer la continuité de la production. Les moyens de stockage sont spécifiques pour chaque constituant.

Le choix des constituants qui vont être utilisés pour réaliser un béton déterminé repose sur deux exigences principales : l'une, d'ordre technique, dépend des caractéristiques visées (résistance, granulométrie, coloration, etc.) ; l'autre, d'ordre économique, tient compte en particulier de la proximité des fournisseurs par rapport au chantier, des coûts compétitifs...

Approvisionnés par route, rail ou voie d'eau, les constituants du béton doivent faire l'objet d'un stockage compatible avec les besoins du chantier, en évitant aussi bien les ruptures de stock que les surstockages (CIMbéton, 2013).

2.6.1- Le stockage du ciment

Une fois que le ciment adapté à l'ouvrage à réaliser (CEM I, CEM II...) ait été choisi ainsi que sa classe de résistance (32.5, 42.5, 52.5), on veillera à son stockage soigné sur le chantier.

Pour les petits chantiers, le ciment conditionné en sacs doit être stocké sur des palettes disposées sur un sol plat et sec. Les sacs seront protégés de la pluie, mais également des remontées d'humidité du sol, des projections de boue et de tout choc mécanique susceptible de les déchirer. Si plusieurs types de ciment sont nécessaires au chantier, leur stockage sera séparé pour éviter erreurs et mélange.

Pour les grands chantiers, le ciment livré en vrac par camion-citerne est déchargé de manière pneumatique et stocké dans des silos verticaux de forme cylindrique d'une capacité supérieure à 30 tonnes (CIMbéton, 2013).

2.6.2- Le stockage des granulats

Il convient d'éviter tout mélange entre des granulats de natures, d'origines ou de classes granulaires différentes. Pour éviter la pollution des granulats par de la terre ou des déchets, le stockage se fait sur une aire aménagée. La propreté des sables, notamment, est un facteur de qualité indispensable du béton.

L'aire de réception à l'aire libre des granulats doit permettre un écoulement correct des eaux. Celui-ci est souvent obtenu grâce à la réalisation d'une aire bétonnée, légèrement inclinée. Cette aire comprend parfois, surtout pour les périodes froides, des canalisations de distribution de vapeur, pour assurer le réchauffage des granulats.

Le stockage en silos ou trémies est plus rarement utilisé. Ce mode de stockage permet de grandes réserves de matériaux et de gros débits. Les silos peuvent comporter plusieurs compartiments permettant le stockage de différents granulats. Leur capacité peut être supérieure à 150 m³. Les trémies sont à ciel ouvert, généralement de faible hauteur et aussi hautes que larges.

Le stockage en silo ou en trémie présente les garanties de qualité et de régularité indispensables pour l'obtention de bétons à caractéristiques très régulières (résistances mécaniques, teinte). C'est également le seul moyen susceptible de garantir une teneur en eau constante des granulats, qui fait l'objet de mesures par sonde (CIMbéton, 2013).

Les méthodes de stockage les plus fréquemment utilisées dans les centrales à béton sont les suivantes (C.N.A.C., 1999) :

Stockage en tas, à même le sol :

La partie inférieure du tas est toujours en contact avec le sol; les granulats s'y incrustent et se salissent.

Stockage en tas sur une aire aménagée :

Cette méthode de stockage est meilleure, quoique plus coûteuse en raison des frais d'aménagement de l'aire de stockage et d'installation d'un dispositif efficace d'écoulement des eaux. On distingue notamment :

- Le stockage en étoile sur aire bétonnée, les compartiments étant disposés autour de l'installation de malaxage,
- Le stockage en grandes quantités sur une aire bétonnée, en tas séparés ou entre cloisons avant le stockage en silos.

Stockage en silos totalement ou partiellement enterrés :

Ces silos sont en acier ou en béton et sont surtout utilisés dans les centrales de type horizontal. Ils se présentent sous forme de batteries de plusieurs compartiments pouvant contenir des quantités importantes de granulats (jusqu'à 150 m³ par silo). Le remplissage est aisé, l'extraction des granulats s'effectue par bande transporteuse placée sous les silos.

Stockage en silos situés hors sol :

Ces silos sont utilisés :

Dans les centrales du type vertical : Les silos se trouvent au-dessus de l'installation de malaxage. Ils sont en béton ou en acier et comportent plusieurs compartiments pour le stockage des différents granulats. Leur capacité totale peut dépasser 300 m³. Le remplissage de ces silos se fait au moyen d'un élévateur à godets ou d'une bande transporteuse avec ou sans goulotte de distribution.

Dans les centrales du type horizontal : Les silos sont en acier (trémies en acier sur pattes en cas de centrales mobiles) ou en béton (en cas de centrales fixes) et se présentent en batteries; l'extraction des granulats s'effectue généralement par bande transporteuse.

2.6.3- Le stockage de l'eau

Si l'on est amené à stocker de l'eau sur le chantier, on veillera à ce qu'elle ne puisse être polluée par des matières organiques ou des sels tels que les chlorures ou les sulfates (CIMbéton, 2013).

2.6.4- Le stockage des adjuvants

Les adjuvants doivent être transportés et stockés de façon telle que leur qualité ne subisse pas l'influence de facteurs physiques ou chimiques (gel, températures élevées, etc.). Selon leur nature (poudre, liquide), les adjuvants se présentent dans des emballages extrêmement variés, allant du petit sac/fût en plastique au gros fût. Dans tous les cas, l'emballage doit être pourvu d'une étiquette claire et compréhensible ou du nom du produit. Les différents adjuvants doivent être stockés séparément pour éviter toute confusion (C.N.A.C., 1999).

Au cours du stockage, diverses perturbations d'état des constituants peuvent entraîner des effets préjudiciables à la qualité du béton produit. Il faut donc prendre des précautions pour limiter leurs influences (voir tableau 1.2). Certaines informations sur les états des propriétés de constituants tels que teneur en eau, quantité d'éléments fins sont des paramètres importants pour formuler un béton de qualité. Par conséquent, des dispositifs permettant de suivre en continu la variation de ces propriétés telles que : les sondes de teneur en eau des granulats, les sondes de teneur en éléments fins de l'eau recyclée, sont fréquemment installées dans les centrales. Ces données influenceront les commandes de dosage (Ngoc Dong, 2007).

Tableau 1. 2 : Perturbations de l'état des constituants et remèdes pour limiter leur influence
(Charonnat, 1980)

Constituants	Origine des perturbations	Dispositions à prendre
Pulvérulents secs (ciment et additions sèches)	<ul style="list-style-type: none"> - Aération par le transport par air, - Remplissage du silo par excès de pression, - Température élevée du pulvérulent, - Vitesse d'extraction excessive. 	<ul style="list-style-type: none"> - Densifier le matériau à la base du silo, vis à double pas ou vibration par exemple, - Conserver une quantité minimale de pulvérulent dans le cône du silo, - Extraction lente du pulvérulent, - Eviter de soutirer du pulvérulent pendant le remplissage du silo, - Eviter les pulvérulents trop chauds.
Sable	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation trop rapide après l'extraction Concentration de fines par égouttage ou ségrégation, - Arrêt d'écoulement si la quantité de fines accumulée est trop forte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Organiser les stocks pour permettre un égouttage (dépend de la quantité de fines), - Prélever à l'avancement dans les stocks, (reprise en ligne en évitant le pied des tas), - Eviter le roulage des camions sur les stocks, - Calibrer régulièrement les sondes de teneur en eau, - Utiliser les sondes comme des indicateurs de Fluctuation, - Dégager régulièrement les zones d'accumulation de fines.
Gravillons	<ul style="list-style-type: none"> - Variation de la teneur en éléments fins. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter le roulage des camions sur les stocks, - Dégager régulièrement les zones d'accumulation de fines.
Additions humides	<ul style="list-style-type: none"> - Mottage - Décantation 	<ul style="list-style-type: none"> - Emotter le produit, - Protéger les stocks pour éviter l'augmentation de teneur en eau (cas des produits peu humides), - Délayer le produit pour dépasser la teneur en eau de bouletages (cas des produits très humides), - Agiter en permanence lorsque le produit est délayé.
Eaux de récupération	<ul style="list-style-type: none"> - Décantation, - Irrégularité de la teneur en éléments fins. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agiter le produit en permanence, - Contrôler la densité du produit en permanence.

2.7- Le dosage

Le dosage est l'ensemble des opérations permettant de remplir les constituants dans le malaxeur de sorte que ses proportions fixées par les formules nominales soient respectées.

Le dosage se fait en référence à des consignes qui sont déterminées à partir de la formulation théorique, et par les paramètres d'état des constituants (teneur en eau, absorption d'eau des granulats, etc.). Dans la pratique, les quantités de matériaux effectivement utilisées dans une gâchée fluctuent en plus ou en moins, par rapport aux

formules théoriques à fabriquer. C'est pourquoi la norme EN 206-1 définit les tolérances à respecter lors du dosage (tableau 1.3) (Ngoc Dong, 2007).

Le succès du dosage est assuré par de bonnes combinaisons de fonctionnement entre différents matériels dans les chaînes de dosage.

Tableau 1. 3 : Tolérance de dosage fixée par EN 206-1 (Ngoc Dong, 2007)

Constituants	Tolérances
- Ciment - Eau - Ensemble des granulats - Additions utilisées en quantité > 5% de la masse du ciment	$\pm 3\%$ de la quantité requise
- Adjuvant et additions utilisées en quantités $\leq 5\%$ de la masse du ciment	$\pm 5\%$ de la quantité requise

2.7.1- Chaîne de dosage

Le dosage d'un constituant quelconque est réalisé à l'aide d'une chaîne de dosage qui est constituée des éléments suivants (Ngoc Dong, 2007) :

Un calculateur :

Qui permet de calculer les consignes à doser des constituants à partir des informations directement adressées par le conducteur de la centrale (correction des constituants) et les équipements de contrôle et de mesure (teneur en eau, teneur en éléments fins, etc.). Ce calculateur est intégré à l'automatisme de pilotage de la centrale.

Un dispositif d'extraction des matériaux :

Qui permet d'extraire les matériaux dans les conteneurs, et les transférer aux réceptacles.

Un réceptacle :

Qui permet de recevoir au fur et à mesure les matériaux à doser.

Un instrument de mesure :

Qui est constitué de capteurs spécifiques, permettant de mesurer les volumes, les masses, les quantités des matériaux (comprenant un compteur, des ailettes de rotation, des jauges de déformation, etc.).

La liaison entre les éléments dans la chaîne est assurée par la connexion permanente avec l'automatisme central qui, en plus de définir la consigne de dosage, compare en permanence

les informations délivrées par les capteurs à cette consigne, et commande le fonctionnement des matériels dans la chaîne de dosage.

2.7.2- Le dosage des constituants

❖ Ciment :

Le ciment est généralement dosé en poids. Le dosage en volume est déconseillé étant donné que la masse volumique de ce matériau dépend fortement de son degré de compactage. Dans les centrales à béton, le dosage en volume n'est pas autorisé.

Le ciment est toujours commercialisé au poids et exprimé par conséquent en poids dans les compositions à base de béton. Pour le dosage du ciment en vrac, l'extraction à la base du silo se fait par une vis à ciment vers une trémie peseuse située au-dessus du malaxeur. Le dispositif de pesage commande alors automatiquement l'arrivée du ciment.

❖ Granulats :

Les granulats sont presque toujours dosés en poids (voir figure 1.7), parfois en volume.

Pour autant que l'on tienne compte de la teneur en eau, la première méthode est la plus précise (C.N.A.C., 1999).

- Dosage en volume :

Selon cette méthode, les quantités sont mesurées sous les trémies de vidange des silos de travail grâce à un registre dont la hauteur d'ouverture est ajustable et à une petite bande transporteuse à vitesse réglable.

Le volume des matières premières dosées est déterminé par la largeur (largeur utile de la bande), l'épaisseur (hauteur de l'ouverture) et la longueur (fonction de la vitesse de la bande et du temps d'ouverture du registre) de la couche prélevée de granulats.

La précision du dosage en volume est déterminée par la compacité et par le taux d'humidité des granulats.

Le dosage en volume présente l'inconvénient que les variations de masse volumique, surtout les sables, peuvent engendrer de fortes variations de la composition du béton frais lors de changements du taux d'humidité.

- Dosage en poids :

Le dosage en poids s'effectue différemment selon le type de centrale, le degré d'automatisation et la méthode de pesage utilisée (mécanique, électronique), on distingue :

- le pesage séparé de chaque granulats,

- le pesage cumulatif où l'on pèse successivement les différents granulats dans une même trémie.

Deux facteurs ont leur importance lors du pesage : la précision et la vitesse de pesage. Une bonne méthode consiste à déverser rapidement la plus grande partie des matériaux et à contrôler minutieusement la partie restante en la déversant lentement. A l'heure actuelle, dans la plupart des centrales, il est fait usage d'installations de pesage où la masse souhaitée peut être instaurée préalablement. Ces appareils sont souvent pourvus d'un pré réglage permettant de passer automatiquement d'une amenée rapide à une amenée lente et d'atteindre avec précision la masse souhaitée (C.N.A.C., 1999).

Pour tous les pesages entièrement ou partiellement automatiques, il y a lieu de contrôler régulièrement si la masse obtenue est exacte et il faut toujours vérifier si les trémies peseuses sont complètement vidées ou, en d'autres termes, si la balance est remise à zéro.

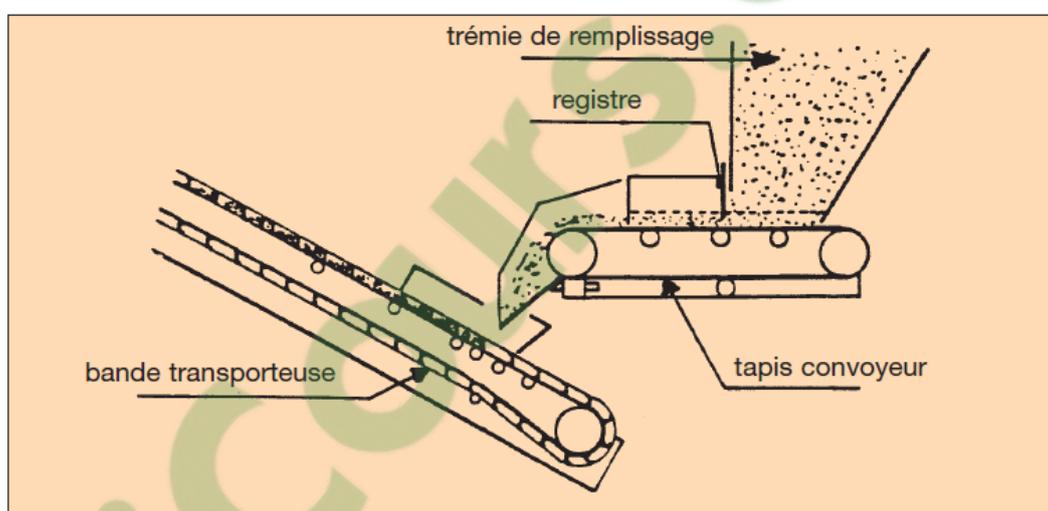


Figure 1. 7 : Pesées et Transport des granulats (C.N.A.C., 1999)

❖ Eau :

La mesure du taux d'humidité des granulats permet de déterminer la quantité d'eau présente dans les granulats.

La quantité d'eau à ajouter au mélange est la quantité totale d'eau de gâchage prévue, diminuée de la quantité d'eau contenue dans les granulats. Pour une mesure correcte, les installations sont pourvues (C.N.A.C., 1999) :

- Soit d'un réservoir à eau avec indicateur de niveau,
- Soit d'un réservoir à eau avec compteur volumétrique,
- Soit d'un réservoir à eau avec temporisateur réglé manuellement ou automatiquement selon le taux d'humidité des granulats dosés, utilisé le plus souvent pour des mélanges de composition uniforme et à consistance déterminée,

- Soit d'une installation de dosage complètement automatique où l'amenée d'eau dans le malaxeur est contrôlée par :

- la mesure de la résistance électrique du béton frais dans le malaxeur,
- la mesure de l'énergie de malaxage absorbée qui dépend de la teneur en eau effective (consistance) du béton frais.

❖ **Adjuvants et additions :**

Les adjuvants et additions liquides sont généralement dosés en volume, par contre ceux en poudre sont dosés en poids (C.N.A.C., 1999).

L'utilisation des adjuvants et des additions requiert, certaines précautions.

Tout d'abord il est indispensable lors de l'utilisation d'un adjuvant de s'assurer que:

- l'efficacité, ou fonction annoncée, est bien confirmée par des essais,
- les effets secondaires sont acceptables,
- les dosages requis sont compatibles avec la précision du matériel de dosage fourni,
- la compatibilité ciment-adjuvant est bonne (ce qui dépend de plusieurs paramètres tels que : teneur en C3A, finesse de mouture, degré de sulfatation pour le ciment ; et pour les adjuvants : la longueur de chaîne du polymère, la teneur en sulfate résiduel, etc.).

Pour cela, les fabricants d'adjuvants disposent désormais de techniques de laboratoire tels ceux de la méthode MBE (Mortier de Béton Equivalent) qui peuvent faire économiser beaucoup de temps dans la mise au point de formules de béton adjuvanté. On pourra ainsi tester rapidement des formules très variées sur de très petites quantités de matière dont on va suivre l'évolution rhéologique et thermique, ceci sera ensuite transposé fidèlement à la formulation définitive du béton.

2.8- Le malaxage des constituants

Après le dosage, les constituants sont versés dans un malaxeur et mélangés à l'aide d'un système de pales de brassage. Les granulats sont d'abord introduits, suivis par les pulvérulents (ciment et/ou addition) et en dernier l'eau et l'adjuvant. L'objectif du malaxage est de répartir des constituants de nature et de tailles différentes en vue d'obtenir un mélange le plus homogène possible. La répartition homogène s'accompagne d'une structure optimale, attendue pour un mélange poly-phasique comme le béton: le ciment entre en contact avec l'eau, les petits grains s'empilent dans les vides des plus gros grains et la pâte enrobe les granulats. L'homogénéité du béton est un objectif primordial du malaxage (Ngoc Dong, 2007).

2.8.1- Cycle de malaxage

L'homogénéité ne peut être obtenue immédiatement après le remplissage du malaxeur, et on doit assurer un temps de malaxage minimum pour que les outils de brassage dispersent les constituants du béton.

Le malaxage est une phase importante de la fabrication du béton, car il va conditionner la qualité de son homogénéité. Pour assurer la réussite de cette opération, il faut choisir un matériel adapté et déterminer un temps de malaxage suffisant. Le référentiel de la marque NF impose un temps de malaxage minimal avec tous les constituants dans les centrales BPE : 35 s pour les bétons sans adjuvants et 55 s pour les bétons adjuvés. La durée totale du cycle de malaxage (figure 1.8) couvre l'ensemble des opérations s'écoulant entre le début du remplissage de la cuve et la fin de vidange (Ngoc Dong, 2007).

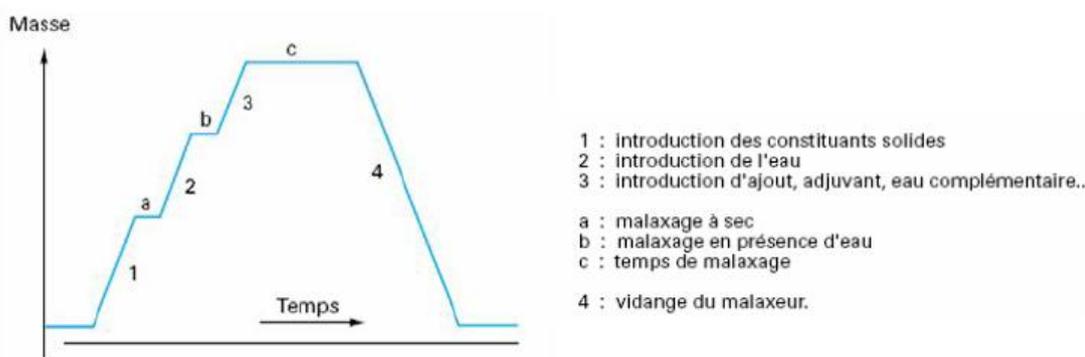


Figure 1. 8 : Cycle de malaxage (Charonnat, 1980)

- Pour un cycle de malaxage, on définit les différentes phases de la façon suivante (Ngoc Dong, 2007) :

- **Malaxage à sec** : période comprise entre le début de l'introduction des granulats et le début de l'introduction de l'eau et de l'adjuvant.

- **Malaxage humide** : période comprise entre le début de l'introduction de l'eau et la fin de la vidange du malaxeur.

- **Temps de malaxage** : temps écoulé entre la fin d'introduction du dernier constituant et le début de vidange du malaxeur.

Le malaxage à sec, le malaxage humide et notamment le temps de malaxage sont des paramètres qui contrôlent l'évolution de l'homogénéité du mélange, quel que soit le type de malaxeur.

Pour assurer la réussite de cette opération, il faut choisir un matériel adapté et déterminer un temps de malaxage suffisant.

2.8.2- Le matériel de malaxage

Le malaxage des bétons prêts à l'emploi utilise dans les centrales des malaxeurs dont le choix dépend de sa capacité de production et de son aptitude à malaxer différents types de mélanges (secs, plastiques, etc.) (CIMbéton, 2013).

Les malaxeurs :

Ces appareils assurent une homogénéité du mélange grâce au déplacement relatif des composants à l'intérieur du mélange. Ce déplacement est provoqué par des trains de palettes ou de planétaires dont l'axe est excentré par rapport à celui de la cuve, qui est elle-même fixe ou tournante.

La plupart des malaxeurs sont à axes verticaux. Le béton subit un puissant effet de brassage à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal. Ce type de matériel est le mieux adapté à l'obtention de bétons homogènes (CIMbéton, 2013).

Le malaxeur est composé d'un système de pales et d'une cuve destinée à contenir les matériaux à mélanger. Le système de pales est constitué d'un ou plusieurs mobiles, reliés par l'intermédiaire d'un axe à un moteur. Ces mobiles entraînent les mouvements pour homogénéiser le mélange. On rencontre diverses conceptions de la mise en mouvement des mobiles, en vue d'obtenir une meilleure homogénéité.

Lorsque la rotation des mobiles peut se réaliser autour d'un axe vertical, on parle de malaxeurs verticaux. De même, lorsque les mobiles se déplacent autour d'un axe horizontal, on parle de malaxeurs horizontaux. Enfin, nous appelons les malaxeurs 3D ceux dont les mobiles ne restent pas dans le plan donné.

Du point de vue de l'action de malaxage, les malaxeurs se distinguent par ceux à action forcée ou gravitaire. Dans les malaxeurs à action forcée, le brassage des matériaux est effectué par les pales, la cuve restant le plus souvent immobile. Dans les malaxeurs à action gravitaire, les pales n'ont qu'un effet passager dans la masse des composants, qui s'assimile au cisaillement. Le malaxage se fait essentiellement par la chute sous l'effet de la gravité (Ngoc Dong, 2007).

Actuellement, le malaxeur à axe vertical, à action forcée est le plus utilisé dans les centrales BPE. Il s'agit d'un malaxeur constitué d'une cuve fixe, d'un système de pales « mobiles » qui assure le mélange des matériaux par brassage et par cisaillement et d'un système de pales « passives » qui raclent les parois pour éviter les zones d'accumulation où des éléments particuliers viendraient se loger. Il existe, pour certains malaxeurs, un système de pales qui tournent autour d'un axe lui-même en rotation autour de l'axe principal (appelé tourbillon ou train valseur) (figure 1.9). L'objectif de ce système est de créer un fort cisaillement dans la cuve qui doit briser les agglomérats de particules fines formés en présence de l'eau (Charonnat, 1980).

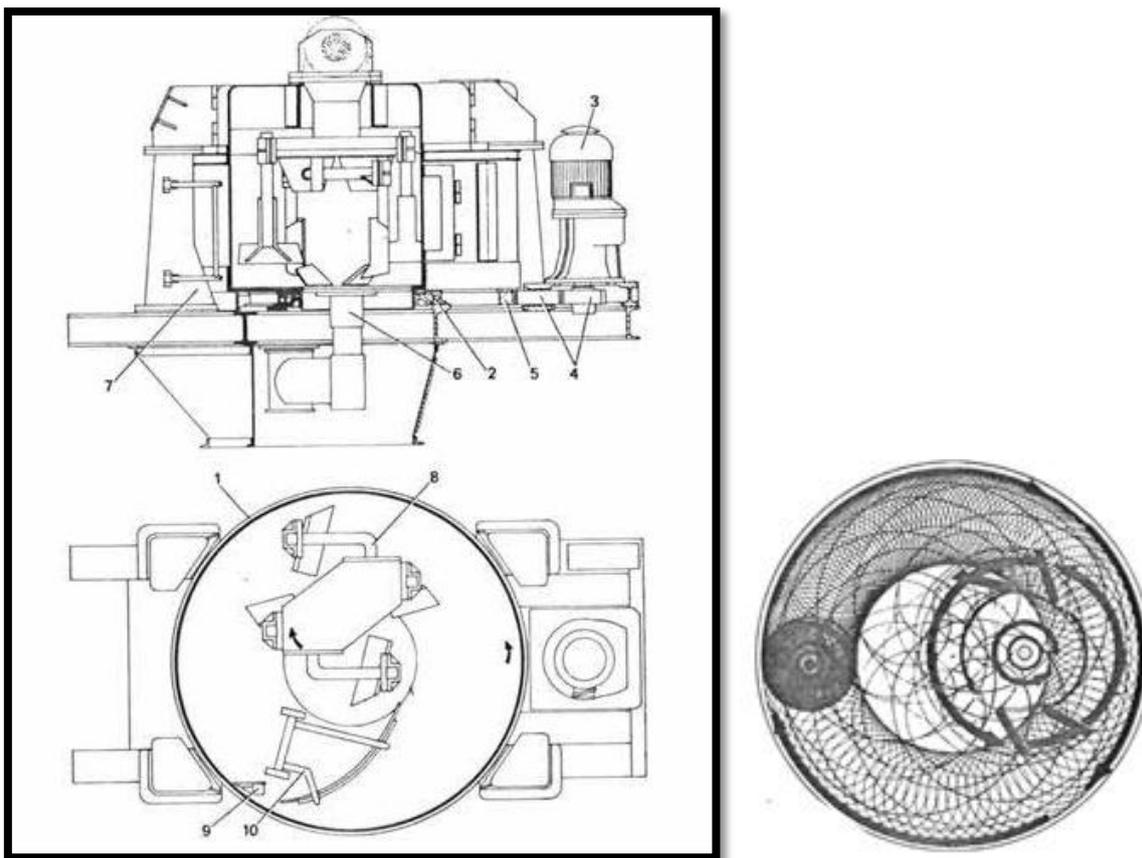


Figure 1. 9 : Malaxeur à train valseur et à tourbillons (Geoffray et al, 2004)

Légende :

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1- Cuve cylindrique, | 6- Dispositif de vidange, |
| 2- Couronne à billes, | 7- Châssis cadre, |
| 3- Moteur-réducteur, | 8- Etoile mélangeuse, |
| 4- Pignons, | 9- Palette de bord, |
| 5- Grande couronne dentée, | 10- Palette oscillante. |

2.9- Le transport

2.9.1- Le transport du béton : l'approvisionnement du chantier

Le transport du béton frais jusqu'au lieu de coulage fait appel à des matériels très différents, selon qu'il s'agit de parcourir de courtes distances sur un chantier ou qu'il doit être acheminé depuis une centrale de fabrication, parfois éloignée de plusieurs kilomètres. Le deuxième cas, concerne plus particulièrement l'industrie du béton prêt à l'emploi.

Mentionnons simplement l'emploi de camions à bennes fixes ou des classiques bétonnières portées (toupies) qui assurent le maintien de l'homogénéité pendant le transport. La capacité de ces bétonnières portées varie de 4 à 10 m³. Le temps cumulé de transport et de

déchargement doit être limité à 1h 30min environ dans des conditions normales de température (voisines de 20° C).

Le risque rencontré est une chute de la maniabilité du béton. L'emploi de retardateurs de prise et de plastifiants permet de résoudre ce type de difficultés (CIMbéton, 2013).

2.9.2- Le transport du béton par benne, goulotte, tapis

Sur le chantier même, le matériel le plus utilisé pour le transport du béton est la benne à béton, dont la forme et les dimensions sont très variables.

Elle est remplie par la partie haute, et vidée en partie basse par ouverture mécanique ou pneumatique d'une trappe. La commande d'ouverture peut être réalisée à distance. La partie inférieure de la benne est souvent munie d'un manchon qui permet de diriger la coulée de béton et de limiter la hauteur de chute, génératrice de phénomènes de ségrégation. La benne est acheminée au droit des coffrages par chargeur, grue et même hélicoptère dans les cas difficiles. Le béton peut être également transporté par goulotte ou par tapis (CIMbéton, 2013).

2.9.3- Le transport du béton par pompage

Le pompage du béton permet une importante productivité, la limitation du temps d'attente avant la mise en place du béton, la possibilité d'assurer l'approvisionnement sur des sites difficiles d'accès et la mise en place de quantités importantes en une seule coulée.

La technique s'est développée parallèlement à la croissance du BPE. Le camion-pompe équipé de flèches allant jusqu'à 60 m, peut envoyer le béton directement de la toupie au lieu de coulage.

Les bétons pompés permettent ainsi d'atteindre des longueurs de transport de 300 à 400 m et jusqu'à 100 m et plus en hauteur avec des bétons particulièrement adaptés (CIMbéton, 2013).

Le procédé de pompage :

Le béton est préalablement « agité » dans la trémie de réception de la pompe dès sa sortie du camion malaxeur. Le cheminement du béton dans la tuyauterie, se fait grâce à un cycle aspiration/poussée, à l'aide de deux pistons reliés à deux vérins hydrauliques évoluant à l'intérieur de deux cylindres appelés « chemises » (le premier vérin remonte dans sa chemise : aspiration du béton, simultanément, le second vérin descend : poussée du béton). Le nombre de cycles par minute « aspiration/poussée », permet de définir la cadence de pompage en mètres cubes par heure (CIMbéton, 2013).

2.9.4- Les règles à respecter lors du transport

Le matériel utilisé pour le transport du béton devra être fréquemment nettoyé à l'eau pour ne pas introduire des corps étrangers ou des déchets dans le béton. Par ailleurs, le matériel sera tel que la hauteur de chute du béton lors du coulage, ou les chocs mécaniques durant la manutention, ne soient pas de nature à créer des problèmes de ségrégation dans le béton.

La durée de transport du béton doit être limitée en fonction des conditions ambiantes de température, d'hygrométrie ou de vent.

Le béton fabriqué sur le chantier doit être mis en œuvre moins de 30 minutes après sa fabrication (CIMbéton, 2013).

2.10- Le laboratoire et les contrôles

2.10.1- Le laboratoire

Le laboratoire permet d'effectuer les essais sur les matières premières et sur les bétons à l'état frais ou durci. C'est la garantie du suivi des bétons fabriqués pour l'utilisateur. Les résultats des contrôles usuels peuvent être fournis aux clients. En outre, des contrôles supplémentaires, ou des essais pour une étude préalable de béton, peuvent être effectués à la demande, et pour la garantie (CIMbéton, 2013) :

- Que le producteur met en place un système d'assurance qualité et vérifie par des essais sur les constituants et sur les bétons le respect des caractéristiques normalisées,
- Que le système d'assurance qualité du producteur ainsi que son autocontrôle sont vérifiés.

2.10.2- Le BPE et le développement durable

Moins étendues que les cimenteries, les centrales de Béton Prêt à l'Emploi n'en sont pas moins soumises aux mêmes contraintes. Ces installations sont de plus en plus souvent installées dans des hangars afin de limiter les nuisances sonores pour le voisinage et améliorer l'insertion dans le paysage, objectif qui motive parfois la plantation d'arbres.

- Sur le plan de la maîtrise des rejets, les centrales de béton BPE s'inscrivent pleinement dans une logique « zéro déchet ». Les excédents de béton frais sont récupérés (voir fig. 1.10) pour en extraire les granulats qui, après lavage, pourront resservir ultérieurement, de même que les eaux chargées en laitance, sont recueillies et réinjectées dans le circuit de fabrication comme apport de fines (CIMbéton, 2013).

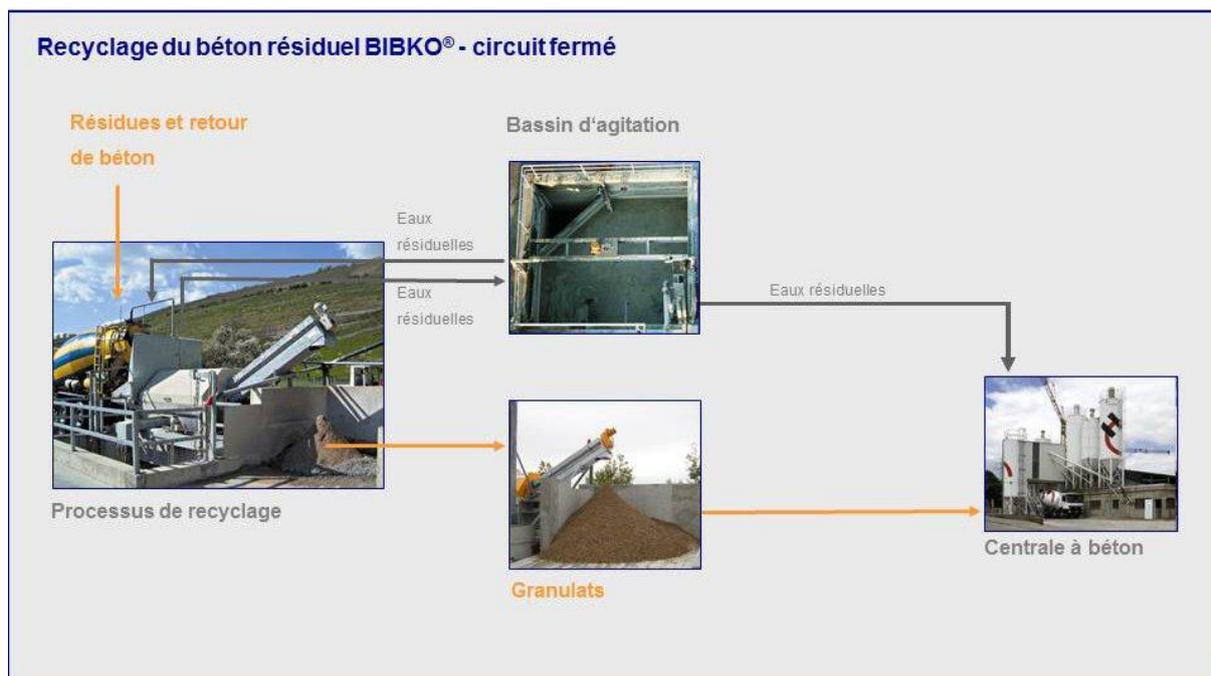


Figure 1. 10 : Recyclage du béton (www.bibko.com)

2.11- Les risques dans une centrale à béton

Travailler dans une centrale à béton comporte par conséquent des risques spécifiques (Voir figures 1.11, 1.12 et 1.13). Les accidents les plus fréquents sont les suivants :

- Le renversement et la rupture des barrières, des parois ou des silos,
- L'affaissement soudain d'un bassin de réception,
- Le coincement par ex. : entre les parties en rotation de la bande transporteuse ou du malaxeur,
- Les accidents mortels lors de travaux effectués dans les malaxeurs, silos, etc,
- Les accidents lors des travaux d'entretien sans la mise hors service de l'installation.

Il va de soi que bon nombre de ces accidents peuvent être évités, si des informations sur les risques présents sont données au préalable. C'est pourquoi, outre un certain nombre de mesures d'ordre technique, il faudra également former et informer le personnel sur les risques et les mesures de prévention propres à une centrale à béton. L'information doit contenir des instructions et des directives sur les principales recommandations en matière de sécurité et sur les interdictions à prendre en compte lors de chaque opération. Ces instructions doivent bien évidemment être affichées à un endroit visible dans la centrale à béton (C.N.A.C., 1999).

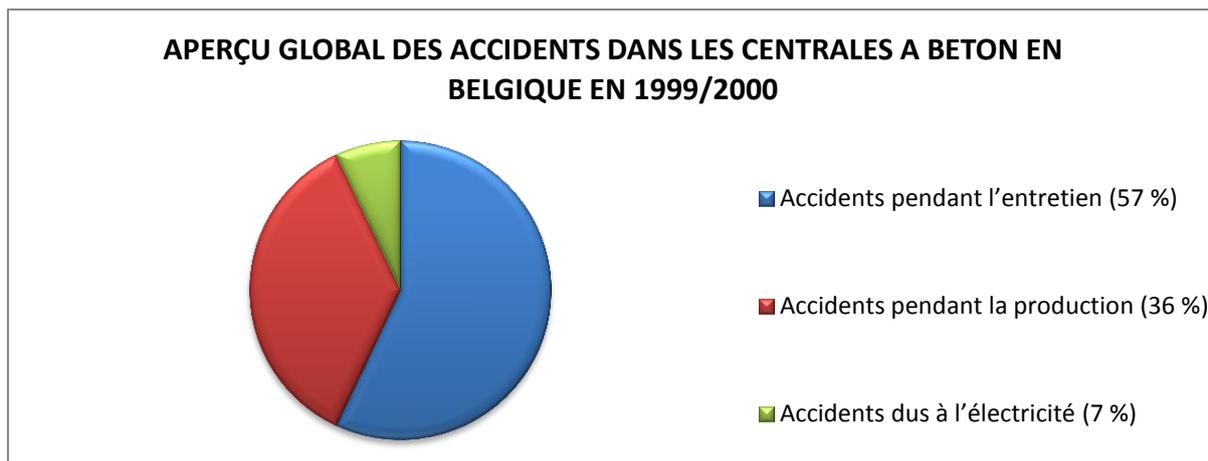


Figure 1. 11 : Aperçu globale des accidents dans les centrales à béton en Belgique (C.N.A.C., 1999)

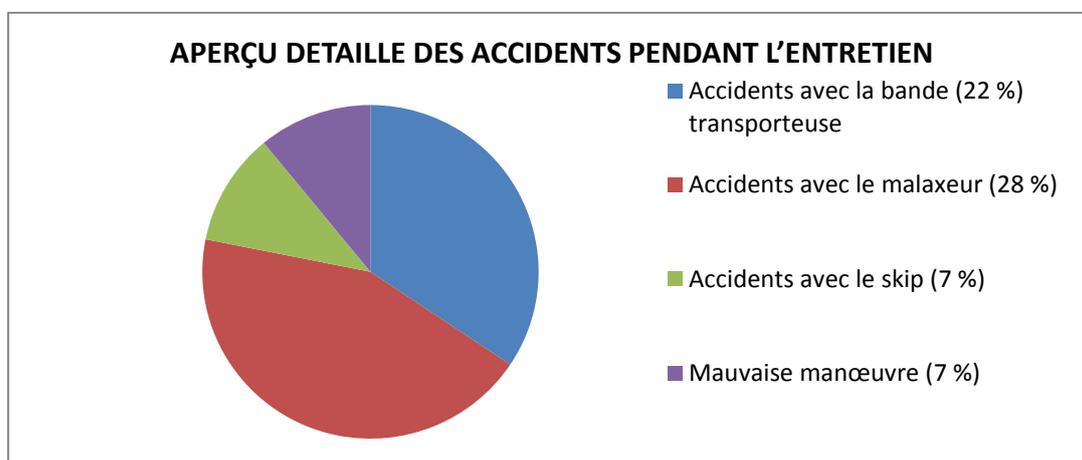


Figure 1. 12 : Aperçu détaillé des accidents pendant l'entretien en Belgique (C.N.A.C., 1999)

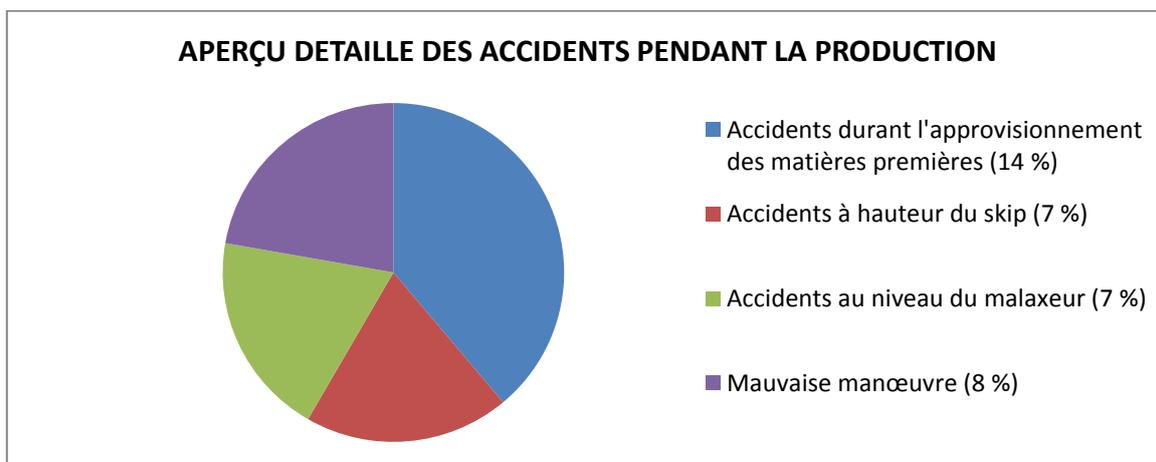


Figure 1. 13 : Aperçu détaillé des accidents pendant la production en Belgique (C.N.A.C., 1999)

2.12- Les aspects généraux de sécurité

2.12.1- Escaliers et échelles

+ Escaliers :

La méthode la plus simple pour passer d'un niveau à l'autre consiste à utiliser les escaliers. Les escaliers sont pourvus des deux côtés d'un garde-corps solide et les marches sont munies d'une protection antidérapante. La hauteur et la profondeur des marches sont les mêmes sur toute la longueur de l'escalier.

+ Les échelles :

On rencontre assez souvent des échelles verticales fixes et mobiles dans les centrales à béton (figure 1.14).



Figure 1. 14 : Escaliers et Echelles (C.N.A.C., 1999)

Les échelles mobiles :

Elles sont utilisées pour pouvoir accéder à un niveau supérieur comme par exemple une plate-forme. Elles ne sont à vrai dire pas destinées à l'exécution de travaux.

La plupart des accidents sont principalement dus :

- au renversement de l'échelle,
- au glissement latéral de l'échelle,
- au glissement à hauteur du pied de l'échelle,
- à la rupture d'échelons ou de montants,
- au détachement d'échelons,
- à un faux pas dû à des échelles trop courtes,
- au chevauchement insuffisant pour les échelles à coulisse à déploiement manuel,
- à des erreurs dans la conception et/ou construction :
 - mauvais choix du matériau (ex. déviation exagérée de la direction du fil, bois trop sec ou trop tendre, etc.),

- mauvaises soudures (ex. échelles en aluminium),
 - montants et/ou échelons trop peu résistants.
- à une échelle défectueuse :
- montants ou échelons brisés, abîmés, déformés ou fendus,
 - charnières abîmées dans le cas des doubles échelles,
 - crochets endommagés dans le cas des échelles à coulisse à déploiement manuel,
 - poutre de stabilisation déformée,
 - absence de dispositifs antidérapants.
- à un type d'échelle inadapté,
- à une échelle trop courte,
- à un mauvais entretien,
- au port de chaussures non adaptées,
- à une échelle trop lourde à porter ou à dresser,
- à une surcharge due à une utilisation erronée (ex. plancher de travail sur un échelon).

Pour avoir un aperçu complet de toutes les mesures de prévention en cas d'utilisation d'échelles, voir la note de sécurité n°75 (Annexe 1.1) sur les échelles et escaliers de construction (C.N.A.C., 1999).

Les échelles fixes :

Pour les échelles verticales fixées aux machines et aux installations industrielles, de nouvelles normes sont pour l'instant élaborées au niveau européen.

La première norme s'y rapportant, la EN 12437, partie 4, contient les dispositions suivantes :

- Les échelles fixes avec crinoline,
- Les échelles fixes avec antichute incorporé.

La plupart des échelles fixes utilisées dans les centrales à béton sont protégées par une crinoline (C.N.A.C., 1999).

2.12.2- Les équipements de protection individuelle

Casque de sécurité :

Le port du casque de sécurité est obligatoire à la fois pour les travailleurs et pour les visiteurs d'une centrale à béton. En effet, lors de la visite de la centrale, il y a toujours un risque de projection de petites pierres des bandes transporteuses pouvant tomber sur la tête de passants et occasionner une blessure. Les chauffeurs des camions malaxeurs doivent toujours porter un casque dans leur cabine. Le port du casque est obligatoire pour desservir les travailleurs de la construction et décharger le béton sur le chantier.

+ Gants de protection :

Les gants de protection sont principalement utilisés par les chauffeurs des camions malaxeurs pour les livraisons sur chantier.

Les gants doivent :

- être étanches,
- résister aux produits chimiques peu nuisibles,
- résister aux déchirures,
- être éventuellement lavables en machine.

Les gants de protection qui offrent une protection contre les produits chimiques peu nuisibles doivent être portés par la personne chargée de l'entretien de la centrale à béton.

Outre les propriétés décrites ci-dessus, ils doivent également présenter une plus grande résistance mécanique.

Les gants de protection en cuir avec un bord doivent être utilisés par les soudeurs.

+ Chaussures de sécurité :

Le port de chaussures de sécurité est obligatoire s'il existe des risques de maladie comme par exemple le contact avec des substances irritantes, le travail dans des conditions humides. Les visiteurs d'une centrale à béton ainsi que les chauffeurs des camions malaxeurs sont tenus de porter des chaussures de sécurité.

Ces derniers doivent disposer non seulement de chaussures mais aussi de bottes.

Les propriétés de ces chaussures sont les suivantes :

- étanchéité,
- semelle en acier,
- embout en acier,
- résistance aux composants chimiques,
- isolation thermique.

+ Protection de l'ouïe :

Pour l'entretien de la centrale, il faut également posséder d'autres équipements de protection que ceux décrits ci-dessus. Lors de l'entretien de l'installation, il est toujours possible de devoir se rendre sur des lieux de travail où le bruit dépasse 80dB(A). Dans ce cas, des protections auditives doivent être à la disposition du personnel chargé de l'entretien.

Protection des voies respiratoires :

Il est également recommandé d'utiliser des masques anti-poussières en cas de pénétration dans les silos à ciment pour contrôle.

Protection du visage :

Afin d'éviter le contact du ciment avec les yeux, il est également conseillé de porter des lunettes de sécurité lors des travaux d'inspection dans les silos. Des travaux de soudure ont par ailleurs souvent lieu dans une centrale à béton. Il faut dans ce cas utiliser des lunettes de soudeur adaptées (C.N.A.C., 1999).

2.12.3- Les premiers soins en cas d'accident

Une centrale à béton est une entreprise où la plupart des travailleurs sont occupés toute la journée à livrer du béton. Des dispositifs doivent toutefois être prévus pour donner les premiers soins en cas d'accidents. Si une entreprise possède plusieurs centrales à béton, l'équipement « Premiers soins » doit être disponible dans chaque centrale.

Une personne capable d'administrer les premiers soins doit en outre être présente dans la centrale.

Pour aider le personnel en cas de survenance d'un accident, il est éventuellement possible d'afficher une note avec les directives à suivre en cas d'accident. Cette note mentionne la façon de réagir et la personne à avertir en cas de besoin (C.N.A.C., 1999).

2.12.4- La sécurité incendie

La «Sécurité Incendie» est une notion très vaste qui peut être scindée en prévention incendie, annonce de l'incendie, lutte contre l'incendie et évacuation (C.N.A.C., 1999).

La prévention incendie comprend deux volets, à savoir éviter l'apparition d'un incendie et éviter qu'il ne se propage trop rapidement.

Les principales causes de survenance d'un incendie dans une centrale à béton sont les suivantes (C.N.A.C., 1999):

- Appareils et installations électriques,
- Imprudence des fumeurs,
- Appareils de chauffage,
- Surchauffe mécanique,
- Travaux de soudure.

Prévention incendie :

L'objectif de la prévention incendie est double : éviter l'apparition d'un incendie et limiter la propagation de l'incendie.

Les principes de la prévention incendie sont les suivants :

- Eviter les causes d'incendie : un incendie ne peut pas se déclarer sans cause sous-jacente.

La centrale doit être montée de manière à éliminer le plus possible les causes. Le désordre dans une entreprise constitue une des principales sources de foyer d'incendie,

- Assurer la sécurité du personnel et des visiteurs :

- sont visées la localisation et l'indication des sorties de secours ainsi que la mise en place d'un éclairage et éclairage de secours suffisants,

- Compartimenter la centrale :

L'endroit où la commande de la centrale, l'ordinateur, etc. sont installés doit être convenablement protégé. Le but est que l'ensemble de la centrale ne s'arrête pas de fonctionner si un petit incendie se déclare.

D'autres moyens pour éviter un incendie sont :

- le choix des matériaux de construction, ex. des portes coupe-feu,

- le système de détection incendie,

- l'annonce et l'extinction automatiques de l'incendie,

- l'évacuation des poussières,

- le plan d'évacuation,

- l'éclairage de secours.

Annonce de l'incendie:

Au moindre signe de feu ou de fumée suspecte, les pompiers doivent être immédiatement prévenus.

Le téléphone est le meilleur moyen pour appeler les pompiers. Plus l'appel a lieu vite, plus tôt les pompiers sont sur place et plus le rendement de l'intervention est élevé.

Dans une centrale à béton, l'affichage des directives à suivre en cas d'incendie est obligatoire.

Les directives portent sur les points suivants :

1- l'appel immédiat des pompiers,

2- la lutte contre l'incendie et l'utilisation des équipements de lutte contre l'incendie,

3- l'évacuation des locaux.

Lutte contre l'incendie :

Pour faire face à un incendie, des équipements de lutte doivent être disponibles dans la centrale. Il s'agit dans la plupart des cas d'extincteurs.

Pour les locaux où se trouvent des ordinateurs et dans la cabine à haute tension, il est recommandé d'installer un extincteur au dioxyde de carbone (CO₂). Dans les autres locaux, l'utilisation d'autres extincteurs comme les extincteurs à poudre pour les feux de type ABC suffit. Les extincteurs se trouveront de préférence aussi près que possible de l'ouverture de porte et des cages d'escaliers.

Ils sont toujours placés de sorte à être bien visibles et ils sont signalés à l'aide d'un pictogramme adéquat.

L'ensemble du système de lutte contre l'incendie doit toujours être organisé en accord avec le service des pompiers local.

Evacuation :

L'évacuation du personnel et des visiteurs doit pouvoir se faire rapidement et de manière efficace. Pour cela, les escaliers, issues de sortie, sorties et chemins qui conduisent aux locaux doivent avoir une largeur minimale de 80 cm. Aucun objet ne peut traîner dans les couloirs. Les portes qui donnent accès vers l'extérieur doivent pouvoir être ouvertes à tout moment.

Les sorties, sorties de secours ainsi que la direction des voies qui mènent aux sorties doivent être indiquées à l'aide de pictogrammes.

L'éclairage de secours doit être suffisant pour assurer l'évacuation des personnes lorsque le feu met l'éclairage artificiel hors service.

Il est souhaitable que le plan d'évacuation soit communiqué au personnel et qu'un exercice d'évacuation soit organisé.

Les dispositions relatives à l'évacuation en cas d'incendie doivent figurer dans le plan d'urgence interne (C.N.A.C., 1999).

3- INFLUENCE DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION INDUSTRIELLE DU BÉTON SUR SA QUALITÉ

La qualité du béton désigne l'ensemble des spécifications sur ses propriétés, de l'état frais à l'état durci, destiné à satisfaire l'utilisation de ce matériau (Ngoc Dong, 2007).

De nombreuses études ont montré que les propriétés du béton étaient contrôlées à la fois par la composition et par la façon dont les constituants se structuraient. Les facteurs affectant la qualité du béton résident donc dans la qualité des constituants, la fabrication, le transport, la mise en place et les conditions de cure (figure 1.15) (Tattersall, 1991).

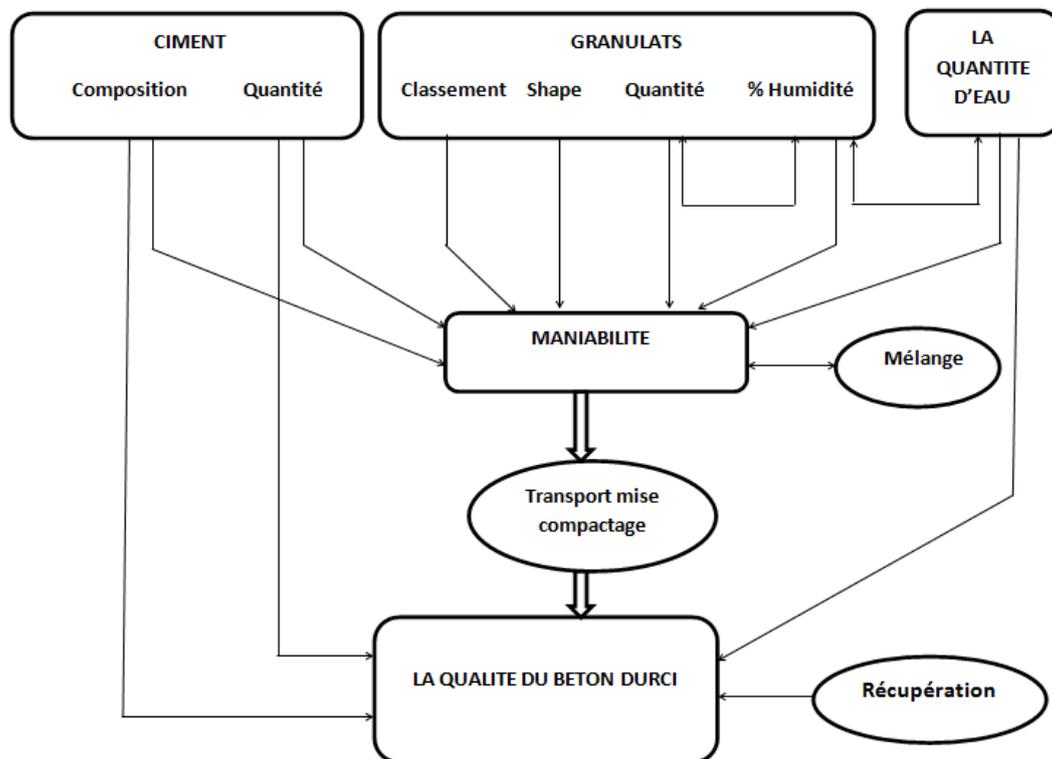


Figure 1. 15 : Facteurs affectant la qualité du béton (Tattersall, 1991)

La qualité du béton, fabriqué en industrie, est affectée par les trois étapes de la chaîne de production : stockage, dosage et malaxage. Les propriétés des constituants et ses proportions peuvent être modifiées lors du stockage et du dosage. Le malaxage, quant à lui, affecte la structuration du béton.

3.1- Impact du dosage et du stockage

Les propriétés d'usage du béton sont contrôlées par certains paramètres tels que (Ngoc Dong, 2007) : compacité du squelette granulaire (donc rapport gravillon/sable, ou G/S), rapport eau/ciment (E/C), dosage du superplastifiant, dosage en éléments fins, etc. Les incidents lors du stockage et du dosage peuvent entraîner la fluctuation de la composition, par rapport à celle préalablement fixée par une formule théorique. Ceci conduit à la modification des paramètres contrôlant les propriétés du béton et donc à la variation de ces dernières vis à vis de celles visées.

3.1.1- Risque de fluctuation des paramètres de composition

Au cours du stockage, (Ngoc Dong, 2007) les constituants peuvent affecter la précision du dosage. Les variations d'humidité, du taux d'absorption et de la teneur en fines des granulats sont une des premières sources de fluctuation. Si l'automatisme ne détecte pas cette évolution, le dosage faussera les masses réelles de l'eau (que nous allons détailler plus loin) et des granulats à mettre dans le malaxeur. Ceci se traduit par une fluctuation de la consistance du béton à cause de l'évolution de la teneur en eau du sable et du taux en éléments fins. Des incidents concernant la régularité de l'écoulement des constituants lors du dosage sont une deuxième source d'incidents. Les matériaux, comme les additions humides ou les sables, se comportent de manière différente en présence d'eau (figure 1.16) de l'air et notamment des fines (pour les sables). Ces dernières provoquent le changement du flux d'écoulement et donc la modification du dosage. Le changement de diamètre maximal des gravillons et/ou la dégradation de la qualité du ciment dans les silos de stockage peuvent également entraîner des anomalies dans le comportement du béton.

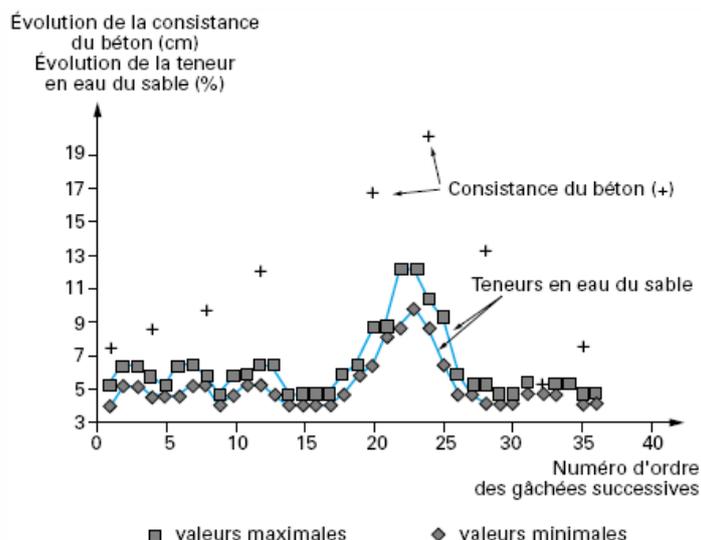


Figure 1. 16 : Influence de la variation de l'humidité du sable sur la consistance du béton (Charonnat, 1980)

3.1.2- Conséquences de fluctuations des paramètres de composition

La composition du béton peut fluctuer à la fois par la nature et par le dosage des constituants (Ngoc Dong, 2007). Les méthodes utilisées pour formuler les bétons permettent d'évaluer les répercussions de la variabilité quantitative des composants. En revanche, à dosage constant, il est difficile de prévoir la variation de la qualité du béton face à la variabilité naturelle inhérente des constituants (classe de ciment, qualité de l'adjuvant, granularité...). En effet, les formules de béton, après la fabrication, sont « fixées » sur le papier, tandis que la qualité de sa composition peut varier. Pour étudier et classer l'effet des variations naturelles des constituants, dès 1975, un plan d'expérience a été mis en place par Ray et ses collaborateurs (Ray et al, 1975). Ce plan consiste à réaliser des essais expérimentaux en variant les facteurs contrôlés de la réponse (une propriété quelconque du béton) dans la limite des modalités prédéfinies. Ces études montrent que la résistance en compression du béton, parmi les paramètres choisis, est contrôlée, selon l'ordre de l'influence, par l'âge du béton, la qualité du ciment (pour des lots chronologiques différents ou de modules de finesse différents), la teneur en eau du béton, la méthode de conservation. Certains paramètres comme le module de finesse du sable et celui du petit gravillon, le rapport G/S sont négligeables.

Il ya des paramètres non contrôlés au cours des essais qui peuvent affecter l'ouvrabilité :

- la température,
- les caractéristiques du ciment (finesse de mouture, taux d'aluminates),
- le taux de carbone de la fumée de silice,
- le taux d'absorption d'eau des granulats.

3.1.3- Variations du dosage en eau

De nombreuses recherches montrent que l'eau est un des constituants les plus sensibles affectant les propriétés du béton. Ceci est confirmé physiquement par plusieurs rôles importants joués par l'eau : hydratation des grains de ciment, plasticité du béton à l'état frais et cohésion interne du béton frais (De Larrard, 2000), (Charonnat et al, 2001), etc. Cependant, l'eau est également un des constituants le plus difficile à doser en fabrication. L'eau d'ajout est facile à doser, compte tenu de la précision des balances. Par contre, elle peut aussi être en partie apportée par les granulats, et donc sera dosée dans la balance à granulats, mais non dans la balance à eau.

De même, l'adjuvant et les additions humides apportent au béton des quantités d'eau non négligeables. De plus, les granulats, s'ils ne sont pas saturés, absorberont dans le béton de l'eau. Par conséquent, la quantité d'eau à ajouter dans une gâchée varie en fonction des apports d'eau des granulats, des additions, des adjuvants et de l'eau absorbée par les granulats (figure 1.17). Le tableau 1.4 représente l'ordre de grandeur des différentes origines

d'eau incorporée dans un mètre cube de béton. L'imprécision lors de la détermination de ces grandeurs cause l'incertitude du dosage en eau.

Tableau 1. 4 : Origine de l'eau incorporée dans le béton (Charonnat et al, 2001)

Origine de l'eau		Quantité par m ³ de béton (L)	Prise en compte
Eau du sable	absorbée	de 8 à 20	Se retranche
	interstitielle	de 10 à 70	S'ajoute
Eau des gravillons	absorbée	de 5 à 25	Se retranche
	interstitielle	de 10 à 20	S'ajoute
Eau des additions	absorbée	Considérée = 0	
	interstitielle	de 0 à 10	S'ajoute
Eau des adjuvants		de 0,5 à 5	On ajoute l'eau de dilution et on retranche l'extrait sec
Eau de récupération avec les fines		de 10 à 80	On ajoute l'eau et on retranche les fines
Eau d'ajout		de 50 à 140	Se calcule par différence

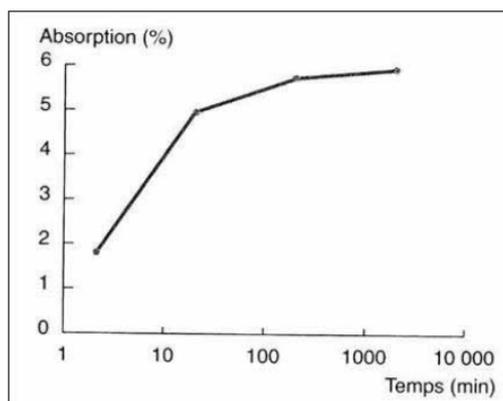


Figure 1. 17 : Absorption progressive de l'eau par un sable à forte porosité (Charonnat et al, 2001)

✚ Conséquences de l'écart de l'eau sur les propriétés d'usage :

Une quantité d'eau en excès provoque immédiatement la variation de la consistance. Cette caractéristique dépend évidemment d'innombrables facteurs ; mais la teneur en eau reste

un des paramètres les plus influents. La figure 1.18 représente la variation de l'affaissement en fonction du dosage en eau d'un béton ordinaire.

Supposons que nous souhaitions fabriquer des bétons dont les consistances sont de 10 cm d'affaissement pour le béton ordinaire (consistance plastique). La variation de 10 L d'eau fait changer complètement la classe de consistance de ce béton. Concrètement, l'effet de ± 10 litres d'eau peut engendrer la variation de plus de ± 5 cm d'affaissement (figure 1.18). Pour éviter un béton trop plastique, (Charonnat et al, 2001) constate qu'un « bon béton » est tel qu'un excès de 10 litres d'eau n'entraîne pas une variation de la consistance supérieure à 2 cm d'affaissement.

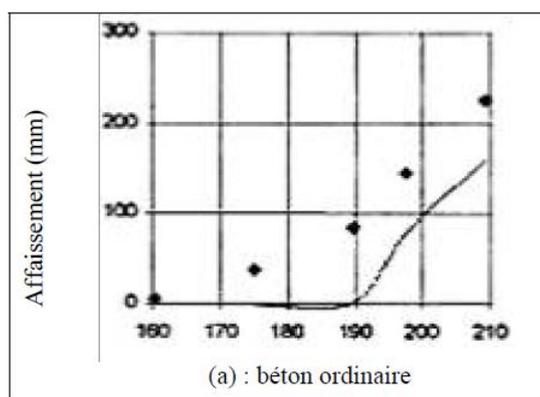


Figure 1. 18 : Influence du dosage d'eau sur la consistance (De Larrard, 2000)

Au niveau de la résistance mécanique, on peut prédire que l'écart d'eau va modifier la masse volumique du béton, ce qui entraîne le changement du rapport E/C (facteur principal influençant la résistance en compression du béton). En effet, 10 litres d'eau représentent 1% du volume d'un mètre cube de béton, ce qui revient à modifier la teneur en ciment de 1% en masse (Charonnat et al, 2001). D'un autre point de vue, un excès d'eau augmente la porosité du squelette solide du béton et donc diminue la résistance en compression. La figure 1.19 présente la variation de la résistance en compression en fonction de la quantité d'eau. On constate que la résistance mécanique du béton décroît de manière proportionnelle avec l'accroissement de la quantité d'eau. L'excès de 10 litres d'eau entraîne une diminution de la résistance de l'ordre de 4 MPa pour un béton ordinaire. Selon Salembier (Charonnat et al, 2001), 10 % de la quantité d'eau en excès diminue la résistance mécanique d'environ 12 %. Il faut donc garder en mémoire ces observations, et limiter l'ajout d'eau en vue de faciliter la mise en place du béton sur chantier ou d'atteindre la consistance prévue après une certaine durée de transport.

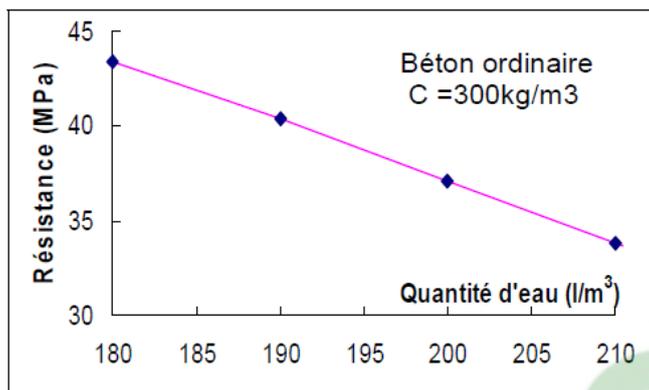


Figure 1. 19 : Influence de la quantité d'eau sur la résistance mécanique du béton (Sedran et al, 2000)

✚ Conséquences de l'écart d'eau sur l'homogénéité du béton :

L'excès d'eau dans le béton peut s'accompagner d'effets secondaires préjudiciables à la qualité du béton. Deux phénomènes très connus sont le ressuage et la ségrégation lorsque le dosage d'eau est excessif,

- Ressuage/tassement (Ngoc Dong, 2007) :

Sous l'angle du compactage optimisé, les constituants du béton doivent être organisés de manière à ce que les grains de petite taille remplissent bien les « interstices » engendrées par l'arrangement des grains de taille plus grande. Entre les grains, les contacts directs sont prédominants. Pour maintenir cette structure, la présence de l'eau ne doit pas modifier la compacité du mélange. Cette dernière ne doit donc jouer qu'un rôle de remplissage des porosités de la phase solide du béton. Du point de vue de l'ouvrabilité, un tel mélange est difficile à mettre en œuvre. C'est pourquoi, pour assurer la capacité de mobilisation du mélange, l'eau doit être ajoutée en excès dans le mélange précédemment décrit. Une fois le béton mis en place et dans la condition de bonne étanchéité du coffrage, une partie de cet excès d'eau remonte sous l'effet de la gravité, ce qui entraîne un tassement naturel du matériau et une pellicule d'eau à la surface supérieure de la pièce coulée : c'est le phénomène de ressuage (figure 1.20).



Figure 1. 20 : Dégradation de la surface en uni par ressuage (Ngoc Dong, 2007)

Une autre conséquence préjudiciable du ressuage peut se produire dans le cas où le tassement serait gêné par un obstacle (cage d'armatures par exemple). Les cassures se forment alors dans le béton frais. A l'état durci, ces fissures constituent une voie favorable pour l'attaque des agents agressifs vers les armatures.

- **Ségrégation** (Ngoc Dong, 2007) :

On se place maintenant au niveau de la phase la plus grossière du béton : les gravillons. Dans un mélange de gravillons seuls, ces grains s'arrangent sous forme d'empilements dont l'écoulement est rendu difficile par les contacts flottants. Pour ramener les bétons à un affaissement mesurable, les espaces interstitiels de cette phase sont remplis de mortier.

Sous la sollicitation de la force de pesanteur, les grains les plus gros tels que les gravillons tendent à descendre, et à l'inverse le mortier remonte. Ce phénomène est connu sous le nom de ségrégation statique du béton. De manière générale, la ségrégation se définit comme une perte d'homogénéité du béton due à la répartition irrégulière des constituants plus grossiers. Le côté dynamique de la ségrégation est lié à la manipulation, au transport, au malaxage et parfois au serrage du béton. Une hauteur importante de chute de matériau à la mise en œuvre risque d'entraîner la séparation entre le gravillon et le mortier. Des chocs importants subis par le béton frais au cours du transport ou la forte vibration lors de la mise en œuvre entraînent aussi la ségrégation.

L'excès de l'eau augmente le volume du mortier dans le mélange, et réduit les forces de cohésion interne du béton. De ce fait, le béton devient plus sensible à toutes les sollicitations extérieures, ce qui favorise la ségrégation du béton (Charonnat et al, 2001). Les conséquences sont, dans certains cas, sévères : formation de bouchons lors de l'amorçage des pompes, fissuration due à la déformation différée, défauts de parement de l'ouvrage, etc. Afin de limiter ces effets préjudiciables, le béton doit être formulé de manière plus stable en choisissant les constituants, notamment la proportion des éléments fins.

3.2- Impact du malaxage

A partir des constituants de nature et de dimensions variées, initialement séparés, l'objectif du malaxage est de former un mélange homogène : le grain de ciment est entouré par l'eau, le grain inerte est enrobé par la pâte de manière à ce qu'aucun contact « sec » ne soit observé, et les gros constituants sont entourés par les plus petits constituants. Une telle structure permet un mouvement relatif facile entre les éléments constitutifs du matériau et assure par conséquent une bonne maniabilité. Le contact eau-ciment favorise une hydratation complète, et garantit une bonne résistance.

Les recherches dans ce domaine montrent que la dispersion des constituants évolue progressivement au cours du malaxage et que l'obtention d'une structure optimale est conditionnée à la fois par la composition du mélange ainsi que les paramètres

caractéristiques du procédé: temps de malaxage, type de malaxeur, protocole de fabrication, etc. (Ngoc Dong, 2007).

3.2.1- Mécanisme du malaxage

Le déplacement individuel des grains dans le malaxeur est mal connu quantitativement.

L'étude de l'homogénéité est donc réalisée au moyen de l'analyse granulométrique ou de la mesure de la résistance mécanique d'échantillons prélevés au cours du malaxage.

Des travaux de recherches dans ce domaine permettent de mettre en lumière des mécanismes intervenant dans l'homogénéisation du mélange. En effet, la cinétique de cette dernière est considérée, dans le malaxeur, selon deux niveaux différents (Chopin, 2003) :

✚ Homogénéisation à l'échelle macroscopique :

Cette phase, correspondant à une échelle d'observation supérieure à la taille des gros granulats, est exprimée par la répartition homogène des constituants dans la cuve du malaxeur. Un mélange triphasique (solide, liquide et gaz) est rapidement obtenu avec la répartition régulière des constituants les plus gros après 10 à 30 s de malaxage ;

✚ Homogénéisation à l'échelle microscopique :

La deuxième phase, correspondant à une échelle d'observation à la taille des grains de ciment, consiste à disperser les éléments fins dans le mélange. En fait, les particules fines (ciment, addition) forment des agglomérats en présence d'eau. Leur dispersion nécessite un taux de cisaillement et un temps de malaxage suffisants pour fragmenter ces agglomérats. La dispersion des éléments fins à l'échelle microscopique est donc plus longue par rapport à la première phase.

3.2.2- Observation de l'évolution d'homogénéité au cours du malaxage

Dans le cadre de la fabrication industrielle du béton, le suivi de l'évolution du béton au cours du malaxage est réalisé à l'aide du wattmètre. Cet appareil, qui est apparu en France dès les années 1960, permet de mesurer en continu la puissance consommée par le malaxeur à partir de l'introduction du premier constituant à la vidange (figure 1.21). Le remplissage des composants accroît la puissance demandée par le moteur d'entraînement du malaxage.

Lorsque tous les constituants sont présentés, on observe une homogénéisation de l'ensemble, en particulier de l'eau et du ciment. Cette répartition entraîne une diminution du couple résistant et donc une réduction de la puissance nécessaire pour le malaxage. Au bout d'un certain temps, on a une stabilisation de cette puissance.

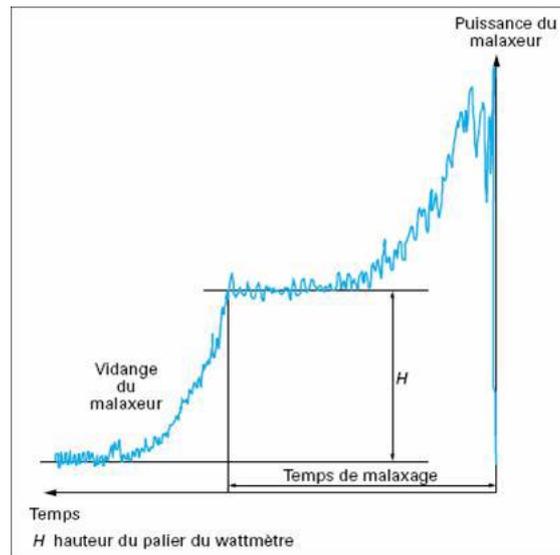


Figure 1. 21 : Représentation d'une courbe de puissance consommée lors du malaxage du béton (Teillet et al, 1991)

En utilisant l'évolution de la puissance instantanée comme indication du degré d'homogénéité du mélange obtenu au sein du malaxeur, (Chopin, 2003) a proposé un critère quantitatif pour le temps de stabilisation « T_s ». Ce dernier peut être défini en fixant une limite pour la dérivée de la puissance normalisée par la puissance à l'infini :

$$T_s \text{ tel que } \left| \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P(T_s)}{P_\infty} \right) \right| \leq \varepsilon, \varepsilon \text{ fixé}$$

Il est considéré qu'au temps de stabilisation, le malaxage ne fait plus évoluer le mélange. La dispersion des particules fines optimise l'empilement granulaire. La désagglomération augmente la quantité de ciment accessible à la réaction d'hydratation, et donc assure une bonne résistance à la compression.

3.2.3- Effets des paramètres de malaxage

Temps de malaxage :

C'est un paramètre prédominant pour l'homogénéisation du béton lors du malaxage. En fonction du temps, l'homogénéisation macroscopique est rapidement obtenue, puis l'homogénéisation microscopique est atteinte au fur et à mesure. Un taux de cisaillement important exercé par les pales du malaxeur et les mouvements relatifs des gros constituants au cours du malaxage peuvent fragmenter ces agglomérats et libérer de l'eau et de l'air « piégés ». Ceci accroît donc la densité et la compacité du béton (voir fig. 1.22), (Ngoc Dong, 2007).

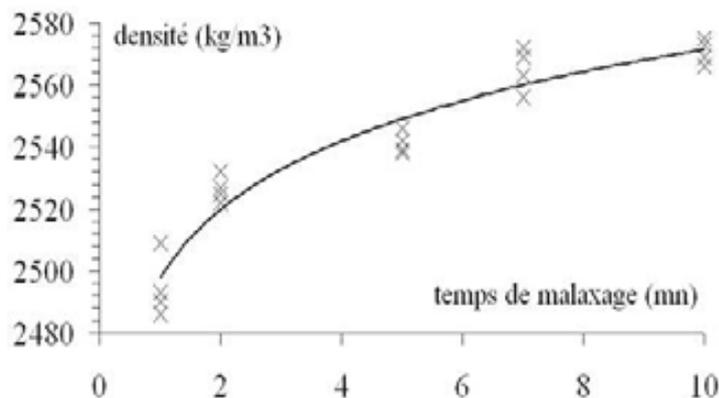


Figure 1. 22 : Accroissement de la densité du béton au cours du malaxage (Cazacliu et al, 2006)

✚ Type de malaxeur :

L'homogénéisation d'un mélange au cours du malaxage est assurée grâce au brassage du système des pales. Ces dernières délivrent de l'énergie pour mettre en mouvement les constituants en vue d'homogénéiser le mélange. La difficulté de cette opération réside dans le fait que les constituants ne présentent pas les mêmes aptitudes d'homogénéisation face à une énergie de brassage (figure 1.23). Dans la pratique, la vitesse de rotation des pales d'un malaxeur est un compromis. Cependant, l'optimum n'est pas le même pour tous les bétons.

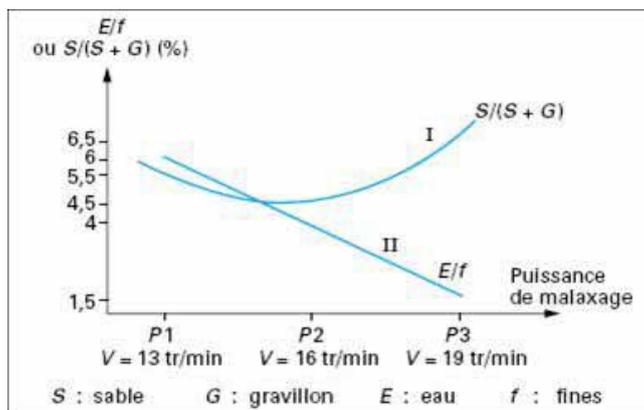


Figure 1. 23 : Influence de la puissance de malaxage sur l'homogénéité d'un produit, exprimée Par l'écart-type sur les paramètres de composition (Ngoc Dong, 2007)

✚ Protocole de fabrication :

Lors du malaxage, le béton se structure progressivement vers un état homogène optimal. Le degré d'homogénéité à un instant, pendant le malaxage, dépend de l'histoire de celui-ci à tout instant auparavant. Par conséquent, l'état d'hétérogénéité du mélange au démarrage du malaxage influence évidemment le temps nécessaire pour arranger les constituants dans une structure optimisée. Le temps de malaxage peut donc être optimisé avec un mode de remplissage spécifique. On sait que, pour des bétons traditionnels et dans un cycle de malaxage en industrie, l'introduction du ciment doit être légèrement retardée par rapport

au granulat. Un malaxage à sec est toujours bénéfique à l'efficacité du brassage, l'eau est incorporé après les constituants solides. Enfin, les adjuvants sont généralement introduits avec l'eau (Ngoc Dong, 2007).

Toutefois, aucune loi générale ne permet de définir de manière optimale un protocole de fabrication. L'optimisation du processus est empirique. Par exemple, selon certains auteurs, lorsque l'eau est introduite en pluie sur l'ensemble des constituants solides, cela permet d'obtenir une homogénéisation beaucoup plus rapide. Cependant, des résultats allant dans le sens inverse ont été trouvés au LCPC (Cazacliu, 2006).

Une nouvelle technique de fabrication a été étudiée lors des années (2000). Il s'agit de malaxer les constituants en deux phases. La première consiste à homogénéiser une partie de l'eau avec les granulats et le ciment. La deuxième phase homogénéise ce mélange en ajoutant le reste d'eau et les autres constituants. (Tamimi, 1996) explique que cette méthode permet d'enrober la surface des granulats par une couche de pâte de ciment à faible E/C (lors de la première phase de malaxage). Ceci conduit à améliorer la liaison granulat-pâte et donc la résistance du béton, vis à vis d'un malaxage classique, à des mêmes dosages en eau et en ciment. La couche mince de pâte qui enveloppe les granulats durant la première phase joue le rôle de lubrifiant pour les granulats dans la deuxième.

Ceci augmente alors la mobilité du mélange et accroît donc l'ouvrabilité du béton.

L'expérience réalisée par cet auteur montre que le malaxage en deux phases permet d'augmenter la résistance en compression d'environ 15% pour le béton ordinaire, et de 12,5% pour le béton contenant de la fumée de silice. L'affaissement au cône d'Abrams de ces bétons est également fortement amélioré par rapport à la méthode de fabrication conventionnelle. Dans son travail, l'eau (25% masse du ciment) est introduite pour saturer les surfaces des grains du sable dans la première phase (figure 1.24) (Tamimi, 1996).

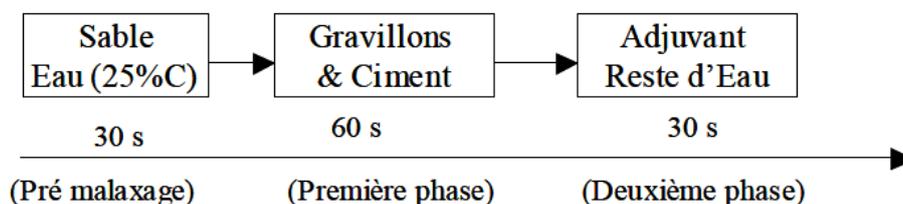


Figure 1. 24 : Malaxage en deux phases (Tamimi, 1996)

Toutefois, aucune exigence n'oblige de fixer cette quantité. L'étude de (Rougeron et al, 1996) sur le mortier et le béton montre qu'à dosage total en eau constant, il existe une humidité optimale du sable (dans la première phase) permettant d'obtenir une meilleure résistance. Dans le cadre de ses études, cette humidité pour le mortier et le béton est respectivement de 12 et de 10 %. L'influence de l'humidité du sable se manifeste surtout pour les résistances au jeune âge ; elle est moins significative à long terme.

4- MOYENS DE CONTRÔLE DE LA RÉGULARITÉ DE QUALITÉ DU BÉTON

Plusieurs facteurs peuvent affecter la qualité des bétons produits. Le contrôle est l'opération dans laquelle les différentes démarches sont prises en compte pour maîtriser les facteurs qui entraînent des variations des propriétés prescrites (Ngoc Dong, 2007).

4.1- Réglementation normative

La norme européenne NF EN 206-1 s'applique aux bétons et à la production du béton prêt à l'emploi. Cette norme distingue deux types de béton, béton à propriété spécifiée (**BPS**) et béton à composition prescrite (**BCP**), pour lesquels la fabrication est soumise à des contrôles dont la nature et les fréquences sont précisément décrits dans cette norme.

Les fournisseurs des BPE doivent effectuer à la fois le contrôle de conformité et le contrôle de production.

Le contrôle de conformité a pour but de vérifier que la centrale peut produire des bétons d'exigences (composition et/ou propriétés) conformes aux règles de reconnaissance de conformité pré-adoptées. Le contrôle de conformité fait partie intégrante du contrôle de production. Le producteur doit définir alors:

- Les plans et lieux d'échantillonnage de façon à ce que la composition et les propriétés ne subissent pas de modification significative,
- Les familles de bétons,
- La nature et la fréquence des essais établissant la conformité.

En cas de non-conformité, les mesures nécessaires suivantes doivent être prises en charge par le producteur :

- Analyse et élimination des causes d'erreur,
- Exécution des actions correctives,
- Information du prescripteur et de l'utilisateur pour éviter les dommages ou limiter leurs conséquences,
- Traçabilité assurée de toutes ces opérations.

Le contrôle de production est mis en œuvre sous la responsabilité du producteur et a pour but de fabriquer tous les bétons soumis aux spécifications préconisées par la norme en vigueur (NF EN 206-1). Le système de contrôle de production regroupe toutes les procédures et les instructions internes à la chaîne de production, d'une part, et les fréquences d'essais et d'inspections prévues par le producteur, d'autre part. Le producteur prend donc toutes les mesures pour assurer la conformité du béton aux exigences spécifiées :

- la sélection des matériaux,
- la formulation du béton (au cas des BPS),
- le suivi des conditions de fabrication,
- les essais et inspections (constituants, bétons et matériels de fabrication),
- la maîtrise des résultats d'essais sur constituants, sur bétons frais et durcis et sur matériels.

4.2- Enregistrement des paramètres de fabrication

L'enregistrement des paramètres de production permet de détecter le fonctionnement des matériels dans la centrale et de rendre possible l'amélioration de la régularité de la qualité du béton. Dès 1967, (Durrieu, 1968) a montré l'intérêt du suivi de la fabrication et du contrôle des bétons. Les contrôles traditionnels consistent à confectionner un nombre restreint d'éprouvettes, peu représentatif vis à vis de la quantité des bétons mis en place sur le chantier. (Charronnat et Tricart, 1970), en utilisant des informations enregistrées sur une centrale à béton, ont pu détecter des gâchées à éliminer.

Les paramètres à enregistrer sont divers :

- Pesées des constituants,
- Durée et ordre du dosage des composants,
- Humidités des granulats,
- Puissance consommée par le malaxeur.

L'enregistrement des paramètres de production permet d'augmenter la traçabilité des bétons produits et de l'opération de fabrication car il peut être exploité à tout moment, à la fois par le producteur, le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre, etc.

4.3- Contrôle de la teneur en eau du granulat

Une bonne connaissance de l'humidité des granulats permet de bien doser l'eau lors de la fabrication d'une gâchée. L'utilisation des humidimètres permet de suivre en continu l'évolution de la teneur en eau des sables.

4.3.1- Principales méthodes de mesure de la teneur en eau

Différentes techniques de mesure de la teneur en eau des granulats ont été étudiées dans le cadre du projet « Calibé » en France : des méthodes traditionnelles (méthodes gravimétriques) et des méthodes plus rapides (électriques, spectrométriques, etc.) (voir tableau 1.5).

Tableau 1. 5 : Principales méthodes de mesure de la teneur en eau (Escadeillas et al, 2004)

Méthode	Technique de mesure
Gravimétrique	Séchage à l'étuve
	Séchage au four micro-onde
	Séchage à la poêle
Electrique	Permittivité
	Résistivité
Spectrométrique	Radar
	Micro-onde
	Spectrométrie Infra-rouge
	Neutron lent
Chimique	Pression de gaz

4.3.2- Mode de mesure et précision

Les mesures d'humidité utilisant les techniques électriques ou spectrométriques peuvent s'appliquer aux matériaux au repos (mesure statique) ou en écoulement (mesure dynamique). Des facteurs conditionnant la réponse des sondes peuvent varier avec le mode de mesure, ce qui nécessite des calibrages différents.

Le calibrage d'une sonde en mode statique peut poser des problèmes lors de son utilisation quand les matériaux sont en écoulement. En effet, une réponse différente selon le régime d'écoulement a été observée lors de la mise au point de l'humidimètre capacitif LPC autonettoyant. Des écarts systématiques sont trouvés, ils dépendent du type de matériau ; mais sont généralement supérieurs à 1,5 %.

4.4- Contrôle de l'humidité du béton frais dans le malaxeur

Une autre possibilité de contrôle du dosage en eau consiste à mesurer l'humidité du béton frais dans la gâchée courante. Certaines techniques de mesure, développées pour les granulats, restent valables pour le béton frais. De plus, le wattmètre peut également servir comme humidimètre à béton.

4.5- Contrôle de consistance effectuée sur la gâchée courante

L'ouvrabilité du béton est affectée par plusieurs facteurs dont l'eau est un des plus influents. Pour permettre le contrôle de l'ouvrabilité en ligne, d'une part le dosage en eau doit être maîtrisé, et d'autre part l'ouvrabilité doit être mesurée directement dans le malaxeur.

Le wattmètre est sans doute un bon indicateur pour la consistance du béton. Cet appareil est connu dans le milieu industriel du béton prêt à l'emploi, grâce aux travaux de (Delude et Ambrosino, 1966). Le wattmètre est la version évoluée de l'ampèremètre, qui était utilisé antérieurement pour le même l'objectif d'ajustement de la consistance du béton. Le wattmètre a été ensuite considéré comme un moyen permettant le contrôle de l'ouvrabilité dans les ouvrages.

5- CONCLUSION

Dans le cadre de ce chapitre, on a tenté de mettre en exergue à l'aide d'une revue bibliographique la production du béton prêt à l'emploi. On constate que cette production, connaît un formidable essor au vu des avantages que ce matériau offre par rapport au béton dit classique à qui il prend tous les ans, depuis une cinquantaine d'années, des parts importantes de marché au niveau mondial. En revanche, en Algérie, les statistiques ne sont pas encore précises ; mais il y a un intérêt certain pour cette filière et les producteurs publics et privés sont aussi entrain de produire quelques millions de m³/an, ce qui nous permet de se comparer au Portugal ou à la Finlande en Europe.

Aussi, la maîtrise de ce matériau à tous les niveaux exige un contrôle rigoureux des constituants et de leurs propriétés ainsi que de toutes les étapes de la confection du mélange. L'automatisation de toutes les phases de la production facilite en fait cette maîtrise de la confection jusqu'à la livraison dans le respect des règles de sécurité et de qualité en prenant compte des domaines d'utilisation.

Dans le chapitre suivant, nous allons nous focaliser sur un producteur local du béton prêt à l'emploi. Il s'agit d'une société publique qui commercialise le BPE après avoir acquis deux centrales. Nous décrivons les centrales de cette société en précisant l'itinéraire pris par les matières premières depuis leur arrivée à la centrale jusqu'à la livraison du produit fini.

CHAPITRE 2 : LA CENTRALE À BÉTON SOGERHWIT

SOMMAIRE DU CHAPITRE 2

Chapitre 2 : La centrale à béton SOGERHWIT	51
1- La centrale à béton 'SOGERHWIT'	52
1.1- Historique	52
1.2- Le plan de situation	52
1.3- Description de la centrale à béton 'Sogerhwit'	53
1.4- Fonctionnement de la centrale à béton	57
1.5- Statistiques de production	66
1.6- Spécifications de la centrale à béton 'Sogerhwit' et comparaison avec les autres centrales.....	68
2- Conclusion.....	71

Dans ce chapitre relatif à la présentation de la centrale locale appartenant à la société 'Sogerhwit', on commence par situer cette centrale, ensuite on décrit son fonctionnement, et on termine par les statistiques de production ainsi que ses spécifications.

1- LA CENTRALE À BÉTON 'SOGERHWIT'

1.1- Historique

La société 'Sogerhwit' a commencé le 05 juillet 1974, la réalisation de produits pour des travaux d'hydraulique (conduits, tuyaux, etc.) et avec l'utilisation dans le travail de produits en béton, le projet de réaliser une centrale à béton a vu le jour en 2005 pour la maîtrise de ce dernier au lieu de l'acheter.

La centrale acquise est de type manuel et le béton manufacturé a été commercialisé en 2006 avec des formulations confectionnées par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (LTPO). En 2010, une centrale à béton automatique a été installée pour améliorer le rendement de la société.

1.2- Le plan de situation

La société 'Sogerhwit' est installée dans la zone industrielle de Tlemcen (figures 2.1 et 2.2).

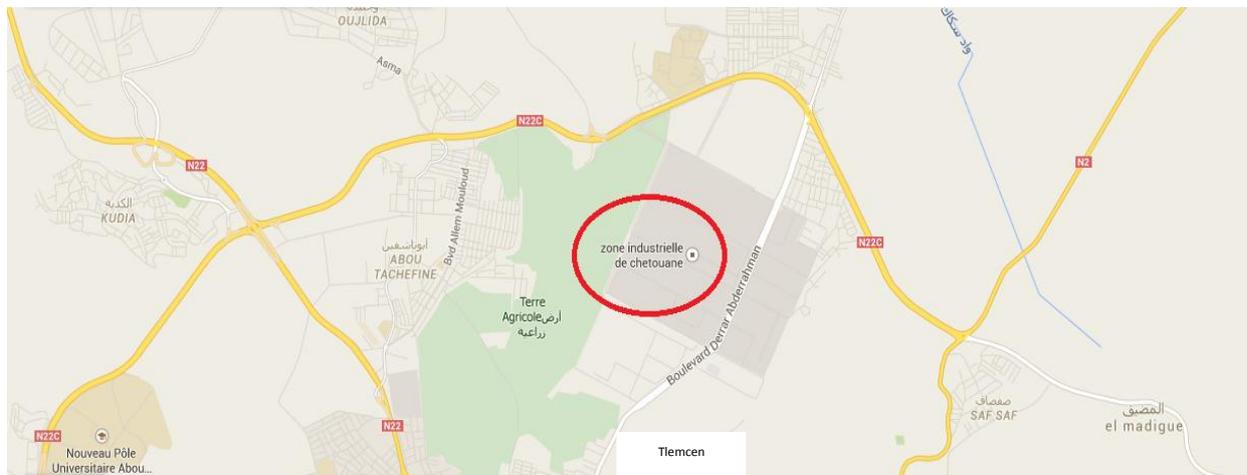


Figure 2. 1 : Le Plan situation de la société 'Sogerhwit'

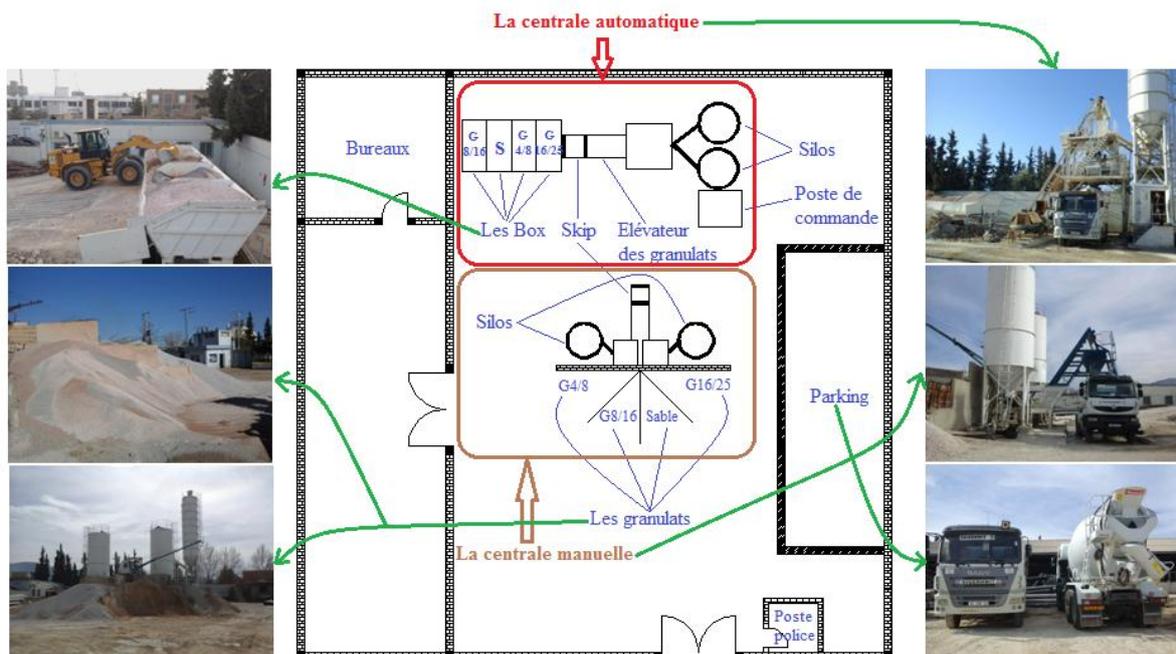


Figure 2. 2 : Vue en plan de la centrale à béton 'Sogerhwit' (photos prises par les auteurs)

1.3- Description de la centrale à béton 'Sogerhwit'

1.3.1- Les travailleurs

La centrale fonctionne avec 11 ouvriers et cadres :

- 1 Ingénieur,
- 1 Centralier,
- 7 Chauffeurs de camions et d'engins,
- 1 Gardien,
- 1 Manœuvre.

1.3.2- Matériels

- les camions : Il ya 7 camions malaxeurs, dont (figure 2.3) :
 - 4 camions de la capacité 8 m^3 ,
 - 2 camions de la capacité 7 m^3 ,
 - 1 camion de la capacité 5 m^3 .



Figure 2. 3 : Les camions malaxeurs de la Sogerhwit (photos prises par les auteurs)

- **1 chargeur** : pour déplacer les granulats dans les compartiments (les box), (figure 2.4).



Figure 2. 4 : Le chargeur de transport des granulats (photos prises par les auteurs)

- **les silos** : (voir figure 2.5)

- 2 silos pour la centrale à béton automatique d'une capacité de 110 tonnes par silo,

- 2 silos pour la centrale à béton manuelle d'une capacité de 70 tonnes par silo.



Figure 2. 5 : Les silos de stockage de ciment (photos prises par les auteurs)

- **les réservoirs** : (voir figure 2.6) :

- 1 pour l'eau.

- 1 pour l'adjuvant (non utilisable dans la composition du béton).



Figure 2. 6 : Les réservoirs d'eau et des adjuvants (photos prises par les auteurs)

- **une voiture de service** : pour le transport.

- **un compresseur** : pour remplir les silos à partir des citernes de ciment (voir figure 2.7).



Figure 2. 7 : Le compresseur de la centrale (photo prise par les auteurs)

1.3.3- Les matériaux de construction

Il y a quatre compartiments pour les granulats :

- ✚ Le sable (0/4 mm), provient de la carrière Ramdani,
- ✚ Les graviers 4/8 et 8/16, Provenant des deux carrières de l'E.N.G (Sidi Abdelli et Terga),
- ✚ Le gravier 16/25, Provient de la carrière : E.N.G. (Sidi Abdelli),
- ✚ Le ciment CEM II/B 42,5 N, de type Matine provient de la cimenterie de Lafarge Algérie à Oggaz (Wilaya de Mascara).

1.4- Fonctionnement de la centrale à béton

1.4.1- La centrale automatique

✚ Généralités sur la centrale :

Cette centrale à béton de marque SANY S.A. qui est une entreprise dont les produits figurent parmi les marques de première classe tant en chine qu'à l'étranger. La centrale à béton intègre une aire de stockage des matériaux, la mesure du malaxage et a une haute efficacité de production.

Avec un malaxeur à mélange forcé à deux arbres horizontaux comme unité principale et une hauteur de décharge de 3.8 m. Cette centrale peut malaxer différents types de bétons destinés pour divers ouvrages : construction hydraulique et électrique, bâtiments, routes, ports, ponts, etc.

✚ Equipements :

La centrale à béton est composée de plusieurs équipements dont les composants principaux sont montrés par la figure 2.8 :

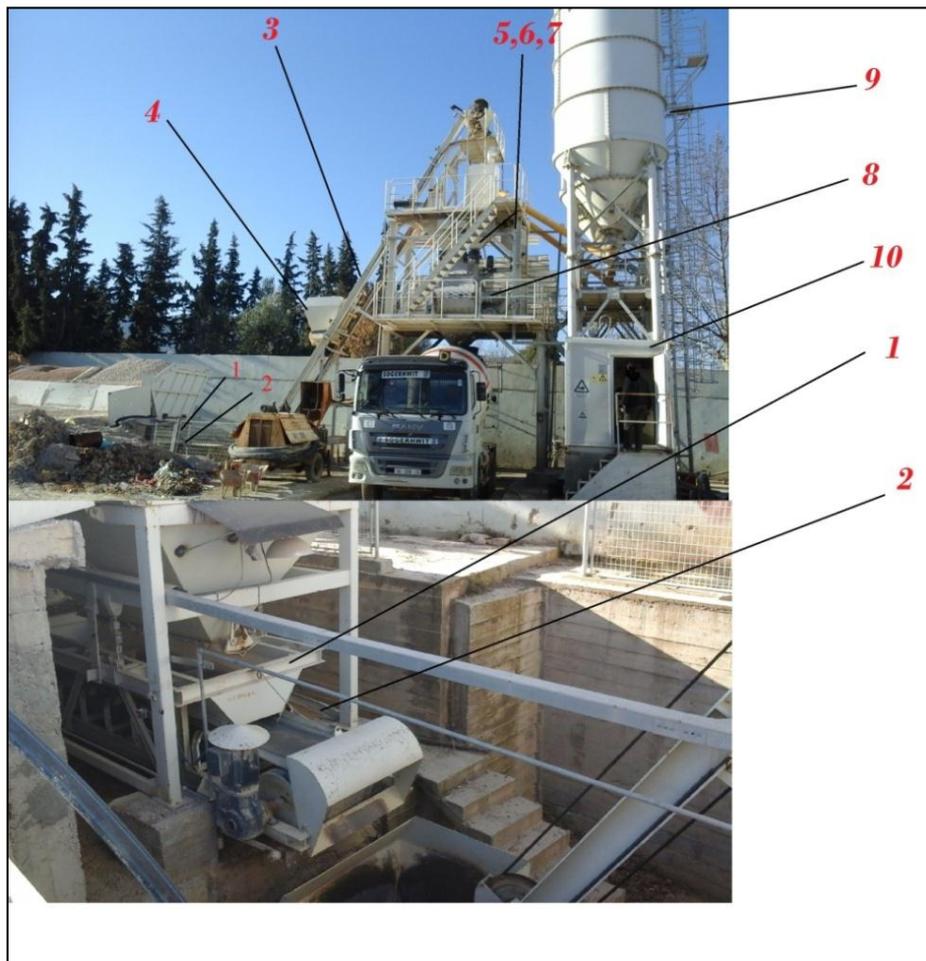


Figure 2. 8 : Les différents équipements de la centrale 'Sogerhvit' (photo prise par les auteurs)

Légende :

- 1- Centrale de dosage,
- 2- Tapis transporteur,
- 3- Elévateur des granulats,
- 4- Skip,
- 5- Dispositif de pesée de poudre,
- 6- Dispositif de pesée de l'eau,
- 7- Dispositif de pesée de l'adjuvant,
- 8- Malaxeur,
- 9- Silo,
- 10- Poste de commande.

- **La centrale de dosage** : ce sont des trémies pour le stockage des granulats (voir figure 2.9) qui disposent de trappes dessous pour vidanger les matériaux sur le tapis transporteur.



Figure 2. 9 : Les trémies de stockage des granulats (photos prises par les auteurs)

- **Le tapis transporteur** : les granulats sont pesés à l'aide de balances (voir figure 2.10) qui sont fixés sur les côtés de trémies et sont transportés par le tapis transporteur jusqu'au skip.



Figure 2. 10 : Le tapis transporteur et les balances (photos prises par les auteurs)

- **Le skip** : C'est un moyen de transport des granulats jusqu'au malaxeur (figure 2.11).



Figure 2.11 : Le skip (photos prises par les auteurs)

- **L'élévateur des granulats** : C'est un idéal dispositif de levage pour transporter les granulats qui sont dans le skip (voir figure 2.12) dans les dispositifs de stockage de la centrale à béton.



Figure 2.12 : L'élévateur des granulats (photos prises par les auteurs)

- **Dispositifs** : Dont le rôle est de peser automatiquement les différentes quantités : ciment-eau-adjuvant, nécessaires pour formuler 1m^3 de béton (figure 2.13).



Figure 2.13 : Les dispositifs (photos prises par les auteurs)

- **Les Silos** : joue le rôle de stockage du ciment (voir figure 2.14).



Figure 2. 14 : les Silos de stockage du ciment (photo prise par les auteurs)

- **Le Malaxeur** : c'est le lieu de malaxage des différents constituants pour composer 1m^3 de béton (voir figure 2.15).



Figure 2. 15 : Le Malaxeur (photos prises par les auteurs)

- **Le poste de commande** : est l'endroit où l'opérateur effectue des opérations et la gestion sur la centrale à béton. Elle est composée de différents éléments (ordinateurs, une armoire de commande électrique, etc.), cette cabine est le système nerveux de toute la centrale.

- **Deux micros** : Cette centrale travaille automatiquement à l'aide de deux ordinateurs (figure 2.16) : l'un pour faire entrer les données nécessaires ainsi que les formulations de béton et l'autre fonctionne comme une caméra pour bien voir les différentes étapes de fabrication.



Figure 2. 16 : Les micros du poste de commande (photos prises par les auteurs)

- **Une table de commande** : qui permet de contrôler le fonctionnement à distance de la centrale (voir figure 2.17).



Figure 2.17 : La table de commande (photos prises par les auteurs)

- **Une armoire électrique** : qui contient les différents disjoncteurs pour faire fonctionner la centrale (figure 2.18).

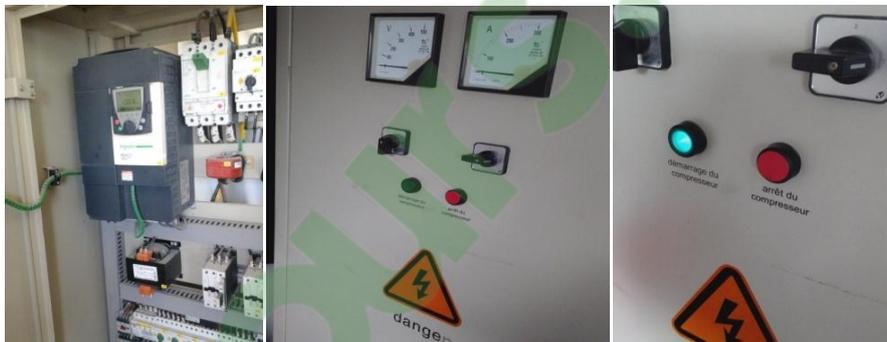


Figure 2.18 : L'armoire électrique (photos prises par les auteurs)

✚ Fonctionnement :

C'est une centrale qui fonctionne automatiquement et qui peut fonctionner manuellement, sa capacité de production du béton est de 1m^3 dont la procédure de fabrication est de la suivante :

- Les granulats tels que le sable et les 3 types de graviers sont stockés à l'air libre (voir figure 2.19) sans aucun moyen de mesure d'humidité.



Figure 2.19 : Les granulats stockés à l'air libre (photo prise par les auteurs)

- Et par la suite ces granulats sont transportés vers 4 compartiments de stockage à l'aide d'un chargeur (figure 2.20).



Figure 2. 20 : Le transport des granulats dans les box (photos prises par les auteurs)

- D'après la formulation étudiée, les granulats sont pesés automatiquement et transportés par le tapis transporteur jusqu'au le skip (figure 2.21).



Figure 2. 21 : Le transport des granulats vers le skip (photos prises par les auteurs)

- Lorsque le skip est rempli de granulats, il va vers le malaxeur à l'aide des câbles (voir figure 2.22).



Figure 2. 22 : Le transport des granulats vers le malaxage (photos prises par les auteurs)

- Avant le malaxage, il faut aussi que le ciment et l'eau soient à proximité.

Le ciment se trouve au niveau des silos et l'eau dans le réservoir, et les deux sont transportés automatiquement pour être utilisés dans le malaxeur (figure 2.23).



Figure 2. 23 : Les box de l'adjuvant, l'eau et le ciment (photo prise par les auteurs)

- Après un temps de malaxage de 30 secondes, le malaxeur s'arrête et le 1m^3 de béton frais est fin prêt pour s'écouler par la partie base du malaxeur (voir figure 2.24).



Figure 2. 24 : La partie base de malaxeur (photos prises par les auteurs)

- Le camion malaxeur récupère ainsi le béton produit (voir figure 2.25).



Figure 2. 25 : La récupération de béton frais par le camion malaxeur (photo prise par les auteurs)

1.4.2- La centrale manuelle

✚ Définition :

Au sein de la société Sogerhwit, cette centrale (voir figure 2.26) qui est totalement manuelle est utilisée pour aider l'autre centrale s'il y a nécessité de produire une grande quantité de béton. Elle a une capacité de production de 1m^3 après 3 descentes du skip.



Figure 2. 26 : La centrale manuelle (photo prise par les auteurs)

✚ Fonctionnement :

Les granulats sont déplacés à l'aide d'un appareil qui fonctionne manuellement (figure 2.27) comme un chargeur par un centralier dans la cabine de commande.



Figure 2. 27 : La cabine de commande (photos prises par les auteurs)

- Les granulats sont pesés à l'aide de balances (voir figure 2.28).



Figure 2. 28 : Les balances manuelles (photos prises par les auteurs)

- Après, le ciment et l'eau y sont ajoutés après leurs pesées (voir figure 2.29). Le béton, après malaxage, sera transporté dans des camions malaxeurs.



Figure 2. 29 : La production et le transport du BPE (photos prises par les auteurs)

1.5- Statistiques de production

1.5.1- Formules utilisées

La centrale à béton 'Sogerhvit' n'utilise pas les adjuvants pour la composition de leurs bétons, les formules utilisées sont enregistrées dans l'ordinateur de pilotage de la centrale, et la composition de toutes ces formules est consignée dans le tableau 2.1.

Tableau 2. 1 : Les formules utilisées pour la production des bétons [en kg/m³]

Formules	Sable	Gravier 4/8	Gravier 8/16	Gravier 16/25	Ciment	Eau	E/C	G/S
1	650	245	395	610	150	180	1,2	1,92
2	732	384	383	630	350	180	0,51	1,9
3	712	363	634	385	200	180	0,9	1,94
4	689	294	630	383	300	180	0,6	1,9
5	634	247	377	616	400	200	0,5	1,96
6	550	288	380	380	350	200	0,57	1,91
7	740	273	520	273	400	200	0,5	1,44
8	685	210	385	480	350	210	0,6	1,57

Pour les formulations citées en dessus, il y a les différentes utilisations suivantes :

- Pour un dosage de 150 et 200 kg/m³ : Plate-forme, trottoirs.
- Pour un dosage de 300 kg/m³ : Radiers, voiles.
- Pour un dosage de 350 kg/m³ : Dalles, voiles, bâtiments
- Pour un dosage de 400 kg/m³ : Grandes ouvrages, réservoirs, pilles.

1.5.2- Production des centrales Sogerhwit

Pour le mois de Janvier 2015, la production du béton par Sogerhwit pour différents projets est donnée par la figure 2.30. Elle totalise **476,5 m³**.

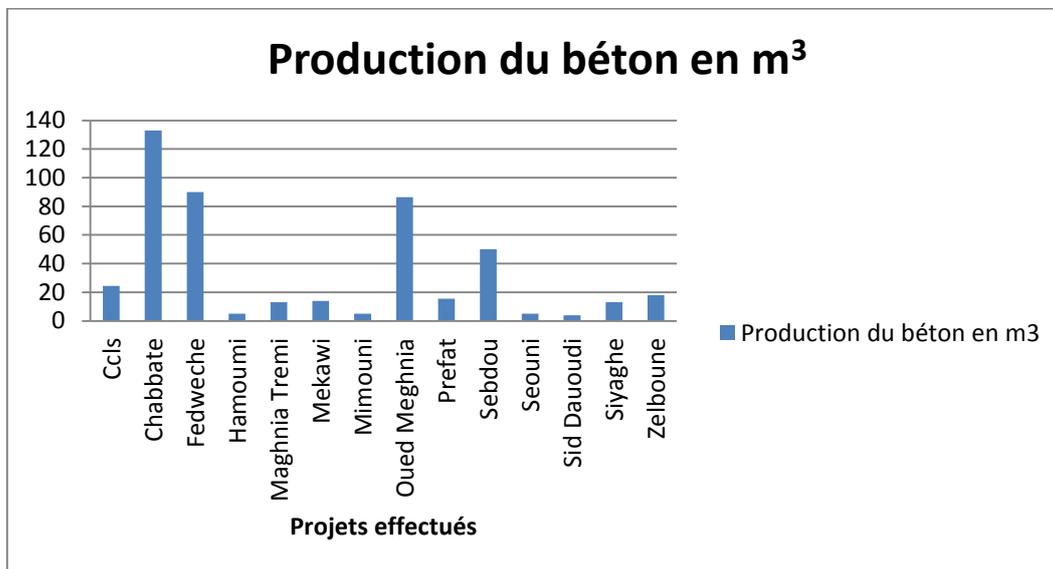


Figure 2. 30 : Production mensuelle (Janvier 2015) de BPE par 'Sogerhwit'

La production quinquennale : 2010-2014 de BPE par 'Sogerhwit' est présentée par la figure 2.31. La production en 2014 équivaut à 10 fois la production des quatre années 2010/2013 (en prenant en compte le fait que 2010 a été l'année de l'acquisition de la seconde centrale).

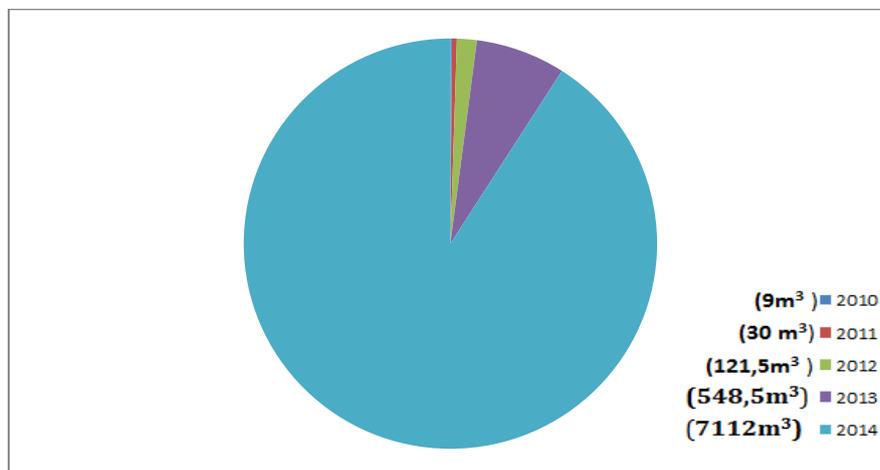


Figure 2. 31 : La Production quinquennale 2010-2014 de BPE par 'Sogerhwit'

On constate alors que la demande relative au BPE au niveau de la wilaya de Tlemcen est de plus en plus grande. Il est clair, que la fabrication du béton se fait de moins en moins, pour les grands projets, à l'aide de matériel classique.

1.6- Spécifications de la centrale à béton 'Sogerhwit' et comparaison avec les autres centrales

La comparaison est faite avec d'autres centrales privées que nous avons déjà visités auparavant citées comme suit : la centrale à béton Italienne (Oran) et la centrale à béton Dennouni (Tlemcen).

1.6.1- Le temps de malaxage

Dans la centrale à béton Sogerhwit, le temps de malaxage est fixé à 30 secondes pour malaxer les différents constituants qui sont identifiés d'après les formulations précitées, et puisque la centrale fonctionne automatiquement, pendant ce temps de malaxage, il y a d'autres paramètres qui marchent en parallèle comme les pesées des granulats, donc s'il y a un quelconque changement pour les 30 secondes, ceci va impacter tout le fonctionnement de la centrale ; et par la suite il faut que ce temps reste fixe. Le temps de malaxage peut en revanche, changer dans d'autres centrales.

Le référentiel de la marque NF impose un temps de malaxage minimal dans les centrales BPE qui est de 35 s pour les bétons sans adjuvants.

1.6.2- L'ordre d'introduction des constituants

Dans le malaxeur, les granulats : graviers et sable sont introduits en premier, ensuite le ciment et l'eau, et le malaxage se fait automatiquement pour tous les constituants ensemble sans un malaxage à sec, afin d'obtenir un mélange homogène.

Le malaxage à sec est toujours bénéfique à l'efficacité du brassage et ensuite on ajoute l'eau.

1.6.3- La présence et l'influence de l'eau dans la centrale

Dans la centrale à béton 'Sogerhwit', les granulats sont stockés à l'air libre (figure 2.32). Les sables et les gravillons ne sont pas soumis à des contrôles de teneur en eau, et la correction de la quantité d'eau qu'il faut enlever lorsque les granulats sont humides est prise en compte de manière empirique, ce qui va influencer les qualités du béton aux états frais et durci.



Figure 2. 32 : Le stockage des granulats à l'air libre (photo prise par les auteurs)

Dans d'autres centrales où les granulats sont aussi stockés à l'air libre, la teneur en eau est déterminée par plusieurs méthodes telles que : la méthode du flambage à l'alcool à brûler, la méthode du speedy, ou la méthode de séchage à l'étuve au laboratoire.

Alors que certaines centrales à béton stockent les granulats à l'abri des intempéries (figure 2.33), ce qui diminue le problème lié à l'humidité et spécialement pour les sables.



Figure 2. 33 : Le stockage des granulats sous un hangar (centrale à béton Italienne) (photos prises par les auteurs)

L'eau utilisée pour le nettoyage des camions malaxeurs peut fausser la formulation (surdosage) (figure 2.34).



Figure 2. 34 : Nettoyage des camions malaxeurs (les deux centrales : Sogerhwit et Dennouni) (photos prises par les auteurs)

1.6.4- Le nettoyage du malaxeur et le tapis transporteur

On a constaté un manque de nettoyage qui peut influencer la qualité du béton comme le montre la figure 2.35.



Figure 2. 35 : Absence de nettoyage du malaxeur de la centrale automatique Sogerhwit (photos prises par les auteurs)

Si on compare avec d'autres centrales, le nettoyage se fait avant et après le malaxage du béton (figure 2.36).



Figure 2. 36 : Le nettoyage du tapis transporteur (la centrale à béton Italienne) (photos prises par les auteurs)

1.6.5- L'existence du laboratoire

La centrale Sogerhwit ne s'est pas encore doté d'un laboratoire interne pour la vérification sur place des propriétés des constituants (granulats, ciment et eau) et des mélanges (bétons). Par contre dans certaine autres centrales, le laboratoire est installé à coté de la centrale.

2- CONCLUSION

En ce qui concerne ce deuxième chapitre, on a présenté dans le détail et de manière illustrée, les différents équipements composant les deux centrales de la société Sogerhwit ainsi que leur mode de fonctionnement. On a aussi relevé quelques statistiques liées à la production de la société pour montrer la demande sans cesse croissante du BPE dans le paysage Tlemcenien. Une comparaison à la fin avec des centrales installées dans la région a complété ce chapitre en vue de mettre en relief certaines anomalies de fonctionnement au sein des centrales étudiées. Ce diagnostic permettra aux responsables de ces centrales de faire attention aux gestes qui favorisent la qualité de leur produit commercialisé tout en réduisant les surcoûts liés à la maintenance des équipements.

CHAPITRE 3 : CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

SOMMAIRE DU CHAPITRE 3

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux	72
1- Eau	73
2- Ciment	73
2.1- Caractéristiques techniques	73
3- Granulats	76
3.1- Le sable	76
3.2- Gravier.....	78
3.3- Essai d'analyse granulométrique.....	79
4- Interprétations des résultats.....	80
5- Conclusion	80

La connaissance des différents matériaux utilisés et leurs caractérisation est une étape très importante pour optimiser la qualité du béton confectionné. Dans ce chapitre, on présente les différents essais normalisés utilisés pour cet effet, avant la formulation du béton.

Les différents matériaux caractérisés sont ceux qui ont été présentés dans le chapitre précédent, puisque nous sommes censés identifier les propriétés des matériaux utilisés par la centrale appartenant à Sogerhwit. Il s'agit de :

- ✚ Sable (0 - 4 mm) → Provient de la carrière Ramdani,
- ✚ Gravier (4 /8 et 8 /16) → Provenant des deux carrières de l'E.N.G (Sidi Abdelli et Terga),
- ✚ Gravier (16/25) → Provient de la carrière : E.N.G. (Sidi Abdelli),
- ✚ Ciment → CEM II/B 42,5 N, de type Matine provenant de la cimenterie de Lafarge Algérie à Oggaz (Wilaya de Mascara),
- ✚ EAU → L'eau de ville de Tlemcen (secteur de Chetouane).

1- EAU

L'eau utilisée pour nos formulations est l'eau distribuée par le réseau du service public de la Daira de Chetouane appartenant à la ville de Tlemcen (Algérie). Les résultats de l'analyse chimique de cette eau ont été réalisés au laboratoire de l'Algérienne des eaux. Ils répondent aux prescriptions de la norme XP P 18-303 et NF EN 1008 (IDC P 18-211), et sont présentés dans le tableau 3.1.

Tableau 3. 1 : Caractéristiques chimiques de l'eau (Boukli, 2009)

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	CO3	NO3	PH	T (°C)
74.4	49	40	5	95	170	300	42.3	7.5	17.1

2- CIMENT

Pour toutes les formulations, on a utilisé le ciment de type MATINE (LAFARGE). **MATINE** est un ciment gris CEMII/B 42.5 ; donc de hautes résistances initiales et finales sont conformes à aux normes **NA 442**, **EN 197-1** et **NF P 15-301194**. Ce ciment est constitué d'une quantité importante d'ajouts : 21-35 % pour la sous classe B.

2.1- Caractéristiques techniques

D'après la fiche technique du ciment MATINE, on a les caractéristiques suivantes (voir les tableaux 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6) :

- Analyse chimique :**Tableau 3. 2 :** Propriétés chimiques du ciment Matine (Lafarge)

Perte au feu (NA 5042) %	10.0 \pm 2
Teneur en sulfates (SO ₃) (NA 5042) %	2.5 \pm 0.5
Teneur en oxyde de magnésium (MgO) %	1.7 \pm 0.5
Teneur en chlorures (NA 5042) %	0.02 – 0.05

- Composition minéralogique du clinker (Bogue) :**Tableau 3. 3 :** Composition minéralogique du clinker du ciment Matine (Lafarge)

C ₃ S (%)	58 – 64
C ₂ S (%)	12 – 18
C ₃ A (%)	6 – 8
C ₄ AF (%)	10 – 12

- Propriétés physiques :**Tableau 3. 4 :** Propriétés physiques du ciment Matine (Lafarge)

Consistance normale (%)	26.5 \pm 2
Finesse de mouture Blaine (cm ² /g)	3700 – 5200
Retrait à 28 jours (μm /m)	< 1000
Expansion (mm)	< 3.0

- Temps de prise à 20°C (NA 230) :

Tableau 3. 5 : Temps de prise du ciment Matine (Lafarge)

Début de prise (min)	150 ±30
Fin de prise (min)	230 ±50

- Résistance à la compression (NA 234) :

Tableau 3. 6 : Résistance à la compression du ciment Matine (Lafarge)

2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

- La masse volumique apparente :

Egale à **953,7 kg/m³** d'après l'essai qu'on a effectué sur ce ciment.

- La masse volumique absolue :

A partir de la méthode du pycnomètre (fig. 3.1), on a trouvé une valeur égale à **2924 kg/m³**.



Figure 3. 1 : Essai de la masse volumique absolue (photos prises par les auteurs)

3- GRANULATS

3.1- Le sable

Les propriétés physiques pour le sable utilisé dans les formulations de notre partie expérimentale sont montrées dans le tableau 3.7.

Tableau 3. 7 : Caractéristiques physiques du sable

$M_{v\text{apparente}}$ (kg/m^3) (NA 255)	1646,67	
$M_{v\text{absolue}}$ (kg/m^3) (NA 255)	La méthode de l'éprouvette graduée	2513,97
	La méthode du ballon	2697,84
Equivalent de sable (%) (NFP 18-598)	ESV	76,5
	ESP	63,5
Module de finesse	2,16	
Coefficient d'absorption (%) (NF P 18-555)	2,2	

- Il est nécessaire de déterminer le coefficient d'absorption du sable pour la formulation des bétons afin de savoir la quantité de l'eau utilisé lors de la formulation, la figure 3.2 montre les différentes étapes pour la détermination de ce coefficient.



Figure 3. 2 : L'essai d'absorption de sable (photos prises par les auteurs)

Les données et les résultats de l'essai de foisonnement sont tracés sur la figure 3.3.

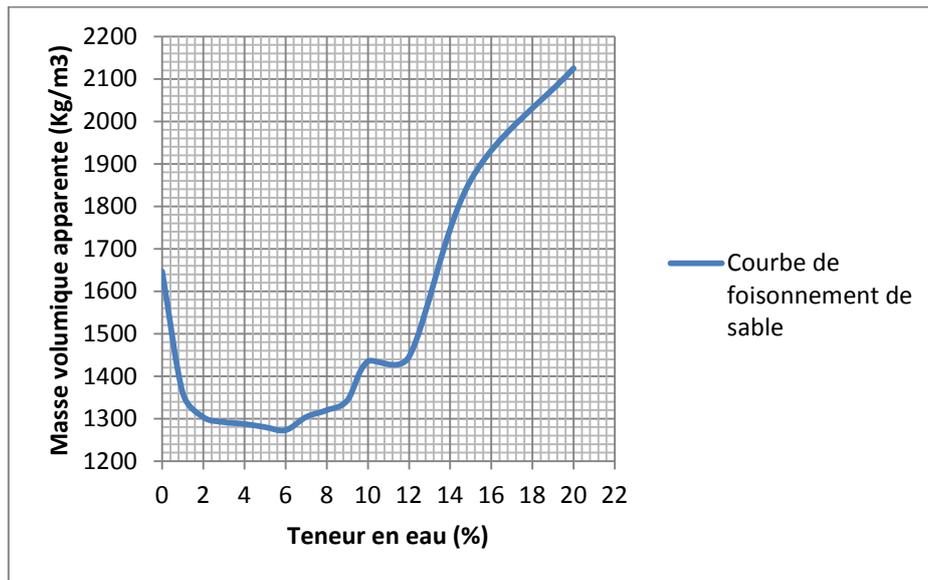


Figure 3. 3 : Courbe de foisonnement du sable

3.2- Graviers

Les graviers de l'ENG sont disponibles sous forme des classes granulaires 4/8, 8/16 et 16/25 ainsi que ses caractéristiques physiques sont représentées dans le Tableau 3.8.

Tableau 3. 8 : Caractéristiques physiques des graviers

La classe		Gravier 4/8	Gravier 8/16	Gravier 16/25
$M_{v\text{ apparente}}$ (kg/m^3) (NA 255)		1373,33	1399,33	1302,67
$M_{v\text{ absolue}}$ (kg/m^3) (NA 255)	La méthode de l'éprouvette graduée	2500	2623,91	2528,09
	La méthode de ballon	2542,37	2542,37	2622,38
Propreté (%) (NF P18-591)		0,2	0,6	2,04
Los Angles (%) (NF P 18-573)		30,4	27,6	39,6
Coefficient d'absorption (%) (NF P 18-554)		0,67	0,4	0,4

3.3- Essai d'analyse granulométrique

Les courbes granulométriques des différents granulats sont réalisées conformément à la norme NA 2607, les tableaux de calcul spécifiques pour ces courbes sont montrés dans les annexes 3.1, 3.2, 3.3 et 3.4.

Les analyses granulométriques établies pour chaque fraction sont présentées sur la figure 3.4.

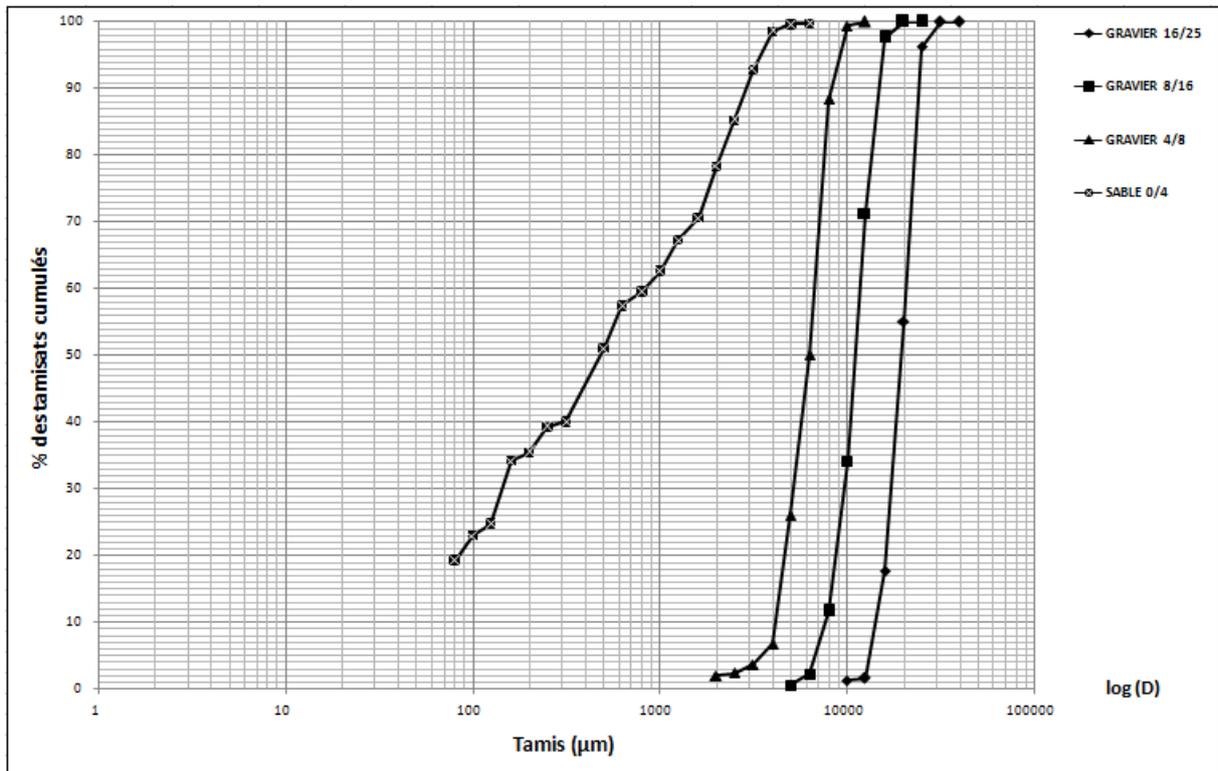


Figure 3. 4 : Courbes granulométriques des différents granulats étudiés

4- INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS

- Nous remarquons que les masses volumiques trouvées pour notre ciment répondent aux exigences imposés par la norme NA 231, comprises entre 900 kg/m^3 et 1100 kg/m^3 pour la masse volumique apparente, et entre 2900 kg/m^3 et 3150 kg/m^3 pour la masse volumique absolue.
- D'après les résultats obtenus pour les masses volumiques (apparente et absolue), on constate que ces masses spécifiques des différents granulats répondent aux spécifications de la norme NF EN 12620 qui impose une masse volumique apparente comprise entre 1300 kg/m^3 et 1600 kg/m^3 et une masse volumique absolue comprise entre 2500 kg/m^3 et 2700 kg/m^3 .
- D'après l'essai de propreté du sable, on conclue que le sable est propre et il répond aux exigences de la norme P 18-541 qui fixe les limites à $ESV \geq 65\%$ et à $ESP \geq 60\%$.
- L'analyse granulométrique a révélé que la teneur en fines est de 19 % pour le sable avec un module de finesse de 2,16.
- Ce module finesse du sable est compris entre 1,8 et 2,2 ; c'est donc un sable fin qui nécessite une correction granulométrique pour atteindre le module préférentiel de 2,5.

Au vu de ces résultats, le sable est conforme aux exigences de la norme P 18-541.

- Le gravier présente une propreté satisfaisante puisque, selon les spécifications exigées par la norme P 18-541, le pourcentage des éléments inférieurs à 0,5 mm doit être inférieur à 3 % dans le cas des granulats concassés.
- D'après l'essai Los Angeles on constate que le gravier répond aux exigences de la norme P 18-541 qui impose un coefficient Los Angeles inférieur à 40 %.
- Les coefficients d'absorption du gravier répondent aux exigences de la norme P18-541 qui impose un coefficient d'absorption $\leq 5 \%$.

5- CONCLUSION

Dans ce chapitre relatif à la caractérisation des matériaux utilisés pour la formulation de notre béton, on a présenté les différents essais exécutés au laboratoire selon les standards. On conclue, au vu des résultats obtenus, que pratiquement tous les matériaux sont conformes et répondent aux exigences des différentes normes.

CHAPITRE 4 :

PARTIE

EXPÉRIMENTALE

SOMMAIRE DU CHAPITRE 4

Chapitre 4 : Partie expérimentale	81
1- Formulation de référence	83
1.1- Détermination de la résistance à la compression	83
1.2- Dimension maximale 'D' des granulats	83
1.3- Calcul de la quantité d'eau	83
1.4- Détermination de la composition granulaire	84
1.5- Détermination de la composition en volume absolu	86
1.6- Détermination de la composition pondérale en Kg pour 1m ³	87
1.7- Ajustement	87
2- Variation de la quantité d'eau par rapport à la quantité de ciment pour un dosage de 350 kg	88
3- Utilisation des adjuvants	88
3.1- Choix des adjuvants	88
3.2- Formulations étudiées.....	90
4- Variation du dosage en ciment	91
4.1- Masse de ciment.....	91
4.2- Masse d'eau.....	91
4.3- Masse de sable	91
4.4- Masse des graviers	91

5-	Utilisation des adjuvants	92
5.1-	Formulations des bétons adjuvantés étudiés	92
6-	Caractérisation des bétons.....	93
6.1-	A l'état frais.....	93
6.2-	Confection des éprouvettes	93
6.3-	A l'état durci	94
7-	Résultats obtenus.....	96
7.1-	Bétons ordinaires non adjuvantés.....	96
7.2-	Bétons adjuvantés	97
8-	Etude d'une formulation au niveau de la centrale	103
9-	Comparaison entre les bétons proposés et ceux commercialisés par la centrale	105
10-	Recommandations	107
11-	Etude technico-economique	110
12-	Conclusion	111

Dans ce chapitre, on décrit dans le détail, les calculs élaborés pour l'obtention de la formulation de référence à l'aide de la méthode de DREUX-GORISSE. Ensuite, on intervient sur le rapport E/C que nous faisons varier ainsi que plusieurs adjuvants pour deux types de dosage du ciment afin d'optimiser les formulations à utiliser pour la centrale à béton. En cas d'intempéries, on procède à la correction des formulations choisies, en prenant en considération la teneur en eau des granulats utilisés. D'autres propositions pour le bon fonctionnement de la centrale à béton 'Sogerhwit', suivent à la fin.

1- FORMULATION DE RÉFÉRENCE

Pour notre formulation de référence, nous avons utilisés la méthode de Dreux-Gorisse (Dreux et Festa, 1998), (Dreux et Gorisse, 1983), dont les calculs sont détaillés comme suit :

1.1- Détermination de la résistance à la compression

La valeur généralement spécifiée est la résistance caractéristique à 28 jours (f_{c28}), et la résistance moyenne (f_c) à atteindre peut être évaluée 15% supérieure, soit :

$$f_c = 1,15 * f_{c28}$$

Avec : $f_{c28} = 30 \text{ Mpa}$, on obtient : $f_c = 34,5 \text{ MPa}$

1.2- Dimension maximale 'D' des granulats

A partir des courbes granulométriques des granulats caractérisés (voir chapitre 3), la valeur 'D' qu'on a tirée est telle que le refus sur le tamis correspondant soit la plus proche de 8% dans notre cas, **D = 24mm**.

1.3- Calcul de la quantité d'eau

Le rapport du poids de ciment au poids d'eau par m^3 de béton est défini en fonction de la résistance moyenne escomptée selon la relation de Bolomey :

$$f_c = G * F_{CE} \left[\frac{C}{E} - 0.5 \right]$$

Où :

f_c : Résistance moyenne du béton à 28 jours,

G : Coefficient granulaire (voir l'Annexe 4.1),

F_{CE} : Résistance moyenne du ciment à 28 jours,

C : Masse de ciment par m^3 de béton,

E : Masse d'eau par m^3 béton.

Pour notre cas, on a :

$$f_c = 34.5 \text{ MPa},$$

$$G = 0.5,$$

$$F_{CE} = 45 \text{ Mpa},$$

$$C = 350 \text{ kg/m}^3.$$

Et par la suite, on obtient : $E = 172 \text{ kg/m}^3$.

1.4- Détermination de la composition granulaire

1.4.1- Tracé de la courbe granulométrique de référence

Sur le graphique d'analyse granulométrique, on trace une composition granulaire de référence **OAB**.

Le point **B** (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension **D** du plus gros granulat, c'est-à-dire :

$$\text{Point B} : \begin{cases} x = D_{\max} \\ Y = 100\% \end{cases} : \begin{cases} x = 24 \\ Y = 100\% \end{cases}$$

$$\text{Point O} : \begin{cases} x = 0.063 \\ Y = 0 \end{cases}$$

Le point de brisure **A** à les coordonnées suivantes:

- en abscisses (à partir de la dimension D du tamis) :

si : $D \leq 20 \text{ mm}$; l'abscisse est $D/2$,

si : $D \geq 20 \text{ mm}$; l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.

Pour notre cas, $D = 24 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm}$, donc l'abscisse est située au milieu du «segment gravier».

- en ordonnées :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K$$

Où :

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (voir l'Annexe 4.2), et également du module de finesse du sable.

D'après l'Annexe 4.2, on a : $K = 2$.

Une correction supplémentaire sur K peut être effectuée en ajoutant les valeurs K_s et K_p .

Avec :

$$Ks = 6Mf - 15 = 6 * 2,16 - 15 = -2,028$$

Mf : Module de finesse du sable.

Pour notre cas, les bétons formulés et utilisés dans la centrale à béton 'Sogerhvit' doivent être pompables, et pour cette raison on prend : $Kp = 10$, où Kp varie entre +5 et +10.

Donc :

$$Y = 50 - \sqrt{23,99} + 9,972 = \mathbf{55,07}.$$

D'où :

$$\text{Point A : } \begin{cases} x = \text{Mileu du segment gravier} \\ Y = 55,07 \end{cases}$$

1.4.2- Détermination des proportions de granulats

On trace une ligne de partage joignant le point correspondant à **95% des granulats fins** au point correspondant à **5% des gros granulats**.

On lit alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la droite de partage, les pourcentages en volume absolu de chacun des granulats (Dreux et Festa, 1998).

D'après le graphe des courbes granulométriques avec les droites de partage et la courbe de référence (voir fig.4.1), nous avons obtenu les pourcentages suivants :

Sable : 43 %,

Gravier 4/8 : 8,5 %,

Gravier 8/16 : 23 %,

Gravier 16/25 : 25,5 %.

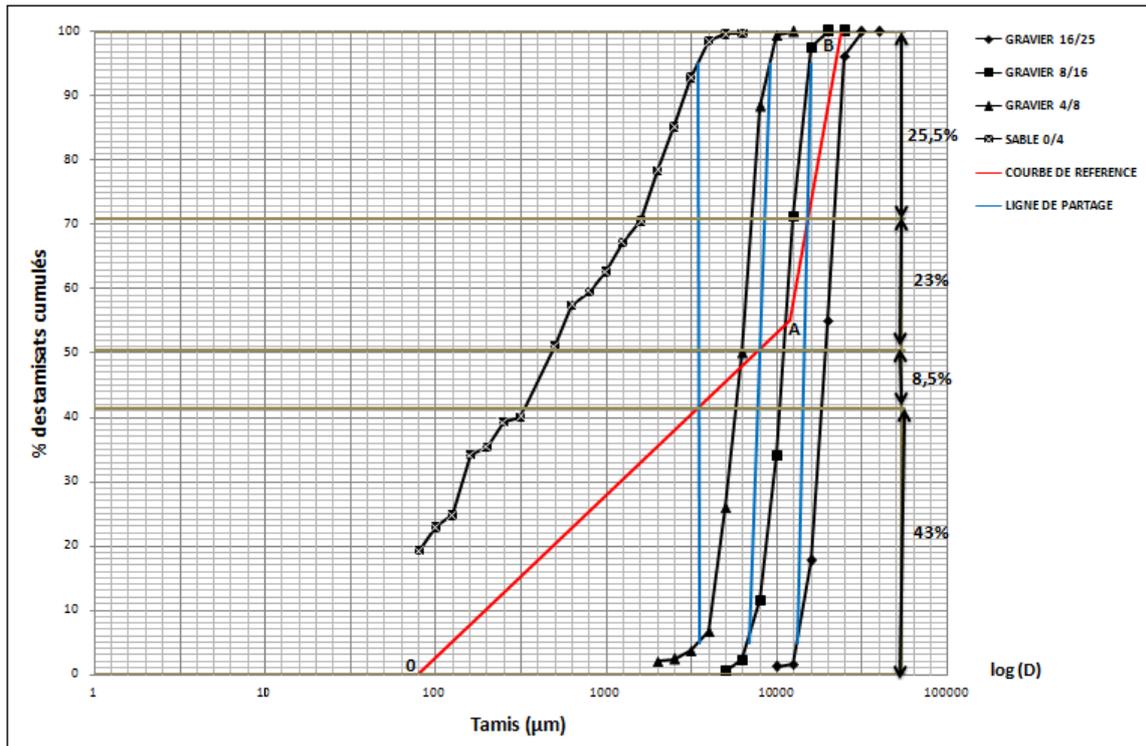


Figure 4. 1 : Détermination des proportions de granulats selon la méthode de Dreux-Gorisse

1.5- Détermination de la composition en volume absolu

1.5.1- Volume de ciment

$$V_c = \frac{c}{\rho_c}$$

Où :

V_c : Volume absolu de ciment en dm^3 ,

c : Masse de ciment qui égale à **350 kg**,

ρ_c : Masse volumique absolue du ciment qui égale à **2,924 kg/dm^3** .

Donc, $V_c = 119,69 \text{dm}^3$.

1.5.2- Volume de granulats

$$V = 1000\gamma - V_c$$

Où :

V : Volume absolu de l'ensemble des granulats en dm^3 ,

γ : Coefficient de compacité tiré d'après l'Annexe 4.3, et qui est égale à **0,8267**.

Donc, $V = 707 \text{dm}^3$.

1.5.3- Volume du sable

$$V_s = S\% * V = 0,43 * 707 = 304 \text{ dm}^3.$$

1.5.4- Volume des graviers

$$V_{4/8} = G_{4/8} \% * V = 0,085 * 707 = 60,09 \text{ dm}^3.$$

$$V_{8/16} = G_{8/16} \% * V = 0,23 * 707 = 162,61 \text{ dm}^3.$$

$$V_{16/25} = G_{16/25} \% * V = 0,255 * 707 = 180,29 \text{ dm}^3.$$

1.6- Détermination de la composition pondérale en Kg pour 1m³**1.6.1- Masse de ciment**

Qui égale à **350 kg**.

1.6.2- Masse d'eau

Est égale à **172 l**.

1.6.3- Masse de sable

$$S = V_s * \rho_{abs} = 304 * 2,69784 = 820 \text{ kg}.$$

1.6.4- Masse des graviers

$$G_{4/8} = V_{4/8} * \rho_{abs4/8} = 60,09 * 2,54237 = 152,8 \text{ Kg}.$$

$$G_{8/16} = V_{8/16} * \rho_{abs8/16} = 162,61 * 2,54237 = 413,5 \text{ Kg}.$$

$$G_{16/25} = V_{16/25} * \rho_{abs16/25} = 180,29 * 2,62238 = 472,8 \text{ Kg}.$$

1.7- Ajustement

Pour cette formulation de référence, nous avons calculés la masse volumique réelle du béton frais à partir de la confection des éprouvettes et on a comparé cette dernière avec la masse volumique théorique. La différence entre les résultats, n'exige pas la correction de la formulation trouvée.

2- VARIATION DE LA QUANTITÉ D'EAU PAR RAPPORT À LA QUANTITÉ DE CIMENT POUR UN DOSAGE DE 350 KG

Dans un premier temps, nous avons variés le rapport E/C pour 3 valeurs. La formulation de base, nous a donné E/C = 0,49 ; pour les deux autres valeurs on prend : 0,55 et 0,6, le tableau 4.1 montre les 3 premières formulations en considérant cette variation du rapport E/C.

Tableau 4. 1 : Formulation pour 1 m³du béton au dosage de 350 kg de ciment

Formulations	Ciment (kg)	Eau (l)	Sable (kg)	G 4/8 (kg)	G 8/16 (kg)	G 16/25 (kg)	E/C
1	350	172	820	152,8	413,5	472,8	0,49
2	350	193	820	152,8	413,5	472,8	0,55
3	350	210	820	152,8	413,5	472,8	0,6

Après la confection des éprouvettes, toutes ces formulations ont été vérifiées et ne nécessitent donc aucun ajustement des masses.

3- UTILISATION DES ADJUVANTS

3.1- Choix des adjuvants

Pour nos formulations, nous avons utilisés 4 types d'adjuvants, qui sont :

3.1.1- L'adjuvant 'UNICUM PC 6'

UNICUM PC6 est un super plastifiant de dernière génération à base de polymère acrylique. Il est destiné spécialement pour la préfabrication d'éléments en béton exigeant des résistances mécaniques élevées à jeune âge, Cet adjuvant est commercialisé par l'entreprise HASNAOUI (Sidi Bel Abbès).

Le dosage recommandé par le fournisseur de **l'UNICUM PC6**, se situe entre **0,5** et **1,5** % du poids du ciment.

3.1.2- L'adjuvant 'TEKSUPERFLOW 2000 R'

TEKSUPERFLOW 2000 R est un super plastifiant réducteur d'eau de la famille des polycarboxylates. En plus de sa fonction principale, il présente un effet secondaire de retardateur de prise du béton, cet adjuvant est commercialisé par l'entreprise HASNAOUI (Sidi Bel Abbes).

Le dosage préconisé est de **0,8 à 2,0 %** par rapport au poids du ciment.

Un retard de prise est observé selon l'importance du dosage de l'adjuvant et le type du ciment utilisé.

3.1.3- L'adjuvant 'SUPERIOR RM 34'

SUPERIOR RM 34 est un super fluidifiant à très hautes performances, pour l'élévation des résistances initiales et finales qu'il confère au béton, ainsi que l'ouvrabilité et son maintien, dans le temps.

Sa conception, basée sur des poly carbones de silicates modifiés, est le résultat de longues recherches en laboratoire et sur chantier, pour des solutions multiples.

Le dosage recommandé pour l'adjuvant **SUPERIOR RM 34** varie entre **0,6 à 1,2 %** du poids du ciment.

3.1.4- L'adjuvant 'GLENIUM 26'

Le **GLENIUM 26** est un adjuvant non chloré d'une nouvelle génération chimique à base d'éther polycarboxylique. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton où haute qualité, durabilité, performance et ouvrabilité sont requises.

Le dosage recommandé est de **0,6 à 3,0 %** par rapport au poids du ciment.

3.2- Formulations étudiées

Pour la formulation de référence avec le rapport E/C = 0,49, nous avons ajoutés ces adjuvants et on a fait varier le dosage de chaque adjuvant (tableau 4.2), à l'exception de 'UNICUM', et ceci après avoir découvert son incompatibilité avec le ciment 'Matine' de Lafarge.

Tableau 4. 2 : Bétons adjuvantés au dosage en ciment de 350 kg

Formulations	Ciment (kg)	Eau (l)	Sable (kg)	G 4/8 (kg)	G 8/16 (kg)	G 16/25 (kg)	Adjuvant (%)
4	350	172	820	152,8	413,5	472,8	TEKSUPERFLOW (0,8)
5	350	172	820	152,8	413,5	472,8	TEKSUPERFLOW (1,5)
6	350	172	820	152,8	413,5	472,8	TEKSUPERFLOW (1,9)
7	350	172	820	152,8	413,5	472,8	SUPERIOR RM (0,6)
8	350	172	820	152,8	413,5	472,8	SUPERIOR RM (0,9)
9	350	172	820	152,8	413,5	472,8	SUPERIOR RM (1,1)
10	350	172	820	152,8	413,5	472,8	GLENIUM (0,6)
11	350	172	820	152,8	413,5	472,8	GLENIUM (0,9)
12	350	172	820	152,8	413,5	472,8	GLENIUM (1,1)

4- VARIATION DU DOSAGE EN CIMENT

Dans un deuxième temps, nous avons recalculés la formulation de référence avec un dosage de ciment de **400 kg/m³**, par la méthode de Dreux-Gorisse, afin de trouver les masses des autres constituants pour 1 m³ de béton.

4.1- Masse de ciment

Qui égale à **400kg**.

4.2- Masse d'eau

Qui égale à **197 l**.

4.3- Masse de sable

$$S = V_s * \rho_{abs} = 296,657 * 2,69784 = \mathbf{800 \text{ kg}}$$

4.4- Masse des graviers

$$G_{4/8} = V_{4/8} * \rho_{abs_{4/8}} = 58,64 * 2,54237 = \mathbf{149 \text{ kg}}$$

$$G_{8/16} = V_{8/16} * \rho_{abs_{8/16}} = 158,68 * 2,54237 = \mathbf{403,5 \text{ kg}}$$

$$G_{16/25} = V_{16/25} * \rho_{abs_{16/25}} = 175,92 * 2,62238 = \mathbf{461,3 \text{ kg}}$$

Le rapport G/S = 1,26 qu'on obtenu pour nos formulations est intéressant car il permet d'assurer une meilleure pompabilité des bétons, contrairement au rapport des formulations de Sogerhwit (voir le chapitre 2).

5- UTILISATION DES ADJUVANTS

5.1- Formulations des bétons adjuvés étudiés

Pour la nouvelle formulation avec le rapport E/C = 0,49, nous avons aussi variés le dosage des adjuvés comme montre le tableau 4.3.

Tableau 4. 3 : Bétons adjuvés au dosage en ciment de 400 kg

Formulations	Ciment (kg)	Eau (l)	Sable (kg)	G 4/8 (kg)	G 8/16 (kg)	G 16/25 (kg)	Adjuvant (%)
13	400	197	800	149	403,5	461,3	SUPERIOR RM (0,6)
14	400	197	800	149	403,5	461,3	SUPERIOR RM (0,8)
15	400	197	800	149	403,5	461,3	SUPERIOR RM (1)
16	400	197	800	149	403,5	461,3	GLENIUM (0,6)
17	400	197	800	149	403,5	461,3	GLENIUM (0,8)
18	400	197	800	149	403,5	461,3	GLENIUM (1)

6- CARACTÉRISATION DES BÉTONS

6.1- A l'état frais

Pour les formulations étudiées, nous avons caractérisés nos bétons à l'état frais par l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui a été effectué selon la norme Algérienne NA 431. Pour chaque formulation nous avons mesurés l'affaissement correspondant (figure 4.2).



Figure 4. 2 : L'essai d'affaissement

6.2- Confection des éprouvettes

Une fois le malaxage terminé, les éprouvettes de béton sont confectionnées en utilisant des moules cylindriques 16x32 cm conformément à la norme NA 2600 (figure 4.3).



Figure 4. 3 : Confection des éprouvettes

Clicours.COM

6.2.1- Mise en place du béton

La mise en place dépend de la consistance du béton qui est mesurée à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams, conformément à la norme NA 431.

- Lorsque l'affaissement mesuré est inférieur ou égale à 9, nous avons procédé à la mise en place du béton dans le moule cylindrique 16x32 cm en trois couches d'égale importance par table vibrante, conformément à la norme NF P 18-422.

- Lorsque l'affaissement mesuré est supérieur ou égale à 10, nous avons procédé à la mise en place du béton dans le moule cylindrique 16x32 cm en trois couches d'égale importance par piquage à raison de 25 coups par couche, conformément à la norme NF P 18-423.

Enfin, on procède à l'arasement de la surface supérieure de l'éprouvette à l'aide d'une règle d'arasement, conformément à la norme NF P 18-404 (figure 4.3).

6.2.2- Conservation des éprouvettes

Après le remplissage du béton dans les moules, on les a conservées pendant 24 heures et après démoulage, on les a immergées dans l'eau pour une cure de 28 jours, conformément à la norme NA 426 (figure 4.4).



Figure 4. 4 : Cure des éprouvettes confectionnées

6.3- A l'état durci

Nous avons caractérisés nos bétons à l'état durci en identifiant :

6.3.1- Mesure de la masse volumique

Pour chaque éprouvette, on a calculé sa masse volumique, en divisant la masse par le volume correspondant conformément à la norme NA 427 (figure 4.5).



Figure 4. 5 : Mesure de la masse des éprouvettes en béton durci

6.3.2- Essai d'écrasement

Pour les besoins de cet essai, nous avons procédé au surfaçage des éprouvettes par l'utilisation d'un mélange normalisé afin de rendre les deux surfaces de l'éprouvette planes et parallèles (figure 4.6).



Figure 4. 6 : Surfaçage des éprouvettes

Après le surfaçage, nous avons procédé à la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes conformément à la norme NA 427 après centrage de l'éprouvette sur la presse et en plaçant le sens de la partie arasée en haut. La contrainte de rupture est obtenue directement par la machine d'essai (figure 4.7).



Figure 4. 7 : Presse universelle

7- RÉSULTATS OBTENUS

Pour chaque formulation, nous avons mesurés les caractéristiques des éprouvettes en béton aux états frais et durci.

7.1- Bétons ordinaires non adjuvés

Le tableau 4.4 et la figure 4.8 présentent les résultats d'affaissement et d'écrasement pour chaque formulation non adjuvée en fonction du rapport E/C.

Tableau 4.4 : Plasticité et résistances à la compression des bétons non adjuvés

Formulation	Ouvrabilité (cm)	Classe (Selon NF EN 206-1)	Résistance conventionnelle à la compression (MPa)
1	1	S1	41,5
2	5	S2	38,3
3	11	S3	32,6

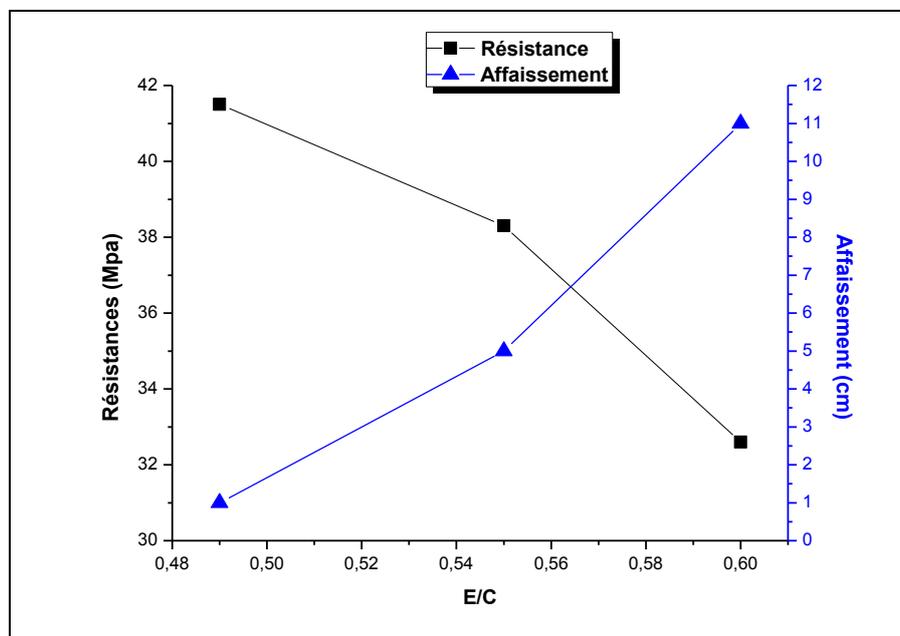


Figure 4.8 : Ouvrabilité et résistances des bétons non adjuvés

La figure 4.8 montre que l'augmentation du rapport E/C dans les limites étudiées (0,49 – 0,6), fluidifie le béton à l'état frais (très ferme à plastique) et diminue par voie de conséquence de manière sensible (environ 10 MPa), la résistance conventionnelle à la compression du béton.

7.2- Bétons adjuvés

Le tableau 4.5 rassemble les résultats d'affaissement et d'écrasement de chaque formulation adjuvée pour différents adjuvés et pour les divers dosages appliqués.

Tableau 4.5 : Plasticité et résistances à la compression des bétons adjuvés

Formulation	Ouvrabilité (cm)	Classe (Selon NF EN 206-1)	Résistance conventionnelle à la compression(MPa)
4	1	S1	42,3
5	1,5	S1	42,9
6	2	S1	43,9
7	12,8	S3	40
8	16	S4	42
9	22,5	S5	39,2
10	12,4	S3	39,5
11	15,3	S3	41
12	19	S4	37,2
13	22,8	S5	44,4
14	23,5	S5	41,7
15	24	S5	40,8
16	22,5	S5	43,2
17	23,3	S5	40,1
18	23,8	S5	39,5

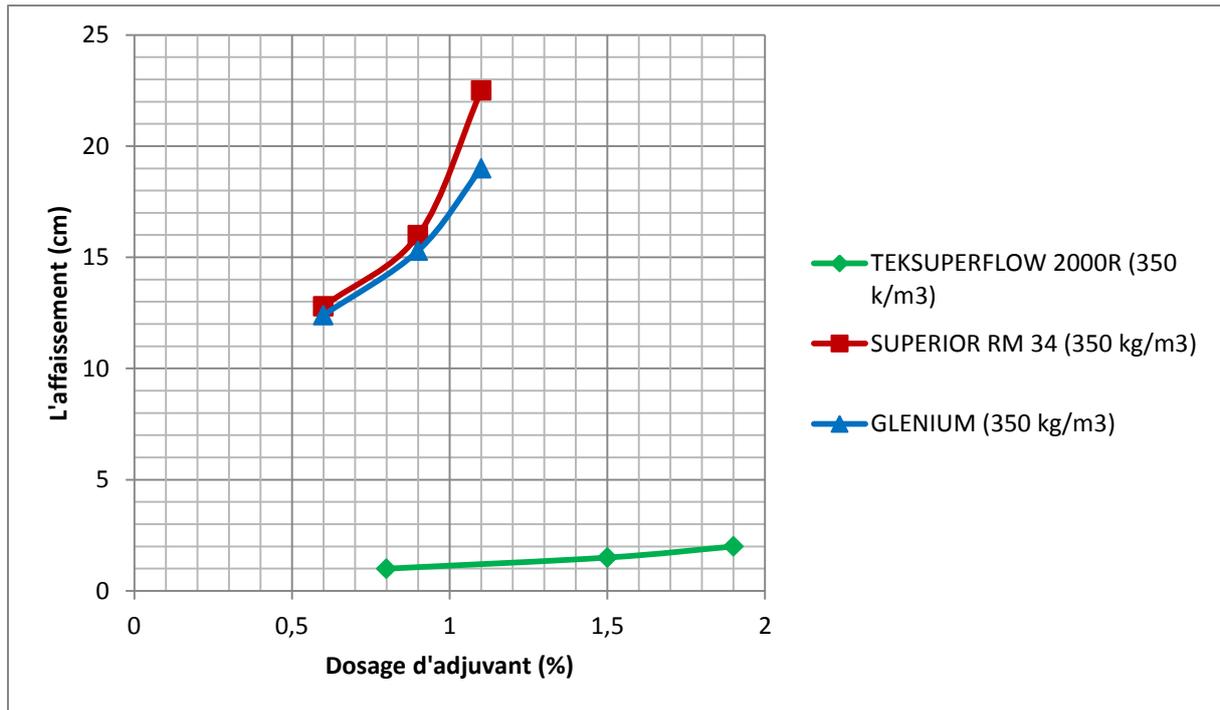


Figure 4. 9: Ouvrabilité des bétons adjuvantés pour un dosage en ciment de 350 kg/m³

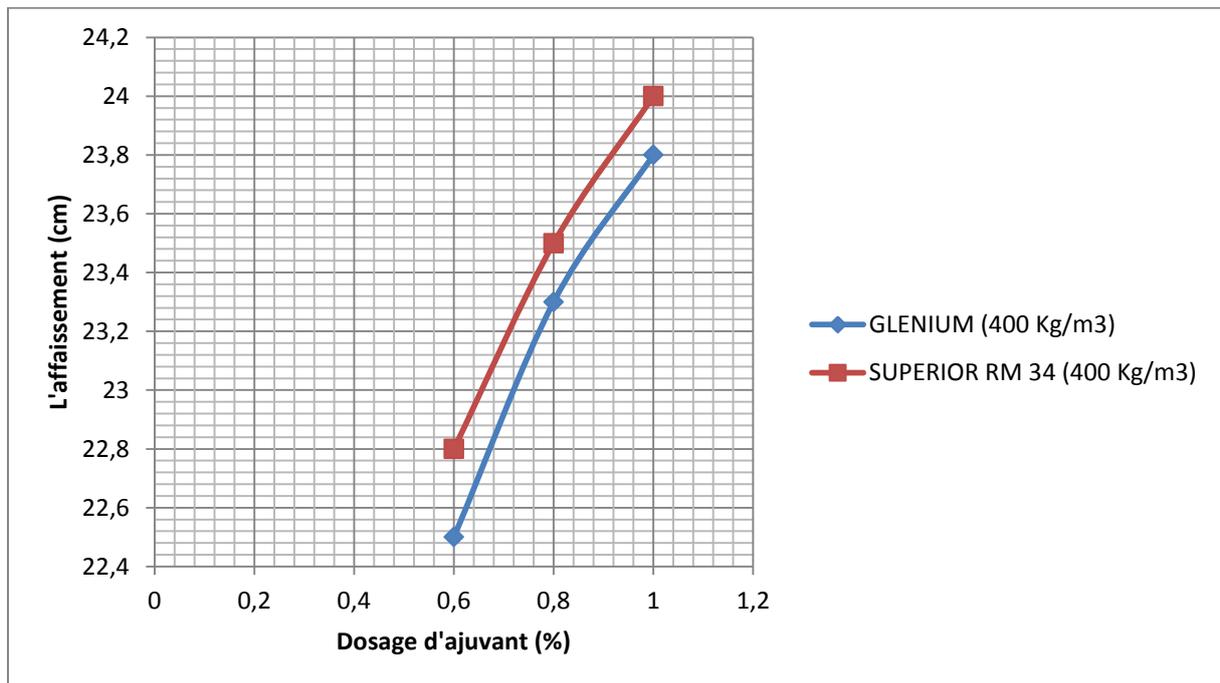


Figure 4. 10 : Ouvrabilité des bétons adjuvantés pour un dosage en ciment de 400 kg/m³

L'allure des courbes 4.9 et 4.10 révèle une action différente des superplastifiants. Pour des bétons dosés à 350 kg/m^3 , l'influence des adjuvants SUPERIOR et GLENIUM semble être presque identique pour un faible dosage, c.-à-d. inférieur à 0,9 %.

En revanche pour des dosages de superplastifiant supérieurs à 0,9 %, l'adjuvant 'SUPERIOR' fournit de meilleurs résultats que le superplastifiant 'GLENIUM'.

L'utilisation de l'adjuvant 'SUPERIOR' est encore plus bénéfique pour les bétons dosés à 400 kg/m^3 de ciment.

Ces résultats peuvent être expliqués par les résultats de HIRSH qui a attribué ce phénomène à la densité anionique des polymères.

Par ailleurs, il est clair que le superplastifiant 'TEKSUPERFLOW 2000R' reste incompatible avec le ciment utilisé. Ce que nous avons aussi confirmé au de la centrale où nous avons trouvés un affaissement de 7 cm avec un dosage de ciment de 350 kg/m^3 avec un 1 % d'adjuvant.

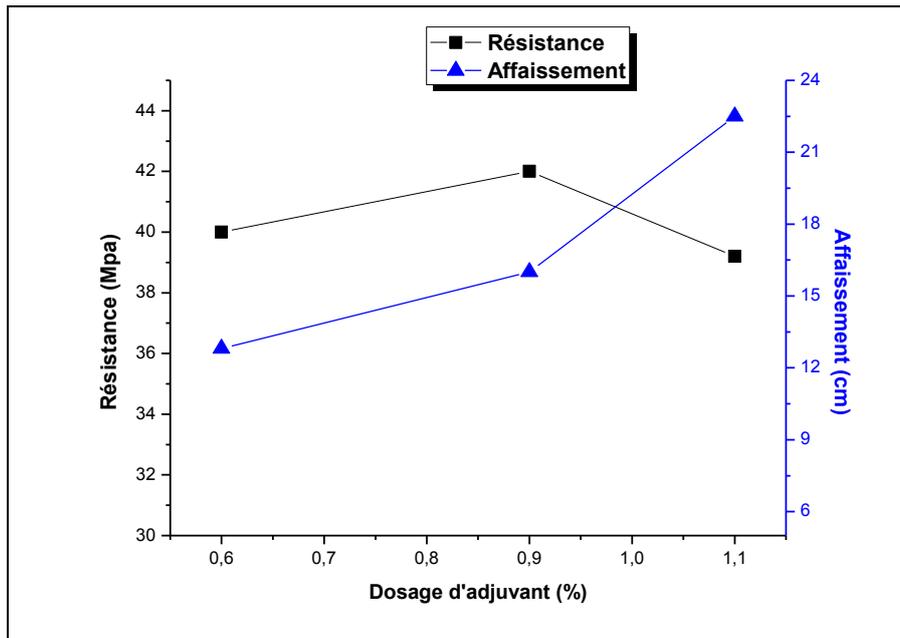


Figure 4. 11 : Ouvrabilité et résistances des bétons adjuvantés avec ‘SUPERIOR RM 34’ pour un dosage de 350 Kg/m³

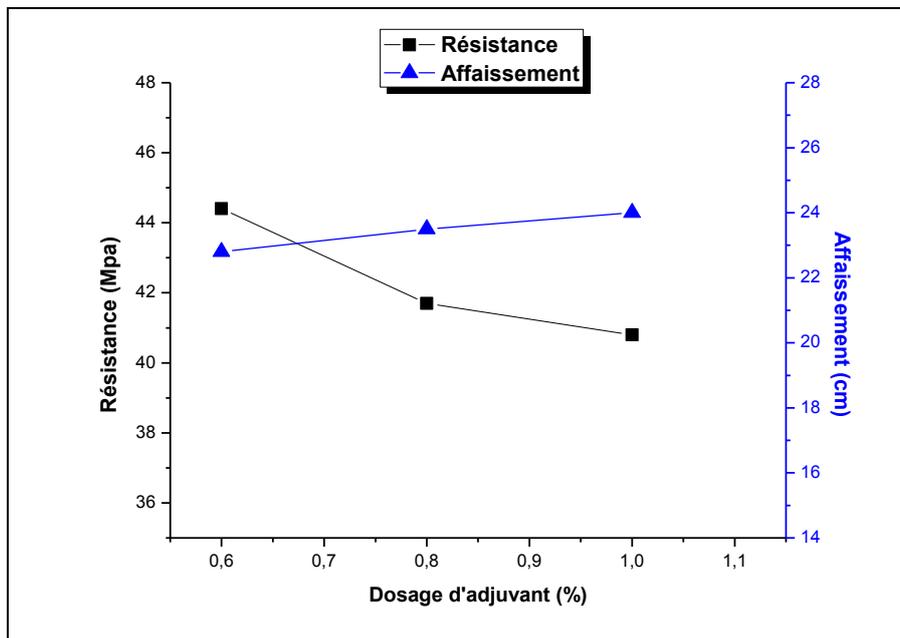


Figure 4. 12 : Ouvrabilité et résistances des bétons adjuvantés avec ‘SUPERIOR RM 34’ pour un dosage de 400 Kg/m³

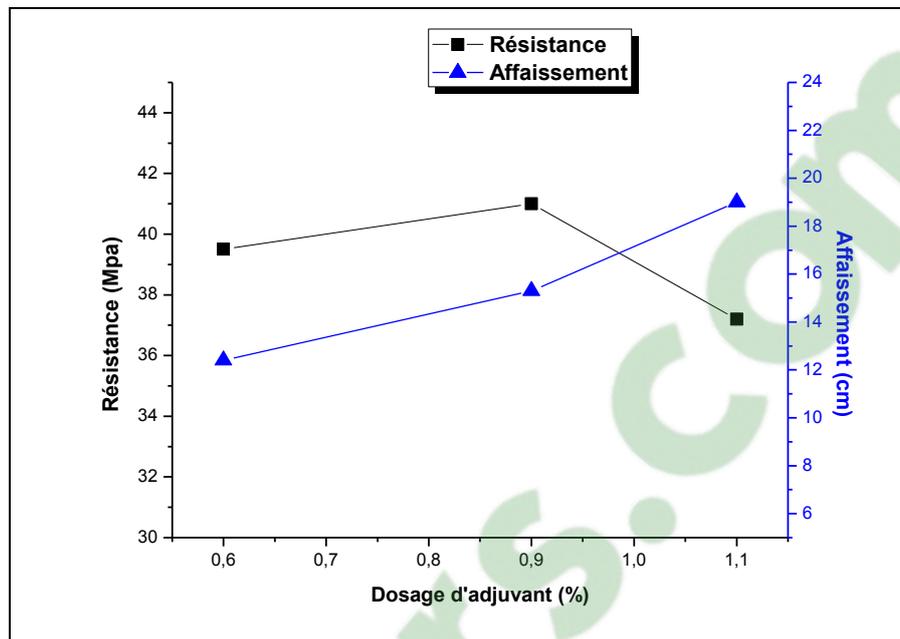


Figure 4. 13 : Ouvrabilité et résistances des bétons adjuvés avec 'GLENIUM' pour un dosage de 350 Kg/m^3

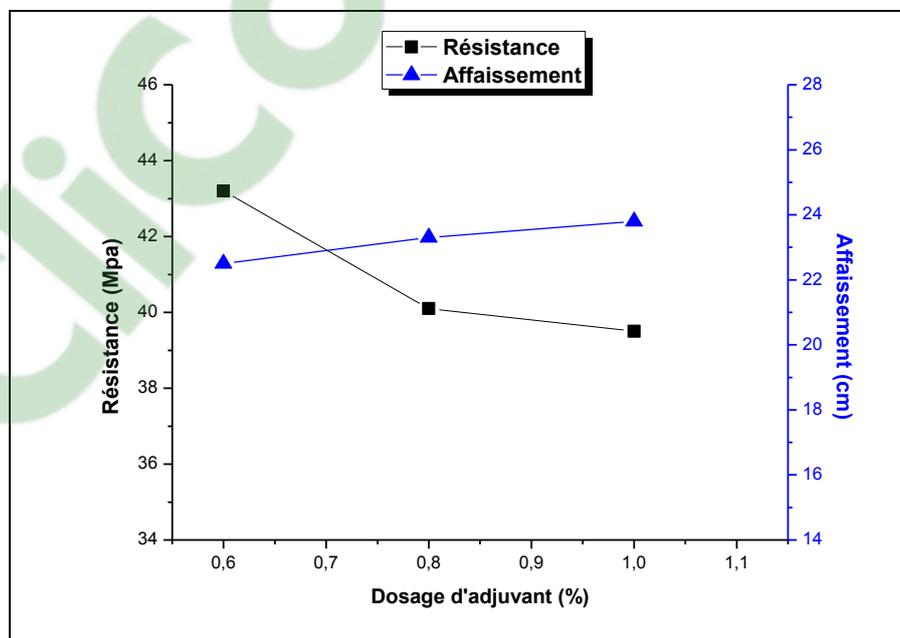


Figure 4. 14 : Ouvrabilité et résistances des bétons adjuvés avec 'GLENIUM' pour un dosage de 400 Kg/m^3

■ : L'adjuvant 'SUPERIOR RM 34'

■ : L'adjuvant 'GLENIUM 26'

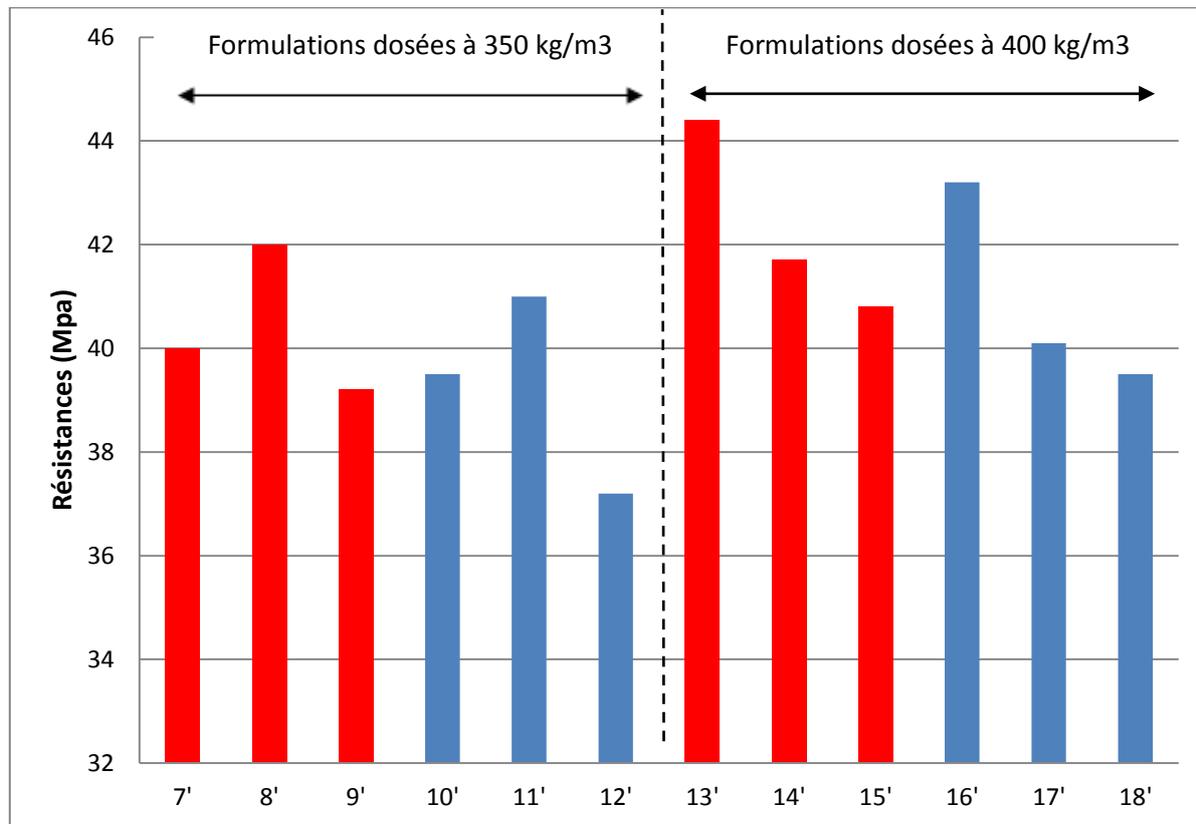


Figure 4. 15 : Résistances à la compression conventionnelles des bétons adjuvantés pour les dosages 350 et 400 Kg/m³

- la figure 4.15, montre que les résistances à la compression de la majorité des bétons adjuvantés atteignent les 40 MPa. L'utilisation des superplastifiants déflocculent les grains de ciment et évitent la formation de grumeaux. Leurs utilisations assurent une meilleure hydratation du liant engendrant ainsi de plus grandes résistances.

- A partir des figures 4.11, 4.12, 4.13 et 4.14, on peut noter que, un dosage de 0,9 % des deux adjuvants 'SUPERIOR RM' et 'GLENIUM' est recommandé pour les bétons dosés à 350 kg /m³ (voir fig.11 et 13). En revanche, il faut réduire ce dosage à 0,6 % lorsque le béton est dosé à 400 kg /m³ (voir fig.12 et 14). On peut déduire que le dosage en ciment conditionne le dosage en superplastifiant.

8- ETUDE D'UNE FORMULATION AU NIVEAU DE LA CENTRALE

Au niveau de la centrale à béton Sogerhvit, les responsables de la centrale ont émis le vœu de procéder à la confection d'un béton non adjuvanté avec un dosage de ciment de 350 kg/m³ et un rapport E/C = 0,55.

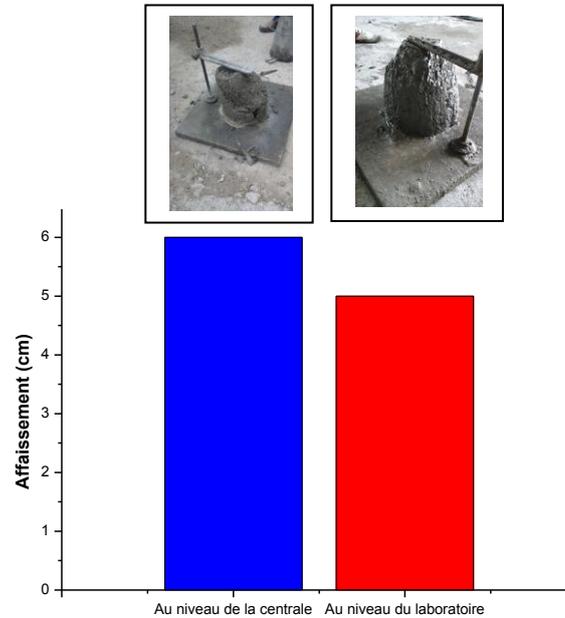


Figure 4. 16 : Comparaison des affaissements

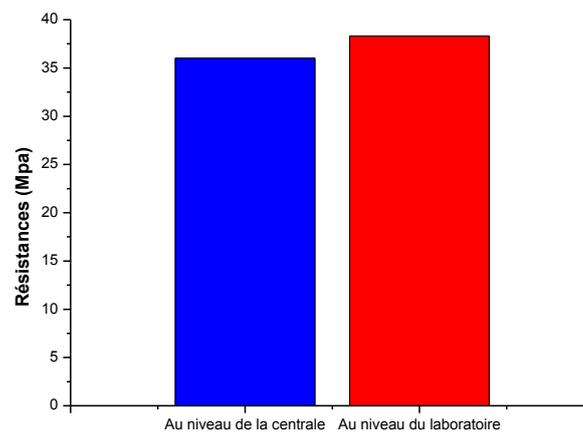


Figure 4. 17 : Comparaison des résistances

Il est clair que la résistance obtenue au niveau du laboratoire est plus grande car d'un côté, l'ensemble des granulats ont été étuvés et présentent une teneur en eau nulle et d'un autre côté la quantité d'eau de gâchage a été prise avec précision.

Par ailleurs, les résultats des formulations exécutées dans la centrale à béton Sogerhvit montrent qu'il y a une augmentation au niveau de la plasticité et une diminution de la résistance par rapport à celles que nous avons exécutés dans notre laboratoire (fig. 4.16 et 4.17), et ceci revient à l'effet de l'eau qui est utilisée pour le nettoyage des camions malaxeurs après son remplissage par le béton comme nous avons précisé dans le chapitre 2.

Néanmoins, la différence entre les résultats trouvés au niveau de la centrale et ceux trouvés au niveau du laboratoire n'est très importante, ce qui prouve que l'effet d'échelle n'a pas beaucoup d'influence. Cependant, nous recommandons aux responsables de la centrale de faire attention à l'humidité des granulats, aussi qu'à la quantité d'eau de nettoyage dont une partie reste dans les camions malaxeurs.

9- COMPARAISON ENTRE LES BÉTONS PROPOSÉS ET CEUX COMMERCIALISÉS PAR LA CENTRALE

- : Formulations adjuvantées dosées à 350 kg/m³
- : Formulations adjuvantées dosées à 400 kg/m³
- : Formulations non adjuvantées dosées à 350 kg/m³

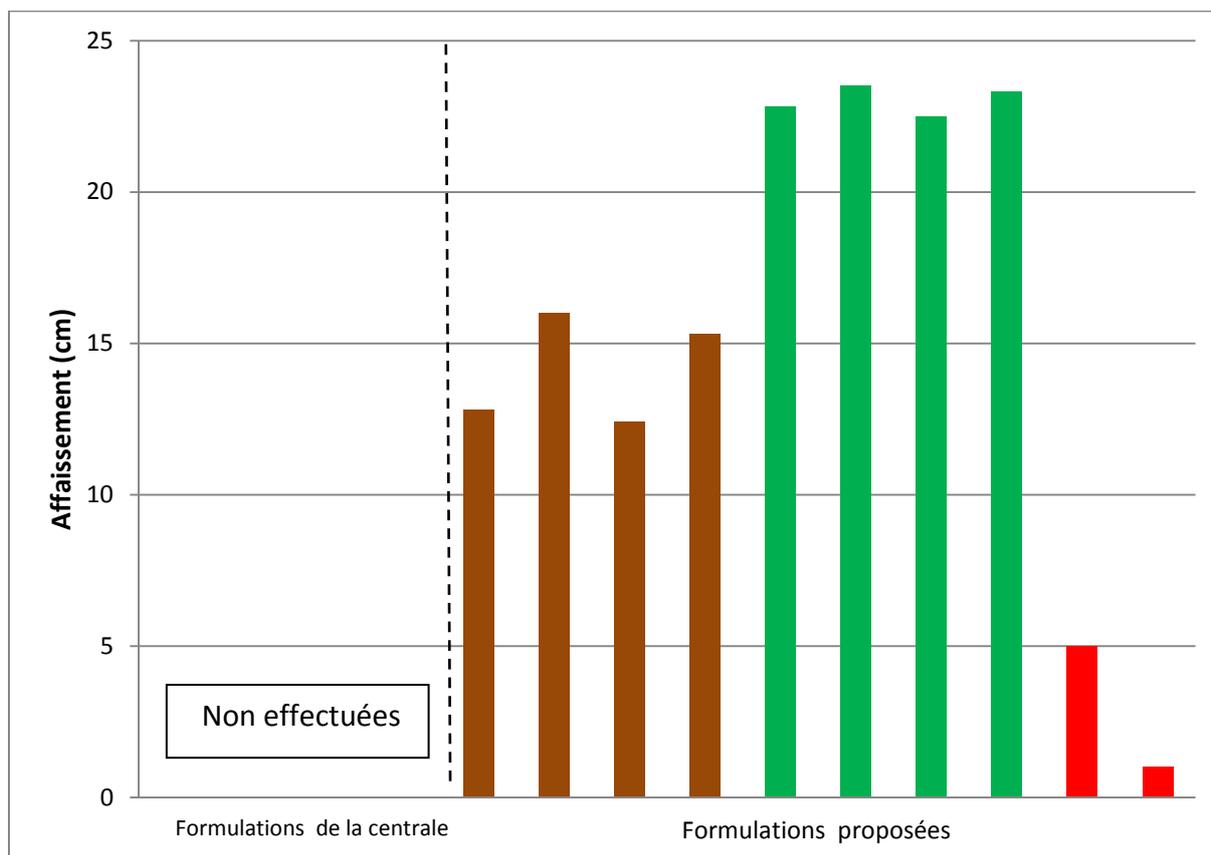


Figure 4. 18 : Affaissements des formulations proposées

Dans notre travail, nous avons essayé de proposer plusieurs bétons de différentes classes d'affaissements. A partir de la figure 4.18, on constate qu'il ya une corrélation entre la consistance du béton et l'interaction entre le dosage en ciment et en adjuvant.

Par ailleurs, nous recommandons à la centrale de ne pas négliger ce paramètre car il permet de fixer les moyens de serrage.

- : Formulations non adjuvantées dosées à 350 kg/m³
- : Formulations adjuvantées dosées à 350 kg/m³
- : Formulations adjuvantées dosées à 400 kg/m³
- : Formulations non adjuvantées dosées à 350 kg/m³

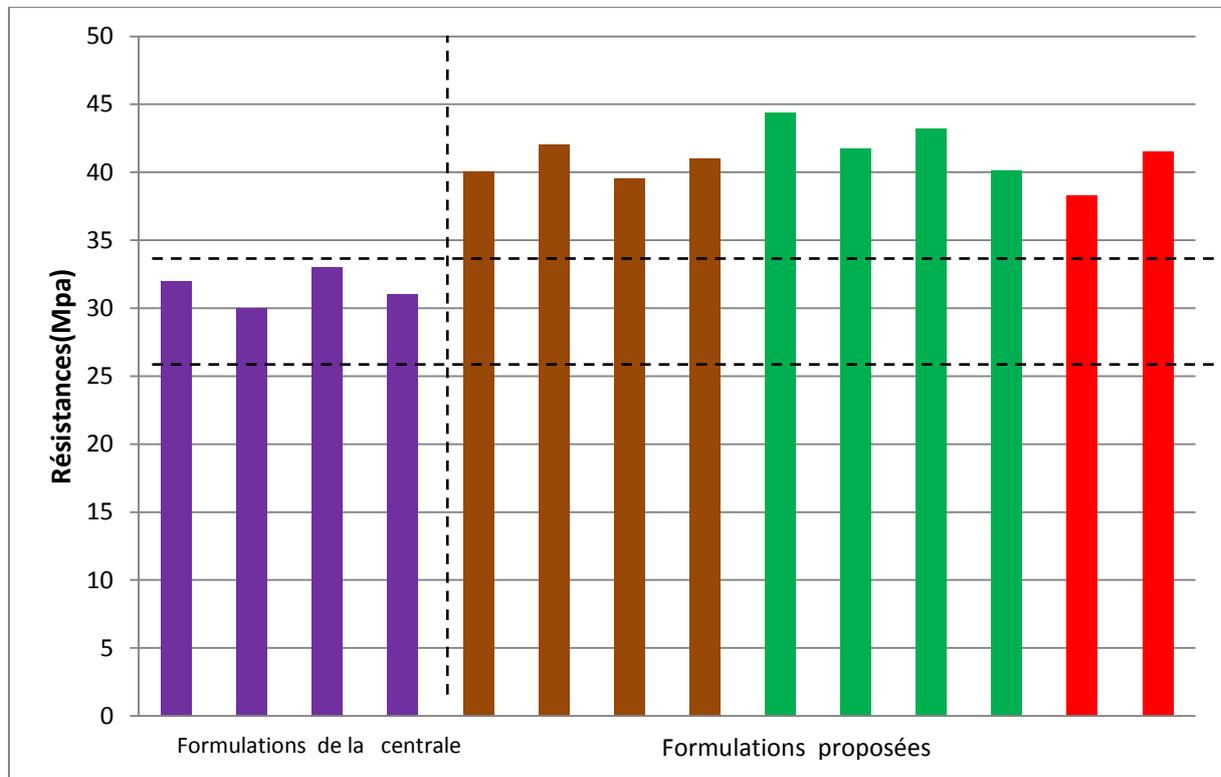


Figure 4. 19 : Comparaison des formulations choisies pour la Sogerwhit par rapport à leurs formulations commercialisées

Les bétons que nous avons proposés (voir fig. 4.19) offrent de meilleures résistances par rapport à ceux commercialisés par la centrale, donc il est recommandé de prendre une différence pour la résistance en considération puisque c'est un plus pour la performance qualité mécanique.

10- RECOMMANDATIONS

• Améliorer le module de finesse :

Le sable de la centrale à béton Sogerhwit provenant de la carrière Ramdani présente un module de finesse égale à 2,16 (chapitre 3), c'est un sable fin. Nous avons calculés au laboratoire, le module de finesse pour le sable qui provient de la carrière de l'ENG, qui est égal à 2,828 (sable grossier).

$$Sable\ ENG = \frac{2,828 - 2,5}{2,828 - 2,16} \approx 50\%$$

$$Sable\ Ramdani = \frac{2,5 - 2,16}{2,828 - 2,16} \approx 50\%$$

Avec :

S1 : Sable grossier,

S2 : Sable fin,

Mf : Module de finesse optimum qui égale 2,5,

Mf1 : Module de finesse pour le sable grossier (ENG), qui est égale à 2,828,

Mf2 : Module de finesse pour le sable fin (RAMDANI), qui est égale à 2,16.

Nous proposons de combiner entre deux sables (sable RAMDANI et L'ENG) afin d'avoir un module de finesse de 2,5 qui permettra non seulement d'améliorer la compacité du mélange et donc la résistance, mais aussi d'améliorer les caractéristiques rhéologiques des bétons et leurs pompabilité puisque le G/S va être encore réduit ($K_s = 0$).

• Prendre en considération la teneur en eau des granulats :

Afin d'assurer la reproductibilité des résultats obtenus au laboratoire, au niveau de la centrale Sogerhwit, il est nécessaire de faire attention à certains paramètres, notamment la teneur en eau du sable. Les formulations proposées sont confectionnées à base de matériaux entièrement secs ($w = 0\%$), condition qui n'est pas toujours assurée au niveau de la centrale (les granulats sont stockés à l'air libre). Il est donc recommandé de vérifier quotidiennement la teneur en eau des granulats. Nous proposons une correction du dosage en eau et du sable en fonction de la teneur de ce dernier.

La teneur en eau du sable peut être mesurée in situ ou au laboratoire par différentes méthodes telles que : la poêle à frire, le speedy, ou le séchage à l'étuve ou encore à l'aide d'une résistance.

$$\omega = \frac{Mh - Ms}{Ms}$$

Avec :

ω : Teneur en eau,

Mh : Masse humide du sable,

Ms : Masse sèche du sable.

Une fois la teneur en eau du sable déterminée, il est nécessaire de déterminer la masse humide (Mh) du sable. La masse humide du sable, ainsi que la quantité d'eau finale qu'il faudra introduire dans le malaxeur.

Avec :

$$Mh = Ms * (1 + \omega)$$

Et :

$$Ec = E - \omega * Ms$$

Avec :

Ec : Dosage en eau corrigé,

E : Dosage en eau en considérant les granulats secs,

ω : Teneur en eau du sable mesurée à la centrale à béton,

Ms : Masse sèche du sable.

Nous proposons dans les annexes 4.5, 4.6 et 4.7 les formulations corrigées en fonction de la teneur en eau ($\omega = 0$ à 10%).

• **Le foisonnement de sable :**

La centrale se base sur des compositions pondérales. Dans le cas où il ya l'utilisation des compositions volumiques, on recommande de prendre en considération le foisonnement du sable (étudié dans le chapitre 3). Par la suite, il ya des corrections des formulations proposées qu'il faut les prendre en compte, le calcul de ces corrections peut présenter comme suit :

- Pour les formulations avec un dosage de ciment de 350 kg/m³ :

La masse du sable égale 820 kg

$$Vs = \frac{Ms}{Mvapp}$$

Où :

V_s : Volume apparent du sable,

M_s : Masse sèche du sable,

M_{vapp} : Masse volumique apparente pour chaque teneur en eau $W(\%)$.

$$V_s = \frac{820}{1646,67} = 0,498 \text{ m}^3 = 498 \text{ l}$$

$$\text{Pour } W = 1\% : M_s = 0,498 * 1360,6 = 677,54 \text{ kg}$$

$$\text{Donc : } M_{sable} = \frac{677,54}{1,01} = 670,83 \text{ kg}$$

$$Meau \text{ apporté par le sable} = 677,54 - 670,83 = 6,71 \text{ l}$$

$$Msable \text{ qui manque} = 820 - 670,83 = 149,17 \text{ kg}$$

- Pour les formulations avec un dosage de ciment de 400 kg/m^3 :

La masse du sable égale 800 kg ,

$$V_s = \frac{800}{1646,67} = 0,486 \text{ m}^3 = 486 \text{ l}$$

$$\text{Pour } W = 1\% : M_s = 0,486 * 1360,6 = 661,25 \text{ kg}$$

$$\text{Donc : } M_{sable} = \frac{661,25}{1,01} = 654,70 \text{ kg}$$

$$Meau \text{ apporté par le sable} = 661,25 - 654,70 = 6,55 \text{ l}$$

$$Msable \text{ qui manque} = 800 - 654,70 = 145,3 \text{ kg}$$

Et tout le calcul pour une teneur en eau varie entre 1 et 10 % pour les formulations proposées est représenté dans les annexes 4.8 et 4.9.

11- ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

Nous présentons dans le tableau 4.6 une étude comparative technico-économique entre les bétons que nous avons proposées et ceux commercialisés par la centrale à béton Sogerhwit.

Dans cette étude qui permet de faire une comparaison de coût, nous présentons les deux meilleures formulations adjuvantées ; la première, pour un dosage en ciment de 350 kg/m³ et la deuxième de 400 kg/m³, et en comparant avec la meilleure formulation commercialisée par la centrale.

Tableau 4. 6 : Comparaison technico-économique des formulations

Composants	Prix unitaire DA/T TTC	For. de la centrale		For. proposées			
		Composition (Kg/m ³)	Prix (DA)	Composition (Kg/m ³)	Prix (DA)	Composition (Kg/m ³)	Prix (DA)
Ciment 42.5 (MATINE)	11000	350	3850	350	3850	400	4400
Sable (RAMDANI)	1200	732	878,4	820	984	800	960
Gravier 4/8 (ENG)	640	384	245,76	152,8	97,79	149	95,36
Gravier 8/16 (ENG)	640	383	245,12	413,5	246,64	403,5	258,24
Gravier 16/25 (ENG)	640	630	403,2	472,8	302,59	461,3	295,23
Adjuvant SUPERIOR RM 34	163 DA/Kg	0	0	3,15	513,45	2,4	391,2
Total (kg/m ³)	-	2479	5622,48	2212,25	5994,47	2216,2	6400,03
Résistance	-	33 MPa		42 MPa		44,4 MPa	
Prix/résistance	-	170,39		142,73		144,14	

Cette étude comparative entre les prix de revient des bétons adjuvantés que nous avons proposés et ceux non adjuvantés commercialisés par la Sogerhwt nous a permis de conclure que, si on compare entre les rapports prix/résistance, on constate que nôtres formulations ont un prix de 1 Mpa plus petit par rapport a la formulation de la centrale, donc elles sont plus économiques, et par la suite les adjuvants que nous avons utilisés ont améliorés la performance et la qualité mécanique du béton.

12- CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons proposés des formulations différentes classes de consistance, nous avons étudiés l'influence de différents adjuvants sur le comportement à l'état frais et mécanique des bétons. Nous avons notés que les deux adjuvants 'SUPERIOR RM 34' et 'GLENIUM 26' offrent les meilleures caractéristiques aux bétons, d'autres adjuvants comme 'TEKSUPERFLOW' et 'UNICUM' ne sont pas recommandés car ils sont incompatibles avec le ciment utilisé.

L'étude d'une formulation au niveau de la centrale a permis de conclure que l'effet d'échelle n'a pas d'influence si la teneur en eau est utilisée.

Après avoir recenser les formulations de la centrale, nous avons notés que l'ensemble de nos bétons ont des caractéristiques mécaniques meilleures que ceux commercialisés par la centrale.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail de fin d'études, est de permettre à Sogerhwit d'adopter une assurance qualité du BPE fabriqué dans sa centrale à béton. Pour répondre à cet objectif, nous avons commencé par formuler à l'aide de la méthode « Dreux-Gorisse », le béton approprié aux constituants que la société utilise et nous avons procédé à l'optimisation de la composition en faisant varier le dosage en eau et de ciment.

L'étude paramétrée élaborée au laboratoire, nous a permis de constater que les superplastifiants : «SUPERIOR RM 34» et «GLENIUM» améliorent considérablement l'ouvrabilité et donnent un gain de résistance. En revanche, l'utilisation des adjuvants : «UNICUM» et «TEKSUPERFLOW 2000R», a montré une incompatibilité avec le ciment MATINE.

Les formulations ayant donné les qualités recherchées ont été confectionnées au sein de la centrale afin d'y vérifier leurs caractéristiques aux états frais et durci et ainsi les comparer avec les résultats trouvés au laboratoire et aussi les résultats de leurs propres formulations.

Le sable utilisé étant fin, nous avons proposé de corriger sa granulométrie par un sable grossier de l'ENG Sidi Abdelli et surtout prendre en considération l'humidité du sable dans la formulation de béton car il est stocké à l'air libre. De plus, nous recommandons l'utilisation des adjuvants dans la formulation car ils ont apportés une augmentation sensible de la qualité mécanique du béton, et par la suite, plusieurs formulations sont proposées et choisies pour la centrale (Annexes 4.4).

PERSPECTIVES

- Elargir le programme expérimental en utilisant plus d'adjuvants commercialisés au niveau national,
- Proposer la substitution du ciment par des additions minérales de la région : fillers, pouzzolane, etc. dans la composition des bétons tout en préservant leur qualité mécanique.

ANNEXES

Annexe 1.1 : Note de sécurité n°75 sur les échelles et escaliers de construction (C.N.A.C., 1999)

Pour avoir un aperçu complet de toutes les mesures de prévention en cas d'utilisation d'échelles, nous vous renvoyons à la note de sécurité **n°75** sur les échelles et escaliers de construction. Dans le cadre de cette note de sécurité, nous retiendrons les règles de base suivantes :

- choisissez la longueur de telle sorte que l'échelle dépasse d'1 mètre la surface à atteindre ou assurez-vous d'une base de soutien solide au sommet,
- utilisez uniquement à proximité des installations électriques des échelles en bois sec ou en matière synthétique,
- contrôlez l'échelle avant chaque utilisation,
- vérifiez si aucun échelon ne manque, s'ils sont en bon état et propres,
- contrôlez si les montants ne sont pas abîmés, pliés ou attaqués et s'ils sont situés dans un même plan,
- vérifiez si les charnières et les brides soient en bon état,
- écarter immédiatement une échelle défectueuse et informez-en le responsable,
- n'utilisez jamais une échelle à l'horizontale,
- ne grimpez jamais en même temps à deux sur une échelle,
- emportez uniquement du matériel ou de l'outillage léger et mettez-le toujours dans un sac,
- dressez correctement l'échelle,
- utilisez des patins sur une surface plane et des pieds réglables pour compenser les différences de hauteur entre les montants,
- gardez le visage tourné vers l'échelle,
- ne grimpez jamais au-delà du quatrième échelon supérieur,
- enserrez complètement l'échelon avec la main,
- veillez à avoir un double appui : déplacez simultanément la main gauche avec la jambe droite et la main droite avec la jambe gauche,
- lorsque vous travaillez, gardez toujours une main libre pour vous agripper,
- veillez à ce que la boucle de ceinture de votre pantalon reste dans l'aire délimitée par les montants de l'échelle,
- ne dépassez pas une distance égale à une longueur de bras par rapport aux montants,
- utilisez un sac de ceinture bien fermé et pas d'outils qui pendent à la ceinture,
- levez les outils ou les matériaux de grande taille avec une corde ou un monte-charge,
- veillez à utiliser des chaussures solides avec des semelles antidérapantes,
- nettoyez les échelons, le profil antidérapant,

- évitez la boue, l'huile, la graisse, la neige,
- n'utilisez pas une échelle en bois humide. Pour le montage d'une échelle, les mesures de sécurité suivantes doivent être prises en compte :
- portez l'échelle légèrement au-dessus de votre tête en veillant aux ouvertures de portes et à la circulation interne,
- portez les échelles lourdes à deux,
- installez l'échelle sur un sol résistant, glissez éventuellement une large planche en dessous du pied, placez le pied au milieu de la planche,
- demandez l'aide d'un collègue ou d'une autre personne lors de la mise en position d'échelles lourdes (+ 25 kg),
- demandez également de l'aide en cas de vent violent,
- utilisez des patins antidérapants,
- fixez éventuellement l'échelle au pied,
- positionnez l'échelle dans le bon angle,
- veillez à ce que la partie supérieure des deux montants repose sur une surface plane,
- utilisez un étrier en cas de fixation contre un poteau,
- fixez la partie supérieure de l'échelle,
- les échelles comptant plus de 25 échelons doivent être fixées,
- ouvrez complètement les échelles doubles, tendez les chaînes d'écartement, veillez à ce que les charnières soient en bon état (goujon dans entaille),
- pour les échelles à coulisse, veillez à avoir 1 mètre de chevauchement minimum des montants,
- pour les échelles à coulisse avec étriers au sommet et crochets dans le bas, gardez la moitié supérieure de l'échelle tournée vers vous,
- verrouillez la porte si l'échelle est placée devant celle-ci,
- signalez la présence de l'échelle,
- délimitez la zone de travail pour les passants,
- fermez le passage et prévoyez une déviation si le passage est trop étroit(C.N.A.C., 1999).

Annexes 3.1 : Analyse granulométrique du sable

Sable 0/4				
La masse de l'échantillon = 1 kg				
Ouverture de tamis (mm)	masse des refus (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
6,3	1.8	1.8	0.18	99.82
5	1.8	3.6	0.36	99.64
4	10.6	14.2	1.42	98.58
3,15	57	71.2	7.12	92.88
2,5	76.6	147.8	14.78	85.22
2	68.4	216.2	21.62	78.38
1,6	77.8	294	29.4	70.6
1,25	33,6	327.6	32.76	67.24
1	45,6	373.2	37.32	62.68
0,8	31	404.2	40.42	59.58
0,63	21,2	425.4	42.54	57.46
0,5	64	489.4	48.94	51.06
0,315	110.2	599.6	59.96	40.04
0,250	8.2	607.8	60.78	39.22
0,2	38	645.8	64.58	35.42
0,16	12.4	658.2	65.82	34.18
0,125	94	752.2	75.22	24.78
0,1	18.6	770.8	77.08	22.92
0,08	36.2	807	80.7	19.3
Fond	193	1000	100	0

Annexes 3.2 : Analyse granulométrique du gravier 4/8

Gravier 4/8				
La masse de l'échantillon = 1.6 kg				
Ouverture de tamis (mm)	masse des refus (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
12.5	0	0	0	100
10	8	8	0.5	99.5
8	178	186	11.625	88.375
6.3	614	800	50	50
5	384	1184	74	26
4	308	1492	93.25	6.75
3.15	50	1542	96.375	3.625
2.5	20	1562	97.625	2.375
2	6	1568	98	2
Fond	30	1598	99.875	0.125

Annexes 3.3 : Analyse granulométrique du gravier 8/16

Gravier 8/16				
La masse de l'échantillon = 3.2 kg				
Ouverture de tamis (mm)	masse des refus (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
25	0	0	0	100
20	0	0	0	100
16	76	76	2.375	97.62
12.5	840	916	28.625	71.375
10	1192	2108	65.875	34.125
8	722	2830	88.438	11.562
6.3	298	3128	97.75	2.25
5	54	3182	99.437	0.563
Fond	14	3196	99.87	0.13

Annexes 3.4 : Analyse granulométrique du gravier 16/25

Gravier 16/25				
La masse de l'échantillon = 5 kg				
Ouverture de tamis (mm)	masse des refus (g)	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
40	0	0	0	100
31.5	0	0	0	100
25	188	188	3.76	96.24
20	2062	2250	45	55
16	1866	4116	82.32	17.68
12.5	804	4920	98.4	1.6
10	20	4940	98.8	1.2
Fond	42	4982	99.64	0.36

Annexe 4.1 : Coefficient granulaire G (Dreux et Festa, 1998)

Les valeurs du tableau supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions.

QUALITE DES GRANULATS	DIMENSIONS DES GRANULATS		
	FINS ($D \leq 16\text{mm}$)	MOYENS ($20\text{mm} \leq D \leq 40\text{mm}$)	GROS ($D \geq 50\text{mm}$)
EXCELLENTE	0,55	0,60	0,65
BONNE, COURANTE	0,45	0,50	0,55
PASSABLE	0,35	0,40	0,45

Annexe 4.2 : Valeur du terme correcteur K (Dreux et Festa, 1998)

VIBRATION		FAIBLE		NORMALE		PUISSANTE	
Forme des granulats (des sables en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + superpl.	-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	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

NOTA 1 : Correction supplémentaire K_s : Si le module de finesse du sable est fort (Sable grossier) une correction supplémentaire sera apporté de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire sur K peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = M_f - 15$ (M_f étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec optimale de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

NOTA 2 : Correction supplémentaire K_p : Si la qualité du béton est précise « pompable », il convient conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courante ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = +5$ à $+10$ environ selon le degré de plasticité désiré.

Annexe 4.3 : Valeurs du coefficient de compacité γ (Dreux et Festa, 1998)

Consistance	Serrage	coefficient de compacité γ						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 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	0.730	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	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes:

- sable roulé et gravier concassé = - 0.01,
- sable et gravier concassé = - 0.03.

Annexe 4.4 : Formulations choisies à utiliser pour la centrale à béton Sogerhvit

Formulations	Ciment (kg)	Eau (l)	Sable (kg)	G 4/8 (kg)	G 8/16 (kg)	G 16/25 (kg)	Ouvrabilité (cm)	Résistance (MPa)	Prix d'Adj (DA)
<u>R1 (7)</u> SUPERIOR RM 0,6 %	350	172	820	152,8	413,5	472,8	12,8	40	342,3
<u>R2 (8)</u> SUPERIOR RM 0,9 %	350	172	820	152,8	413,5	472,8	16	42	513,45
<u>R3 (10)</u> GLENIUM 0,6 %	350	172	820	152,8	413,5	472,8	12,4	39,5	342,3
<u>R4 (11)</u> GLENIUM 0,9 %	350	172	820	152,8	413,5	472,8	15,3	41	513,45
<u>R5 (13)</u> SUPERIOR RM 0,6 %	400	197	800	149	403,5	461,3	22,8	44,4	391,2
<u>R6 (14)</u> SUPERIOR RM 0,8 %	400	197	800	149	403,5	461,3	23,5	41,7	521,6
<u>R7 (16)</u> GLENIUM 0,6 %	400	197	800	149	403,5	461,3	22,5	43,2	391,2
<u>R8 (17)</u> GLENIUM 0,8 %	400	197	800	149	403,5	461,3	23,3	40,1	521,6
<u>R9 (2)</u> E/C = 0,55	350	193	820	152,8	413,5	472,8	5	38,3	/

Annexes 4.5 : Correction des formulations avec adjuvant pour un dosage de 350 kg/m³ dans le cas de la variation de la teneur en eau

Formulations : R1, R2, R3 et R4	Teneur en eau (%)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Masse de sable humide (kg)	820	828,2	836,4	844,6	852,8	861	869,2	877,4	885,6	893,8	902
	Eau corrigée (l)	172	163,8	155,6	147,4	139,2	131	122,8	114,6	106,4	98,2	90

Annexe 4.6 : Correction des formulations avec adjuvant pour un dosage de 400 kg/m³ dans le cas de la variation de la teneur en eau

Formulations : R5, R6, R7 et R8	Teneur en eau (%)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Masse de sable humide (kg)	800	808	816	824	832	840	848	856	864	872	880
	Eau corrigée (l)	197	189	181	173	165	157	149	141	133	125	117

Annexe 4.7 : Correction des formulations R9 dans le cas de la variation de la teneur en eau

Formulation R9	Teneur en eau (%)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Masse de sable humide (kg)	820	828,2	836,4	844,6	852,8	861	869,2	877,4	885,6	893,8	902
	Eau corrigée (l)	193	184,8	176,6	168,4	160,2	152	143,8	135,6	127,4	119,2	111

Annexe 4.8 : Correction des formulations R1, R2, R3, R4 et R9 dans le cas du foisonnement du sable pour un dosage de 350 kg/m³

Formulation R1, R2, R3, R4 et R9	Masse de sable Sec (kg)	Volume sable (l)	teneur en eau W %	Masse volumique apparent Kg /m ³	Masse de sable Uniquement (kg)	Masse de sable Manquant (kg)	Masse d'eau apportée par le sable (Kg)
	820	498	1	1360,6	670,8	149,2	6,7
	820	498	2	1303,6	636,4	183,6	12,3
	820	498	3	1291,8	624,6	195,5	18,7
	820	498	4	1287,6	616,5	203,5	24,7
	820	498	5	1280,1	607,1	212,9	30,4
	820	498	6	1273,0	598,1	221,9	35,9
	820	498	7	1304,0	606,9	213,1	42,5
	820	498	8	1320,0	608,6	211,4	48,7
	820	498	9	1343,0	613,6	206,4	55,2
	820	498	10	1435,0	649,6	170,4	64,9

Annexe 4.9 : Correction des formulations R5, R6, R7 et R8 dans le cas du foisonnement du sable pour un dosage de 400 kg/m³

Formulation R5, R6, R7 et R8	Masse de sable Sec (kg)	Volume sable (l)	teneur en eau W %	Masse volumique apparent Kg /m ³	Masse de sable Uniquement (kg)	Masse de sable Manquant (kg)	Masse d'eau apportée par le sable (Kg)
	800	486	1	1360,6	645,7	145,3	6,6
	800	486	2	1303,6	621,1	187,9	12,4
	800	486	3	1291,8	609,5	190,5	18,3
	800	486	4	1287,6	601,7	198,3	24,1
	800	486	5	1280,1	592,5	207,5	29,6
	800	486	6	1273,0	583,7	216,3	35,0
	800	486	7	1304,0	592,3	207,7	41,5
	800	486	8	1320,0	594,0	206,0	47,5
	800	486	9	1343,0	598,8	201,2	53,9
	800	486	10	1435,0	634,0	166,0	63,4

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aït Ouakli S., (2014), Informations relatives à la production du béton prêt à l'emploi en Algérie, responsable Support Technique Manager chez Lafarge Ciment Algérie, Algérie.

Boussion R., Charonnat Y., (1987), « Les bétonnières portées sont-elles des mélangeurs ? », Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N°149, France.

Boukli Hacene S.M.A., (2009), « Contribution a l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen », Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 2009, 193 p.

Brachet M., Ray M. et Charonnat Y., (1976), « Vers un contrôle de qualité non conventionnel des bétons hydrauliques », Annales ITBTP, N°336, Février, France.

Buffo-Lacarrière L. (2007), « Préviation et évaluation de la fissuration précoce des ouvrages en béton », Thèse de doctorat, L'institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, p. 246.

Cazacliu B. et Dauvergne M., (2002), « Malaxage des bétons autoplaçants. Influence du temps de malaxage et du type de malaxeur », Rapport de contrat pour le projet national BAP, Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, France.

Cazacliu B., Guieysse B., Garcin O., Buisson F., Baudru Y., Chanut S., Lallemand- Gamboa I., (2006), « Laboratory evaluation of 9 mixers », rapport LCPC pour le projet européen Innocrete, France, 71 p.

Cazacliu B., Guieysse B., Garcin O., Chanut S., (2006), « Evaluation de quatre principes de mélange innovants », rapport LCPC pour le projet européen Innoconcrete, juillet, 44 p.

CIMbéton, Centre d'information sur le ciment et ses applications, Fiches techniques, (2013), « Les béton courants », « Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre », Tome 2, Janvier, Paris, France, p. 58-91.

Chanut S., Joubert G., Eyrignoux J.M., Geoffray G.M., (2004), « Malaxage en centrale et en camion », (dans « Résultats et Recommandations du projet national CALIBE »), Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

Charonnat Y. et Tricart Y., (1970), « Enregistrement des paramètres de fabrication sur les centrales à béton », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, N° 76, Novembre, France.

Charonnat Y., (1980), « Fabrication du béton hydraulique », Technique de l'ingénieur, traité Construction.

Charonnat Y., Benichou E., Darcel M., Geoffray J.M., Gonzalez J.C., Launaire Y., (2001), « Maîtrise de l'eau dans le béton hydraulique », Techniques et méthodes des Laboratoires des

Ponts et Chaussées, Guide technique, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France.

Chopin D., (2003), « Malaxage des bétons à hautes performances et des bétons autoplaçants. Optimisation du temps de fabrication », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Etudes et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, OA 41, Nantes, France.

Comité Nationale d'Action pour la Sécurité et l'Hygiène dans la Construction C.N.A.C., (1999), « Centrale à béton, aspects généraux de sécurité », Edition : C. HEYRMAN, Bruxelles, Belgique, Juin, 28 p.

De Larrard F., (2000), « Structures granulaires et formulation des bétons », Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, OA34, Paris, France, 414 p.

Delude P. et Ambrosino R., (1966), « Le contrôle du béton. Méthode du Laboratoire Régional de Bordeaux », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, France.

Dreux G., Festa J., (1998), Nouveau guide du béton et ses constituants, éditions Eyrolles, Paris, France, 409 p.

Dreux G., Gorisse F., (1983), Composition des bétons : méthode Dreux Gorisse, bilan de cinq années d'application en Côte d'Ivoire, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, N° 414, Mai, Paris, France.

Dupain R., Lanchon R., Saint-Arroman J.C., (2000), Granulats, sols, ciments et bétons, Edition Casteilla, Paris, France, 236 p.

Durrieu J., (1968), « Les centrales de béton routier. Contrôle en cours de fabrication et contrôles à posteriori », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, N° 76, mars-avril, France.

Escadeillas G., Beinish H., Esteve J.P., Cadoret G., Coquillat G., Frel G., (2004), « Maîtrise de la teneur en eau à la fabrication des bétons », (dans « Résultats et Recommandations du projet national CALIBE »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

Geoffray J., Lopez F., Rageade L., Rousset M., (2004), « Centrale de fabrication des bétons – Automatisation de nouvelle génération », (dans « Résultats et Recommandations du projet national CALIBE »), Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

Ghomari F., (2014), « Science des matériaux de construction », polycopié de cours, Département de génie civil, Faculté de Technologie, Université AbouBekr Belkaid, 14 p.

Ngoc Dong, L., (2007), « Amélioration de la régularité du béton de production », Thèse de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, France, 29 mai, 248 p.

Ray M., Charonnat Y., Vaguelsy D., Delude P., Prost J. et Bersissi R., (1975), « Les formules régionales de béton. Etude de l'influence de la variabilité naturelle des composants. Plan d'expérience », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, N° 30, mars-avril, France.

Rougeron P., Tagnit-Hamou A. et Laplante P., (1996), "Strength development of mortar and concrete prepared by the "sand enveloped with cement" method", (in "Production Methods and Workability of Concrete"), Edited by Bartos P.J.M., Marrs D.L. and Cleland D.J., E & FN SPON, London, UK.

Sedran T. et de Larrard F., (2000), « BétonlabPro2. Logiciel de formulation des bétons, version 2.0 exécutable sous Windows, logiciel et notice », Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

SNBPE, (2015), « Syndicat national du béton prêt a l'emploi », Membre de l'Association Européenne du Béton Prêt à l'emploi (ERMCO), Paris, France.

Tamimi A.K., (1996), "The effects of mixing technique on microsilica concrete", (in "Production Methods and Workability of Concrete"), Edited by Bartos P.J.M., Marrs D.L. and Cleland D.J., E & FN SPON, London, UK.

Tattersall G.H., (1991), "Workability and quality control of concrete", E & FN SPON, London, UK.

Sites Internet :

(www.concretebatchingplants.com), consulté le 03-03-2015,

(www.bibko.com), consulté le 03-03-2015.

RÉSUMÉ

Le béton prêt à l'emploi est un matériau qui se place de plus en plus sur le marché algérien à cause de ses nombreux avantages : livré sur place, prêt à être mis en œuvre, plusieurs solutions pour des utilisations diverses et surtout une meilleure assurance qualité. A Tlemcen, le réseau des centrales s'étend dans la ville de plus en plus entre entreprises publiques et privées dont la production ne cesse de s'accroître. Notre intérêt, se porte sur la société 'Sogerhwit', que le laboratoire de recherche EOLE accompagne, pour l'amélioration de la régularité et la qualité du béton fabriqué par leurs centrales.

Nous avons dans ce cadre, commencés par élaborer un diagnostic complet sur les deux centrales à béton dont dispose la 'Sogerhwit'. Ensuite, nous avons formulés de nouveaux bétons après avoir d'une part caractérisé les matériaux utilisés par la centrale et étudié d'autre part au laboratoire, l'influence de l'eau et des adjuvants sur la résistance à la compression d'une vingtaine de mélanges. Nous avons à la fin, recommandé des compositions à Sogerhwit pour leur qualité mécanique, qui ont été vérifiées à leur niveau.

Mots-clés :

BPE, centrale, diagnostic, résistance, compression, agrégats, qualité.

ABSTRACT

The ready-mix concrete is a material that is placed increasingly on the Algerian market because of its many benefits: delivered on site, ready to be implemented, several solutions for various uses and especially better insurance quality. At Tlemcen, the network of stations spread in the city increasingly between public and private enterprises whose production continues to increase. Our interest is focused on the company 'Sogerhvit' that EOLE research laboratory comes to improving the regularity and quality of the concrete produced by their plants.

We have in this context, started by developing a comprehensive diagnosis of the two concrete plants available to the 'Sogerhvit'. Then we formulated new concrete after the one hand characterized by the materials used and the central study laboratory at the other hand, the influence of water and additives on the compressive strength of about twenty mixtures. We have to end, recommended compositions Sogerhvit for their mechanical quality, which were verified at their level.

Key words :

Ready-mix concrete, Central, diagnosis, resistance, compression, aggregates, quality.

ملخص

الخرسانة الجاهزة هي المواد التي يتم وضعها بشكل متزايد على السوق الجزائرية لما له من فوائد عديدة: تسليم في الموقع، وعلى استعداد لتنفيذها، عدة حلول لمختلف الاستخدامات وخاصة أفضل ضمان للجودة. في تلمسان، شبكة المراكز تمتد في المدينة على نحو متزايد بين المؤسسات العامة والخاصة التي تستمر لزيادة الإنتاج. ويتركز اهتمامنا على شركة Sogerhwit، أين يأتي مخبر أبحاث EOLE إلى تحسين انتظام ونوعية الخرسانة التي تنتجها مصانعها.

في هذا السياق، بدأنا من خلال وضع تشخيص شامل حول مصانع Sogehwit الاثنتين. ثم قمنا بصياغة خرسانة جديدة بعد أولاً دراسة المواد المستخدمة من قبل المركز ودراسة أخرى في المخبر حول تأثير المياه والمواد المضافة على قوة الضغط من خلال حوالي عشرين خلطة. لدينا في النهاية توصيات حول أخلاط لمركز Sogerhwit لجودتها الميكانيكية، والتي تم التحقق منها عند مستواها.

الكلمات الرئيسية :

الخرسانة الجاهزة، مصنع، التشخيص، المقاومة، ضغط، ركام حجري، الجودة.