

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE

CIVIL



FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX DE
CONSTRUCTION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : Cherfaoui Aymen

Chettih Faris

Intitulé

**Élaboration d'un béton à faible porosité
accessible à l'eau par la méthodologie des plans
d'expériences**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Baali Laid

Université de Msila

Président

Pr Bencheikh Mohamed

Université de Msila.

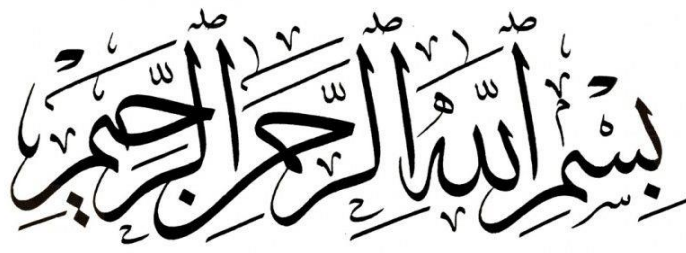
Rapporteur

Pr Nacéri Abdelghani

Université de Msila

Examineur

Année universitaire : 2021 /2022



Dédicaces

Je dédie ce travail :

- ❖ *A mon cher père et ma chère mère.*
- ❖ *A mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *A toute ma famille.*
- ❖ *A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

Remerciements

Nous remercions avant tout notre Dieu qui nous avoir donné la force, la Volonté, le courage et la patience pour terminer ce travail de fin d'étude.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr : BENCHEIKH MOHAMED

Pour leur soutien, leurs conseils judicieux et Durant l'élaboration de ce travail.

Nous remercions de tout notre cœurs nos très chers parents et tout notre familles pour leurs sacrifices, leurs encouragements, leur soutien jusqu'à ce que nous avons réalisé ce travail.

Nos remerciements vous aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner, d'évaluer et d'enrichir ce travail.

Nous présentons nos sincères remerciements à tous nous enseignants de faculté et en particulier dans notre spécialité

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

Résumé.

La durabilité du béton dépend de certains indicateurs comme la porosité, la perméabilité et la diffusivité.

Notre travail s'accroît sur un béton non poreux de différents dosages en ciment et différents ajouts ainsi les modes divers de cure. Les facteurs pris en considération en ce thème le dosage de ciment (600 kg/m³ ; 800 kg/m³) les ajouts sont considérés comme suit (sol vert 15% ; 30%) laitier (15% ; 30%) l'adjuvant hydrofuge (0% ; 2%) en ce qui concerne les facteurs de cure sont (à l'eau ; humidité).

Vu le nombre considérable de facteurs, la méthode d'expérience a été considérée la meilleure méthode qui affirmera les facteurs influents sur un tel béton.

L'objectif de ce travail est d'aboutir à un béton durable compact qui sera utilisé pour certains ouvrages soumis à de très fortes agressivités chimiques et mécaniques ayant des propriétés fiables à la construction en génie civil.

Mot clé : Durabilité, porosité, élaboration d'un béton compacte avec la méthode d'expérience.

Abstract

The durability of concrete depends on certain indicators such as porosity, permeability and diffusivity.

Our work is focused on porous concrete with different cement strengths and different additions as well as different curing modes. Factors taken into consideration in this theme are the cement dosage (600kg/m³; 800 kg/m³) additions are considered as follows (green soil 15%; 30%) slag (15%; 30%) water-repellent adjuvant (0%; 2%) for the cure factors are (water; humidity).

In view of the considerable number of factors, the experimental method was considered the best method that will assert the factors influencing such concrete.

The aim of this work is to produce a compact durable concrete that will be used for certain structures that are subjected to very high chemical and mechanical stresses and have reliable properties for civil engineering construction.

Keyword: Durability, porosity, development of a compact concrete with the test method.

الملخص

تعتمد ديمومة الخرسانة على مؤشرات معينة مثل المسامية والنفاذية والانتشار. يركز عملنا على الخرسانة قليلة المسامية بتركيز مختلف للإسمنت وإضافات مختلفة بالإضافة إلى طرق المعالجة المختلفة. العوامل التي تؤخذ في الاعتبار في هذا الموضوع تركيز الأسمنت (600 كغ/م³؛ 800 كغ/م³) والإضافات على النحو التالي (التربة الخضراء 15٪، 30٪) خبث الحديد (15٪، 30٪) المضاف الكيميائي العازل للماء (0٪، 2٪).

أما فيما يتعلق بعوامل المعالجة فهي (الماء، الرطوبة).

وبالنظر إلى العدد الكبير من العوامل، فقد اعتبرت الطريقة التجريبية أفضل طريقة لتأكيد العوامل المؤثرة على هذه الخرسانة.

الهدف من هذا العمل هو تحقيق خرسانة عالية الديمومة ومتراصة سيتم استخدامها لبعض الهياكل المعرضة لعدوانية كيميائية وميكانيكية قوية للغاية مع خصائص موثوقة للبناء والهندسة المدنية.

الكلمات المفتاحية: الديمومة، المسامية، الطريقة التجريبية

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
RESUME.	3
ABSTRACT	4
الملخص	5
الكلمات المفتاحية: الديمومة، المسامية، الطريقة التجريبية	5
TABLE DES MATIERES	6
LISTE DES FIGURES	10
INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITRE BIBLIOGRAPHIQUE	15
1. INTRODUCTION :	15
1.1. Distribution de la taille de pores :	17
1.2. Connectivité :.....	17
1.3. Paramètres influençant la structure poreuse du béton :.....	18
1.3.1. Rapport E/C :	18
1.3.2. Influence des conditions d'hydratation (la cure) :	18
1.3.3. Influence de la durée de cure humide :	19
1.3.4. Influence de la température :.....	19
1.3.5. Influence du squelette granulaire sur la porosité.....	19
1.3.6. La relation entre la porosité et la résistance en compression :	20
2. ADJUVANTS :	20

2.1.	Définition des adjuvants :.....	20
2.2.	Le dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment :.....	21
2.3.	La classification des adjuvants :	21
3.	LES METHODES DE CARACTERISATION DE LA STRUCTURE	
	POREUSE DES BETONS :	21
3.1.	Porosité accessible à l'eau :	22
3.2.	L'analyse d'images :	22
3.3.	La prosimètre au mercure : [10].....	23
3.4.	L'utilisation des valeurs seuils des indicateurs de durabilité	23
4.	DES RECHERCHE PRECEDENTE SUR POROSITE :	27
	Des Recherche précédente sur porosité	36
5.	CONCLUSION :	41
	CHAPITRE : METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES.....	42
	INTRODUCTION :	42
1.	CHOIX DE LA METHODE D'EXPERIMENTATION :	42
2.	LES DIFFERENTS TYPES DE FACTEURS :	42
2.1.	Facteurs continus :	42
2.2.	Facteurs discrets :	43
2.3.	Facteurs ordonnables :	43
2.4.	Facteurs booléens :	43

3. NOTION D'ESPACE EXPERIMENTAL :	43
4. LOGICIEL UTILISE :	46
4.1. Présentation de logiciel « Mini tab » :	46
1.1. Diagramme de Pareto :	46
1.2. Diagramme des effets principaux :	46
1.3. Diagramme des interactions :	47
1.4. Equation de régression :	47
2. INTRODUCTION AU LOGICIEL MINITAB :	47
CONCLUSION :	48
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES	49
INTRODUCTION :	49
3. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES :	49
3.1. Analyse granulométrique :	49
Principe d'essai :	50
Mode opératoire :	50
Les résultats des analyses granulométriques :	51
Analyse granulométrique de sable fin 1500 kg.....	51
Analyse granulométrique de sable fin 1500 kg.....	51
Analyse granulométrique de gravier 8/16 3200 kg	51
Analyse granulométrique de gravier 8/16 3200 kg	52
1.2. L'EQUIVALENT DE SABLE	53
1.2.1. PRINCIPE DE L'ESSAI	53
1.2.2. Produits utilisés lors de l'essai :	53

1.2.3.	Matériels utilisés :	53
1.2.4.	MODE OPERATOIRE	54
1.2.5.	Expression des résultats	54
1.2.6.	La résulta d'équivalent de sable :.....	55
1.3.	Résultats de la Nature et qualité du sable :	56
1.4.	Masse volumique : (NF EN 1097 - 6 (2001) :.....	57
	Définition	57
1.4.1.	Equipement nécessaire	57
1.4.2.	Conduite de l'essai	57
1.5.	L'adjuvant MEDAFLOW 30 :	58
1.5.1.	Description.....	58
1.5.2.	Caractéristique	58
1.1.1.	Propriétés.....	59
1.2.	NOVA FUGE LIQUIDE	60
1.2.1.	DESCRIPTION NOVA FUGE LIQUIDE :	60
	MODE D'EMPLOI :	60
1.3.	Le ciment Mokaouem	60
	Laitier granulé du haut fourneau :.....	61
	L'ajout (terre vert) :.....	62
	FORMULATION DE BETON :	62
	Méthode de Dreux-Gorisse.....	63
	Données de base.....	63
	Volume total des granulats.....	67
	LES FORMULATIONS :.....	68
1.4.	Procédures de coulage et mode de conservation :.....	69
1.4.1.	Confection des éprouvettes :	69
1.4.2.	Mode de cure :.....	69

RESULTATS ET DISCUSSION :	71
1. ANALYSE DES RESULTATS :	84
1.1. INTERPRETATIONS DES RESULTATS DES DIAGRAMMES :	84
1.1.1. RESULTATS DE LA POROSITE :	84
Résultats du Diagramme de Pareto des effets :.....	84
Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :.....	86
Résistance à la compression :.....	88
Résultats du Diagramme de Pareto des effets :.....	88
Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :.....	89
Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :.....	90
 CONCLUSION GENERAL	 91
 ANNEXE :	 93
Fiche technique de l'adjuvance medaflaw30 :.....	93
.....	93
.....	94
Fiche technique de nova fuge :.....	95

Liste des figures

Figure 2.1.1 effet de la porosité [1]	14
Figure 2.1.2 Différents types de porosité d'un matériau poreux	16

Figure 2.2.1 Influence du degré d'inter-connectivité sur la perméabilité de la pâte. Erreur ! Signet non défini.	
Figure 2.3.1 Influence du rapport E/C sur l'évolution porosimétrique de pâtes de ciment Portland âgées de 28 jours.....	18
Figure 2.3.2 Evolution de la porosité capillaire en fonction de la durée de la cure	19
Figure 2.3.3 Confrontation résultats expérimentaux et modèles edla.....	20
Figure 4.2.1 image microscopie électronique à balayage.....	23
Figure 9 le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur.....	44
Figure 10: l'espace expérimental d'un facteur.	44
Figure 11 les points expérimentaux dans un espace expérimental.....	45
Figure 12 les points expérimentaux dans un domaine d'étude.....	46
Figure 1.4.1 Introduction au MINITAB	48
Figure 1.2.1 ESSAI DE L'EQUIVALENT DE SABLE	53
Figure 1.2.2 essai d'équivalent de sable	55
Figure 20 L'adjuvant MEDAFLOW 30.....	59
Figure 21 NOVA FUGE LIQUIDE	60
Figure 22 ciment MOKAOUEM PLUS	61
Figure 23 Laitier de el hadjar	62
Figure 23 L'ajout (terre vert).....	62
Figure 27 Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport E/C et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cone Erreur ! Signet non défini.	
Figure 29 Résultats du Diagramme de Pareto des effets	84
Figure 30 L'effet de chaque facteur pris individuellement	85
Figure 31: Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux.....	86
Figure 32 Résultats du Diagramme de Pareto des effets	88
Figure 33: L'effet de chaque facteurs pris individuellement	89

Figure 34 Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux	90
--	-----------

Liste des Tableaux

Tableau 1: différents types de pore	16
Tableau 2 1 Des Recherche précédente sur porosité.....	41
Tableau 3 L'Equivalent de Sable	55
Tableau 4 Nature et qualité du sable.....	56
Elle est fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner (coffrage, ferrailage,...). Les valeurs de D sont données au Tableau 5, pour une granulométrie continue. Pour une granulométrie discontinue il convient de diminuer les valeurs de 20 %.	64
Tableau 6 Evaluation de Dmax.....	64
Tableau 7 Dimension D des granulats et Qualité des granulats	65
Tableau 8 Correction sur E en fonction de Dmax.....	65
Tableau 9 Valeur du terme correcteur k.	66
Tableau 10 valeurs du coefficient de compacité c en fonction de Dmax des granulats, de la consistance et de l'efficacité du serrage	67
Tableau 11 quantité de chaque composant.....	68
Tableau 12 formulation du béton en kg	68

Introduction générale

Les problèmes de dégradation et de vieillissement des matériaux de construction sont étroitement liés à la facilité de migration de l'humidité en phase liquide ou gazeuse au sein de la structure poreuse de ces matériaux. L'eau est non seulement le vecteur principal de transport d'agents agressifs, mais également elle crée les conditions favorables pour l'accomplissement des réactions physicochimiques dans les matériaux de construction.

La durabilité du béton est en grande partie fonction de la difficulté qu'ont les agents agressifs à pénétrer dans le réseau poreux du béton. La recherche d'une forte compacité sera toujours une condition nécessaire pour une bonne durabilité. Le béton étant un matériau composite associant une phase granulaire et une phase liante, sa structure poreuse dépend de l'arrangement granulaire et de la structuration de la phase liante.

La perméabilité du béton représente sa capacité à être traversé par un fluide sous un gradient de pression. Ainsi, la perméabilité concerne l'écoulement de fluides dans le réseau poreux du matériau, elle dépend de la nature de ce réseau poreux et de sa continuation.

La porosité d'un matériau mesure le pourcentage de son volume occupé par les pores. Si la porosité est élevée et que les pores sont interconnectés, ils contribuent au passage de fluides à travers le béton en sorte que la perméabilité sera élevée. La perméabilité à l'eau du béton est influencée principalement par la quantité d'eau de gâchage, le dosage en ciment et le mode de conservation. Le rapport E/C représente alors un paramètre important qui doit être pris en considération. Vient ensuite le mode de conservation qui affecte énormément la progression de l'hydratation du ciment.

Cependant, il est indispensable de pouvoir caractériser de façon précise et complète la microstructure des matériaux de construction, et en particulier leur structure poreuse dans la mesure où celle-ci conditionne non seulement les propriétés mécaniques et thermiques, mais également celles liées à leur durabilité.

Objectif :

Ce mémoire a pour objectif de diminuer les détériorations des ouvrages de constructions en génie civil et de trouver des solutions adéquates aux bétons poreux et perméables par élaboration d'un béton à faible porosité accessible à l'eau par la méthodologie de plan d'expérience.

Ce travail de mémoire est organisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique

Le deuxième chapitre est un aperçu sur le cours de la méthode expérimentale.

Le troisième chapitre consiste à montrer toutes les expériences effectuées au laboratoire avec leurs démarches scientifiques afin d'aboutir aux résultats satisfaisants.

Le quatrième chapitre est le chapitre de discussion et analyse des résultats retrouvées à travers le logiciel Minitab

Le cinquième et dernier se concentre sur la conclusion générale.

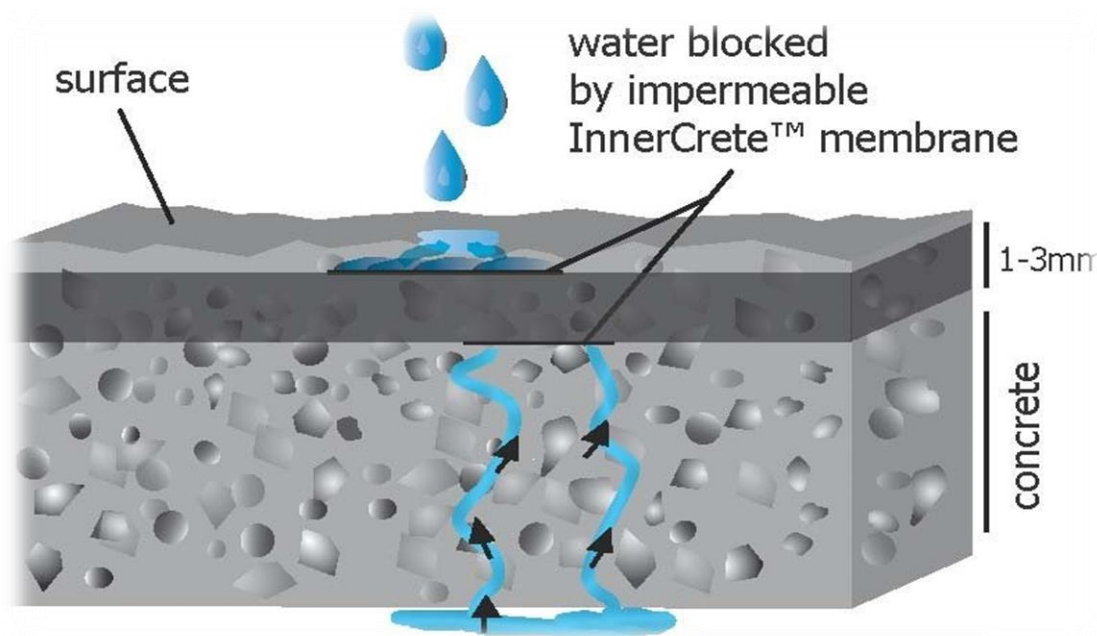


Figure 1.1.1 effet de la porosité [1]

Chapitre bibliographique

1. Introduction :

Les paramètres influençant sur la structure poreuse du béton et la relation entre la porosité et la résistance à la compression.

Le béton, sous sa forme générale, est constitué d'une matrice (pâte de ciment) qui relie les granulats entre eux (sable, graviers). Cette pâte résulte de l'hydratation du liant utilisé, le ciment Portland anhydre étant le plus utilisé. Ce dernier est composé de clinker, de gypse et d'ajouts éventuels (fillers, laitiers, cendres volantes...). Les Compositions minéralogiques principales d'un clinker de ciment Portland, sont les suivants [2] :

- silicate bicalcique (60 à 65 %) : **C S** (= 2 CaO, SiO),
- silicate tricalcique (20 à 25 %) : **C S** (= 3 CaO, SiO),
- aluminat tricalcique (8 à 12 %) : **C A** (= 3 CaO, Al O),
- alumino-ferrite tétracalcique (8 à 10 %) : **C AF** (= 4 CaO, Al O, Fe O).

Lorsqu'on ajoute de l'eau au ciment Portland anhydre, une réaction d'hydratation se déclenche entre eux, entraînant la formation et le développement autour des granulats de divers composés hydratés. Les proportions de chacun des constituants varient avec celles des matières utilisées pour la fabrication du clinker. Les principaux composés obtenus sont :

- les silicates de calcium hydratés (50 à 70 %) : **C-S-H**,
- la portlandite (25 à 27 %) : **CaOH**.
- les aluminates de calcium et sulfo-aluminates de calcium (ettringite) (7 à 10 %).

Ces divers composés hydratés ont des formes extrêmement variables, par exemple la structure colloïdale des composés de la phase **C-S-H** (appelé « gel » C-S-H) ou encore la forme hexagonale (plaquettes) des cristaux de portlandite **CaOH**.

Rappelons que les réactions d'hydratation des constituants du ciment Portland sont exothermiques, avec des vitesses d'hydratation de chaque constituant différentes. Au cours du temps, les produits d'hydratation se forment en diminuant la porosité initiale. [2]

La porosité :

La porosité comprend tous les pores du matériau, elle est généralement supérieure à 10% pour un béton courant.

Les pores forment des réseaux de vides plus ou moins. La porosité dépend de plusieurs facteurs : le rapport E/C (Eau sur Ciment), la compacité du béton frais, le volume pâte/granulats et la porosité des granulats. Généralement, [3]

La pâte de ciment durcie contient des différents types de vides. Le réseau poreux du béton est plus ou moins continu.

Porosité	Définition
totale	Ensemble des vides fermés et ouvertes
Résiduelle	Ensemble des vides fermés
Accessible	Ensemble des vides ouvertes
Libre	Partie de la porosité accessible où les fluides peuvent librement circuler
Piégée	Partie de la porosité accessible ne permettant pas la récupération des fluides
Primaire	Ensemble des vides présentes dès la mise en place du matériau (air occlus)
Secondaire	Ensemble des vides fermés après la mise en place du matériau

Tableau 1: différents types de pore [3]

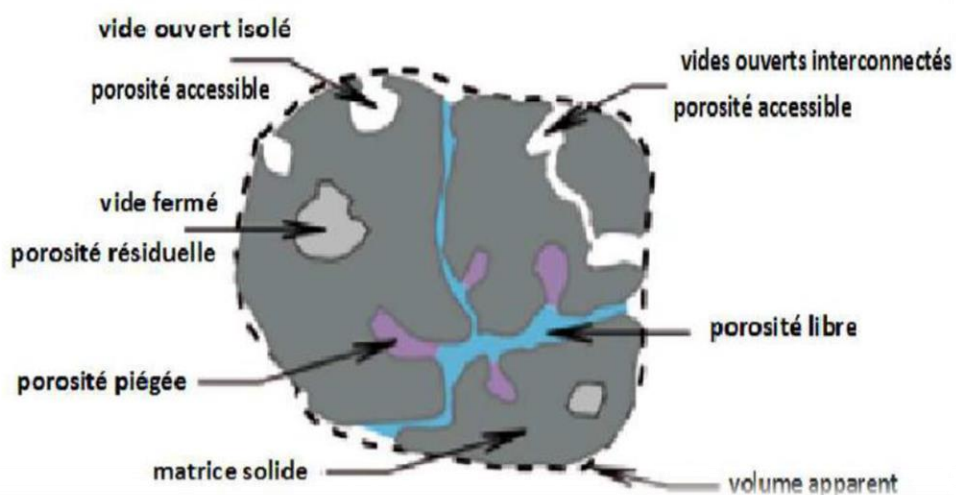


Figure 1.1.2 Différents types de porosité d'un matériau poreux [4]

1.1. Distribution de la taille de pores :

La distribution des pores dans un béton couvre un large spectre de taille de pores : capillaires, internes aux hydrates, bulles d'air et fissures.

Dans le cas du béton, deux familles de taille de pores sont à considérer :

- les pores capillaires.
- les pores internes aux hydrates.

Les pores capillaires peuvent être détectés par le porosimètre au mercure. Ils représentent les espaces intergranulaires et sont directement liés au rapport E/C du mélange de la pâte de ciment.

Les pores internes aux hydrates, inter et intracristallites (ou espaces inter-feuillets) sont nettement plus petits que les précédents, et sont intrinsèques à la formation des hydrates et indépendants du rapport E/C. Cette porosité peut être observée à l'aide de l'adsorption gazeuse.

1.2. Connectivité :

La connectivité est un paramètre topologique qui mesure le degré d'interconnexion d'un milieu poreux, en général, il est préférable que le réseau de pores capillaires soit constitué de pores les plus petits possibles car le degré d'interconnexion y est plus faible [5]. Pour un E/C plus faible, la porosité capillaire est en fait constituée d'un réseau de pores plus fin et plus discontinu [6]. La perméabilité de la pâte s'en trouve alors considérablement diminuée car il y a moins de chemins préférentiels pour le passage des liquides, des gazons des ions.

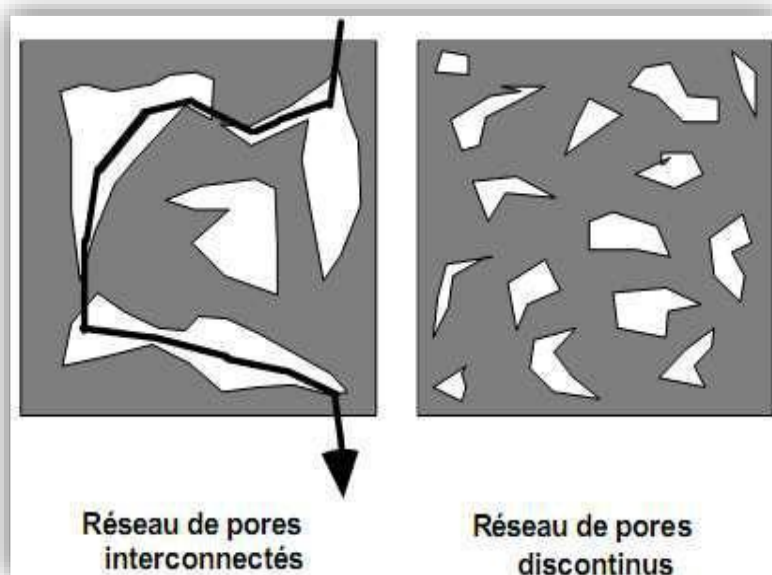


Figure 1.1.3 Influence du degré d'inter-connectivité sur la perméabilité de la pâte. [6]

1.3. Paramètres influençant la structure poreuse du béton :

1.3.1. Rapport E/C :

Le rapport E/C a une importance considérable sur l'interconnexion du réseau poreux. De nombreuses recherches ont été menées pour déterminer l'influence du rapport E/C sur la structure poreuse du béton. La Figure 4 présente l'influence de rapport E/C sur la structure porosimétrique à l'âge de 28 jours, les pores capillaires de dimension supérieure à 100 nm ne subsistent plus que dans les pâtes gâchées avec des rapports E/C supérieurs à 0,50

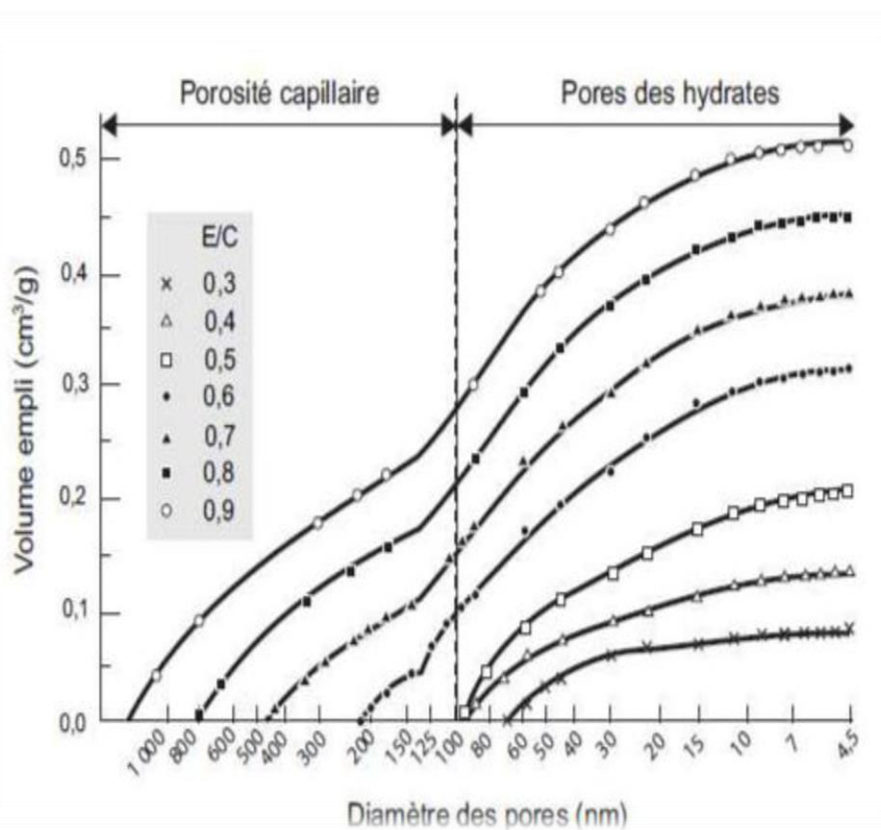


Figure 1.3.1 Influence du rapport E/C sur l'évolution porosimétrique de pâtes de ciment Portland âgées de 28 jours [7].

1.3.2. Influence des conditions d'hydratation (la cure) :

L'humidité de l'environnement a une grande influence sur l'hydratation du ciment et sur la microstructure qui se développe. Le tableau indique le temps d'hydratation nécessaire pour segmenter le réseau des pores capillaires. Il y a donc lieu de protéger le béton frais (cure) d'un départ trop rapide de l'eau pendant une durée au moins égale aux temps indiqués dans ce tableau. En effet, la dessiccation ralentit, puis arrête le processus d'hydratation au-dessous d'une humidité relative d'environ 75 %.

1.3.3. Influence de la durée de cure humide :

Une période de cure plus longue diminue très significativement la perméabilité parce qu'elle favorise l'hydratation qui a pour effet de colmater les capillaires existant

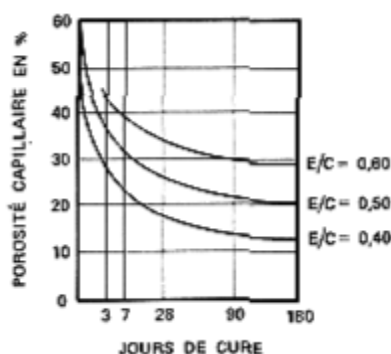


Figure 1.3.2 Evolution de la porosité capillaire en fonction de la durée de la cure [4].

1.3.4. Influence de la température :

L'influence de la température sur la perméabilité à l'eau du béton a fait l'objet d'une étude menée par *Jooss et Reinhard* [24]. Les auteurs ont trouvé que la température a une influence sur la perméabilité à l'eau. En effet, la perméabilité augmente entre 13 à 62% quand la température est augmentée de 20 à 50°C, puis de 3 à 55% additionnel s quand la température atteint 80°C selon le type de béton. Cette variation du taux d'augmentation dépend du type de béton. Ces auteurs expliquent ces effets par la diminution de la viscosité de l'eau avec la température, ce qui provoque une augmentation de la conductivité hydraulique.

1.3.5. Influence du squelette granulaire sur la porosité

À l'état frais, le béton est un mélange de grains et d'eau. Les grains ont des tailles diverses, depuis les plus gros, le gravillon jusqu'aux plus fins, les grains de ciment dans les bétons courants. Pour réduire la porosité des bétons il convient donc de réduire le plus possible la porosité du mélange de grains, donc le dosage en eau tout en respectant les autres éléments du cahier des charges (mise en place aisée compte tenu des moyens de mise en œuvre choisis, résistance à la compression à 28 jours) et tout ceci au moindre coût. Si on limite le propos à la seule structure poreuse du béton, il faut discuter des moyens de réduire la quantité d'eau. Caquot a établi de façon empirique une loi qui permet de raisonner sur les moyens d'action. Cette loi exprime la porosité minimale P_{min} d'un assemblage de grains, comme une fonction de la dimension minimale, d , et maximale, D , des grains :

$$P_{min} = P_0 \sqrt[5]{\frac{d}{D}}$$

Dans cette relation p_0 est un coefficient de proportionnalité qui dépend de la maniabilité du béton.

A maniabilité donnée, la loi de Caquot montre que pour diminuer la porosité minimale, il faut augmenter l'étendue granulaire {d-D} I Une fois d et D fixés, cette loi ne renseigne pas sur la façon d'obtenir effectivement la porosité minimale. Pour l'obtenir réellement, il faut optimiser les tailles intermédiaires et les quantités de grains. En pratique, cette question est traitée par les méthodes de formulation des bétons (courbe de référence de Dreux par exemple). [4]

1.3.6. La relation entre la porosité et la résistance en compression :

De nombreuses études ont montrés que la porosité de la matrice cimentaire est un facteur déterminant pour la résistance en compression des matériaux cimentaires, cette dernière étant d'autant plus élevée que la porosité de ces matériaux est faible.

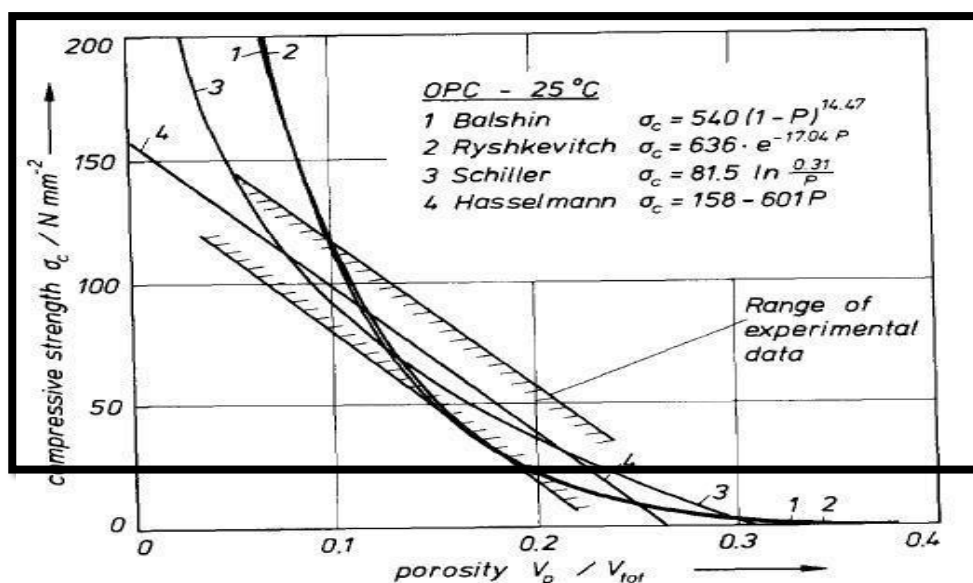


Figure 1.3.3 Confrontation résultats expérimentaux et modèles edla

2. Adjuvants :

2.1. Définition des adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons de lors de leur malaxage ou avant la mise en œuvre à des doses inférieures à 5 % du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci. Diverses solutions existent pour augmenter la possibilité d'arriver à un résultat concret, parmi Lesquelles celles apportées par les adjuvants. [9]

2.2. Le dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment :

Adjuvants	Dosage en (%)
plastifiants	0.15 à 1.2
Super plastifiants	0.6 à 2.5
Accélérateur de prise	1 à 3
Accélérateur de durcissement	0.8 à 2
Retardateur de prise	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraîneurs d'air	0.05 à 3
Rétenteur d'eau	0.1 à 2

Tableau 2 Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [9]

2.3. La classification des adjuvants :

Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton :

- Plastifiant / Réducteur d'eau ;
- Super plastifiant / Haut réducteur d'eau.

Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement :

- Accélérateur de prise ;
- Accélérateur de durcissement ;
- Retardateur de pris.

Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton :

- Entraîneur d'air ;
- Hydrofuges de masse ;
- Rétenteur d'eau.

3. Les méthodes de caractérisation de la structure poreuse des bétons :

La structure poreuse des bétons est complexe et les méthodes de caractérisation sont nombreuses. Les vides dans les bétons sont ouverts et interconnectés et on peut donc confondre la porosité avec la porosité ouverte et la porosité ouverte interconnectée.

3.1. Porosité accessible à l'eau :

Cet essai permet de déterminer le volume de pore accessible à l'eau liquide. Le protocole respecte celui établi par la norme NF P18-459. Les éprouvettes cubiques 10x10x10cm et seuls les 3 tronçons du milieu sont conservés pour les mesures de porosité.

Les éprouvettes utilisées pour déterminer la moyenne de la porosité pour chaque formulation. Les essais sont effectués après 28 jours de cure. Les éprouvettes sont saturées dans l'eau à 20°C sous vide, puis plusieurs pesées sont effectuées :

- Pesée hydrostatique, (M_{eau}) ;
- Pesée saturée en surface séchée au chiffon microfibre humide (M_{air});
- Pesée sèche après stabilisation de la masse en étude à 100°C, permettant de déterminer la masse sèche (M_{sec}).

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente (ρ_d) du béton ainsi que la porosité accessible à l'eau.

$$\text{Formule : } P_{eau} = \left(\frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \right) \times 100$$

3.2. L'analyse d'images :

Cette méthode de mesure c'est la deuxième plus utilisée, Des images numériques de sections polies de béton obtenues généralement en microscopie électronique à balayage (SEM) sont analysées. Grâce à des traitements morphologiques et aux outils de la stéréologie, des données tridimensionnelles sont obtenues à partir de l'observation des sections en 2D. Toutes les mesures effectuées sur une section polie n'ont pas une correspondance simple avec des grandeurs en 3D (il suffit pour s'en convaincre d'imaginer une coupe traversant un matériau granulaire ; les dimensions de grains mesurées dans le plan de coupe ne permettent pas simplement de connaître la dimension des grains en 3D). La porosité est par contre une grandeur facile à connaître, puisqu'elle est égale à la fraction surfacique des vides observée sur une coupe. Depuis les travaux de Scrivener.

L'analyse d'image peut toutefois fournir des informations utiles si on limite l'investigation aux pores les plus gros.

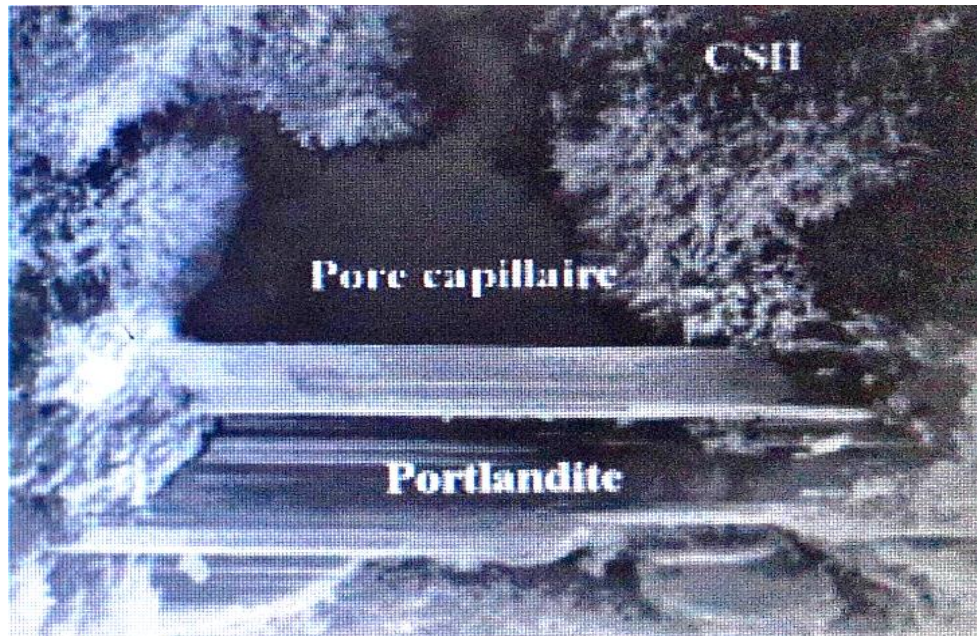


Figure 3.2.1 image microscopie électronique à balayage [4]

3.3. La prosimètre au mercure : [10]

Cette méthode de mesure c'est la deuxième plus utilisée. Un échantillon préalablement séché est soumis à des pressions croissantes de mercure. Ce liquide non mouillant pénètre progressivement dans le matériau. Si on suppose que les pores sont des cylindres, la loi de Washburn exprime la relation entre la pression d'injection P et le rayon des pores r remplis :

$$P = \frac{\sigma H g \cos \theta}{r}$$

$\sigma H g$ est la tension superficielle du mercure (environ 0,48 N/m) et θ son angle de raccordement (environ 140 degrés). Cette méthode nécessite un séchage préalable de l'échantillon qui risque de modifier sa microstructure. La comparaison de données issues de protocoles différents est donc délicate et pour faciliter les comparaisons

3.4. L'utilisation des valeurs seuils des indicateurs de durabilité

Deux axes méthodologiques majeurs rendent possible l'évaluation de la durabilité "potentielle" d'un béton dans un environnement donné :

Le premier est centré sur l'analyse des données expérimentales obtenues au sein de différents laboratoires [11], le second se base sur des méthodes numériques permettant de simuler le comportement des matériaux cimentaires dans leur environnement [12].

Compte tenu de notre sujet d'étude, nous nous focalisons uniquement sur la première méthodologie où l'évaluation de la durabilité se base sur l'analyse des données expérimentales.

L'objectif majeur de l'approche performantielle « comparative », explicitée dans le guide AFGC [11], est de rendre possible une comparaison et un classement de formules de bétons sur la base des indicateurs de durabilité définis ci-dessus.

Pour cela, des niveaux d'exigence vis-à-vis de la durabilité sont définis à partir des classes de durée de vie définies dans l'EC 0, elles-mêmes fonction de la catégorie de l'ouvrage. Des valeurs limitent, dites « valeurs seuils », sont proposées pour chaque indicateur de durabilité et pour chaque type d'environnement.

Le Tableau 3 présente les classes et les valeurs limites relatives des indicateurs de durabilité généraux et des indicateurs de substitution. Comme évoqué précédemment, les indicateurs de durabilité généraux peuvent être remplacés par d'autres indicateurs plus spécifiques au problème posé, ou plus adaptés aux modèles mis en œuvre. Le Tableau 4 a été établi en tenant compte de cette modification et récapitule l'ensemble des valeurs seuils des indicateurs de durabilité appelés aussi indicateurs de performance en proposant des seuils pour différentes durées de vie (niveau) et différentes conditions d'exposition en distinguant la corrosion induite par la carbonatation (environnement XC) et la corrosion induite par les chlorures (XD, XS).

Ces seuils ont été définis à partir de résultat de la littérature et validés à partir d'une campagne d'essais sur bétons.

Il est à noter que, dans cette campagne expérimentale relative aux indicateurs de durabilité, quatre formules de béton de laboratoire et une formule de béton d'ouvrage d'art ont été choisies, afin de couvrir une gamme assez large de matériaux. De même, ce guide établit une correspondance entre les classes de durabilité (« Très faible », « Faible »...) et les types d'ouvrage. Par exemple :

- la classe de durabilité « faible » → ouvrages courants de bâtiment,
- la classe de durabilité « moyenne » → ouvrages courants de génie civil,
- la classe de durabilité « élevée » → grands ouvrages
- la classe de durabilité « très élevée » → les bétons à très hautes performances, ouvrages dits exceptionnels.
- les bétons à très hautes performances,

Les valeurs indiquées correspondent à des mesures réalisées selon les méthodes décrites dans ce guide sur des éprouvettes conservées dans l'eau pendant 3 mois après le coulage.

Durabilité potentielle	Classes et valeurs limites				
	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Porosité accessible à l'eau (%) P_{eau}		14 à 16	12 à 14	9 à 12	6 à 9
Porosité mesurée par intrusion de mercure (P_{Hg} max = 400 MPa et prétraitement par étuvage à $T = 45\text{ °C}$ pendant 14 jours en présence de gel de silice) (%) P_{Hg}	> 16	13 à 16	9 à 13	6 à 9	3 à 6
Résistivité électrique ($\Omega \cdot \text{m}$) ρ	< 50	50 à 100	100 à 250	250 à 1000	> 1000
Coefficient de diffusion <i>effectif</i> des chlorures ($10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) D_{eff}	> 8	2 à 8	1 à 2	0,1 à 1	< 0,1
Coefficient de diffusion <i>apparent</i> des chlorures (mesuré par essai de migration) ($10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) $D_{\text{app(mig)}}$	> 50	10 à 50	5 à 10	1 à 5	< 1
Coefficient de diffusion <i>apparent</i> des chlorures (mesuré par essai de diffusion) ($10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) $D_{\text{app(dif)}}$				< 5	
Perméabilité apparente aux gaz (à $P_{\text{entrée}} = 0,2 \text{ MPa}$ et après étuvage à $T = 105\text{ °C}$) (10^{-18} m^2) K_{gaz}	> 1000	300 à 1000	100 à 300	10 à 100	< 10
Perméabilité à l'eau liquide (à P_{max} , par mesure directe du flux, après saturation, cf. § 7.2.4.1 et 7.2.4.2) (10^{-18} m^2) k_{liq^*}	> 10	1 à 10	0,1 à 1	0,01 à 0,1	< 0,01
Durabilité potentielle vis-à-vis de la corrosion des armatures					
Teneur en Ca(OH)_2 (% massique par rapport au ciment)	< 10	10 - 13	13 - 20	20 - 25	≥ 25
Durabilité potentielle vis-à-vis de l'alcali-réaction					
Teneur en Ca(OH)_2 (% massique par rapport au ciment)	≥ 20	12 - 20	8 - 12	5 - 8	< 5
Type de béton (indicatif et pour des formules simples)		B25 à B40	B30 à B60	B55 à B80	> B80
(*) : on notera la relation existant entre (k_{liq}) et le coefficient de perméabilité (k^{liq}) qui est souvent utilisé et qui s'exprime en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ [BARO 94] : $K_{\text{liq}} = \frac{P_{\text{eau}} \cdot g}{n_{\text{eau}}} K_{\text{liq}} \cong 10^7 \cdot K_{\text{liq}}$					

Tableau 3: Synthèse des classes et valeurs limites (indicatives) relatives aux indicateurs de durabilité [11].

Indicateurs de durabilité sélectionnés et valeurs limites proposées (*) sur la base de tableau I. 7 en fonction du type d'environnement et de la durée de vie exigée, dans le cas où l'enrobage satisfait aux valeurs réglementaires. P_{eau} est donnée en %, $D_{app(mig)}$ est donné en $10^{-12} m^2.s^{-1}$, K_{gaz} (à $S=0$ et à $P_{entrée}=0,2 MPa$) est donnée en $10^{-18} m^2$ et K_{liq} est donnée en $10^{-18} m^2$. Les valeurs correspondent à des mesures réalisées selon les méthodes décrites dans ce guide sur des éprouvettes conservées dans l'eau pendant 3 mois après le coulage (moyennes sur au moins 3 éprouvettes).

	Type d'environnement	Durée de vie exigée	<30 ans	De 30 à 50 ans	De 50 à 100 Ans	De 100 à 120 ans	> 120 ans
		Catégorie d'ouvrage		Bâtiment	Bâtiment et ouvrages de génie civil	Grands ouvrages	Ouvrages dits exceptionnels
		Niveau d'exigence	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Corrosion induite par carbonatation (30 mm)	1	Sec et très sec (HR<65%) ou humide en permanence	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 14$ (6)	● $P_{eau} < 12$ ● $K_{gaz} < 100$	● $P_{eau} < 9$ ● $K_{gaz} < 10$
	2	Humide (HR>80%)	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 14$ (6)	● $P_{eau} < 12$ ● $K_{gaz} < 100$	● $P_{eau} < 9$ ● $K_{liq} < 0,01$
	3	Modérément humide (65<HR<80%)	● $P_{eau} < 15$	● $P_{eau} < 14$ (5)	● $P_{eau} < 12$ (7) ● $K_{gaz} < 100$ (8)	● $P_{eau} < 9$ ● $K_{gaz} < 10$ (4)	● $P_{eau} < 9$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$
	4	Cycles fréquents d'humidification-Séchage	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 14$ (6)	● $P_{eau} < 12$ (7) ● $K_{liq} < 0,1$ (9)	● $P_{eau} < 9$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 1$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$
Corrosion induite par les chlorures (e = 50 mm)	5	5.1 [Cl-] Faible (1)	● $P_{eau} < 16$	● $P_{eau} < 15$	● $P_{eau} < 14$	● $P_{eau} < 12$ ● $D_{app(mig)} < 20$ ● $K_{liq} < 0,1$ (3)	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 10$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$
		5.2 [Cl-] forte (2)	● $P_{eau} < 14$	● $P_{eau} < 11$	● $P_{eau} < 11$ ● $D_{app(mig)} < 2$ ● $K_{liq} < 0,1$ (3)	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 1$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 1$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$
	6	Immersion dans l'eau contenant des chlorures	● $P_{eau} < 15$	● $P_{eau} < 13$	● $P_{eau} < 13$ ● $D_{app(mig)} < 7$	● $P_{eau} < 12$ ● $D_{app(mig)} < 5$	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 1$
	7	Zone de marnage	● $P_{eau} < 14$	● $P_{eau} < 11$	● $P_{eau} < 11$ ● $D_{app(mig)} < 3$ ● $K_{liq} < 0,1$ (3)	● $P_{eau} < 10$ ● $D_{app(mig)} < 2$ ● $K_{gaz} < 100$ ● $K_{liq} < 0,05$	● $P_{eau} < 9$ ● $D_{app(mig)} < 1$ ● $K_{gaz} < 10$ ● $K_{liq} < 0,01$

(*) Ces valeurs peuvent être adoptées pour tenir compte des spécificités de l'opération de construction dans le cadre d'une approche globale. Elles sont également susceptibles d'évoluer en fonction du retour d'expérience et du développement de méthodes ou de modèles plus précis.

- (1) : concentration en chlorures libres à la surface $c_s \leq 10 g.L^{-1}$
(2) : concentration en chlorures libres à la surface $c_s \geq 100 g.L^{-1}$ [cs ou cseq ou $c_s \Delta x$ (cf. §5.1.2 et annexe 13)]
(3) : alternative : $K_{gaz} < 100.10^{-18} m^2$
(4) : alternative : $k_{liq} < 0,01.10^{-18} m$
(5) : alternative : $P < 15\%$ et $[Ca(OH)_2] \geq 25\%$ (6) : alternative : $P < 16\%$ et $[Ca(OH)_2] \geq 25\%$ (7) : alternative : $P < 14\%$ et $[Ca(OH)_2] \geq 25\%$
(8) : alternative : $K_{gaz} < 300.10^{-18} m^2$ et $[Ca(OH)_2] \geq 25\%$
(9) : alternatives : 1) $K_{gaz} < 100.10^{-18} m^2$ 2) $K_{gaz} < 300.10^{-18} m^2$ et $[Ca(OH)_2] \geq 25\%$

Tableau 4: Valeurs limites proposées pour des indicateurs de durabilité [11]

4. Des Recherche précédente sur porosité :

- **Méthode simplifiée de formulation d'un béton à haute performance avec et sans fibre métallique « article » :**

Cet article propose une méthodologie simplifiée, s'appuyant sur des méthodes de Formulation de bétons connus dans la littérature et sur des essais d'optimisations au laboratoire, permettant la Détermination d'une composition d'un béton à haute performance « BHP » et de béton de fibre à haute performance « BFHP ». Pour ce faire, une large caractérisation (physique et mécanique) des matériaux utilisés a été conduite. Suivie d'une étude préliminaire, ayant pour objectif d'optimiser le dosage en Super-plastifiant (0,65-1%) et du ciment (500-700) kg/m³ en se basant sur des essais de résistance à la compression (3, 7, 28 jours) et des mesures d'ouvrabilité.

Les caractéristiques mécaniques ainsi que la porosité du BHP optimale ont été mesurées. Ainsi, l'effet d'une nouvelle génération de super-plastifiant, qui a permis la réduction du rapport E/C à 0,29, a pu être examiné. Ce dernier a permis l'obtention d'un BHP de bonne performance mécanique et de faible porosité.

- **EVALUATION DE LA DURABILITE DU BETON PAR ESSAIS DE PERMEABILITE A L'EAU SOUS CONDITIONS CLIMATIQUES ET CHIMIQUES PREJUDICIALES « THÈSE DE DOCTORAT » :**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de développement des Géomatériaux de l'Université de M'sila propose dans la première partie effets climatiques préjudiciables caractérisés par l'élévation de température pendant la saison de l'été et de l'humidité du climat sur la perméabilité à l'eau du béton.

Ensuite, l'influence des effets précédents sur la porosité accessible à l'eau et sur la résistance à la compression du béton L'étude expérimentale a été réalisée sur des échantillons de béton avec un rapport E/C variable afin d'obtenir un béton ferme et un béton très plastique. Une partie des échantillons a subi une cure standard à l'eau, alors qu'une seconde partie a été conservée à l'air libre, La deuxième partie de ce travail consiste à l'étude de l'influence des conditions chimiques sur la perméabilité à l'eau du béton. L'étude expérimentale comporte des échantillons de béton conservés dans l'acide sulfurique, le sulfate de magnésium et le sulfate d'ammonium. Les résultats obtenus :

La perméabilité à l'eau du béton diminue lorsque le rapport E/C décroît. Lorsque le dosage en ciment augmente, la perméabilité à l'eau diminue.

Le mode de conservation influe considérablement la perméabilité à l'eau du béton : la perméabilité des bétons conservés à l'air était d'environ onze (11) fois supérieures à celle des Bétons qui ont été conservés à l'eau.

La résistance à la compression et accessible à l'eau des bétons qui ont subi une cure dans l'eau sont supérieures par rapport aux bétons qui ont été conservés à l'air.

- **Comportement des BHP de laitier soumis aux cycles immersion-séchage :**

Cet article constitue une partie d'une synthèse des travaux élaboré conjointement au Laboratoire de Génie Civil et de Génie Mécanique de l'INSA de Rennes et l'Unité de Recherche : Matériaux, Procédés et Environnement de l'Université de Boumerdès. L'objectif est d'étudier les possibilités d'obtention de bétons hydrauliques à hautes performances par réduction de la porosité de la pâte de ciment interstitielle en remplissant les espaces inter-granulaires du ciment à l'aide d'un sous-produit industriel local ultrafin.

La contribution liante des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des bétons a été évaluée par une méthodologie expérimentale originale permettant de subjuguer leur effet granulaire et pouzzolanique. Les résultats obtenus montrent que la contribution du couple ciment - laitier à la densification de la matrice est supérieure à celle obtenue lorsque le ciment n'est pas substitué par l'addition. Par conséquent, une amélioration significative des performances des bétons formulés a été observée, ceci malgré l'action préjudiciable des cycles immersion - séchage maintenus pendant 365 jours.

- **Effet de la nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance « THÈSE » :**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de développement des Géomatériaux de l'Université de M'sila. L'objectif principal de ce travail est de développer l'effet de la nature des granulats sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité du béton à haute performance, Les bétons sont confectionnés à partir de mélanges comportant des teneurs variables en fumée de silice, poudre de marbre et laitier granulé et un super plastifiant. -Les ajouts cimentaires sont introduits en substituant une part de ciment, avec un rapport Eau /Liant constant (0.30) et un affaissement variant dans l'intervalle (7 et 14 cm) Les BHP testés sont soumis à des milieux agressifs variables (eau sulfatée, solution NaCl et solution de MgSO).

Dans cette investigation, deux sables ont été utilisés : un sable de dune (SD) et un sable concassé (SC) avec des proportions différentes. Les effets de la distribution de la qualité et la taille des grains de granulats fins naturels sur les propriétés physiques du sable binaire (module de finesse, densités absolue et apparente, de la porosité, la distribution de taille des particules et l'absorption

d'eau) sont étudiées. Les propriétés des bétons frais et durci ont été également analysées. Les résultats obtenus ont montré que le comportement physico –mécanique du BHP dépend de la nature et de la distribution granulométrique du sable étudié et de type d'ajouts cimentaire. Cette étude montre aussi, que le bon comportement des bétons aux milieux agressifs est obtenu avec du sable binaire (sable de dune et sable concassé)

LA STRUCTURE POREUSE DES BETONS ET LES PROPRIETES DE TRANSFERT :

Cet article réalisé par Jean-Pierre Ollivier et Jean-Michel Torrenti Université Gustave Eiffel. Cet article présente une étude sur La structure poreuse de béton et les propriétés de transfert, Pour diminuer la porosité capillaire et son interconnexion il faut réduire le rapport E/C et soigner la cure. La peau du béton est en outre particulièrement sensible au séchage précoce ce qui peut conduire lorsque la cure est insuffisante à un arrêt de l'hydratation très préjudiciable à l'obtention d'un béton de qualité.

La perméation et la diffusion ionique des bétons sont étudiées et les grandeurs associées (perméabilité et coefficient de diffusion effectif) sont définies. La mesure de ces grandeurs est délicate car le domaine de validité des lois qui les définissent est limité. Dans la pratique cela conduit à utiliser des protocoles de mesure bien précis. La perméabilité et le coefficient de diffusion des espèces ioniques (chlorures par exemple) sont nettement améliorés lorsque la cure du béton est soignée. La structure poreuse et les propriétés de transfert du béton, perméabilité et diffusion des espèces chimiques, peuvent être améliorées en utilisant des additions minérales ou des ciments binaires ou ternaires. Lorsque des additions sont utilisées, leur effet n'est bénéfique que dans la mesure où la cure est suffisamment longue.

- **Etude expérimental de la perméabilité a l'eau dans le béton comme indicateur de durabilité :**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de développement des Géomatériaux de l'Université de M'sila Le but de ce mémoire est une validation d'une méthode de contrôle expérimentale de la qualité de béton lorsqu'elle a un rôle d'étanchéité comme une piscine, qui nous permet de contrôler des différents bétons avec un indicateur majeur de durabilité, c'est à partir de l'essai de perméabilité à l'eau dans le béton qui représente la capacité du matériau poreux à être traversé par un fluide sous un gradient de pression .Les résultats de cette recherche de Porosité réalisés en laboratoire a permis d'observer.

- L'influence de certains facteurs et d'arriver aux conclusions suivantes.
- La porosité diminue lorsque le dosage de ciment augmente.

-
- La porosité diminue fortement lorsque le rapport E/C diminue.
 - La porosité augmente lorsqu'en utilise 15% d'ajout.
 - La porosité diminue en utilisant une cure dans l'eau saine.
 - La porosité augmente en utilisant une eau agressive.

- **Influence de la porosité et du degré d'humidité interne sur le comportement triaxial du béton**

Ce travail préparé au sein du Laboratoire 3SR Dans l'École Doctorale I-MEP. Le premier objectif de ces travaux de thèse est de mieux comprendre l'effet de la porosité sur le comportement du béton sous forts confinements. Dans ces optiques deux bétons sont formulés. L'un avec une porosité diminuée par rapport au béton de référence R30A7 et l'autre avec une porosité plus importante. Les résultats des campagnes d'essais montrent qu'effectivement la porosité ne joue plus de rôle prépondérant à forts confinements (400 MPA) sur la résistance du béton. En revanche la déformabilité du béton reste dépendante de la porosité globale du matériau. Le deuxième objectif de cette thèse est d'approfondir la connaissance des effets de l'eau sur le comportement du béton. Pour cela, des essais sur les deux bétons saturés précédemment formulés sont réalisés. Les résultats montrent les mêmes effets de l'eau que ceux observés sur le R30A7 mais influencés également par la porosité du matériau. Des essais sur béton humides sont également réalisés afin de compléter cette étude. Enfin, cette thèse propose le développement d'essais triaxiaux avec mesure de la pression interstitielle et le développement d'un capteur de déformation radiale adapté aux essais sous forts confinements.

- **Apport à la caractérisation de la porosité ouverte du béton d'enrobage par l'utilisation des tests d'absorption capillaire :**

Ce mémoire de thèse a été réalisé au Université Mohamed Khider. Ce travail expérimental a pour objectif, la contribution à la caractérisation de la porosité ouverte de la zone du béton d'enrobage en utilisant l'essai d'absorption capillaire et d'établir les liens existants entre la porosité ouverte caractérisée par l'absorption initiale de la zone du béton d'enrobage. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les effets du rapport eau/ciment, de type du ciment et de la cure humide sur la porosité ouverte et sur la profondeur de carbonatation. En effet, la porosité ouverte et la profondeur de carbonatation croît en fonction du rapport eau/ciment et le taux de croissance diminue en fonction de la durée de cure humide. De plus, on remarque que la porosité ouverte et la profondeur de carbonatation du béton à base de ciment CEM I 42.5 sont plus petites que celles du béton à base de ciment CEM II/B 42.5. Ceci signifie que le dosage du clinker influe sur l'absorption capillaire du béton d'enrobage, la carbonatation est plus importante pour un béton de ciment CEM II/B 42.5 que pour béton de ciment CEM I 42. A travers les résultats expérimentaux obtenus, des relations théoriques permettant de relier la résistance à la compression des bétons à

28 jours, module de déformation et la profondeur de la zone carbonatée à la porosité ouverte de la zone de peau caractérisée par l'absorption initiale du béton.

- **Durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique)**

- Influence de la forme des granulats (concassé-roulés) :**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire du Génie Civil de l'Université de M'sila. L'objectif de ce mémoire est de rappeler, bien définir, étudier l'influence de la qualité des granulats en milieux agressive parce qu'elles vont également fixer la durabilité du béton. Cette étude est basée sur les bétons en milieux agressives et l'influence des attaques chimiques sur les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons. Pour la Porosité des différents mélanges Sur granulat on remarque que la porosité du mélange de gravier diminue en augmentant le pourcentage de gravier roulé. Pour le rapport E/C on remarque une diminution du rapport E/C pour le mélange avec **100 %** gravier roulé, l'absorption des graviers roulés est faible par rapport aux graviers concassés cela améliore le rapport E/C. Pour la résistance de la compression on remarque la résistance de la compression augmente avec Le temps jusqu'à 28 jours, avec l'immersion en milieu acide de nos éprouvettes on remarque une diminution de la résistance à 60 jours et 90 jours, Avec de concentration de l'acides sulfurique (5%) on remarque aussi que le mélange avec 100% de gravier roulé est plus affecté par l'attaque acide que les mélanges contenant des graviers concassé

- **Etude expérimental de l'effet du rapport G/S sur les propriétés du transfert d'eau dans béton :**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de développement des Géomatériaux de l'Université de M'sila. Dans la présente étude expérimentale, a été présenté de la proportion du gravier dans un mélange sur les propriétés mécaniques et les propriétés de transfert d'eau dans béton (porosité).

Les proportions des différents composants sont déterminées par la méthode Dreux-Gorisse avec une variation du rapport G/S ($G/S=0$, $G/S=1$, $G/S=1,5$, $G/S=2$ et $G/S=2,5$) avec des dosages en ciment de 150 kg/m^3 , 250 kg/m^3 et 350 kg/m^3 . Les essais de porosité accessible à l'eau et du coefficient d'absorption ainsi que de la résistance à la compression, sont réalisés sur des échantillons cubiques de dimensions $(10*10*10) \text{ cm}^3$. Alors que l'évaluation des caractéristiques par les ondes ultrasoniques sont réalisés sur des échantillons cubique $(15*15*15) \text{ cm}^3$. Les résultats obtenus ont montré que le rapport G/S et le dosage en ciment affectent la résistance à la compression et les propriétés de transfert dans le béton (porosité). Les ondes ultrasoniques peuvent être une méthode efficace pour évaluer les propriétés internes du béton.

- **Elaboration et caractérisation de durabilité des bétons par l'étude des propriétés de diffusion des chlorures (cas d'environnement chimique agressif).**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de développement des Géomatériaux de l'Université de M'sila. A l'aide d'un essai de migration sous champ électrique, le coefficient de diffusion (D_e) est déterminé en régime stationnaire à partir de l'équation de Nernst-Planck basée sur des mesures des flux de chlorures et de temps. De ce fait des bétons à matériaux locaux ont été formulés : un béton avec le ciment Chamil avec un rapport Eau /Ciment 0.8 et 0.5 un dosage en ciment C250 et 400, un béton à haute performance avec le ciment CRS avec un rapport Eau /Ciment 0.8 et 0.5, et un dosage en ciment C250 et 400.

- **Durabilité des matrices ciment Portland - laitier de haut-fourneau activées par des chlorures :**

Cette thèse a été réalisée pour but d'évaluer les conséquences de l'utilisation d'activant chlorés sur la durabilité des liants contenant 50% de LHF. D'abord, une analyse des indicateurs de durabilité permet de voir comment l'activant modifie les propriétés de transfert du matériau durci ainsi que sur la structuration du réseau poreux. Cela permet de vérifier que l'activation à jeune âge n'hypothèque pas la durabilité des bétons avec laitier à long terme. Ensuite, une étude de l'état de corrosion des aciers dans ces mélanges est entreprise afin d'évaluer l'impact des activants chlorés, reconnus pour créer de la corrosion dans le béton armé. Des essais électrochimiques couplés à de l'observation directe ainsi qu'une étude microstructurale sur le devenir des chlorures au sein de la matrice cimentaire est effectuée. La faculté des mélanges à base de laitier à fixer les chlorures dans les hydrates est notamment étudiée. Enfin, le comportement des chlorures fixés est analysé, dans le cas où la carbonatation viendrait déstabiliser les hydrates. L'impact d'un relargage éventuel de chlorures est évalué à l'aide d'un modèle couplé carbonatation/diffusion des chlorures.

- **ETUDE COMPARATIVE DU BETON HAUTE PERFORMANCE ET UN BETON ORDINAIRE SOUMISES À UN CHARGEMENT THERMOMECHANIQUES.**

Cet article présente une étude comparative sur le comportement mécanique d'un béton haute performance BHP et celui d'un béton ordinaire soumis à des températures élevées. Les deux types de béton sont à base de granulats calcaires, les éprouvettes ont été testées à la compression uniaxiale, afin de pouvoir déterminer l'influence de la température sur la résistance à la compression des bétons en fonction de l'âge. Pour réaliser ce travail nous avons confectionnées une série d'éprouvettes de béton haute performance ainsi que du béton ordinaire, en suite ces éprouvettes ont été soumises à des différentes températures pour différents âges. Les essais du

chargement mécanique ont été faits après le refroidissement des éprouvettes, jusqu'à la température ambiante.

- **Etude expérimental de l'effet du rapport G/S sur les propriétés du transfert d'eau dans béton.**

Les proportions des différents composants sont déterminées par la méthode Dreux-Gorisse avec une variation du rapport G/S ($G/S=0$, $G/S=1$, $G/S=1,5$, $G/S=2$ et $G/S=2,5$) avec des dosages en ciment de 150 kg/m³, 250 kg/m³ et 350 kg/m³. Les essais de porosité accessible à l'eau et du coefficient d'absorption ainsi que de la résistance à la compression, sont réalisés sur des échantillons cubiques de dimensions (10*10*10) cm³. Alors que l'évaluation des caractéristiques par les ondes ultrasoniques sont réalisés sur des échantillons cubique (15*15*15) cm³. Les résultats obtenus ont montré que le rapport G/S et le dosage en ciment affectent la résistance à la compression et les propriétés de transfert dans le béton (porosité). Les ondes ultrasoniques peuvent être une méthode efficace pour évaluer les propriétés internes du béton.

- **AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES BPE À JEUNE ÂGE**

Ce travail présente les résultats d'un programme à caractère expérimental dans lequel les méthodes des plans d'expériences et des surfaces de réponse sont utilisées pour répondre à une problématique du secteur socio – économique sur la résistance des bétons à jeune âge et la possibilité de diminuer le dosage de la classe granulaire 16/25 qui est souvent responsable de blocage dans les conduites d'une pompe. Un plan factoriel complet a été donc utilisé pour modéliser l'influence de trois paramètres clés liés à la cohésion du mélange et à sa résistance. Les paramètres considérés dans cette étude sont : la teneur des fillers calcaires, le rapport G/S ainsi que le dosage en graviers 16/25. Les propriétés du béton ont été déterminées par l'essai d'affaissement au cône d'Abrams pour l'ouvrabilité et par des essais destructifs et non destructifs pour estimer les résistances à 3 jours et 28 jours ainsi que le module de Young. Les résultats ont montré qu'il est possible de réduire légèrement le dosage des graviers 16/25 sans pour autant nuire à la résistance mécanique. D'un autre côté, un ajout d'une petite quantité de fillers calcaires (environ 10% de la masse du ciment) permet d'améliorer les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des BPE. Par ailleurs, des modèles pour prédire l'affaissement et la résistance ont été développés dans ce travail. Ils offrent des informations concernant l'optimisation d'un BPE.

- **Etude de la porosité du béton ordinaire à base des sables de (sidi-Slimane et djamaa) par l'essai d'absorption capillaire :**

Ce travail réalise au laboratoire de de génie civile a Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued dont nous avons discuté dans cette étude l'effet du milieu agressif sur du béton ordinaire

utilisant deux types de sable disponibles dans notre région, qui est le sable de la carrière djamaa (wilaya de elouad) et le sable de la carrière de Sidi Slimane (wilaya de Touggourt). Nous avons comparé l'absorption d'eau du béton par la propriété capillaire, puisque la zone est connue pour le phénomène de montée d'eau, ainsi que la mesure dans laquelle le béton est affecté par le milieu agressif, la profondeur de carbonatation, et l'effet de ces deux facteurs sur la résistance du béton à la pression. Les résultats obtenus ont montré que le béton à base de sable de djamaa donne de meilleurs résultats que celui de Sidi Slimane.

- **INFLUENCE DE LA CARBONATATION SUR LA POROSITE DES BETONS :**

Le but de ce travail est de comparer la porosité au mercure de bétons sains et de bétons soumis à la carbonatation durant 28 jours. Pour se faire, quatre types de bétons à base de deux ciments (CEM I et CEM II) ont été testés. Le rapport E/C varie de 0.35 à 0.67. Un superplastifiant de production locale a été utilisé pour les deux bétons. L'influence de la carbonatation a été étudiée. Les résultats obtenus montrent que la porosimètre au mercure est une bonne méthode d'investigation de la carbonatation accélérée et que la carbonatation est bénéfique pour le béton seul du moment qu'elle réduit sa porosité.

- **INFLUENCE DE LA CARBONATATION SUR LA POROSITE ET LA PERMÉABILITÉ DES BETONS**

Ce travail s'insère dans l'opération de recherche du LCPC « Durabilité du béton et de ses constituants : maîtrise et approche performantielle », il a été effectué au sein de la division Béton et Composites Cimentaires et dans la section Microstructure et Durabilité du Béton durant de la période allant de début Mars à fin Juin 2003. Dans ce travail intitulé « Influence de la carbonatation sur la porosité et la perméabilité du béton » nous pouvons constaté 3 parties étudiées :

- Microstructure, propriétés et carbonatation du béton.
- Présentation des différents essais réalisés et des modèles utilisés.
- Analyse des résultats obtenus et interprétations.

- **Effet du climat chaud sur la porosité et la résistance à la compression du béton**

Une grande partie des problèmes de durabilité rencontrés dans les régions arides résulte du climat chaud pendant la saison de l'été et du changement cyclique de température entre le jour et la nuit. Dans ce travail, nous présentons l'étude des effets climatiques préjudiciables caractérisés par l'élévation de température sur la porosité accessible à l'eau et la résistance mécanique à la compression du béton.

L'étude expérimentale a été réalisée sur des échantillons de béton confectionnés avec un rapport E/C variable. Une partie de ces échantillons a été conservée à l'air libre, alors qu'une seconde partie a subi une cure standard à l'eau.

Les résultats obtenus montrent que le mode de conservation à l'air libre sous une température élevée, influe considérablement les caractéristiques du béton et principalement sa porosité accessible à l'eau et sa résistance à la compression.

D'après les résultats obtenus selon les travaux précédent, nous pouvons conclure que :

La porosité accessible à l'eau du béton diminue lorsque le rapport E/C décroît. Le mode de conservation influe considérablement la porosité accessible à l'eau du béton : la porosité des bétons conservés à l'air était supérieure à celle des bétons qui ont été conservés à l'eau (conservation standard).

Des Recherche précédente sur porosité

N°	Nom d'auteur	pays	Titre de sujet	Facteurs	conclusion
1	Hadj Sadok Ahmed. Foudhil Cherif Imane. Tayeb Said.	Blida Algeria	Méthode simplifiée de formulation d'un béton à haute performance avec et sans fibre métallique « article »	Rapport E/C. Dosage En Ciment.	Le facteur le plus impotent est E/C et la porosité =3.68%
2	Abderrachid AMRIOU	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	EVALUATION DE LA DURABILITE DU BETON PAR ESSAIS DE PERMEABILITE A L'EAU SOUS CONDITIONS CLIMATIQUES ET CHIMIQUES PREJUDICIALES« THÈSE»	- Rapport E/C hydratation de ciment	Le facteur le plus impotent est E/C Et la porosité impotente à la perméabilité
3	Rabah Chaid Laurent Molez, Malika Sabrai Mansour, Aïssa Talah	Journal of Materials and Engineering Structures, Mouloud Mammeri Université de Tizi-Ouzou. Algeria.	Comportement des BHP de laitier soumis aux cycles immersion-séchage « article »	L'ajout de Laitier	Composition des bétons avec et sans ajout de laitier.

4	TEBBAL Nadia	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	Effet de la nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance « THÈSE»	Les ajouts	connaître l'influence de ces agrégats sur les performances de durabilité des bétons et bétons HP dans un environnement chimiquement agressif
5	➤ Jean-Pierre Ollivier et Jean- Michel Torrenti	Université Gustave Eiffel	LA STRUCTURE POREUSE DES BETONS ET LES PROPRIETES DE TRANSFERT	le rapport E/C et la cure	Porosité, perméabilité, coefficient de diffusion, sont des critères physiques de durabilité des bétons
6	➤ Ben Slimane Aymen Bellatreche Amir	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	Etude expérimental de la perméabilité a l'eau dans le béton comme indicateur de durabilité	Rapport E/C Dosage En Ciment l'ajout cure	La porosité diminue lorsque le dosage de ciment augmente et le rapport E/C diminue

7	-Bernard SALESSES	Université de telouse	Durabilité des matrices ciment Portland - laitier de haut-fourneau activées par des chlorures		
8	-Ludovic Zingg	Université de Grenoble, 2013. Français.	Influence de la porosité et du degré d'humidité interne sur le comportement triaxial du béton		
9	-Mohamed Rabehi	Université Mohamed Khider – Biskra	Apport à la caractérisation de la porosité ouverte du béton d'enrobage par l'utilisation des tests d'absorption capillaire	Rapport E/C Dosage En Ciment	
1 0	-Mohamed Rabehia, -Salim Guettalaa -Bouzidi Mezghicheb	recherche en génie civil LRGCB, Université de Biskra, Algérie			
1 1	BOUABDALL AH Moulai Abdellah	Laboratoire Matériau Sol Thermique / Département de Génie Civil / U.S.T.Oran M.B	ETUDE COMPARATIVE DU BETON HAUTE PERFORMANCE ET UN BETONORDINAIRE SOUMISES À UN		

			CHARGEMENT THERMOMECAINIQUES		
1 2	-Debih abdelmohce ne	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées)		
1 3	➤ SALHI OKBA ➤ AMEUR SMAIL	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	Etude expérimental de l'effet du rapport G/S sur les propriétés du transfert d'eau dans béton		
1 4	➤ Ghehiouech e Sarrah Karima	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA Faculté de Technologie. Alegria	Elaboration et caractérisation de durabilité des bétons par l'étude des propriétés de diffusion des chlorures (cas d'environnement chimique agressif)		

1 5	<ul style="list-style-type: none"> ➤ AMRANI Abu-Bakr ➤ KORTI Neyla Fadia 	<p>Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen</p> <p>Faculté de TECHNOLOGIE</p>	<p>AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES BPE À JEUNE ÂGE</p>	<p>G/S</p> <p>Rapport E/C</p>	<p>ont été développés dans ce travail.</p> <p>Ils offrent des informations concernant l'optimisation d'un BPE.</p>
1 6	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amriou A.R ➤ Benchikh M ➤ -Deboucha S 	<p>Université de mohamed el bachir el ibrahimi</p>	<p>Effet du climat chaud sur la porosité et la résistance à la compression du béton</p>	<p>Rapport E/C</p> <p>La cure</p>	<p>La porosité accessible à l'eau du béton diminue lorsque le rapport E/C décroît</p>
1 7	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Walid JAAFAR 	<p>LCPC</p> <p>la France</p>	<p>INFLUENCE DE LA CARBONATATION SUR LA POROSITE ET LA PERMEABILITE DES BETONS (RAPPORT DE STAGE)</p>	<p>Rapport E/C</p> <p>l'ajout</p>	<p>ce travail a permis d'avancer significativement dans l'analyse des processus de dégradation du béton notamment la carbonatation</p>
1 8	<ul style="list-style-type: none"> ➤ AMRIOU A.R ➤ BENCHEIKH M ➤ DEBOUCHA S ➤ GUELMINE L 	<p>Laboratoire de développement des géo matériaux,</p> <p>Université de M'sila.</p> <p>Département de GC,</p> <p>U Mohamed El Bachir El Ibrahimi</p>	<p>INFLUENCE DE LA CARBONATATION SUR LA POROSITE DES BETONS</p>	<p>Le rapport E/C</p> <p>l'ajout</p>	<p>Le volume de la porosité capillaire dépend de la formulation du matériau cimentaire. Le paramètre principal est le rapport E/C</p>

1 9	<ul style="list-style-type: none"> ➤ TATI L ➤ Khoudane N ➤ Baira B 	<p>Université Echahid Hamma Lakhdar d'El- Oued</p>	<p>Etude de la porosité du béton ordinaire à base des sables de (sidi-Slimane et djamaa) par l'essai d'absorption capillaire et la profondeur de carbonatation</p>	<p>Rapport E/C</p> <p>Rapport G/S</p>	<p>montré que le béton à base de sable de djamaa donne de meilleurs résultats que celui de Sidi Slimane.</p>
--------	---	--	---	---	--

Tableau 5 1 Des Recherche précédente sur porosité

5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons montré que le transport d'humidité dans les matériaux cimentaires dépend l'interconnexion des pores capillaires. La porosité capillaire est principalement liée au rapport E/C et à l'hydratation du ciment.

CHAPITRE : METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES

INTRODUCTION :

Les plans d'expérience sont de plus en plus utilisés dans l'industrie et dans les laboratoires de recherche. Ils permettent en effet de modéliser au mieux un phénomène aléatoire, le plus souvent complexe, à l'aide d'un minimum d'essais. Ils s'inscrivent donc dans la démarche constante d'amélioration de la qualité ou de la productivité. (Tinsson, 2010). Ce chapitre regroupe les notions de base de la méthode des plans d'expériences, qui restent un moyen efficace pour réduire le nombre d'essais expérimentaux à réaliser et prédire des modèles grâce à plusieurs logiciels de statistique tel que Minitab. [12]

1. Choix de la méthode d'expérimentation :

La méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats. Elle doit également minimiser le nombre des essais sans toutefois sacrifier la qualité. La théorie des plans d'expériences assure les conditions pour lesquelles on obtient la meilleure précision possible avec le minimum d'essais. On a donc le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent le cout minimum.

2. LES DIFFERENTS TYPES DE FACTEURS :

La construction des plans et l'interprétation des résultats dépendent en grande partie des types de facteurs rencontrés dans l'étude. On distingue plusieurs types de facteurs. Nous retiendrons les types de facteurs suivants : les facteurs continus, les facteurs discrets, les facteurs ordonnables, les facteurs booléens.

2.1. Facteurs continus :

La pression est un exemple de facteur continu. Dans un intervalle de pression donné, on peut choisir toutes les valeurs possibles. Il en est de même d'une longueur, d'une concentration ou d'une température. Les valeurs prises par les facteurs continus sont donc représentées par des nombres continus.

2.2. Facteurs discrets :

Au contraire, les facteurs discrets ne peuvent prendre que des valeurs particulières. Ces valeurs ne sont pas forcément numériques : on peut représenter un facteur discret par un nom, une lettre, une propriété ou même par un nombre qui n'a alors en soi aucune valeur numérique mais qu'une signification de repère. Par exemple, on peut s'intéresser aux couleurs d'un produit : bleu, rouge et jaune sont des facteurs discrets.

2.3. Facteurs ordonnables :

Il s'agit de facteurs discrets que l'on peut mettre dans un ordre logique. Par exemple, grand, moyen, petit, ou encore premier, deuxième, troisième et quatrième.

2.4. Facteurs booléens :

Les facteurs booléens sont des facteurs discrets qui ne peuvent prendre que deux valeurs : haut ou bas, ouvert ou fermé, blanc ou noir, etc. [12]

3. NOTION D'ESPACE EXPERIMENTAL :

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la réponse, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot facteur. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (Figure 9). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée niveau. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut.

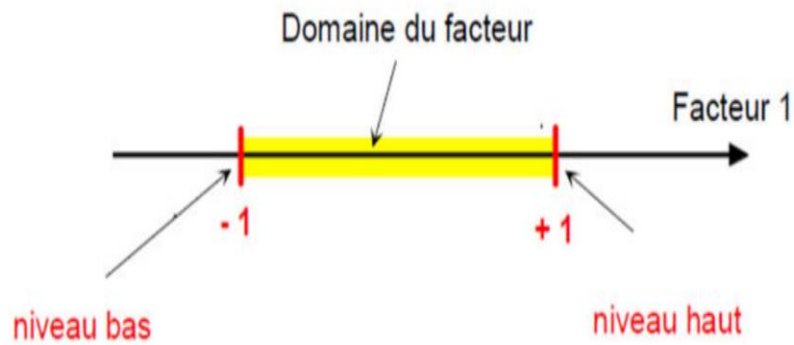


Figure 2 le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur. [12]

Le niveau bas du facteur est noté par -1 et le niveau haut par $+1$. Le domaine de variation du facteur est constitué de toutes les valeurs comprises entre le niveau bas et le niveau haut. L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le domaine du facteur. On a l'habitude de noter le niveau bas par -1 et le niveau haut par $+1$.

S'il y a un second facteur, il est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. On définit, comme pour le premier facteur, son niveau haut, son niveau bas et son domaine de variation. Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé l'espace expérimental (Figure 10).

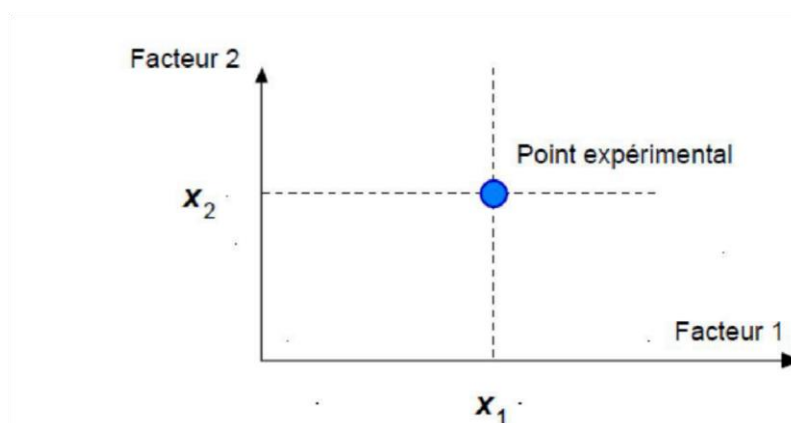


Figure 3: l'espace expérimental d'un facteur.

Chaque facteur est représenté par un axe gradué et orienté. Les axes des facteurs sont orthogonaux entre eux. L'espace ainsi défini est l'espace expérimental. Le niveau x_1 du facteur

1 et le niveau x_2 du facteur 2 peuvent être considérés comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental (Figure 11). Une expérience donnée est alors représentée par un point dans ce système d'axes. Un plan d'expériences est représenté par un ensemble de points expérimentaux.

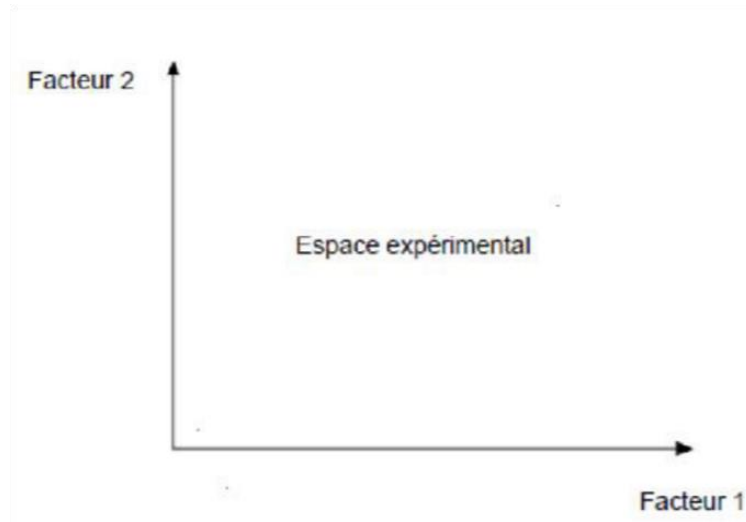


Figure 4 les points expérimentaux dans un espace expérimental.

Dans l'espace expérimental, les niveaux des facteurs définissent des points expérimentaux. Le regroupement des domaines des facteurs définit le «domaine d'étude». Ce domaine d'étude est la zone de l'espace expérimental choisie par l'expérimentateur pour faire ses essais. Une étude, c'est-à-dire plusieurs expériences bien définies, est représentée par des points répartis dans le domaine d'étude (Figure 12). Cette façon de représenter une expérimentation par des points dans un espace cartésien est une représentation géométrique de l'étude. [13]

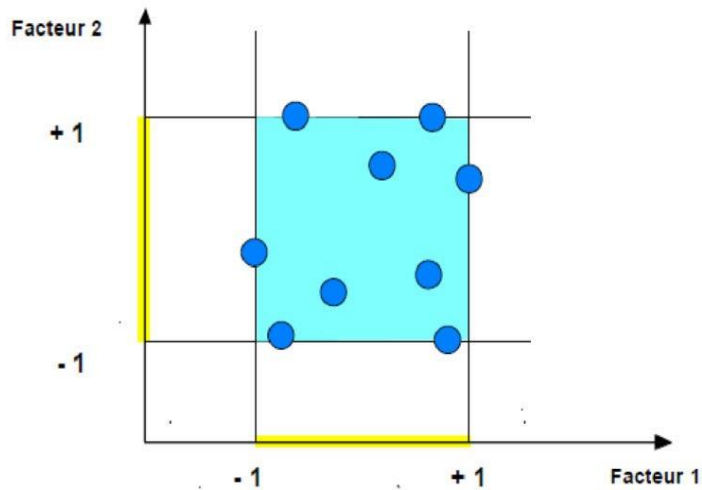


Figure 5 les points expérimentaux dans un domaine d'étude.

4. LOGICIEL UTILISE :

4.1. Présentation de logiciel « Mini tab » :

Mini tab est un logiciel propriétaire commercial de statistiques. Il est développé par Mini tab, Inc. pour le système d'exploitation Windows uniquement. Il est largement utilisé par les universités pour enseigner les statistiques, et les développeurs le dirigent particulièrement aux entreprises en affichant leur intention de les rendre plus performantes selon la méthode « Six Sigma ». Logiciel développé depuis 1972 et disponible en 8 langues.

1.1. Diagramme de Pareto :

Le diagramme de Pareto est un graphique représentant l'importance de différentes causes d'un phénomène. Ce diagramme permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

1.2. Diagramme des effets principaux :

Un graphique des effets principaux permet d'examiner les différences entre les moyennes des niveaux d'un ou plusieurs facteurs. On parle d'effet principal lorsque les différents niveaux d'un facteur ont une incidence sur la réponse. Un graphique des effets principaux affiche la moyenne de la réponse pour chaque niveau de facteur connecté par une ligne.

Lorsque vous sélectionnez **Stat > ANOVA > Graphique** des effets principaux, Mini tab crée un graphique qui utilise les moyennes des données. Après avoir ajusté et stocké un modèle, vous pouvez l'utiliser pour générer des graphiques utilisant des moyennes ajustées.

1.3. Diagramme des interactions :

La fonction Diagramme des interactions permet de déterminer l'influence d'un facteur de catégorie sur la relation entre un second facteur de catégorie et une réponse continue. Ce diagramme affiche les moyennes correspondant aux niveaux d'un facteur sur l'axe des X, ainsi qu'une courbe distincte pour chaque niveau d'un autre facteur.

1.4. Equation de régression :

Une équation de régression permet de décrire la relation entre la réponse et les termes du modèle. L'équation de régression est une représentation algébrique de la droite de régression. L'équation de régression pour le modèle linéaire prend la forme suivante : $Y = b_0 + b_1x_1$. Dans l'équation de régression, Y représente la variable de réponse, b_0 est la constante ou l'ordonnée à l'origine, b_1 est le coefficient estimé du terme linéaire (également appelé pente de la droite) et x_1 est la valeur du terme.

L'équation de régression avec plusieurs termes prend la forme suivante :

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

Dans l'équation de régression, les lettres représentent les éléments suivants :

y est la variable de réponse

b_0 est la constante

b_1, b_2, \dots, b_k sont les coefficients

X_1, X_2, \dots, X_k sont les valeurs du terme

Si le modèle contient à la fois des variables continues et des variables de catégories, le tableau de l'équation de régression peut afficher une équation pour chaque combinaison de niveaux des variables de catégorie. Pour utiliser ces équations afin d'effectuer des prévisions, vous devez choisir celle qui est la mieux adaptée, en vous fondant sur les valeurs des variables de catégorie, puis entrer les valeurs des variables continues. [14]

2. Introduction au logiciel MINITAB :

Le logiciel Minitab est un logiciel de statistiques dans lequel une partie est consacrée aux plans d'expériences.

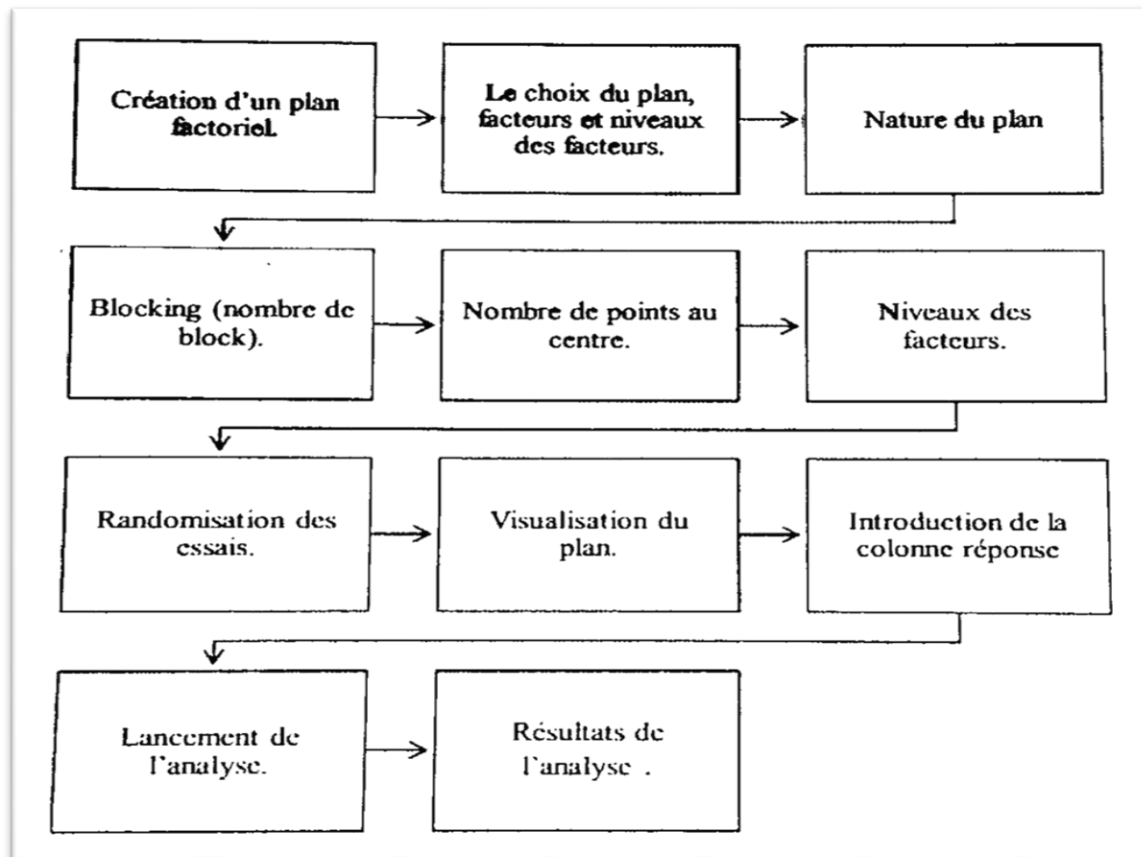


Figure 1.4.1 Introduction au MINITAB

CONCLUSION :

La méthode des plans d'expériences consiste à organiser la démarche expérimentale et l'analyse décisionnelle en appliquant des règles rigoureuses basées sur l'exploitation des propriétés algébriques et statistiques des matrices décrivant les expériences. Elle amène une méthodologie pour résoudre nos problèmes d'optimisation.

Chapitre 3 : Caractéristiques des matériaux utilisés

Introduction :

Pour avoir une bonne qualité des bétons, il y a lieu de connaître au préalable toutes les caractéristiques des constituants qui forment le mélange des bétons. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes caractéristiques de tous les matériaux nécessaires pour la formulation de nos bétons. La méthode de DREUX-GORISSE nous a permis de donner la formulation du béton de référence.

3. Caractéristiques des matériaux utilisés :

La caractérisation est faite d'un point de vue physique (la masse volumique apparente et absolue, l'analyse granulométrie et, la propreté, etc.). Ces connaissances permettraient de bien connaître les différents paramètres qui vont Influencer les propriétés physiques et mécaniques du mélange contenant ces matériaux.

Les essais d'identification des matériaux utilisés ont été réalisés au sein du laboratoire de Génie civil. Les matériaux utilisés sont :

- Le sable fin de la région de BOUSSAADA (OUED MAITAR).
- Le sable (0/3) de la région BOUSSAADA.
- Le gravier.
- Le ciment mokamouem plus de Lafarge Algérie.
- L'eau potable du Laboratoire du génie civile – université de Msila.
- Adjuvant super plastifiant MEDAflaw 30.
- Adjuvant hydrofuge NOVA FUGE LIQUIDE.
- Terre blanche de la région BOUKHMISSA.
- Laitier d'El-Hadjar

3.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique par tamisage (Norme NF 94-056) permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons.

Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers (dimension nominale inférieure ou égale à 0.080 mm). L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et l'opération de tamisage des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis par l'intermédiaire d'une tamiseuse électrique. Dans notre étude, nous avons utilisé les tamis de modules 20 (0.080 mm), 23 (0.160 mm), 26 (0.315 mm), 39 (0.630 mm), 32 (1.25 mm), 35 (2.50 mm) et 38 (5 mm).

Les tableaux présentent les résultats de l'analyse granulométrique de sable fin S_f et sable (0/3) $S_{0/3}$ et analyse granulométrique de gravier 3/8 et gravier 8/16.

Principe

d'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis, pendant cinq minutes pour le sable et sept minutes pour le gravier puis on prélève les différents refus de chaque tamis et on les pèse.

Mode opératoire :

Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond :

Verser le matériau sec dans la colonne de tamis.

Agiter mécaniquement cette colonne.

Prendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle.

Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage.

- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.
- Suivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la
- Vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisas et de la masse initiale...).

Les résultats des analyses granulométriques :

Analyse granulométrique de sable fin 1500 kg

	tamis	refus partial	refus cumulé	refus%	tamisât %
29	0.63	0	0	0	100
26	0.315	16	16	1.06	98.93
23	0.16	1433	1449	96.6	3.4
20	0.08	50	1499	99.93	0.067
MODULE DE FINESSE		1.976			

Figure 2 Analyse granulométrique de sable fin 1500 kg

Analyse granulométrique de sable fin 1500 kg

	tamis	Refus partial	refus cumulé	refus%	tamisât %
38	5	0	0	0	100
35	2.5	69	69	4.6	95.4
32	1.25	70	139	9.27	90.73
29	0.63	146	285	19	81
26	0.315	717	1002	66.8	33.2
23	0.16	436	1438	95.87	4.13
20	0.08	60	1498	99.87	0.13
MODULE DE finesse		2.954			

Figure 3 Analyse granulométrique sable 0/3 1500 kg

Analyse granulométrique de gravier 8/16 3200 kg

tamis	refus partial	refus cumulé	refus%	tamisât %
8	12	12	0.8	99.2
6.3	409	421	28.07	71.93
5	604	1025	68.33	31.67
4	320	1345	89.67	10.33
3.15	125	1470	98.00	2.00
0	29	1499	99.93	0.07

Figure 4 Analyse granulométrique gravier 3/8 1500 g

Analyse granulométrique de gravier 8/16 3200 kg

tamis	refus partial	refus cumulé	refus%	tamisât %
16	65	65	2.031	97.96
12.5	1176	1241	38.78	61.21
10	1382	2623	81.96	18.03
8	520	3143	98.21	1.78
0	53	3196	99.87	0.12

Figure 5 analyse granulométrique gravier 8/16 3200 kg

1.2.L'EQUIVALENT DE SABLE

1.2.1. PRINCIPE DE L'ESSAI

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, et on mesure les éléments.

Cette dernière peut être réalisée par deux types de mesure :

Mesure avec une règle de mesure (ESV). $ESV = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100 \%$

Mesure avec un piston (ES). $ES = \frac{h_2}{h_1}$

.100%

Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.

Hauteur h_2 : sable propre seulement (à vue).

Hauteur h_2' : sable propre seulement (au piston).

Préparation de l'échantillon : Il faut tamiser au tamis de 5 mm, éliminer le refus, et recueillir tout le tamisât.

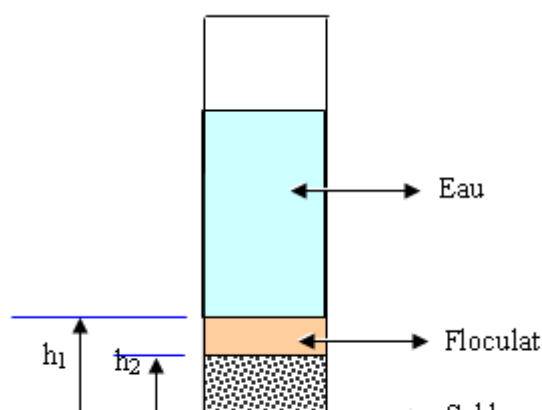


Figure 1.2.1 ESSAI DE L'EQUIVALENT DE SABLE

1.2.2. Produits utilisés lors de l'essai

:

Un lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis. On utilise donc une solution spéciale qui fait flocculer les éléments fins et en régularise la sédimentation.

- Solution concentrée.
- Solution lavant.

1.2.3. Matériels utilisés :

Ce matériel est précisé par la norme NF P 08 501 :

- 03 éprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères bouchons.
- Entonnoir.
- Bonbonne de 5 l.
- Bouchon pour cette bonbonne, avec siphon et tube souple de 1.5 m environ.
- Tube laveur, prolongeant le tube souple métallique.
- Machine agitatrice électrique.

-
- Règle de mesure.
 - Piston taré, dont la masse mobil est de 100 g : son diamètre d est légèrement inférieur à celui D des éprouvettes.
 - Et aussi le matériel d'usage courant non spécialisé : tamis, spatule, récipients divers, balance, chronomètre.

1.2.4. MODE OPERATOIRE

Pour l'étude expérimentale de cet essai on va :

- remplir les éprouvettes jusqu'au premier trait.
- Verser la quantité de sable (environ 120 g).
- Eliminer les bulles d'air (frapper contre la paume de la main).
- Laisser reposer 10 min.
- Boucher les éprouvettes, et les agiter à l'aide d'une machine agitatrice électrique (mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal, 20 cm d'amplitude, 90 aller et retours en 30 S).
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube laveur :
- rincer le bouchon au-dessus de l'éprouvette.
- faire descendre le tube en le faisant tourner entre les doigts, on lave ainsi les parois intérieures de l'éprouvette.
- laver le sable, pour cela descendre et remonter lentement le tube laveur que l'on tourne entre les doigts dans la masse du sable, on fait aussi remonter les particules fines.
- sortir le tube laveur lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur.
- laisser reposer 20 min, éviter toute vibration.
- Mesurer a vue h_1 et h_2 la mesure de h_2 n'est pas toujours aisée. ESV qui en résulte est donc entaché d'incertitude. Ce qui conduit à faire la mesure plus précise suivante.
- Descendre lentement le piston taré dans le liquide à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette. L'immobiliser au contact du sable mesurer h_2 .

1.2.5. Expression des résultats

On calcule, pour chaque éprouvette, ESV et ES avec une précision décimale et on retient les moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

Les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable suivant la norme en vigueur sont présentées dans le tableau suivant :

$$ES = \frac{h2'}{h1} \times 100$$

$$ESV = \frac{h1}{h2} \times 100$$

1.2.6. La résultat d'équivalent de sable :

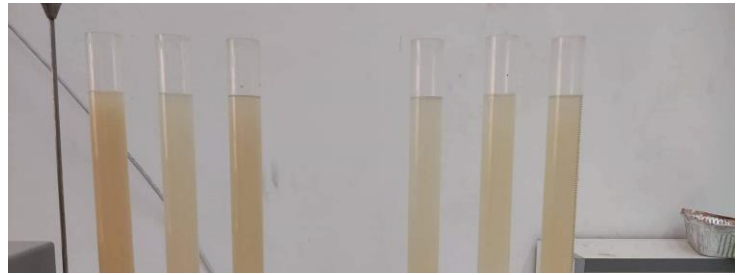
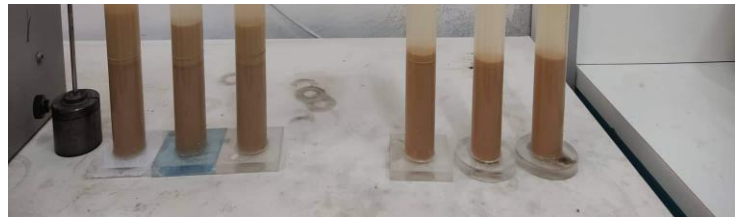


Figure 1.2.2 essai d'équivalent de sable



NATURE DE L'ECHANTILLON	Mass e (g)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	ES en %	ES moye n
Sable de fin	300	9.5	10	95	95
		9.3	9.8	94.89	
		9.8	10.3	95.14	
sable 0/3	300	9	10.7	84.11	85.94
		9.3	10.9	85.32	
		9.9	11.2	88.39	

Tableau 6 L'Equivalent de Sable

ESV a vue (en%)	ES piston (en%)	Nature et qualité du sable.
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux : à ne pas utiliser.
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ES < 70	Sable légèrement argileux Admissible pour bétons courants avec risque de retrait important.
75 ≤ ESV < 85	70 ≤ ES < 80	Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.

Tableau 7 Nature et qualité du sable.

1.3.Résultats de la Nature et qualité du sable :

- ✓ Le sable de dune étudié donne un équivalent de sable à vue supérieur à 80%, et celui au piston supérieur à 80 %, ce qui confirme que ce sable est un Sable très propre convient bien pour les bétons de haute qualité.
- ✓ Le sable fin donne un équivalent de sable à vue supérieur à 90 %, et celui au piston supérieur à 90%, ce qui confirme que ce sable est un Sable très propre convient bien pour.

Module de finesse :

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis. Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante. Un module de finesse est d'autant plus faible que le granulat est riche en éléments fins. Le module de finesse (MF) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable,

✓ $MF_{(0/3)} = 2.95$

✓ $MF_{(f)} = 1.97$

Les normes soviétiques spécifient le Mf des sables comme suit :

- ✓ Sable gros $Mf > 2.5$
- ✓ Sable moyen $2 < Mf < 2.5$
- ✓ Sable fin $1.5 < Mf < 2$
- ✓ Sable très fin $1 < Mf < 1.5$

1.4.Masse volumique : (NF EN 1097 - 6 (2001)) :

Définition

- **Masse volumique absolue ρ_s** : est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides entre les grains.
- **Masse volumique apparente ρ** : est la masse d'un matériau par unité de volume total y compris les vides entre les grains La masse volumique s'exprime en t/m^3 , kg/dm^3 ou bien g/cm^3 .

Remarque : il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité. Cette dernière représente le rapport entre la masse d'un volume absolu de matière (sans les vides) et la masse du même volume d'eau.

1.4.1. Equipement nécessaire

- Éprouvette de 500 cm^3 .
- Pycnomètre 500 cm^3 .
- Balance.
- Entonnoir métallique spécial avec un récipient de 1 dm^3 .

1.4.2. Conduite de l'essai

Masse volumique absolue :

Méthode de l'éprouvette graduée : Cette méthode est très simple et très rapide et elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau ;
- Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300 g);

Introduire l'échantillon M dans l'éprouvette en éliminant les bulles d'aires ;

Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 ;

Déterminer le volume absolu $V_2 - V_1$;

Déterminer la masse volumique absolue par : $\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$

Masse volumique apparente :

Mettre un échantillon de sable dans l'entonnoir ;

Verser le sable dans la mesure en ouvrant l'entonnoir jusqu'à ce qu'il déborde formant un cône.

Araser à l'aide d'une règle ;

Peser le contenu soit M (en kg).

Les résultats suivant :

Matériaux	Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)			Masse volumique apparente ρ (g/cm ³)
	Éprouvette	ρ_s	moyen	
Sable fin	1	2.61	2.61	1.44
	2	2.61		
	3	2.61		
Sable 0/3	1	2.61	2.61	1.44
	2	2.61		
	3	2.61		
Gravier 8/15	1	2.66	2.6	1.37
	2	2.5		
	3	2.66		
Gravier 15/25	1	2.5	2.55	1.32
	2	2.66		
	3	2.05		

1.5.L'adjuvant MEDAFLOW 30 :

1.5.1. Description : Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

1.5.2. Caractéristique

- AspectLiquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%.



Figure 19 L'adjuvant MEDAFLOW 30

1.1.1. Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEGALO 30 permet

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation

Le MEDAFLOW 30 ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage a été ajoutée.

Le MEDAFLOW 30 peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant, Il est conseillé d'ajouter le MEDAFLOW 30 à un béton qui ne soit pas trop ferme.

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherché faciliter la mise en œuvre du béton. (Voir l'annexe 1)

1.2.NOVA FUGE LIQUIDE

1.2.1. DESCRIPTION NOVA FUGE LIQUIDE :

Est un adjuvant liquide prêt à l'emploi permettant de diminuer le taux d'absorption d'eau des bétons et mortiers. Il est compatible avec tous les ciments.

MODE D'EMPLOI :

Le NOVA FUGE LIQUIDE doit être ajouté après avoir introduit les autres composants (ciment, sable, agrégats).

L'action de NOVA FUGE LIQUIDE est optimale si le ciment et les agrégats sont déjà mouillés au moins 50 à 70% avec l'eau de gâchage. (Voir l'annexe 2)

1.3.Le ciment Mokaouem

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.



Figure 20 NOVA FUGE LIQUIDE



Figure 10 ciment MOKAOUEM PLUS

Laitier granulé du haut fourneau :

Les laitiers sont des silico_aluminates de calcium et de magnésium, ils sont constitués essentiellement par quatre oxydes ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO}$) et contenant en petite quantité les oxydes ($\text{TiO}_2 - \text{MnO} - \text{FeO}$). Le laitier suffisamment vitrifié est réactif. Afin de l'obtenir, on a recouru à un refroidissement rapide, en utilisant les procédés de granulation par voie humide et demi sèche. (Bijen, 1996). Le laitier utilisé dans cette étude provient du combinat métallurgique d'el hadjar (Annaba, Algérie), il est obtenu par un refroidissement rapide dans des bassins d'eau, présentant un module de basicité ($M_b = 1.074$), broyé jusqu'à une surface spécifique de $3000 \text{ m}^2/\text{g}$, sa composition chimique est spécifiée au (tableau 2). Tableau 2.

Teneur %						
SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	MnO	S
40.8	5.20	43.01	0.53	6.4	3.02	0.8

tableau 1 composition chimique du laitier



Figure 11 Laitier de el hadjar

L'ajout (terre vert) :

L'ajout utilisé est un terre vert se forme des roches de la région BOUKHMISSA, les

Roches broyer dans laboratoire de Géo Matériaux de université M'sila et tamiser avec



tamis0.63

Figure 23 L'ajout (terre vert)

Formulation de béton :

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

Ils existent de nombreuses méthodes pour déterminer la composition du béton, on cite :

- Méthode de **BOLOMEY**.
- Méthode d'**ABRAMS**.

- Méthode de *FAURY*.
- Méthode de *Dreux-Gorisse*.
- Méthode de *VALETTE*.
- Méthode de *JOISEL*.

Méthode de Dreux-Gorisse

Cette méthode permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié. Toutefois, seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvette permettront d'ajuster au mieux la composition définitive en fonction des qualités souhaitées et des matériaux utilisés.

Données de base

- **Nature de l'ouvrage** : ouvrage massif, élancé, de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé.
- **Résistance souhaitée** : $\sigma'_{28} = \sigma'_n + 15\%$

Ou σ'_n : la résistance nominale demandée.

- **Consistance désirée** :

Elle est fonction de la densité de ferrailage, des moyens de serrage, ..., etc. Elle est définie par affaissement au cône *d'Abrams*, indiquée dans le tableau suivant :

Plasticité	Serrage	Affaissement A en cm
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9
Béton mou	Piquage	10 à 13
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14

Tableau 2 Consistance du béton

- **Dimension maximale des granulats** : (D_{max})

Elle est fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner (coffrage, ferrailage,...). Les valeurs de D sont données au Tableau 8, pour une granulométrie continue. Pour une granulométrie discontinue il convient de diminuer les valeurs de 20 %.

Caractéristiques de la pièce à bétonner	Dimension maximale des granulats	
	Roulés	Concassés
e (espacement horizontal entre armatures)	$\leq 0.9 e$	$\leq 0.8 e$
c (couverture)	$\leq 0.8 c$	$\leq 0.7 c$
r (rayon moyen du ferrailage)	$\leq 1.8 r$	$\leq 1.6 r$
R (rayon moyen du moule)	$\leq 1.2 R$	$\leq R$
h_m (épaisseur minimale)	$\frac{h_m}{\leq 4}$	$\frac{h_m}{\leq 4}$

Tableau 9 Evaluation de Dmax

➤ **Dosages en ciment et en eau :**

On commence par évaluer le rapport $\frac{C}{E}$ en fonction de la résistance moyenne désirée σ'_{28} qui est donnée par la formule :

$$\sigma'_{28} = G \cdot \sigma'_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Où : G : coefficient granulaire.

σ'_{28} : Résistance moyenne désiré à 28 jours [MPa].

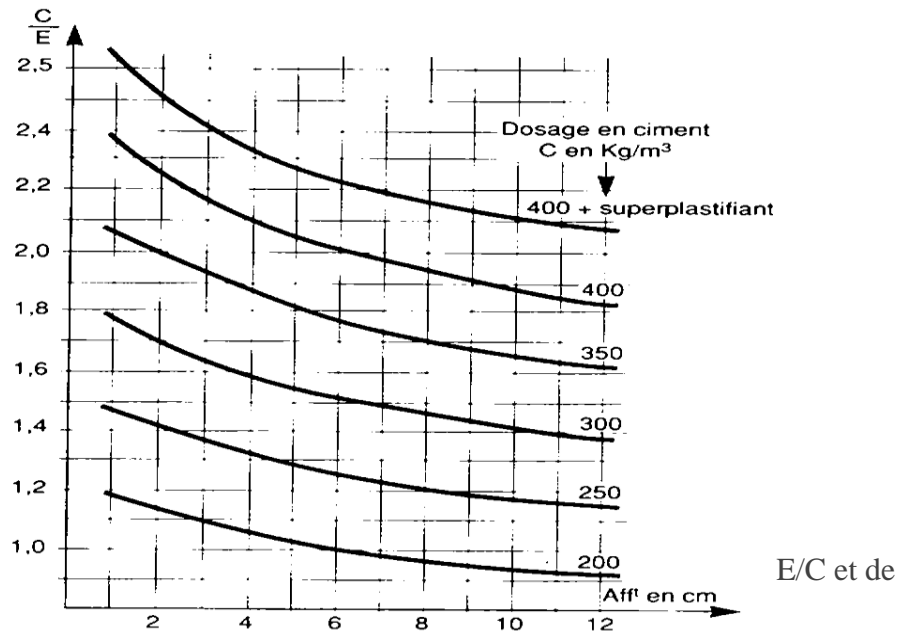
σ'_c : Classe de résistance vraie du ciment [MPa].

C : Dosage en ciment [Kg/m³].

E : Dosage en eau [l/m³].

La valeur définitive du rapport $\frac{C}{E}$ doit respecter les conditions de consistance. Pour cela on se

réfère aux conclusions de graphe de : $C = f\left(\frac{C}{E}, A\right)$. On obtient ainsi "C"



Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq 16$ mm)	Moyens ($25 \leq D \leq 40$ mm)	Gros ($D \geq 63$ mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau 10 Dimension D des granulats et Qualité des granulats

Dimension maximale des granulats D (mm)							
Correction sur E (%)							

Tableau 11 Correction sur E en fonction de Dmax.

- **Dosages des granulats :**

❖ **Tracé de la courbe granulométrique de référence**

Elle doit être tracée sur une feuille d'analyse granulométrique (papier semi-logarithmique). Le ciment n'est pas inclus dans la courbe. Celle-ci est composée de deux segments OA et AB avec brisure en A. Abscisse x du point de brisure A : Si $D < 25 \text{ mm} : D/2$

Si $D > 25 \text{ mm} : A$ se projette au milieu du segment limité par le module 38 (6.3 mm passoire) et le module correspondant à D.

- Ordonnée y du point de brisure A : $y = 50 - \sqrt{D} + k$

Avec : k est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de la forme des granulats, de la puissance de serrage et de la finesse du sable.

K : est lu au tableau suivant :

Vibration		Faible		Normal		puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassé		Concassé		Concassé	
Dosage en ciment en kg/m ³	400 + fluidifiant	0		-2		-4	
	400	2		0		-2	
	350	4		2		0	
	300	6		4		2	
	250	8		6		4	
	200	10		8		6	
<ul style="list-style-type: none"> • Correction supplémentaire k_s : si $M_f \neq 2.5$; $k_s = 6 M_f - 15$ • Correction supplémentaire k_p : pour un béton pompable $k_p = +5$ à $+10$ 							

Tableau 12 Valeur du terme correcteur k.

Volume total des granulats

Consistance	Serrage	γ_c coefficient de compacité				
		D = 5	D = 10	D = 12.5	D = 20	D = 25
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.815
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.820
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.825
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840
Plastique	Piquage	0.730	0.790	0.805	0.815	0.825
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.830
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.835
	Vibration normale	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.850
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.845
	Vibration normale	0.785	0.815	0.830	0.840	0.850
	Vibration puissante	0.795	0.825	0.840	0.850	0.860

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.

Tableau 13 valeurs du coefficient de compacité c en fonction de D_{max} des granulats, de la consistance et de l'efficacité du serrage

Le coefficient de compacité γ_c est le rapport du volume absolu des matières solides (ciment et granulats) par unité de volume de béton frais.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est:

Où : C est le volume absolu du ciment. Avec : C est le dosage en ciment.

γ_c : coefficient de compacité (tableau 13).

❖ Proportions des divers granulats

On trace les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5% de la courbe du granulat suivant et ainsi de suite. L'intersection de la courbe de référence avec la ou les droites de partage détermine le pourcentage en volume absolu des granulats.

Pourcentage de granulats :

sable 0/3	15%
sable fin	19%
gravier 3/8	25%
gravier 18/16	41%
Vc	129.03
Vg	0.70

Tableau 14 quantité de chaque composant

Nous réduisons une quantité proportionnelle de composés et ajouter la même quantité d'ajout (laitier et argile blanche) afin en ajoutant une quantité de 2.5 % de poids de ciment d'adjuvant (medeflw30) et 2% de poids de ciment hydrofuge (novafuge).

Les formulations :

N°	sable fin	Sable 0/3	gravier 3/8	gravier 8/16	E/C	ciment
1	2.674	1.878	3.259	5.345	0.300	5.520
2	2.549	1.721	3.052	5.006	0.300	5.520
3	2.674	1.878	3.259	5.345	0.300	5.520
4	2.549	1.721	3.052	5.006	0.300	5.520
5	2.273	1.371	2.592	4.251	0.300	7.360
6	2.108	1.161	2.316	3.799	0.300	7.360
7	2.273	1.371	2.592	4.251	0.300	7.360
8	2.108	1.161	2.316	3.799	0.300	7.360

Tableau 15 formulation du béton en kg

1.4.Procédures de coulage et mode de conservation :

1.4.1. Confection des éprouvettes :

Les constituants du béton ont été introduits dans le malaxeur par ordre décroissant de granulométrie et ont été mélangés à sec pendant 30 secondes. L'eau sera introduite avec le Super plastifiant 2.5 % et hydrofuge 2% a été ensuite introduite pendant 1 minute et le malaxage poursuivi durant 3 minutes. La mise en place du béton a été réalisée conformément aux normes françaises NFP 18-404 («Bétons - Essai d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des corps d'épreuve »). La mise en table vibrante quartes éprouvettes ont été confectionnées pour chaque composition de béton. Pour les essais de porosité.

Les moules sont des moules cubique métalliques de dimensions $(10 \times 10 \times 10)cm^3$

1.4.2. Mode de cure :

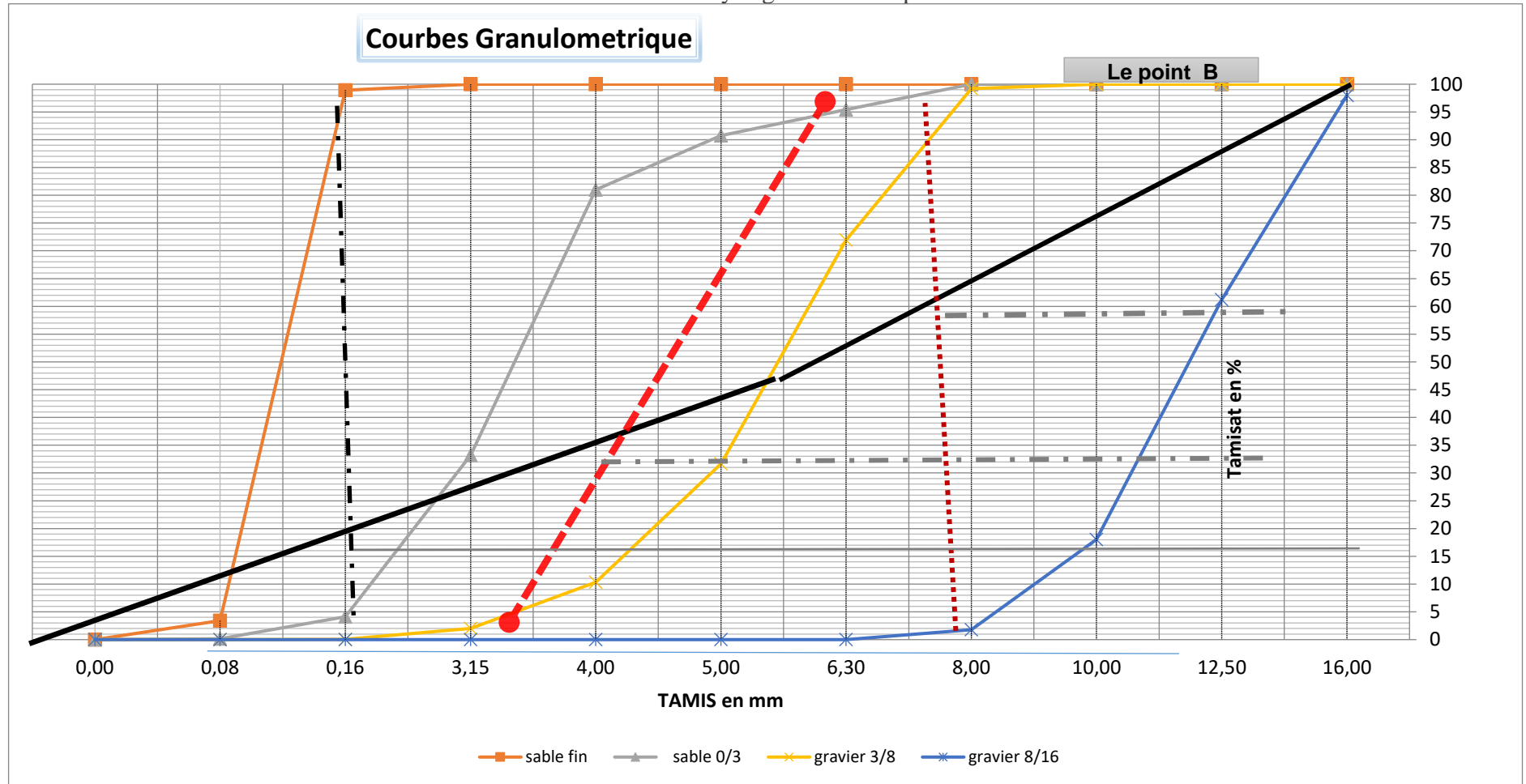
les éprouvettes de béton utilisées dans cette campagne expérimentale ont suivi les deux modes de cure et le même conditionnement conformément à la norme NFP 18- 404 et aux recommandations de l'AFPC-AFREM (1997).

Après coulage, les éprouvettes ont été démoulées à 24 heures, les éprouvettes sont conservées selon deux modes de cures pendant 28.

8 Éprouvettes à l'eau potable.

8 éprouvette à l'air humide.

La courbe de l'analyse granulométrique



RESULTATS ET DISCUSSION :

La porosité accessible à l'eau : P_{eau} :

Les essais de porosité accessible à l'eau sont réalisés selon la norme (NF EN 18-459).

L'objectif de cet essai est la mesure du le pourcentage de vide connecté à la surface du bé

Le principe de l'essai est basé sur une série de pesées à l'air et hydrostatique des échantil

On obtient alors :

- Pesée hydrostatique (M_{eau})
- Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau (M_{air})
- Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche (M_{sec}).

Le séchage des éprouvettes est réalisé dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à

obtenir une masse constante (la masse ne varie pas de plus de 0,05 % entre deux pesées espacées de 24h). La porosité accessible à l'eau est calculée par la relation suivante : [18]

$$P_{eau} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

N °F	N° epp	DOSAGE en ciment	E/C	Ajout	Ajout liquide	La cure	Date de coulage	La porosité	la moyenne de porosité
1	1	600	0.3	15%A V	2%	à l'eau	27-03- 2022	12.94	11.96
	2	600	0.3	15%A V	2%	à l'eau	27-03- 2022	13.98	
	3	600	0.3	15%A V	2%	à l'eau	27-03- 2022	8.08	
	4	600	0.3	15%A V	2%	à l'eau	27-03- 2022	12.84	
	5	600	0.3	15%A V	2%	à l'air	27-03- 2022	11.12	12.175
	6	600	0.3	15%A V	2%	à l'air	27-03- 2022	12	
	7	600	0.3	15%A V	2%	à l'air	27-03- 2022	12.96	
	8	600	0.3	15%A V	2%	à l'air	27-03- 2022	12.62	
2	9	600	0.3	15%A V	0%	à l'eau	28-03- 2022	13.2	12.9475

	10	600	0.3	15%A V	0%	à l'eau	28-03- 2022	13.52	14.355
	11	600	0.3	15%A V	0%	à l'eau	28-03- 2022	12.3	
	12	600	0.3	15%A V	0%	à l'eau	28-03- 2022	12.77	
	13	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	28-03- 2022	10.08	
	14	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	28-03- 2022	18.37	
	15	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	28-03- 2022	10.79	
	16	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	28-03- 2022	18.18	
3	17	600	0.28	30%A V	2%	à l'eau	28-03- 2022	11.84	11.8625
	18	600	0.28	30%A V	2%	à l'eau	28-03- 2022	12.34	
	19	600	0.28	30%A V	2%	à l'eau	28-03- 2022	11.35	
	20	600	0.28	30%A V	2%	à l'eau	28-03- 2022	11.92	

	21	600	0.28	30%A V	2%	à l'air	28-03- 2022	10.98	11.05
	22	600	0.28	30%A V	2%	à l'air	28-03- 2022	11.34	
	23	600	0.28	30%A V	2%	à l'air	28-03- 2022	10.82	
	24	600	0.28	30%A V	2%	à l'air	28-03- 2022	11.06	
4	25	600	0.3	30%A V	0%	à l'eau	29-03- 2022	13.25	13.01
	26	600	0.3	30%A V	0%	à l'eau	29-03- 2022	12.17	
	27	600	0.3	30%A V	0%	à l'eau	29-03- 2022	12.84	
	28	600	0.3	30%A V	0%	à l'eau	29-03- 2022	13.78	
	29	600	0.3	30%A V	0%	à l'air	29-03- 2022	10.63	10.835
	30	600	0.3	30%A V	0%	à l'air	29-03- 2022	11.65	
	31	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	29-03- 2022	11.35	

	32	600	0.3	15%A V	0%	à l'air	29-03- 2022	9.71		
5	33	800	0.25	15%A V	2%	à l'eau	29-03- 2022	13.92	13.3925	
	34	800	0.25	15%A V	2%	à l'eau	29-03- 2022	13.97		
	35	800	0.25	15%A V	2%	à l'eau	29-03- 2022	12.2		
	36	800	0.25	15%A V	2%	à l'eau	29-03- 2022	13.48		
	37	800	0.25	15%A V	2%	à l'air	29-03- 2022	10.34	11.0225	
	38	800	0.25	15%A V	2%	à l'air	29-03- 2022	10.95		
	39	800	0.25	15%A V	2%	à l'air	29-03- 2022	10.8		
	40	800	0.25	15%A V	2%	à l'air	29-03- 2022	12		
6	41	800	0.3	15%A V	0%	à l'eau	30-03- 2022	15.46	14.67	
	42	800	0.3	15%A V	0%	à l'eau	30-03- 2022	15.15		

	43	800	0.3	15%A V	0%	à l'eau	30-03- 2022	14.27	13.5125
	44	800	0.3	15%A V	0%	à l'eau	30-03- 2022	13.8	
	45	800	0.3	15%A V	0%	à l'air	30-03- 2022	14.76	
	46	800	0.3	15%A V	0%	à l'air	30-03- 2022	12.71	
	47	800	0.3	15%A V	0%	à l'air	30-03- 2022	12.74	
	48	800	0.3	15%A V	0%	à l'air	30-03- 2022	13.84	
7	49	800	0.247	30%A V	2%	à l'eau	04-04- 2022	9.43	10.3575
	50	800	0.247	30%A V	2%	à l'eau	04-04- 2022	10.59	
	51	800	0.247	30%A V	2%	à l'eau	04-04- 2022	10.58	
	852	800	0.247	30%A V	2%	à l'eau	04-04- 2022	10.83	
	53	800	0.247	30%A V	2%	à l'air	04-04- 2022	8.94	8.99

	54	800	0.247	30%A V	2%	à l'air	04-04- 2022	8.09	
	55	800	0.247	30%A V	2%	à l'air	04-04- 2022	9.25	
	56	800	0.247	30%A V	2%	à l'air	04-04- 2022	9.68	
8	57	800	0.27	30%A V	0%	à l'eau	31-03- 2022	11.35	11.3725
	58	800	0.27	30%A V	0%	à l'eau	31-03- 2022	10.88	
	59	800	0.27	30%A V	0%	à l'eau	31-03- 2022	11.14	
	60	800	0.27	30%A V	0%	à l'eau	31-03- 2022	12.12	
	61	800	0.27	30%A V	0%	à l'air	31-03- 2022	11.04	10.3025
	62	800	0.27	30%A V	0%	à l'air	31-03- 2022	10.23	
	63	800	0.27	30%A V	0%	à l'air	31-03- 2022	10.48	
	64	800	0.27	30%A V	0%	à l'air	31-03- 2022	9.46	

9	65	600	0.27	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	8.29	7.9825
	66	600	0.27	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	8.1	
	67	600	0.27	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	8.2	
	68	600	0.27	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	7.34	
	69	600	0.27	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	5.63	5.715
	70	600	0.27	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	5.74	
	71	600	0.27	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	5.92	
	72	600	0.27	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	5.57	
10	73	600	0.3	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	9.85	10.0375
	74	600	0.3	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	10.15	
	75	600	0.3	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	10.26	

	76	600	0.3	15% LIT	2%	à l'eau	11-04- 2022	9.89	7.9825
	77	600	0.3	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	9.07	
	78	600	0.3	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	8.08	
	79	600	0.3	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	7.19	
	80	600	0.3	15% LIT	2%	à l'air	11-04- 2022	7.59	
11	81	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	12-04- 2022	8.51	8.7025
	82	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	12-04- 2022	9.08	
	83	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	12-04- 2022	9.11	
	84	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	12-04- 2022	8.11	
	85	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	12-04- 2022	7.81	7.4725
	86	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	12-04- 2022	7.09	

	87	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	12-04- 2022	7.91		
	88	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	12-04- 2022	7.08		
12	89	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	13-04- 2022	8.5	8.345	
	90	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	13-04- 2022	8.59		
	91	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	13-04- 2022	8.13		
	92	600	0.27	30% LIT	0%	à l'eau	13-04- 2022	8.16		
	93	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	13-04- 2022	7.42	7.065	
	94	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	13-04- 2022	7.35		
	95	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	13-04- 2022	6.58		
	96	600	0.27	30% LIT	0%	à l'air	13-04- 2022	6.91		
13	97	800	0.237	15% LIT	2%	à l'eau	14-04- 2022	9.15	9.6	

	98	800	0.237	15% LIT	2%	à l'eau	14-04- 2022	10.42	7.0825
	99	800	0.237	15% LIT	2%	à l'eau	14-04- 2022	8.75	
	100	800	0.237	15% LIT	2%	à l'eau	14-04- 2022	10.08	
	101	800	0.237	15% LIT	2%	à l'air	14-04- 2022	6.26	
	102	800	0.237	15% LIT	2%	à l'air	14-04- 2022	7.73	
	103	800	0.237	15% LIT	2%	à l'air	14-04- 2022	6.74	
	104	800	0.237	15% LIT	2%	à l'air	14-04- 2022	7.6	
14	105	800	0.231	15% LIT	2%	à l'eau	18-04- 2022	9.68	9.025
	106	800	0.231	15% LIT	2%	à l'eau	18-04- 2022	8.66	
	107	800	0.231	15% LIT	2%	à l'eau	18-04- 2022	9.02	
	108	800	0.231	15% LIT	2%	à l'eau	18-04- 2022	8.74	

	109	800	0.231	15% LIT	2%	à l'air	18-04- 2022	6.26	7.0825	
	110	800	0.231	15% LIT	2%	à l'air	18-04- 2022	7.73		
	111	800	0.231	15% LIT	2%	à l'air	18-04- 2022	6.74		
	112	800	0.231	15% LIT	2%	à l'air	18-04- 2022	7.6		
15	113	800	0.224	30% LIT	0%	à l'eau	18-04- 2022	7.07	7.2875	
	114	800	0.224	30% LIT	0%	à l'eau	18-04- 2022	6.82		
	115	800	0.224	30% LIT	0%	à l'eau	18-04- 2022	7.53		
	116	800	0.224	30% LIT	0%	à l'eau	18-04- 2022	7.73		
	117	800	0.224	30% LIT	0%	à l'air	18-04- 2022	6.41	6.4575	
	118	800	0.224	30% LIT	0%	à l'air	18-04- 2022	6.6		
	119	800	0.224	30% LIT	0%	à l'air	18-04- 2022	6.4		

	120	800	0.224	30% LIT	0%	à l'air	18-04- 2022	6.42		
16	121	800	0.233	30% LIT	0%	à l'eau	19-04- 2022	8.68	8.4475	
	122	800	0.233	30% LIT	0%	à l'eau	19-04- 2022	8.61		
	123	800	0.233	30% LIT	0%	à l'eau	19-04- 2022	8.3		
	124	800	0.233	30% LIT	0%	à l'eau	19-04- 2022	8.2		
	125	800	0.233	30% LIT	0%	à l'air	19-04- 2022	6.43	6.8725	
	126	800	0.233	30% LIT	0%	à l'air	19-04- 2022	6.54		
	127	800	0.233	30% LIT	0%	à l'air	19-04- 2022	6.77		
	128	800	0.233	30% LIT	0%	à l'air	19-04- 2022	7.75		

1. Analyse des résultats :

L'analyse des résultats a été effectuée par le logiciel Mini tab

Ce logiciel permet de représentation des résultats sous forme de :

- Diagramme de Pareto des effets
- L'effet de chaque facteur
- L'interaction des facteurs prise deux à deux
- Modélisation par une équation mathématique
- Ce logiciel permet de tracer les diagrammes de surface

1.1. Interprétations des résultats des diagrammes :

1.1.1. Résultats de la porosité :

Résultats du Diagramme de Pareto des effets :

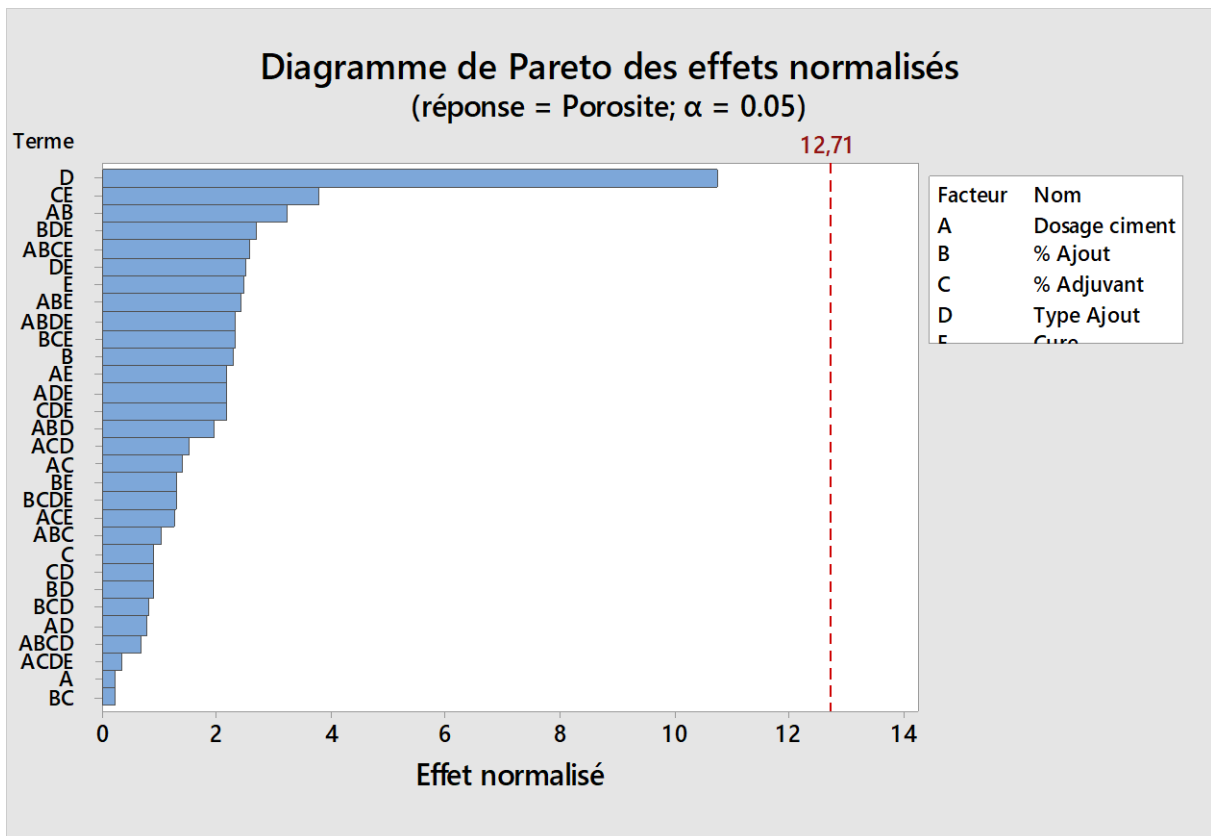


Figure 13 Résultats du Diagramme de Pareto des effets

Ces facteurs sont les facteurs les plus influents et par l'ordre suivants :

- D) Type Ajout
- CE) L'interaction le pourcentage d'adjuvant avec le mode de cure
- AB) L'interaction du dosage de ciment avec le pourcentage d'ajout

Résultats des effets principaux :

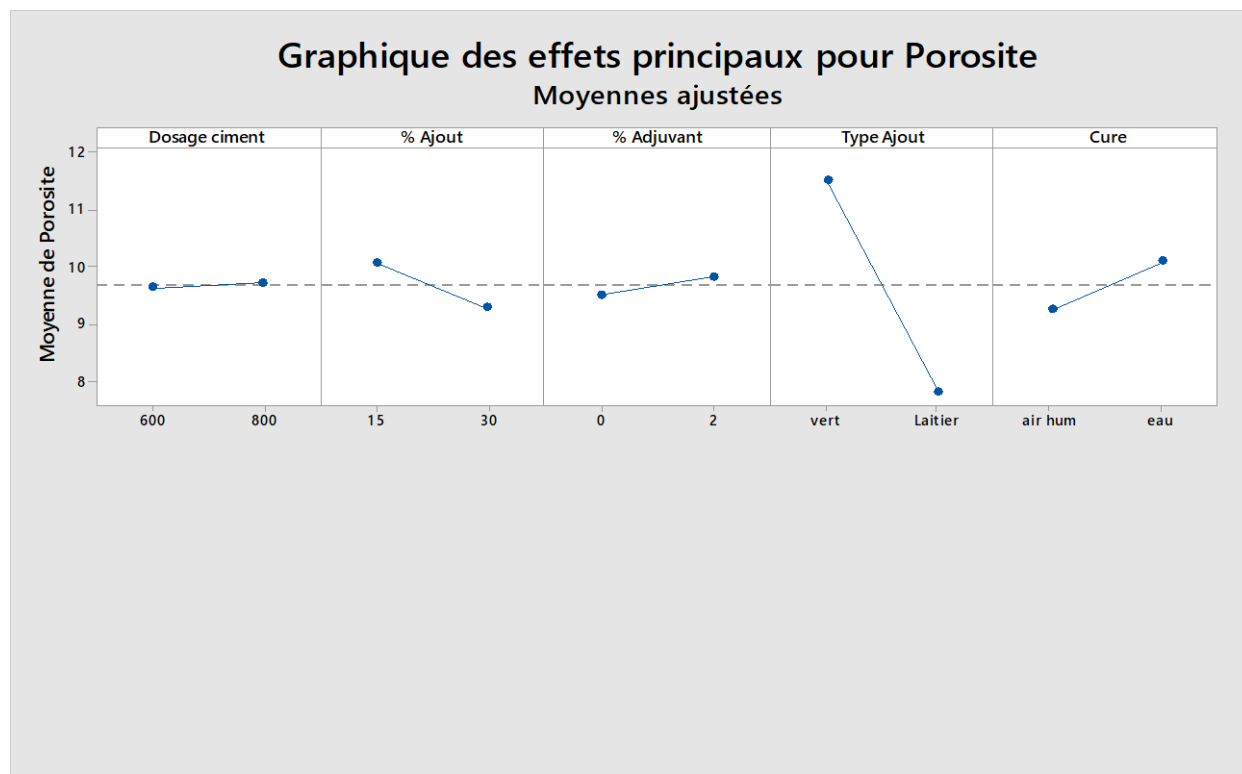


Figure 14 L'effet de chaque facteur pris individuellement

Les résultats de l'influence de chaque paramètre sur porosité sont :

- La porosité n'a pas d'effet sur le dosage de ciment
- La porosité diminue lorsqu'on utilise 30% d'ajout
- La porosité n'a pas été affectée par le pourcentage d'adjuvant
- La porosité diminue fortement en utilisant laitier
- La porosité augmente en utilisant une cure air humide

Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :

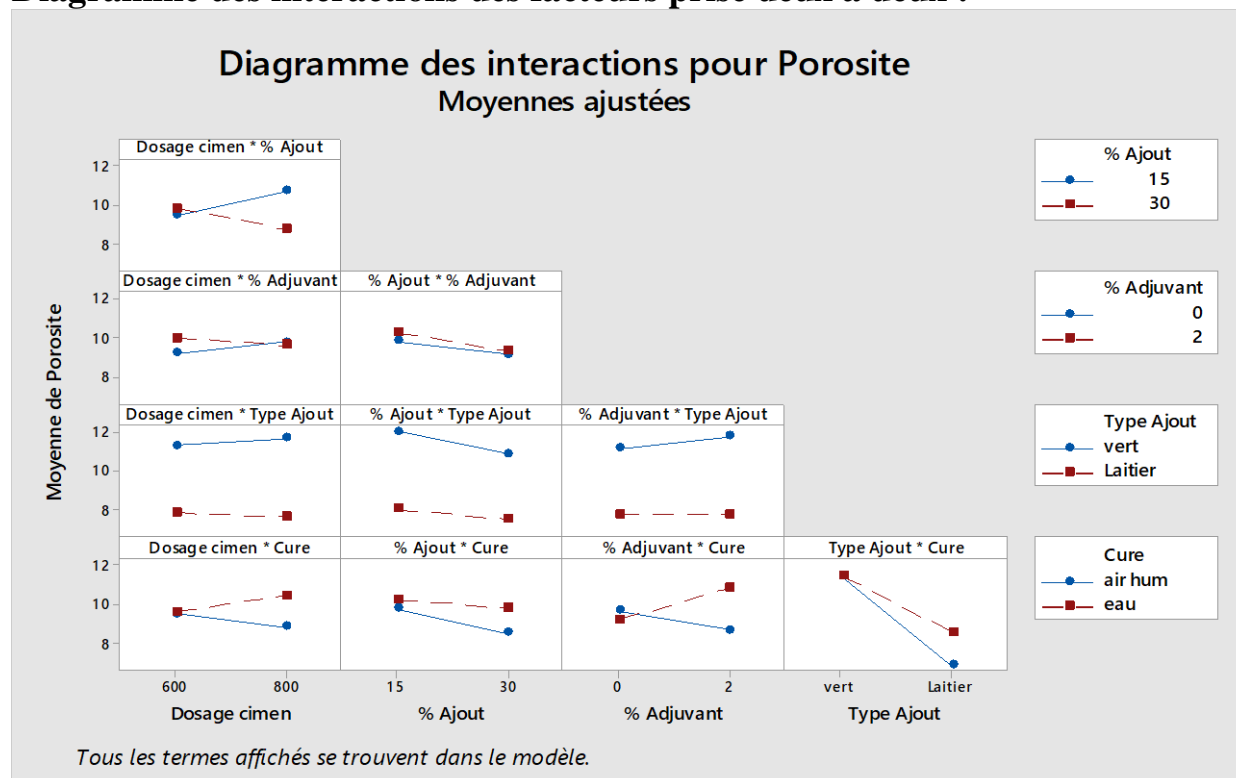


Figure 15: Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux

Les résultats de porosité par l'interaction des paramètres deux à deux sont les suivants :

- Un dosage de ciment 800 kg/m³ en cure d'air humide produit un béton de faible porosité alors qu'un dosage de ciment 600 kg/m³ en cure dans l'eau présente un béton de forte porosité.
- Un dosage de ciment 800 kg/m³ ou 600 kg/m³ et un type d'ajout laitier produit un béton de faible porosité par rapport au dosage de ciment 600 kg/m³ du type d'ajout vert qui produit un béton de très forte porosité.
- Un dosage de ciment de 600 ou 800 kg/m³ avec un pourcentage d'adjuvant 0 ou 2% donne un béton de porosité rapprochée.
- Un dosage de ciment 800 kg/m³ et un pourcentage d'ajout 30% produit un béton de faible porosité alors que un dosage de ciment 600 kg/m³ et un pourcentage d'ajout 15% produit un béton de forte porosité.

-
- Un pourcentage d'ajout 30% en cure l'air humide produit un béton de faible porosité alors qu'un pourcentage d'ajout 15% en cure dans l'eau produit un béton de forte porosité.
 - Un pourcentage d'ajout laitier 30% produit un béton de faible porosité alors qu'un pourcentage d'ajout vert 15 ou 30% produit un béton de forte porosité.
 - Un pourcentage d'ajout 30% et un pourcentage d'adjuvant 0% ainsi que le pourcentage d'ajout 15% et un pourcentage d'adjuvant 2% produit une même valeur de porosité.
 - Un pourcentage d'adjuvant 2% et une cure dans l'air humide produit un béton de faible porosité alors qu'un pourcentage d'adjuvant 2% en cure dans l'eau produit un béton de forte porosité.
 - Un pourcentage d'adjuvant 0 ou 2% avec l'ajout laitier produit un béton de faible porosité alors qu'un pourcentage d'adjuvant 0 ou 2 % et un type d'ajout vert produit un béton de forte porosité.
 - Un type d'ajout laitier et une cure dans l'air humide produit un béton de très faible porosité alors qu'un type d'ajout vert et une cure dans l'eau ou air humide produit un béton de très forte porosité.

Résistance à la compression :

1.1.2. Interprétations des résultats des diagrammes :

Résultats du Diagramme de Pareto des effets :

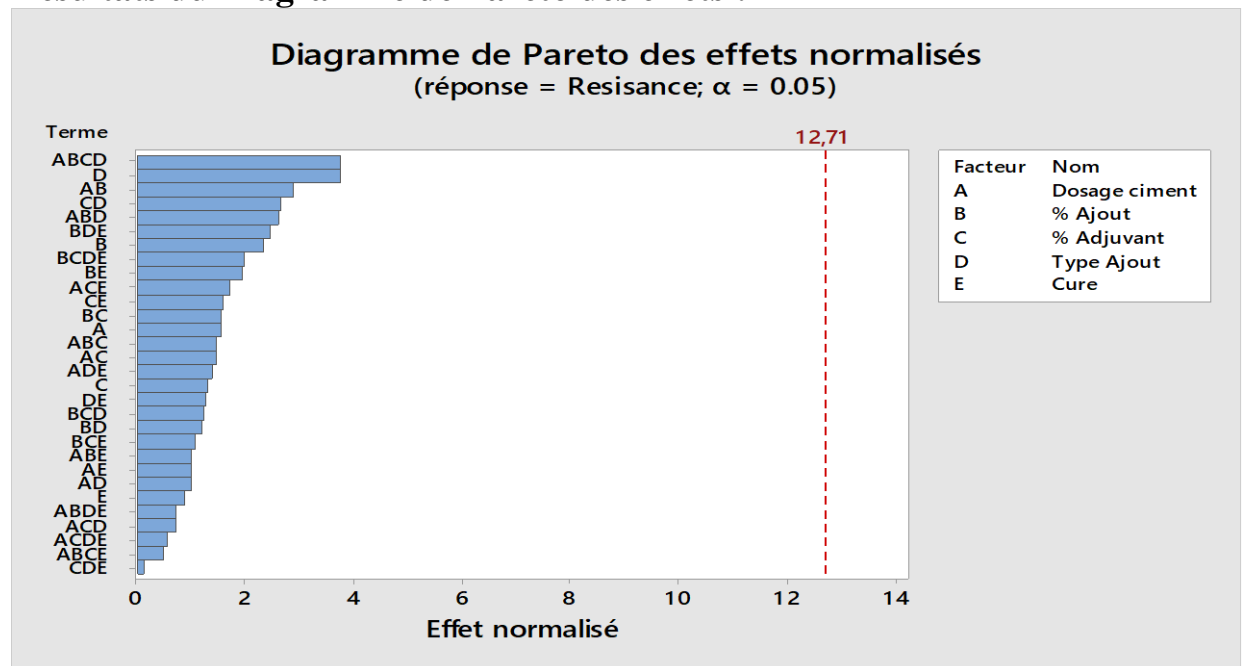


Figure 16 Résultats du Diagramme de Pareto des effets

Ces facteurs sont les facteurs les plus influents et par l'ordre suivants :

- ABCD) Les interactions du dosage de ciment avec le pourcentage d'ajout et pourcentage d'adjuvant et type d'ajout
- D) Type d'ajout
- AB) L'interaction du dosage de ciment avec le pourcentage d'ajout

Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :

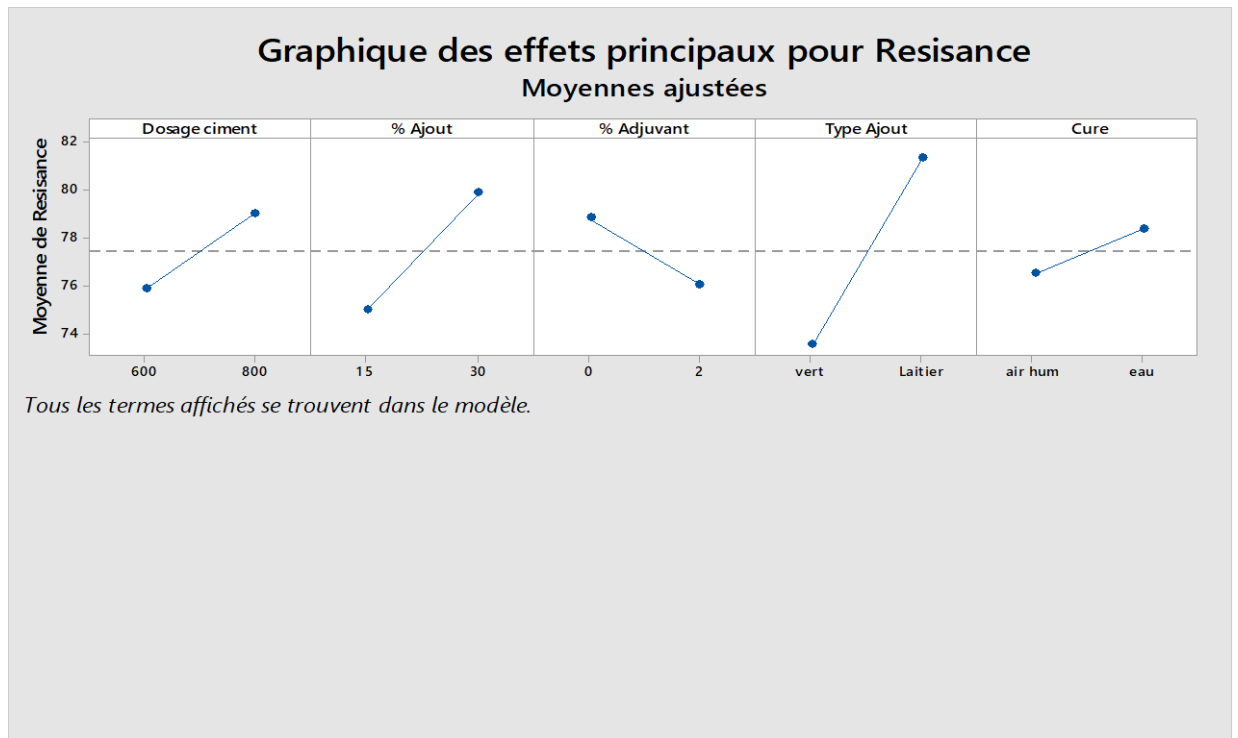


Figure 17: L'effet de chaque facteurs pris individuellement

Les résultats de l'influence de chaque paramètre sur résistance sont :

- la résistance augmente en utilisant un dosage de ciment à 800 kg/m³
- La résistance augmente en utilisant 30% d'ajout
- La résistance diminue en utilisant 2% d'adjuvant
- La résistance augmente en utilisant le laitier
- La résistance augmente en utilisant une cure dans l'eau

Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux :

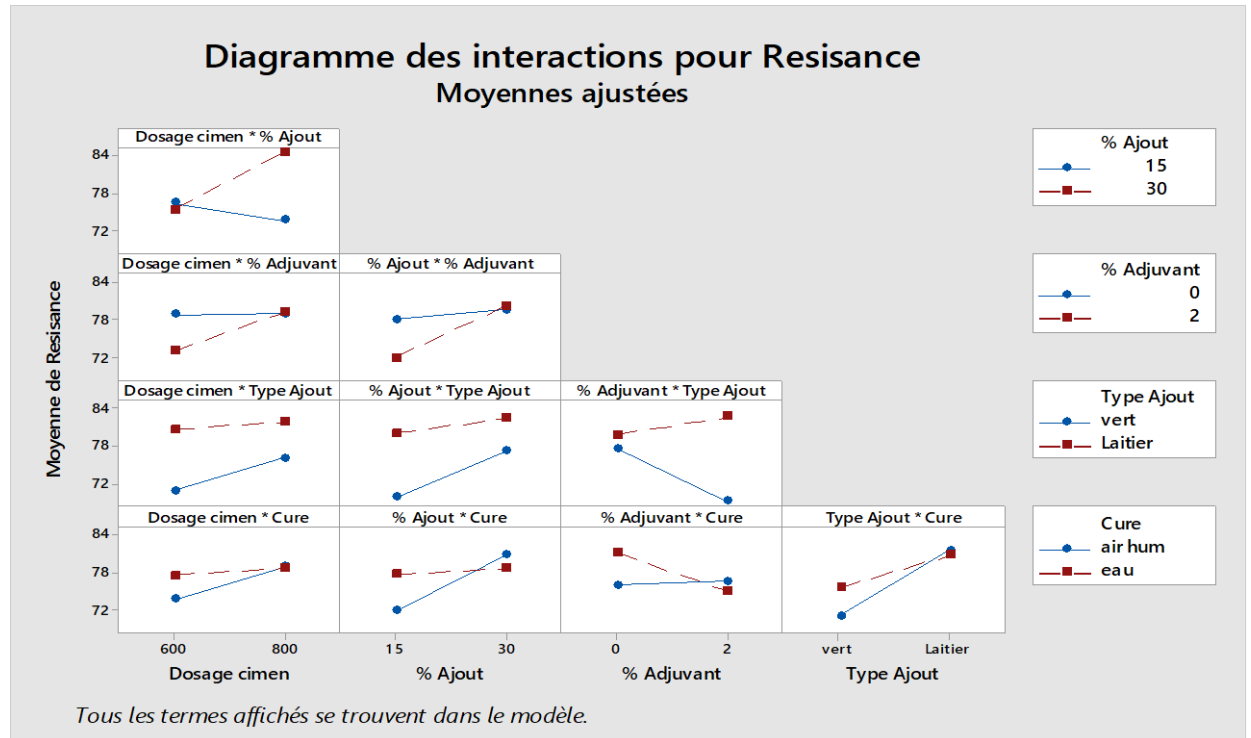


Figure 18 Diagramme des interactions des facteurs prise deux à deux

- Un dosage de ciment 800 kg/m³ en cure dans l'eau et en l'air humide produit un béton de forte résistance.
- Un dosage de ciment 800 kg/m³ avec l'ajout laitier produit un béton haute résistance alors qu'un dosage de ciment 800 kg/m³ et un type d'ajout vert produit un béton de résistance acceptable.
- Un dosage de ciment 800 kg/m³ avec 0 ou 2% d'adjuvant donne la même valeur de résistance ; béton résistant.
- Un dosage de ciment 800 kg/m³ et un pourcentage d'ajout 30% produit un béton haut résistance alors que un dosage de ciment 600 kg/m³ et 15% d'ajout produit un béton de faible résistance.
- Un pourcentage d'ajout 30% et une cure dans l'air humide produit un béton de bonne résistance
- Un pourcentage d'ajout 30% et un type d'ajout laitier produit un béton haute résistance.
- -Un pourcentage d'ajout 15% et un type d'ajout vert produit un béton résistant.
- Un pourcentage d'ajout 30% et un pourcentage d'adjuvant 2% produit un béton de bonne résistance.
- Un pourcentage d'adjuvant 2% et une cure dans l'air humide produit un béton résistant alors que un pourcentage d'adjuvant 0% et une cure dans l'eau % produit un béton de bonne résistance.
- Un pourcentage d'adjuvant 2% et un type d'ajout laitier produit un béton haute résistance. Un pourcentage d'adjuvant 2% avec l'ajout vert a présenté un béton de faible résistance.
- Un type d'ajout laitier en air humide et en eau présent un béton de très forte résistance.

Conclusion générale

- Notre objectif est d'étudier les possibilités d'élaboration d'un béton à faible porosité accessible à l'eau par la méthodologie de plan d'expérience réduction de la porosité de la pâte de ciment interstitielle en remplissant les espaces inter granulaires du ciment à l'aide d'un sous-produit local. Lors de la formulation d'un béton pour une application donnée, plusieurs paramètres doivent être pris en compte. Qu'il s'agisse des conditions environnementales, du type de sollicitations.
- Pour obtenir un béton faible porosité il faut améliorer plusieurs facteurs principale qui influent sur la porosité ces facteurs c'est :
 - ✓ Dosage en ciment
 - ✓ Rapport E/C
 - ✓ Pourcentage d'ajout
 - ✓ Mode de la cure
 - ✓ Pourcentage d'hydrofuge
- moyennant une composition correctement ajustée, l'ajout de laitier finement broyé de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar conduit bien à des bétons qui sont à faible porosité et très haut résistance.
- La porosité accessible à l'eau du béton diminue lorsque le rapport E/C décroît.
- La résistance à la compression et accessible à l'eau des bétons qui ont subi une cure dans l'eau sont supérieures par rapport aux bétons qui ont été conservés à l'air.
- L'effet d'une nouvelle génération de super-plastifiant meda flow30, qui a permis la réduction du rapport E/C à 0,22, a pu être examiné. Ce dernier a permis l'obtention d'une bonne performance mécanique et de faible porosité.
- Le dosage en ciment 800 kg/m³ ou 600 kg/m³ et un type d'ajout laitier produit un béton de faible porosité par rapport au dosage de ciment 600 kg/m³ du type d'ajout vert qui produit un béton de très forte porosité.

Références bibliographiques :

[1]	Site internet : http://innercrete.com/products/waterproofing-general-protection/versaguard/
[2]	Taylor P.H.F.W. Cement Chemistry, T. Telford. 1997.
[3]	Wei CHEN, 2011 , Etude expérimentale de la perméabilité" du béton sous conditions thermiques et hydriques variables, thèse DOCTORAT DELIVRE PAR L'ECOLE CENTRALE DE LILLE
[4]	A.Vichot, J. P. Ollivier. La durabilité des bétons, Presses ENPC, 2008. ISBN : 978-2-85978-34-8.
[5]	QUENARD D., KALIFA P. PARDO. « Mesure du facteur de formation et de la Perméabilité dans des pâtes de ciment». Thème de recherche OA9 du L.C.P.C, CSTB, Paris, février 1999, 24 p .
[6]	PIGEON. « Composition et hydratation du ciment Portland, Séminaire progrès dans le domaine du béton». Québec, septembre 1981, p. 36-72.
[7]	J.P. Ollivier. Jean Michel Torrenti. La structure poreuse des bétons et les propriétés de transfert. 2008
[8]	GAGNÉ R., GCI 714. «Durabilité et réparations du béton». Université de Sherbrooke, Département de génie civil, Québec, 2000, 338 p .
[9]	Ludovic ZINGGu. « Influence de la porosité et du degré d'humidité interne sur le comportement triaxial du béton. THÈSE. octobre 2013
[10]	Site internet : https://www.infociments.fr/sites/default/files/articles/pdf/SB-OA-2014-2.pdf
[11]	Ilgar ALLAHYARI. 2016. Approche performantielle des bétons : Vers une meilleure caractérisation des indicateurs de durabilité. THÈSE Délivré par Université Toulouse III Paul Sabatie
[12]	Baroghel-Bouny V. et al. AFGC (2004), Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages, Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali-réaction, Etat de l'art et Guide pour la mise en œuvre d'une approche performantielle et prédictive sur la base d'indicateurs de durabilité, Association Française de Génie Civil. 2004.
[13]	Jacques Goupy • Lee Creighton -INTRODUCTION AUX PLANS D'EXPERIENCES).ouvrage
[14]	Jacques GROUPY. Revue MODULAD, 2006
[15]	Mohamed Bencheikh Cous de PLAN D'EXPERIENCE Université de Msila, Algérie

Annexe :

Fiche technique de l'adjuvant medaflow30 :

NOTICE TECHNIQUE

Version 03

Edition février 2017

2

1

1

9

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés

Conditionnement Et Stockage

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en **22 AVR 2012**

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Description

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

Domaines D'application

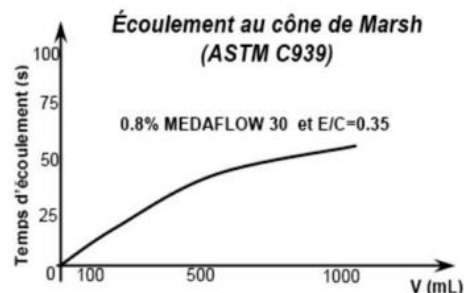
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

Caractéristique

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1, 07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandée de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex
غرانيتكس

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



Fiche technique de nova fuge :



Notice technique
Edition : septembre 2020
Nom du produit : NOVA FUGE LIQUID

NOVA FUGE LIQUID

Hydrofuge de masse pour béton et mortier

Conforme à la norme EN 934-2 : T1 ; TAB 9.TAB 2 / NA 774

DESCRIPTION NOVA FUGE LIQUID est un adjuvant liquide prêt à l'emploi permettant de diminuer le taux d'absorption d'eau des bétons et mortiers. Il est compatible avec tous les ciments.

MODE D'EMPLOI Le NOVA FUGE LIQUID doit être ajouté après avoir introduit les autres composants (ciment, sable, agrégats)
L'action de NOVA FUGE LIQUID est optimale si le ciment et les agrégats sont déjà mouillés au moins 50 à 70% avec l'eau de gâchage.

DOMAINES D'UTILISATION Le NOVA FUGE LIQUID est un hydrofuge de masse destiné pour :
L'imperméabilisation :

- Mortiers de façade exposée aux pluies battantes
- Pose et jointement de maçonnerie
- Chape d'arase de fondation

Etanchéité des ouvrages :

- Béton de fondation au-dessus de la nappe de préfabriqué
- Béton enterré
- Béton pour réservoir et bassin canalisations, tunnels, barrages, airs de lavages
- Cuvelage

DONNEES TECHNIQUES

État physique à 20 °C :	liquide
Couleur :	marron
Densité :	1.08 ± 0.02
PH	7-8
Teneur en chlore	< 1G/L

PROPRIETES Les bétons sans adjuvant présentent une structure non homogène, la cause de l'infiltration d'eau par capillarité qui engendre la corrosion des armatures
Le NOVA FUGE LIQUID se combine avec la chaux libre du ciment, cette dernière forme des cristaux qui comblent les vides interstitiels du béton. Il élimine ainsi les infiltrations des eaux. Parmi ses effets :

Sur le béton frais :

- Amélioration de la fluidité du béton
- Diminution du rapport Eau/Ciment
- Réduction de ressuage

Sur les bétons durcis

- Imperméabilisation des bétons
- Elimination des remontées capillaires
- Amélioration de la résistance et la durabilité

Chemical Innovation

NOVACHEM-BUILDING SOLUTION-ALGERIE-
Ouled beil BOUIRA .W de BOUIRA
PHONE : 0770 743 864 / 0560 725 443 / 0556 283 034
FAX : +213 (0)26 72 41 09
EMAIL : novachem@chemical-innovation.dz

NOTICE TECHNIQUE : NOVA FUGE LIQUID

CARACTERISTIQUES

Plage de dosage recommandée : est de 0.2 à 1.2% de poids de ciment.

NOVA FUGE LIQUID peut être combiné avec le NOVA SUPERFLOW, NOVA SUPERFLOW E200 ainsi que le NOVA PLAST 117 après avoir effectué des essais.

Conditionnement : Jerrican de 5 et 11 kg
Futs de 215 kg
IBC : 1100 kg

RECOMMANDATIONS

- Porter des gants, des vêtements et des lunettes de protection.
- Pour une parfaite application, le produit doit être utilisé impérativement lorsque la température de l'air et des supports est comprise entre 5°C et 35°C.

**PRECAUTIONS
D'EMPLOI ET DE
STOCKAGE**

NOVA FUGE LIQUID est un produit qui se conserve un an dans son emballage d'origine à l'abri du gel, de la chaleur et de l'humidité.

- Stockage dans un lieu sec et aéré.
- Tenir éloigné des enfants.

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences sur terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée.

ALGÉRIE



50kg

Mokaouem
مقاوم بلوس Plus

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT



- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

L A member of
LafargeHolcim

Fiche technique du ciment moukaouem plus :

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire*

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

• Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



 A member of LafargeHolcim

Conditionnement:  / 

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

