

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohamed Boudiaf De M'sila

Faculté des Sciences et de l'Ingénierie

Département De Génie Civil

MEMOIRE

Présenté par

BELOUADAH MESSAOUDA

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Matériaux de construction

Sujet de la Thèse

Evaluation des effets secondaires liés à l'incorporation des adjuvants sur les propriétés de durabilité du béton à base de matériaux locaux

Thèse soutenue le : 28 / 09 / 2004

Devant la commission d'examen composée de :

Dr Khemissa Mohamed	Maitre de conférence	Président	Université M'sila
Dr Bencheikh Mohamed	Maitre de conférence	Rapporteur	Université M'sila
Dr Boudaoud Zein-eddine	Maitre de conférence	Examineur	Université M'sila
Dr Bibi Mekki	Maitre de conférence	Examineur	Université M'sila
Dr Beddar Miloud	M.A.C.C	Examineur	Université M'sila

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu qui donne le pouvoir et l'aide à terminer avec succès ce modeste travail.

Si le travail réalisé est le fruit d'efforts soutenus, de sacrifices et de persévérance, je le dois également à l'aide et à l'intervention utiles et efficaces des personnes que je remercie vivement je citerai en particulier :

- Mon promoteur Monsieur BENCHEIKH Med, qui grâce à sa disponibilité, son sérieux et ses qualités humaines et professionnelles a su me prodiguer les conseils les plus appropriés et les plus judicieux qui m'ont permis de réaliser ce mémoire.
- M. Zine, responsable de la société Granitex oued SMAR, pour l'accueil et l'aide qu'il m'a apporté.
- M. Abadlia chef du département de Génie Civil de l'université de Bou Merdes pour la documentation qu'il m'a fourni.
- A directeur de Metanof pour le produit qu'il m'a fourni pour la réalisation des différents essais.
- A Mes professeurs qui se sont énormément dépensés pour me former.
- Et au responsable de laboratoire de Geomatériaux de l'université de M'sila.
- A Mes Lounis qui ma beaucoup aidé.

En fin, je dois remercier tous ceux qui m'ont procure main forte pendant les moments difficiles.

RESUME :

Les adjuvants sont utilisés, en règle générale, pour leurs propriétés plastifiants et fluidifiants (diminuer le rapport E/C, améliorer l'ouvrabilité, réduire le dosage en ciment, augmenter la résistance mécanique,...) sans profits de certaines qualités de durabilité.

Nous proposons dans ce mémoire une procédure expérimentale permettant d'exploiter les propriétés de cinq types d'adjuvants fabriqués en Algérie vis à vis de la durabilité d'un béton à base de matériaux locaux.

En effet ces adjuvants sont conçus pour un rôle essentiel qui est la réduction du rapport E/C. notre objectif est d'étudier l'influence de ces adjuvants sur la perméabilité et la porosité du béton. Les paramètres qui sont pris en compte sont :

- Dosages et types des adjuvants
- Dosage en ciment (250, 300, 350)kg/m³
- Conditions de conservation (à l'air libre , à l'eau)
- Dosage en fumée de silice (5%, 10%, 15%)par rapport au poids du ciment
- Milieu agressif (sel, acide)
- Agressivités climatiques (vent, soleil,...)

Nous cherchons à apporter par cette étude une amélioration considérable des propriétés du béton vis-à-vis de sa durabilité et en tenant compte des effets des agressions préjudiciables existant, en particulier le climat chaud.

SUMMARY :

The additives are used, in general, for their properties plasticizers and expectorant (to decrease report/ratio E/C, to improve workability, to reduce cement proportioning, to increase the mechanical resistance...) without profits of certain qualities of durability.

We propose in this memory an experimental procedure allowing to exploit the properties of five type of additives made in Algeria with respect to the durability of a concrete containing local materials.

Indeed these additives are designed for an essential role which is the reduction of report E/C. our objective is to study the influence of these additives on the permeability and the porosity of the concrete. The parameters which are taken into account are:

- Proportioning in additive
- Cement proportioning (250, 300, 350)kg/m³
- Conditions of conservation (with the free are, water)
- Proportioning in silica smoke (5%, 10%, 15%)par report in cement weight
- Corrosive condition (salt, acid)
- Climatic aggressivenesses (wind, sun...)

We seek to make by this study a considerable improvement of the properties of the concrete with respect to its durability and by taking account of the effects of the aggressions prejudicial existing, in particular the hot climate.

ملخص

تستعمل المواد المضافة في الحالة العامة لتحسين بعض خصائص الخرسانة مهما كان نوع المضاف ' سائل أو جامد و من بين هذه الخصائص : إنقاص نسبة الإسمنت /الماء و تخفيض تركيز الإسمنت ' ارتفاع قدرة المقاومة الميكانيكية و تحسين في بنية المسامات. كما أن له دور في تحسين بعض أنواع الديمومة.

نقترح في هذه المذكرة إجراء تجارب نستغل فيها خصائص خمسة أنواع من المضاف المصنوع في الجزائر و نقوم بتطبيقها على ديمومة خرسانة ذات مواد محلية (منطقة المسيلة).

المضاف له دور أساسي في تخفيض نسبة الإسمنت/الماء . و لهذا تتمركز دراستنا على دراسة تأثير هذا المضاف على النفاذية و مسامية الخرسانة. و نأخذ بعين الاعتبار عدة مقاييس منها:

تركيز

تركيز و نوع المضاف
الإسمنت (250 كغ/م³ 300 كغ/م³ 335 كغ/م³)
نوع التخزين
المحيط الضار (الحامض المالح)
تركيز الفيبر
تأثير المحيط الخارجي (الشمس، الرياح.....)

نحن نَسْعَى أن نَجْعَلَ بواسطة هذه الدراسة تحسّن خصائص الخرسانة باعتبارها أهم عنصر و النظر إلى الديمومة. أخذين بعين الاعتبار المؤثرات الخارجية خاصة المناخ الحار.

SOMMAIRE

PRESENTATION ET OBJECTIF DE L'ETUDE

I-INTRODUCTION.....	1
II- OBJECTIF.....	2
III- STRUCTURATION DU MEMOIRE.....	2

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA DURABILITE, LA PERMEABILITE ET LES ADJUVANTS

INTRODUCTION.....	3
I-1/NOTIONS SUR LE BETON DURABLE.....	3
I-1-1/ DURABILITE ET QUALITE.....	3
I-1-2/ CRITERES GENERAUX DES BETONS DURABLES.....	3
I-1-2-1/ Porosité.....	4
I-1-2-2/ Rapport E/C.....	4
I-1-2-3/ Dosage minimal en ciment.....	4
I-1-2-4/ La résistance mécanique.....	5
I-1-2-5/ Dosage des granulats.....	5
I-2/ LES ADJUVANTS ET DURABILITE DU BETON.....	6
I-2-1/ POURQUOI UTILISER DES ADJUVANTS DE BETON.....	6
I-2-1-1/ Amélioration des conditions de mise en œuvre.....	6
I-2-1-2/ Amélioration de la durabilité.....	6
I-2-2/ CLASSIFICATION.....	7
I-2-2-1/ Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton.....	7
I-2-2-2/ Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement.....	9
I-2-2-3/ Les adjuvants modifiant certaines propriétés.....	10
I-2-3/ PROBLEMES LIES AUX EXCES D'EAU.....	10
I-2-4/ INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA DURABILITE.....	11
I-3/STRUCTURE ET PERMEABILITE DU BETON.....	13
I-3-1/STRUCTURE DU BETON.....	13
I-3-1-1/ La diffusivité.....	13
I-3-1-2/ La perméabilité.....	14
I-3-2/PERMEABILITE DU BETON.....	14
I-3-2-1/ Perméabilité d'un milieu poreux.....	14
I-3-2-1-1/ Géométrie des pores dans le béton.....	15
I-3-2-1-2/ Relation entre la perméabilité et la géométrie des pores.....	17
I-3-3/ LOI DE PERMEABILITE.....	19
I-3-3-1/ Loi de Darcy (écoulement vertical).....	20
I-3-3-2/ Mesure de la perméabilité à l'eau.....	21

I-3-3-2-1/ Principe de la mesure.....	21
I-3-3-2-2/ Appareillage - mise en œuvre de la mesure.....	22
I-3-4/ LES PARAMETRE INFLUENTS SUR LA PERMEABILITE.....	22
I-3-4-1/ Influence du dosage en ciment et en eau.....	22
I-3-4-2/ Influence des condition d'hydratation.....	24
I-3-4-3/ Influence spécifique des granulats.....	26
I-3-4-4/ Les caractéristiques spécifiques du béton au voisinage des surfaces exposées.....	28
I-3-4-5/ Influence de la température.....	29
I-3-4-6/ Influence des additions minérales.....	30
I-3-4-6-1/ Fumée de silice.....	30
I-3-4-6-2/ Cendres volantes et laitier.....	31
I-3-4-6-3/ Fillers calcaires.....	32
I-4/DURABILITE DES BETONS ET LES MECANISMES D'ALTERATION.....	33
I-1-3-1/ La dissolution et l'érosion.....	33
I-1-3-2/ Les gonflements et les écoulements.....	33
I-1-3-2-1/L'action des sulfates.....	33
I-1-3-2-2/L'action de l'eau de mer.....	34
I-1-3-2-3/ Les réactions alcali-granulats ou "alcalis- réactions".....	34
I-5/CONCLUSION SUR L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	35

CHAPITRE II

PROPRIETES DES MATERIAUX UTILISES

INTRODUCTION.....	37
II- 1/SABLE DE DUNE.....	37
II-1-1/ Origine.....	37
II-1-2/ Caractéristique physique.....	37
II-1-3/ Analyses granulométrique.....	38
II-1-4/ Module de finesse.....	39
II-1-5/ Analyse chimique.....	39
II-2/ GRAVIER.....	40
II-2-1/ Origine.....	40
II-2-2/ Classe granulaires.....	40
II-2-3/ Caractéristiques physiques.....	41
II-2-4/ Analyse granulométrique.....	41
II-2-5/ Les caractéristiques chimiques.....	42
II-3/ CIMENT.....	43
II-3-1/ Composition chimique.....	43
II-3-2/ Composition minéralogique.....	43
II-3-3/ Caractéristiques physiques.....	44
II-3-4/ Activité du ciment.....	44
II-4/ ADJUVANT.....	44
II-4-1/ Mesafluide SFR.....	45
II-4-1-1/ Description.....	45

II-4-1-2/ Dosage.....	45
II-4-1-3/ Propriétés et effets.....	45
II-4-2/ Medaplast SP	45
II-4-2-1/ Description.....	45
II-4-2-2/ Dosage.....	45
II-4-2-3/ Propriétés et effets.....	46
II-4-3/ Mesafluide SF.....	46
II-4-3-1/ Description.....	46
II-4-3-2/ Dosage.....	46
II-4-3-3/ Propriétés et effets.....	46
II-4-4/ Medaretard RPF.....	47
II-4-4-1/ Description.....	47
II-4-4-2/ Dosage.....	47
II-4-4-3/ Propriétés et effets.....	47
II-4-5/ Medaplast S120	47
II-4-5-1/ Description.....	47
II-4-1-2/ Dosage.....	48
II-4-5-3/ Propriétés et effets.....	48
II-5/ FUMEE DE SILICE.....	48
II-5-1/ Caractéristiques physiques.....	48
II-5-2/ Compositions chimiques.....	48
II-6/ EAU GACHAGE.....	49

CHAPITRE III

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

INTRODUCTION.....	50
III-1/ DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON.....	50
III-1-1- Béton sans adjuvants.....	50
III-1-2- Béton adjuvante.....	50
III-2/ PROCEDURE DE CONSERVATION DES EPROUVETTES.....	52
III-2-1/ Conservation à l'eau.....	52
III-2-2/ Conservation à l'air.....	52
III-2-3- Conservation dans l'eau agressive.....	52
III-3/ METHODES EMPLOYEES.....	53
III-3-1/ Perméabilité à l'eau.....	53
III-3-1-1/ Choix de méthode.....	53
III-3-1-2/ Description général de perméabilimetre.....	53
III-3-1-3/ Procédure d'essai.....	54
III-3-2/ Porosité.....	55
III-3-2-1/ Procédure d'essai.....	55
III-3-2-2/ Calcul de la porosité.....	56
III-3-3/ Résistance a la compression.....	56

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION.....	57
IV-1/ INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES.....	57
IV-1-1- Fluidité et rapport E/C du béton.....	61
IV-1-2/ Effets des dosages et types des adjuvants sur la perméabilité.....	61
IV-1-3/ Effets des dosages et types des adjuvants sur la porosité.....	62
IV-1-4/ Effets des dosages et types des adjuvants sur la résistance à la Compression.....	62
IV-1-5/ Variation de la perméabilité en fonction de la porosité.....	62
IV-1-6/ Variation de la perméabilité en fonction de la résistance.....	63
IV-1-7/ Variation de la porosité en fonction de la résistance.....	63
IV-2/ INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES.....	70
IV-2-1/ Effet du dosage en ciment sur de la perméabilité.....	71
IV-2-2/ Effet de la porosité sur de la dosage en ciment.....	72
IV-2-3/ Effet de la résistance sur la dosage en ciment.....	72
IV-2-4/ Variation de la perméabilité en fonction de la porosité.....	72
(paramètres types d'adjuvants et dosage en ciment)	
IV-2-5/ Variation de la perméabilité en fonction de la résistance.....	73
(paramètres dosage en ciment , types d'adjuvants)	
IV-2-6/ Variation de la porosité en fonction de la résistance	73
(paramètres dosage en ciment , types d'adjuvants)	
IV-3/ EFFETS DES ADJUVANTS ET MODE DE CONSERVATION SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES.....	80
IV-4/ EFFET DE FUMEE DE SILICE SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES.....	83
IV-5/ EFFETS DES ADJUVANTS SUR L'ACTIN DES AGENTS AGRESSIF	88
IV-5-1/ Milieu agressif.....	88
IV-5-2/ Agressivités climatiques.....	93

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION.....	97
FUTURES TRAVAUX.....	98
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES.....	99

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

- Tableau I-1 : Adjuvants normalisées modifiant la mise en œuvre de bétons et mortiers
- Tableau I-2 : Adjuvants normalisés la prise et le durcissement du ciment
- Tableau I-3 : Adjuvants normalisés modifiant la résistance au gel/dégel, et aux milieux agressifs
- Tableau I-4: Réduction de coefficient de perméabilité d'une pâte de ciment ($E/V = 0.7$)
- Tableau I-5 : Influence des différentes techniques de cure sur la porosité

CHAPITRE II :

- Tableau II - 1: Caractéristiques physiques du sable
- Tableaux II-2 : Analyse granulométrique du sable
- Tableau II-3 : Analyse chimique du sable
- Tableau II- 4 : Caractéristiques physiques des graviers
- Tableau II-5 : Analyse granulométrique du gravier 3/8
- Tableau II-6 : Analyse granulométrique du gravier 8/16
- Tableau II-7 : Analyse granulométrique du gravier 16/25
- Tableau II-8: Analyse chimique du gravier
- Tableau II-9: Composition chimique du ciment CPJ45
- Tableau II-10 : Caractéristiques physiques du ciment CPJ45
- Tableau II-11: Activité du ciment CPJ45
- Tableau II-12 : Caractéristiques de Medafluid SFR
- Tableau II-13 :Caractéristiques de Medaplast SP
- Tableau II-14 : Caractéristiques de Medafluid SF
- Tableau II-15 : Caractéristiques de Medaretard RPF
- Tableau II-16 : Caractéristiques de Medaplast S120
- Tableau II-17 : Caractéristiques physiques de la fumée de silice

CHAPITRE III :

- Tableau III-1 : Composition du béton avec adjuvant

CHAPITRE IV :

- Tableau IV-1 : Fluidité et rapport E/C du béton
- Tableau IV-2 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction du type des adjuvants
- Tableau IV-3 : Porosité (%) en fonction du type des adjuvant
- Tableau IV-4 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction du type des adjuvants
- Tableau IV-5 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction du dosage en ciment
- Tableau IV-7 : Résistance (Mpa) en fonction du dosage en ciment
- Tableau IV-8 : Coefficient de perméabilité (m/s) en fonction des ajouts
- Tableau IV-9 : Porosité (%) en fonction des ajouts
- Tableau IV-10 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction des ajouts
- Tableau IV-11 : Coefficient de perméabilité (m/s) en fonction du milieu agressif
- Tableau IV-12 : Porosité (%) en fonction de milieu agressif
- Tableau IV-13 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction de milieu agressif
- Tableau IV-14 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction de l'agressivité climatique
- Tableau IV-15 : Porosité en (%) en fonction de l'agressivité climatique
- Tableau IV-16 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction de l'agressivité climatique

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I-1: Floc de ciment en l'absence de plastifiant-réducteur d'eau, D'après Rixom et Mailvaganam, 1986

Figure I-2: Mécanisme de la floculation avec et sans plastifiant

Figure I-3: Mode de l'action des réducteurs d'eau,

Figure I-4: Influence du dosage en superplastifiant sur la vitesse d'hydratation du ciment

Figure I-5: Influence du dosage en super plastifiant haut réducteur d'eau sur la demande en d'un mortier (a) et sur la porosité mesurée à l'état frais (b)

Figure I-6: Résistance à la compression du mortier mesurée à 12 heure avec plusieurs dosages

Figure I-7: Représentation schématique d'un solide poreux

Figure I-8: Représentations schématique du système poreux d'une pâte de ciment

Figure I-9: Béton à pores ouverts, les cavités sont situées entre les granulat de taille homogène

Figure I-10: Béton normal avec 1-2% (en volume) de pores de compactage

Figure I-11: Granulats poreux comme l'argile expansé, la pierre ponce, cendres volantes frittées, le polystyrène exposé

Figure I-12: Béton à air entraîné avec env. 3-5% (en volume) de pores introduits artificiellement (diamètre < 0.3 mm) et pores de compactage

Figure I-13: Béton mousse sans granulats grossiers, une matrice mortier est mélangée à une mousse stable ou soufflée à l'aide d'un gaz dégagé par un agent gonflant

Figure I-14: Définition du seuil D_c dans la théorie de Katz Thomson

Figure I-15: Définition de la perméabilité

Figure I-16: Dispositif expérimental pour la loi de DARCY

Figure I-17: Schéma de la cellule de perméabilité à l'eau utilisé à l'université de Sherbrooke

Figure I-18: Schéma illustrant le développement progressif des hydrates dans une pâte de ciment en cours d'hydratation

Figure I-19: Degré de d'hydratation nécessaire à l'interruption de la condition capillaire

Figure I-20: Influence de la durée de l'hydratation sur l'évolution porosimétrique d'une pâte de ciment dont le $E/C = 0.7$

Figure I-21: Composition volumique d'une pâte de ciment portland totalement hydratée sous eau. Selon le modèle de Powers

Figure I-22: Influence de la durée de cure humide initiale sur perméabilité

Figure I-23: Influence de la durée de cure de cure sur la durabilité

Figure I-24: Influence du rapport E/C et de la taille maximale des granulats sur le coefficient de perméabilité à l'eau des bétons

Figure I-25: Porosité capillaire et perméabilité à l'eau de la pâte de ciment en fonction du rapport E/C et du degré d'hydratation

Figure I-26: Variation de la composition d'un béton dans les premiers millimètres proches d'une face exposée

Figure I-27: Influence de la température sur la résistance à la compression d'un béton

Figure I-28: Coefficient de perméabilité d'un béton avec fumée de silice et adjuvant réducteur d'eau

Figure I-29: Courbe de fréquence porosimétrique de pâtes de ciment influence de la fumée de silice en présence de fluidifiant

Figure I-30: Corrélation approximative entre la perméabilité du béton réalisé avec des ciments composés aux cendres volantes ou laitier et leurs résistance mécanique

Figure I-31: Les corrélations porosité degré d'hydratation sur pâte pure et résistance du mortier normal porosité de la pâte analogues pour un CPA et un CPJ aux fillers calcaires se même classe de résistance.

CHAPITRE II :

Figure II-1: Composition chimique du sable

Figure II-2: Courbe granulométrique du sable et gravier

CHAPITRE III :

Figure III-1 : Eprouvettes cylindriques 16x16 pour essai de perméabilité

Figure III-2 : perméamètre à l'eau (laboratoire de Développement des Géomatériaux -M'sila)

CHAPITRE IV :

Figure IV-1: Effets des dosages et types des adjuvants sur la perméabilité à l'eau

Figure IV-2: Effets des dosages et types des adjuvants sur la porosité

Figure IV-3: Effets des dosages et types des adjuvants sur la résistance à la compression

Figure IV-4: Perméabilité en fonction de la porosité (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-5: Perméabilité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-6: Porosité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-7: Perméabilité en fonction du dosage en ciment (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-8: Porosité en fonction du dosage en ciment (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-9: Résistance à la compression en fonction du dosage en ciment (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-10: Perméabilité en fonction de la porosité (Paramètre dosage en ciment)

Figure IV-11: Perméabilité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-12: Porosité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

Figure IV-13: Perméabilité en fonction du dosage en ciment (Paramètre mode de conservation)

Figure IV-14: Porosité en fonction du dosage en adjuvant (Paramètre mode de conservation)

Figure IV-15: Perméabilité en fonction du dosage en adjuvant (Paramètre mode de conservation)

Figure IV-16: Perméabilité en fonction du dosage en fumée de silice (paramètre âge)

Figure IV-17: Porosité en fonction du dosage en fumée de silice (paramètre âge)

Figure IV-18: Résistance en fonction du dosage en fumée de silice (paramètre âge)

Figure IV-19: Perméabilité en fonction du dosage en fumée de silice et type d'adjuvant (paramètre age)

Figure IV-20: Résistance en fonction du dosage en fumée de silice et type d'adjuvant (paramètre age)

Figure IV-21: Effets des milieux chimiques (Acide) sur la perméabilité

Figure IV-22: Effets des milieux chimiques (Acide) sur la porosité

Figure IV-23: Effets des milieux chimiques (Acide) sur la résistance

Figure IV-24: Effets des milieux chimiques (NaCl) sur la perméabilité

Figure IV-25: Effets des milieux chimiques (NaCl) sur la porosité

Figure IV-26: Effets des milieux chimiques (NaCl) sur la résistance

Figure IV-27: Effets des conditions climatiques sur la perméabilité

Figure IV-28: Effets des conditions climatiques sur la porosité

Figure IV-29: Effets des conditions climatiques sur la résistance

PRESENTATION ET OBJECTIF DE L'ETUDE

I- INTRODUCTION :

Le béton, sans aucun doute, est le matériau le plus utilisé dans la construction, son emploi intensif a soulevé le problème de sa qualité et sa durabilité. En effet des dommages risquent de survenir et peuvent entraîner des frais considérables pour l'entretien ou le remplacement des ouvrages en cause. C'est donc des raisons économiques qui ont poussé les constructeurs à la recherche des moyens pour améliorer la qualité et la durabilité des bétons et des mortiers.

Un de ces moyens est l'utilisation des adjuvants, ces produits conçus suivant un savoir faire chimique et technologique, sont destinés à conférer au béton des caractéristiques et des performances techniques supplémentaires nécessaires. Cet apport de performance se traduit également par une économie sensible sur l'emploi de certaines matières nobles comme le ciment.

Les adjuvants sont des composants très importants des bétons modernes qui permettent de modifier certaines propriétés du béton à l'état frais ou durci, parmi lesquelles; les temps de prise, l'amélioration de la durabilité, le retrait, l'imperméabilité, aux eaux agressives [2]. Ils ne peuvent en aucun cas apporter une solution valable à une mauvaise formulation de béton, ou à une mise en œuvre déficiente. Les adjuvants qui sont des substances organiques (plastifiants, plastifiant-réducteurs, fluidifiants, et entraîneurs d'air) ou inorganiques (accélérateurs de prise et du durcissement) permettent de modifier la rhéologie des bétons avec des teneurs en eau nettement inférieures aux bétons non adjuvés. En plus, ils permettent d'accélérer ou retarder la prise, selon les exigences ambiantes du chantier [3].

La disponibilité des adjuvants sur le marché a permis de faire naître une nouvelle génération de bétons plus durables, pratiquement, exemple de porosité, mais surtout de rendre les bétons conventionnels plus faciles à mettre en œuvre.

Dans ce travail, nous proposons d'étudier certaines adjuvants en vue d'améliorer la durabilité des bétons. Comme indicateur de durabilité, nous prendrons, outre la résistance mécanique, la compacité, à travers des mesures de porosité et de perméabilité à l'eau.

II- OBJECTIF :

Les adjuvants sont nécessaire dans certains types de béton ou de procédés qui vont aller en développant, l'utilisation des adjuvants se développera également lorsque les architectes, les maîtres d'œuvre, les ingénieurs du bâtiment... auront suffisamment été avertis des possibilités des différents produits offerts sur le marché et que des efforts auront été faits pour former le personnel des chantiers.

Dans vingt ans, tous les bétons de chantier important recevront certains adjuvants spécifiques modifiant, à la demande les propriétés de durabilité On peut penser que de nouveaux adjuvants apparaîtront sur le marché grâce aux progrès de la chimie. Ils permettront de résoudre économiquement de nombreux problèmes et favoriseront même l'utilisation de techniques nouvelles.

Le but de ce travail est d'évaluer l'influence de cinq types d'adjuvants (fluidifiant, super plastifiant et plastifiant) fabriqués par l'entreprise Granitex en Algérie sur les caractéristiques de durabilité d'un béton à base de matériaux locaux, à savoir, la perméabilité, la porosité et la résistance à la compression. Cette investigation tient compte d'un certain nombre de paramètres comme :

- Le dosage en adjuvant
- Le dosage en ciment (250, 300, 350) Kg/ m³
- Les conditions de conservation (à l'air libre, à l'eau)
- Le dosage en fumée de silice (5%,10%,15%) par rapport au poids de ciment
- Le milieu agressif (sel , acide)
- Agressivités climatiques (vent , soleil ,...) .

III- STRUCTURATION DU MEMOIRE :

Pour réaliser ce but, notre travail est composé de quatre chapitres :

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur la durabilité, la perméabilité et les adjuvants

Chapitre 2 : Etude des propriétés des matériaux utilisés

Chapitre 3 : Techniques expérimentales

Chapitre 4 : résultats et interprétation

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA DURABILITE, LA PERMEABILITE ET LES ADJUVANTS

INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre une étude bibliographique sur les différents critères généraux du béton que comportent l'analyse des approches de la durabilité. Nous développons également le point de connaissance actuelle sur la durabilité du béton particulièrement la géométrie de la structure interne, un aperçu global sur la perméabilité. En se basant sur le rôle des paramètres qui influent sur ce dernier, et enfin la méthode utilisée pour évaluer ce phénomène et les rôles des adjuvants.

I-1/NOTIONS SUR LE BETON DURABLE :

I-1-1/ DURABILITE ET QUALITE :

Le béton est un matériau durable. Il suffit pour s'en convaincre d'observer les ouvrages romains qui sont parvenus se rester intacts jusqu'à nous. La tenue de béton, matériau poteux et polyphasé, ne peut cependant être garantie sans une connaissance approfondie de sa structure, de son évolution dans le temps ou de sa modification sous l'influence de l'environnement [4].

La durabilité du béton est un fait reconnu et attesté par la pérennité des ouvrages exposés à des conditions climatiques [5], [6], ou d'environnement les plus variées, des ouvrages usuels réalisés en bétons courants

Ainsi bien que des plates formes en milieu marin, il arrive que des défauts de conception ou de mise en œuvre que des causes accidentelles soient à l'origine de désordres. La notion de durabilité est donc indissociable de celle de qualité à tous les niveaux et en particulier de celle du matériaux béton.

L'exigence de qualité est devenue aujourd'hui une nécessité, car elle est garantie d'avantage et en particulier de la durabilité. Elle est aussi un facteur d'économie par sa contribution à la limitation des coûts de maintenance. Pour les constituants du béton et le béton lui-même, la qualité se traduit par la conformité aux normes et dans de nombreux cas, la certification qui l'atteste.

Le concepteur dispose donc des informations nécessaires sur les matériaux pour réaliser des ouvrages résistants aux contraintes mécaniques et aux facteurs de dégradation [7]. Il ne faut cependant pas oublier que la durabilité du béton est aussi dépendant des conditions de mise en œuvre et que toute négligence à ce niveau peut permettre en cause des matériaux de bonne qualité.

I-1-2/ CRITERES GENERAUX DES BETONS DURABLES :

Les critères généraux de durabilité qui interviennent dans les textes normatifs et réglementaires correspondent toujours à ce qui est appelé le paramètre de premier ordre de la durabilité: La porosité, mais il a été conclu que plusieurs paramètres influent sur cette durabilité.

I-1-2-1- Porosité

Le béton est un mélange composé d'un ensemble de constituants: ciment, granulats, eau, adjuvants mais qui renferment aussi des vides dus, entre autres, à l'eau excédentaire.

Le béton durci courant présente une porosité de 10 à 12% du à la présence de pores inclus dans la texture même des hydrates et de capillaires qui se développent dans la structure des grains. Les capillaires qui sont dimensionnellement les plus importants, ne dépassent pas un diamètre de quelques microns, les pores des hydrates sont 10 à 100 fois plus petit.

Le comportement du béton et son évolution ont montré, dès l'origine, l'influence de la porosité sur la résistance. Il est aujourd'hui admis que la réduction de la porosité du béton, qui est entre autres, la condition pour réaliser des bétons de hautes performances est requise pour l'amélioration de la résistance du béton aussi bien d'un point de vue mécanique vis à vis d'agressions d'ordre chimique.

La réduction de la porosité du béton dépend principalement de sa conception et de sa mise en œuvre. Deux facteurs sont prépondérants dans la conception d'un béton de faible porosité :

- une faible teneur en eau.
- une granulométrie comportant des éléments fins, éventuellement actif, une quantité suffisante pour remplir les espaces entre les plus gros granulats [8], [9].

I-1-2-2- Rapport E/C :

Le rapport E/C est le facteur le plus important qui conditionne la résistance à la compression d'un béton complètement compacté, le rapport E/C déterminée la porosité de la pâte de ciment hydraté à n'importe quel stade de l'hydratation. Ainsi le rapport E/C et le degré de serrage affectent tous deux le volume de vides dans un béton, ce qui explique la raison pour la quelle Fret, dans sa formule, à tenu compte du volume d'air contenu dans le béton [10].

La relation existant entre la résistance à la compression et le rapport E/C est l'inverse, lorsque le rapport E/C est diminuée la résistance à la compression augmente, c'est pour cela que le rapport est considéré comme un critère générale de durabilité [11].

I-1-2-3- Dosage minimal en ciment :

Un moyen d'accroître les résistance à court terme d'un béton peut être d'augmenter son dosage en ciment. En effet, pour une augmentation du dosage en ciment qui aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C.

Le signification physique du rapport E/C comme critère de durabilité est de limiter la porosité de la pâte interstitielle des bétons. La fixation d'un dosage minimale en ciment, comme complément du rapport E/C correspond au besoin d'assurer une quantité minimale de pâte interstitielle dans le béton. Le dosage en ciment ne correspond plus, proprement dit, à un critère générale de durabilité, il répond plutôt à une condition de sécurité [12].

Le dosage en ciment étant généralement de 350 kg/m³ pour les ouvrages de béton armé il nécessite des qualités particulières d'étanchéité et de compacité .

I-1-2-4-La résistance mécanique :

Partant d'une résistance caractéristique spécifiée, on détermine d'abord la résistance moyenne du béton qu'il faut viser. L'essai de compression simple peut être reproductible s'il est exécuté en suivant rigoureusement les spécification des normes. Des changements mineurs du mode opératoire peuvent avoir des effets importants [13]. Il y à donc avantage, en vue de l'objectif de durabilité, à choisir la classe de résistance du béton en fonction de l'agressivité du milieu, d'autant plus élevée que le milieu est plus agressif. D'un point de vue pratique, cela signifie que c'est l'exigence de durabilité qui peut, par fois, déterminer la résistance à prendre en compte dans la calcule de l'ouvrage. On peut considérer qu'un niveau de résistance adapté au milieu environnement est un premier critère de qualité qui doit cependant être compléter par d'autres conditions. En effet, tous les bétons de même résistance à la compression ne sont pas également durables [12].

I-1-2-5 - Dosage des granulats :

Les granulats sont des constituants essentiels des bétons qui conditionnent à la fois leurs caractéristiques et leurs coûts [14]. La nature des roches constituant les gisements est responsable des propriétés intrinsèques : résistance, porosité, réactivité des granulats, par contre, les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et de propreté sont en fonction du processus d'elaboratoïn.

Le dosages des granulats est définie par les propositions en volume ou, de préférence en poids des différents granulats entrant dans la composition d'un mètre cube en béton. La détermination de ces proposition doit faire l'objet d'une étude expérimentalement particulière, à moins que le constructeur ne dispose, pour des matériaux analogues utilisés dans des conditions identiques, des règles pratiques sûres confirmées par une longue expérience de ces matériaux [15].

La résistance mécanique des granulats, joue un rôle très important sur la durabilité du béton. Plus les granulats seront pleins serrés, plus ils présentent le minimum de vides [16].

I-2- LES ADJUVANTS ET LA DURABILITE DU BETON :

Les adjuvants fournissent à la formulation de béton une gamme étendue, variée et nuance de possibilités pour faciliter la mise en œuvre du béton, adopter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer la durabilité du béton, voir même lui conférer des propriétés nouvelles.

C'est eux, par exemple, qui ont rendu possible et donné son extension au concept actuel de hautes performances. Ils contribuent à faire de la formulation, un métier dont le savoir-faire, la capacité de répondre aux besoins du maître d'œuvre et de l'entrepreneur peut être l'objet d'un progrès continu [32].

D'après la norme NFP18-103, un adjuvant est un produit ajouté en très faible quantité aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment) avant ou pendant le malaxage, dans le but d'améliorer certaines de leurs propriétés, soit à l'état frais ou durci [41].

I-2-1-- POURQUOI UTILISER DES ADJUVANTS DE BETON [34] :

I-2-1-1-- Amélioration des conditions de mise en œuvre :

Les premiers adjuvants ont, selon toute probabilité, été utilisés dans le but d'améliorer le malaxage, la mise en place et la finition du mélange plastique. C'est une considération importante pour l'architecte, parce que cela permet de réduire ou d'éliminer le ressuage, la ségrégation, la formation de nids cailloux et autres défauts superficiels disgracieux pouvant résulter du manque de plasticité du mélange. La plupart des adjuvants utilisés, qu'ils soient agents entraîneurs d'air, retardateurs de prise, améliorent l'ouvrabilité. Bien que cette amélioration soit considérée comme un effet secondaire, c'est souvent la principale raison pour laquelle on a recours aux adjuvants.

I-3-1-2- Amélioration de la durabilité :

Le béton a une solidité proverbiale, c'est un matériau dont la robustesse est unanimement reconnue, mais sa surface de contact avec le milieu extérieur doit faire l'objet d'une grande attention si on veut lui conserver un rôle esthétique.

Cette surface est susceptible de se dégrader sous l'influence de certains facteurs tels que : Le manque de compacité, la perméabilité, les facteurs climatiques, ou les agressions chimiques. Les fissures, si elles se produisent, vont aussi limiter la durabilité des bétons.

I-2-2- CLASSIFICATION :

la normes NFP18 103 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants [47].

I-2-2-1- Les adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton :

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, à l'état frais, avant le début de prise, ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et ils en modifient la viscosité [34].

A-les types d'adjuvants :

- ❖ Les plastifiants (NFP18 335) : ces adjuvants ont pour fonction principale, à même teneur en eau, de conduire à une augmentation de l'ouvrabilité d'un béton, mortier ou coulis, sans en diminuer les résistances mécaniques.
- ❖ Les réduction d'eau plastifiants (NFP18 336) : ces adjuvants ont pour fonction principale, à même ouvrabilité de conduire à une augmentation des résidence mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'u béton
- ❖ les super plastifiants (NF P18 333) : Introductions dans un béton en général peu avant sa mise en œuvre, ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange [46].

Ce sont en général des produits de synthèse organique, les plus ces super plastifiant sont particulièrement utiles pour la réalisation des fondation, dallage, sols industriel...etc. Et leurs effets sont une durée limitée dans le temps (30 à 60mm).

Tableau I-1 : Adjuvants normalisée modifiant la mise en œuvre des bétons et mortier

	Plastifiants	Réducteur d'eau plastifiant	Super plastifiant
Dosage	Généralement <0.5%	Généralement < 0.5%	Généralement < 0.3%
Effet sur la mise œuvre du béton	A rapport E/C constant amélioration de la maniabilité	A maniabilité constants réduction d'eau (6.5%)	A rapport E/C constant, grande fluidité du béton gain d'affaissement d'eau moins 8mm
Effet favorable	Possibilité d'accélération du durcissement	-augmentation de compacité, diminution de la perméabilité -possibilité d'améliorer la résistance du béton aux agents chimique agressif	L'emploi de ces adjuvants peut permettre de réaliser des bétons a haute performance en utilisant de faible rapport E/C

B- Mécanisme de la floculation :

La floculation est un phénomène lié à la présence des charges électriques à la surface des grains et qui piège un certain volume d'eau, en l'empêchant de compléter l'hydratation du ciment [41]

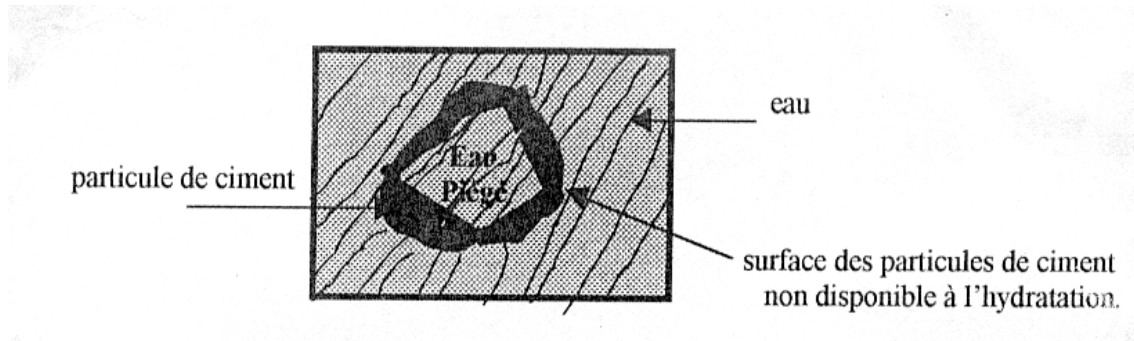


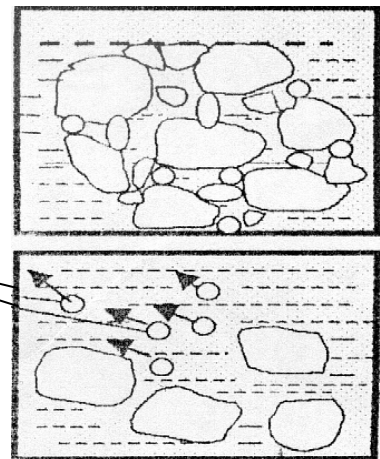
Figure I-1 : floc de ciment en l'absence de plastifiant-réducteurs d'eau, D'après Rixom et Mailvaganam, 1986 [41]

Les mécanisme d'action des superplastifiants ne sont pas fondamentalement différents de ceux des plastifiants à l'exception de l'effet dit entropique suite à la défloculation de la pâte de ciment, une dispersion des bulles d'air et en parallèle une lubrification par absorption sur les parois des grains.

a) sans plastifiant:

colonies de grains de ciment non défloculés:
cohésion capillaire par retentions de bulles d'air.

Bulles d'air éliminées



b) avec plastifiants:

les molécules sont absorbées par les grains
le ciment basique, l'air ne mouillant plus
ces derniers s'éliminent, d'où la défloculation
capillaire facilitée par abaissement de
la tension aux interfaces.

Figure I-2 : Mécanisme de la floculation avec et sans plastifiant

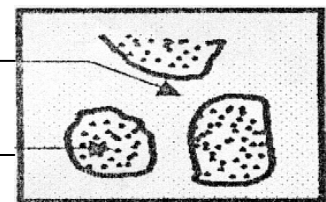
C- Mécanisme de la réduction d'eau sans diminution de la mutabilité :

a) sans plastifiant :

L'eau joue le rôle d'un lubrifiant simplement visqueux

eau nécessaire à la lubrification visqueuse

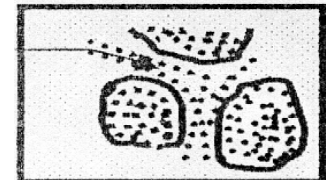
grain de ciment



b) avec plastifiant:

On adsorption à la paroi des grains. Des molécules longues du composé polaire apolaire jouant un rôle de urbrifiant onctueux.

eau pléthorique



c) avec plastifiant:

Diminution de l'eau excédentaire lubrification onctueuse maintenue.

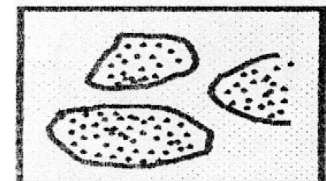


Figure I-3 : Mode de l'action des réducteurs d'eau [9]

I-2-2-2- Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

ces adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, qui modifiant les solubilités des différents constituants des ciment et surtout leur vitesse de dissolution ce qui influe sur le temps de début et fin de prise.

Tableau I-2 : Adjuvant normalisés la prise et le durcissement du ciment

		Accélérateur de prise	Accélérateur de durcissement	Retardateur de prise
Dosage		1 à 3 %	0.2 à 3 %	0.1 à 0.5%
Introduction		Dans l'eau de gâchage		
Effets sur la prise		Accélération variable suivant les dosages des ciment et de la température		Retard très variable suivant dosage de ciment température
Effet sur les résistances	Initiales avant 3 jours	Augmentée à 1 au 2jours		
	Finales après 28 jours	Légèrement diminuées (d'autant plus sue)	Inchangées ou légèrement diminués	Légèrement augmentées
Effet secondaires favorables		La prise aura été accélérée		Amélioration de la maniabilité avec possibilité de réduction d'eau

I- 2-2-3- Les adjuvants modifiant certaines propriétés :

-Les entraîneurs d'air (NF P18 338) ils ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton de micro bulles d'air uniformément réparties dans la masse. Ce sont des corps tensioactifs qui permettent d'entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément.

-Les hydrofuges de masse (NF P18 334) ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons d'avoir une bonne étanchéité.

Tableau I-3: Adjuvant normalisés modifiant la résistance au gel/dégel, et aux milieux agressifs.

	Entraîneurs d'air	Hydrofuges
Dosage	0.01 à 0.1%	1 à 3%
Résistance aux cycles gel/dégel	Emploi obligatoires bonne amélioration	
Résistance aux agressions atmosphériques (CO₂ Atmosphères maritime...)	Effet variable	Amélioration grâce à la diminution de la perméabilité du béton
Résistance aux agents chimiques agressifs (eaux séléniteuses, eaux sulfatées...)	Amélioration possible	Amélioration de la résistance grâce à la diminution de la perméabilité à l'air

I-2-3- PROBLEMES LIÉS AUX EXCES D'EAU / LA SOLUTION : LES ADJUVANTS

La maniabilité du béton conditionne la réussite de sa mise en œuvre et par conséquent, sa compacité cette compacité est étroitement liée à la composition du béton mais surtout à sa teneur en eau. On peut avoir un béton fluide en ajoutant une quantité importante d'eau, nettement supérieure à celle nécessaire à l'hydratation du ciment. L'eau excédentaire, après durcissement du béton, s'évapore et laisse des pores rendant le matériau béton vulnérable à différentes agressions chimiques, en plus des caractéristiques mécaniques nettement amoindries.

Ainsi donc, la recherche de la qualité et de la durabilité du béton passe toujours par l'amélioration de la maniabilité et par la diminution de la teneur en eau. L'excès d'eau de gâchage est indésirable parce que les vides du mélange initial, remplis d'eau se transforment en espaces libres dès que l'eau non requise par l'hydratation s'est évaporée. Et la quantité d'eau de gâchage est dans la réalité toujours nettement plus importante que celle qu'exige l'hydratation. Il existe donc, même dans les conditions les plus favorables, un système de vides considérable.

En d'autres termes, on peut dire que l'eau excédentaire dans les bétons est néfaste, car elle provoque de nombreuses dégradations comme :

- Retrait, gonflement, création de réseaux capillaires lors de la prise

- Diminution des performances mécaniques (voir courbe en fonction du E/C)
- Plus grande sensible au gel à cause de la porosité
- Accroissement des risques de certaines dégradation chimiques
- En accroissement rapide des surface par moisissures divers qui recherchent les porosité.

I-2-4- INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LA DURABILITE :

Les adjuvants (super plastifiant, les accélérateurs) modifient la vitesse des réactions normales d'hydratation figure «I-4», [45]. Les retardateurs en ralentissant l'évolution chimique, vont diminuer la perte d'ouvrabilité, à E/C constant, et inversement pour les accélérateurs. En revanche, la réduction du rapport E/C, que l'on recherche notamment par l'emploi des réducteurs d'eau, et de nature à accentuer l'augmentation naturelle du seuil de cisaillement.

La fonction de ces adjuvants est précisément de réduire la demande en eau à consistance imposée figure «I-5» [40]

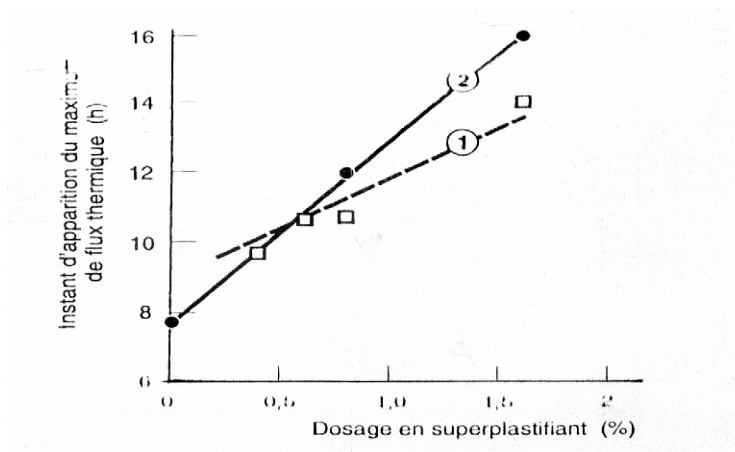
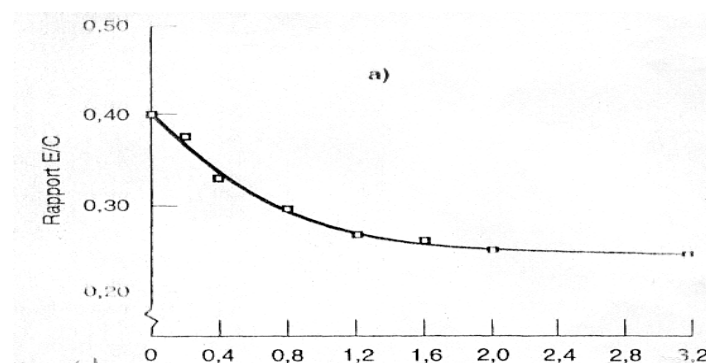


Figure I-4 : Influence du dosage en superplastifiant sur la vitesse d'hydratation du ciment [39]



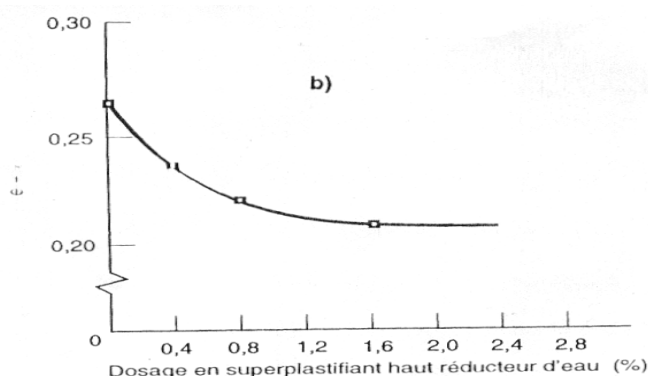


Figure 1-5 : Influence du dosage en super plastifiant haut réduction d'eau sur la demande en eau d'un mortier (a) et sur la porosité mesurée à l'état frais (b)

- La réduction de la demande en eau figure «I-5-a» est ici exprimée par la variation du rapport E/C et les dosages en adjuvants ils sont exprimés par le pourcentage d'extrait sec par rapport à la masse du ciment. On note l'effet de saturation au delà de 1.2%.
- La réduction de la demande en eau figure «I-5-b» s'accompagne d'une réduction de la porosité du béton frais, la quelle à dosage en ciment constant, entraîne une réduction de la porosité du béton durci qui, de ce fait, est plus durable.

L'effet de l'adjuvants est suivi, soit directement sur béton par la valeur de l'affaissement au cône d'abrams, soit par l'étalement du mortier correspondant à ce béton. Les évolutions de consistance déterminées par l'une ou l'autre méthode sont très voisines et l'études sur mortier conduit aux conclusions que l'étude sur béton les trois super plastifiants A.B.C de la figure ont été étudiés aux dosages indiqués dans légende de cette figure «I-6».

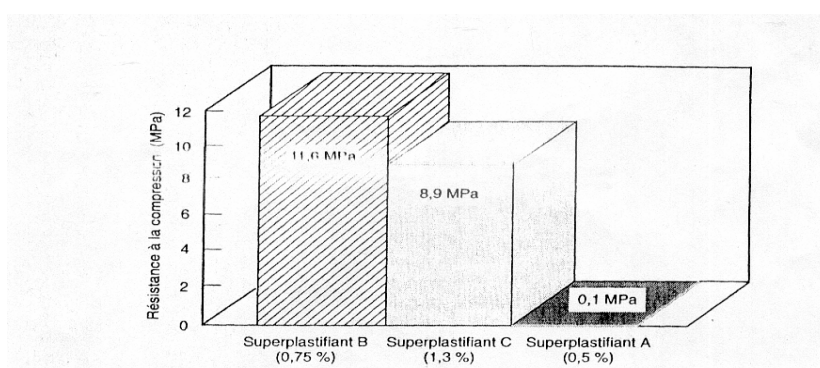


Figure 1-6: Résistance à la compression du mortier mesurée à 12 heures avec plusieurs dosages

I-3- STRUCTURE ET PERMEABILITE DU BETON :

I-3-1- STRUCTURE DU BETON :

Un milieu poreux se compose d'une phase solide et d'un espace poreux ou espace des vides. Dans le béton durci, ce sont les granulats, les hydrates et les reliquants anhydres qui constituent la phase solide. Les pores sont remplis d'air et (ou) d'eau. La forme géométrique de cet espace poreux est très complexe, sa description simplifiée au moyen d'un nombre limité de paramètres est présentée au figure «I-1».

Les lois qui décrivent les transferts par perméabilité ou par diffusion sont très différents : la perméabilité dépend de la taille des pores à travers lesquels à lieu l'écoulement, alors que la diffusion en est théoriquement indépendante[20]

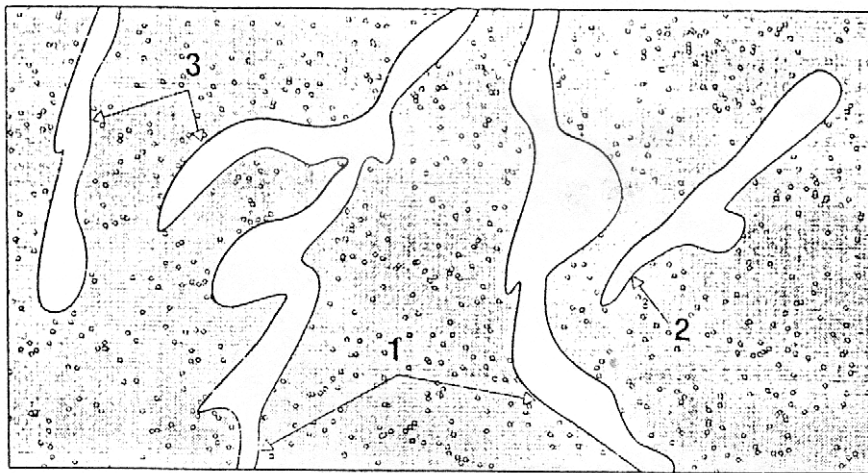


Figure I-7 : Représentation schématique d'un solide poreux [20]

D'après la figure précédente, on constate que la structure poreuse d'un solide est complexe, différentes catégories de pores peuvent exister: les pores interconnectés (1) qui permettent les écoulements à travers le solide, les pores isolés (2) et les bars morts (3). La représentation est donnée ici en deux dimensions, la connectivité des pores doit cependant être imaginée en trois dimensions.

Les caractéristiques du réseau poreux (porosité) et la distribution des tailles de pores..., déterminent les propriétés de transfert, c'est-à-dire l'aptitude du matériau à laisser pénétrer, sous forme liquide ou gazeuse, des agents potentiellement agressifs pour le béton ou pour des armatures (chlorures, sulfates, gaz carbonique...). Plus précisément, des propriétés telles que la perméabilité aux gaz ou aux liquides et la diffusivité aux ions chlorure [21]

I-3-1-1- La diffusivité :

Il est indispensable de pouvoir caractériser de façon précise et complète la microstructure des matériaux à base de ciment, dans la mesure ou celle-ci

conditionne non seulement les propriétés mécaniques, mais également celle liées à la durabilité de ces matériaux [2]

La diffusion désigne le processus de transport d'un constituant dans un milieu donné sous l'effet de son agitation aléatoire à l'échelle moléculaire. S'il existe des différences de concentration entre deux points du milieu, ce phénomène engendre un transport global du constituant considéré. Les transports par diffusion peuvent intervenir sous deux formes : en phase liquide ou en phase gazeuse.

I-3-1-2- La perméabilité :

Elle est relative au déplacement d'un fluide sans l'effet d'une pression motrice; elle dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide ainsi que leurs interconnexion[23], [37].

L'inconvénient majeur dans sa détermination réside dans le grand nombre d'infiltration possibles. En effet, selon la composition du fluide interstitiel (pluies, acides, eau de mer ou gaz), et le mode de préparation, nous obtiendrons des écoulements et donc des valeurs très différentes. D'où l'intérêt de préciser une valeur intrinsèque de perméabilité[22].

I-3-2- PERMEABILITE DU BETON :

I-3-2-1- Perméabilité d'un milieu poreux :

Dès que le contact entre les grains de ciment et l'eau s'effectue, des hydrates précipitent et s'organisent en formant une structure dont la cohésion évolue progressivement, selon une cinétique dont les mécanismes sont divers et compliqués.

Powers [18], a présenté un modèle de la structure poreuse de la pâte de ciment. D'après ce modèle, et à chaque stade de l'hydratation, la pâte durcie du ciment se compose de :

1. Produit d'hydratation ou gels résultant de la réaction du ciment avec l'eau.
2. Grains de ciment non hydratés.
3. vides entre ces différents cristaux (produits d'hydratation), appelés vides ou pores capillaires, représentant la partie d'eau non remplie encore par les produits d'hydratation.

Lors d'une étude de la microstructure du ciment durci, il a été conclu que le ciment a une structure feuilletée dont se présente sous forme de couches séparées par une certaine quantité d'eau. De plus, il a été trouvé que l'eau existe sous différentes phases à l'intérieur de la pâte du ciment hydraté figure «I-8».

Il n'existe pas de relation simple entre la porosité des bétons et leur perméabilité. D'une manière générale, on peut dire que l'ensemble des caractéristiques de la structure poreuse détermine la perméabilité : forme, taille et interconnexion des pores.

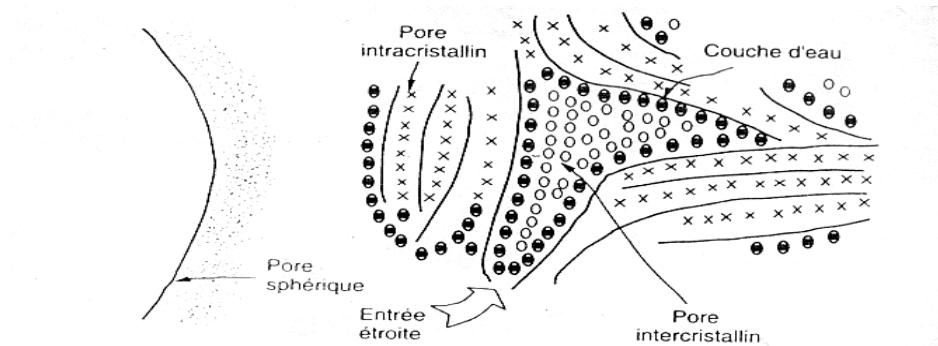


Figure I-8 : Représentations schématique du système poreux d'une pâte de ciment

I-3-2-1-1- Géométrie des pores dans le béton :

A partir de leur structure, on distingue les bétons suivants :

1. Béton normal à structure fermée
2. Béton à air entraîné à structure fermée
3. Béton avec granulats légers poreux
4. Béton poreux
5. Béton en granulats uniques à structure caverneuse

Les pores des bétons ont des formes complexes que l'on modélise habituellement par des cylindres dont on détermine le diamètre par l'essai classique de l'orométrie par pénétration de mercure. Par souci de classification, on peut distinguer la porosité de la pâte de ciment, celle des granulats et celle, particulière de la zone de transition entre ces deux types de constituants [24], [46]

Béton en granulats uniques

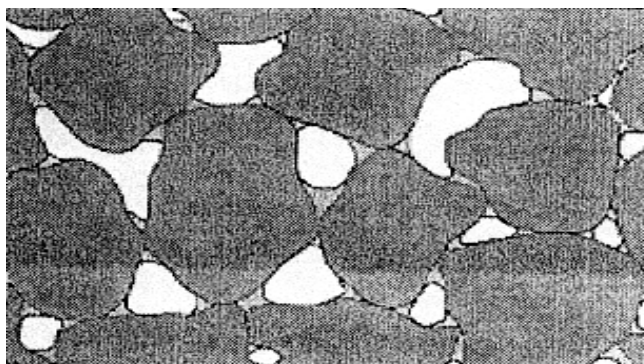


Figure I-9 : Béton à pores ouverts, les cavités sont situées entre les granulats de taille homogène

Béton normal

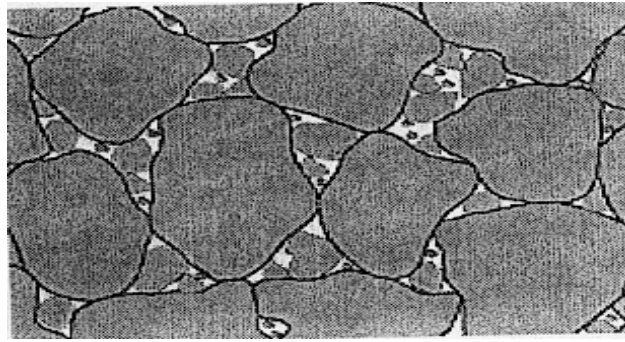


Figure I-10 : Béton normal avec 1-2% (en volume) de pores de compactage

Béton avec granulats légers poreux

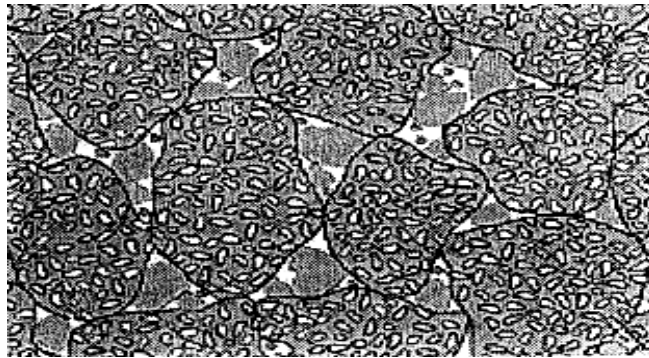


Figure I-11 : Granulats poreux comme l'argile expansé, la pierre ponce, les cendres volantes frittées, le polystyrène expansé

Béton à air entraîné et structure fermée

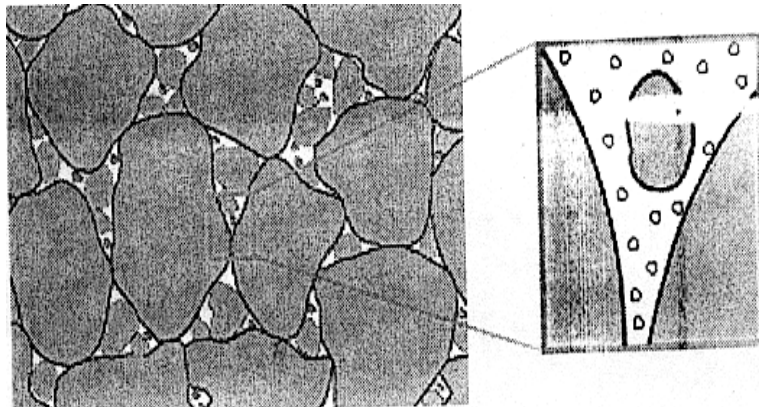


Figure I-12 : Béton à air entraîné avec env. 3-5% (en volume) de pores introduits artificiellement (diamètre < 0.3mm) et pores de compactage

Béton poreux

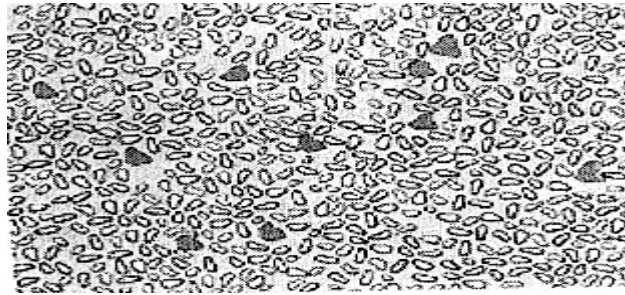


Figure I-13 : Béton mousse sans granulats grossiers, une matrice de mortier est mélangée à une mousse stable ou soufflée à l'aide d'un gaz dégagé par un agent gonflant

En principe, le béton forme une structure fermée. Après le compactage toutes les cavités entre les granulats sont remplies de pâte de ciment à l'exception d'une partie résiduelle de 1-2% (en volume).

La structure fermée quasiment exempte de cavités, confère les propriétés suivantes [25]

- Résistance élevée contre la pénétration de liquide et de gaz
- Haute résistance à la compression
- Bonne isolation acoustique
- Mauvaise isolation thermique
- Mauvaise résistance au gel et aux produits de dévergèçage

La structure du béton peut être modifiée afin d'optimiser une ou plusieurs propriétés. Le béton à air entraîné contient 4 à 6% (en volume) de pores introduits artificiellement afin d'améliorer la résistance au gel et aux produits de dévergèçage. En cas de gel, l'eau gelée peut se dilater dans les pores supplémentaires et occasionner de dégâts.

I-3-2-1-2- Relation entre la perméabilité et la géométrie des pores :

Divers modèles visant à relier la perméabilité des matériaux poreux et les caractéristiques de sa microstructure ont été proposés. Ils visent tous à dégager l'influence de deux paramètres essentiels: la taille des vides et leur interconnexion.

Dans le cas des matériaux consolidés tels que les bétons deux approches paraissent intéressantes: la modélisation statique et les modèles utilisant les données classiques de la porométrie au mercure [26].

- **Modèle de Diennes [26]**

Les pores sont assimilés à des tubes cylindriques dans lesquels le fluide s'écoule en régime laminaire. Une autre modélisation concerne les matériaux fissurés: les fissures sont modélisées par des disques minces. Les tubes ou fissures répartis uniformément dans l'espace, et leurs caractéristiques géométriques sont des variables statistiques. En introduisant la porosité, la théorie de la percolation permet de calculer la perméabilité.

A- Pour les matériaux poreux :

$$K = \frac{f \cdot r^2 \cdot p}{32} \dots\dots\dots(1-1)$$

K: est relié au rayon « r » des tubes modèles

B- Pour les matériaux fissurés :

$$K = 2/15 \cdot f \cdot w^2 \cdot p \dots\dots\dots(1-2)$$

K : est relié à l'ouverture moyenne des fissures

- **Le modèle de Katz Thomson :**

La modélisation proposée par ces deux auteurs, relie la perméabilité à un seuil de pénétration déterminé. Dans l'essai de porométrie à mercure, ce seuil correspond à l'inflexion (diamètre Dc) de la courbe de pénétration de mercure figure«I-8». La perméabilité est calculée selon:

$$K = Dc^2 / 226 F \dots\dots\dots(1-3)$$

F : Est le facteur de formation ,rapport entre la conductivité du béton saturé et celle de la solution, interstitielle.

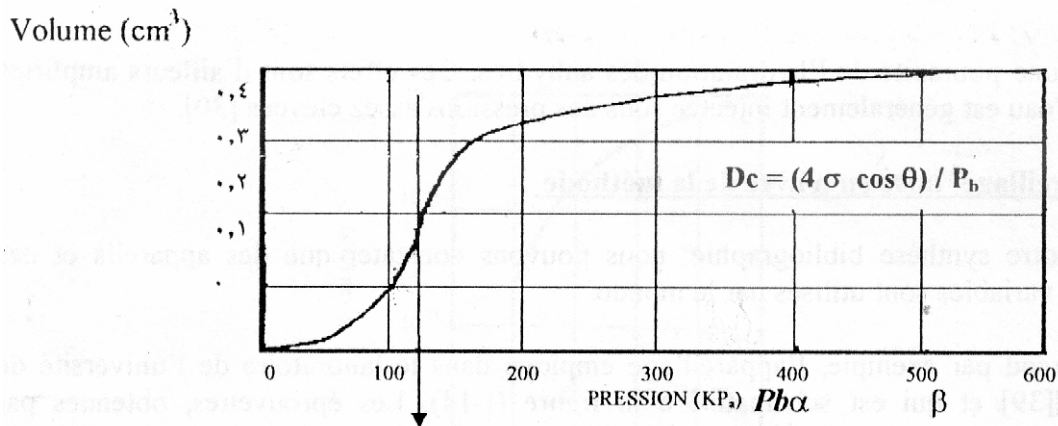


Figure I-14 : définition du seuil Dc dans la théorie de Katz -Thomson [26]

Ces théories établissent des relations entre la perméabilité, l'interconnexion et la géométrie des pores [26].

I-3-3- LOI DE PERMEABILITE :

Cette grandeur physique est relative au déplacement d'un fluide sous l'effet d'une pression motrice, ou un gradient hydraulique, elle dépend surtout de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide ainsi que de leur interconnexion.

On décrit ce déplacement de matière à l'échelle des pores par la loi d'écoulement de l'eau sous gradient hydraulique comme schématisé ci-dessous :

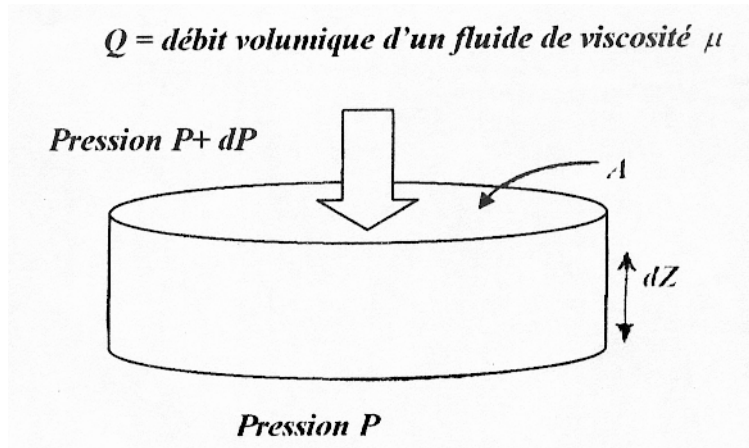


Figure I-15 : Définition de la perméabilité

En régime d'écoulement laminaire la relation de Poiseuille nous donne la quantité d'eau (le débit volumique) traversant le pore cylindrique :

$$Q = (\pi r^4 / 8U) \Delta p / L \dots \dots \dots (1-4)$$

U: est la viscosité dynamique de l'eau.

La vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans la pore est donc :

$$V = Q/A = Q/\pi r^2 \dots \dots \dots (1-5)$$

Ce qui prouve que la taille des pores est un paramètre qui influe sur la vitesse d'écoulement, donc le transport par d'écoulement hydraulique caractérise la perméabilité K.

Cette dernière caractérise l'aptitude du matériau à se laisser traverser par un fluide soumis à un gradient de pression dP.

K : est défini par la relation de Darcy. Il exprime la perméabilité d'un matériau de viscosité U et de section apparente A en relation avec le débit volumique Q qui le traverse

$$Q = -(K/U)A \, dp/dZ \dots \dots \dots (1-6)$$

La perméabilité K est ici analogue à une aire (m^2). Souvent on fait plutôt référence à un coefficient de perméabilité :

$$K_a = KW_e/U_e \dots \dots \dots (1-7)$$

Lorsque on fait référence à la perméabilité à l'eau

$$dp = w_e \, dh \dots \dots \dots (1-8)$$

$$K_a = - (QU_e \, dl) / (A \, dl) - W_e / U_e = - (Q/A) (dl/dh) \dots \dots \dots (1-9)$$

$$= V_e \, dx/dh \dots \dots \dots (1-10)$$

En génie civil, les principaux écoulements de fluide rencontrés sont des écoulements d'eau. L'aptitude des matériaux à se traverser par un fluide est donc fréquemment caractérisée par le coefficient de perméabilité K_a . La relation (I-9) indique que le coefficient n'est pas une caractéristique intrinsèque du matériau comme la perméabilité K ; il dépend aussi des caractéristiques de l'eau (W_e , U_e)

I-3-3-1- Loi de Darcy (écoulement vertical) [27] :

L'étude de déplacement de l'eau dans un milieu poreux a été conduite expérimentalement par Darcy en 1856. Pour une même charge hydraulique (même énergie potentielle), Darcy définit un coefficient de perméabilité K , mesuré en m/s , dépendant du type de milieu poreux. La quantité d'eau transitant dans ce milieu est proportionnelle à la section totale traversée A , au coefficient de perméabilité K du milieu et à la charge hydraulique h et inversement proportionnelle à la longueur I du milieu traversé :

$$Q (m^3/s) = K (m/s) \cdot A (m^2) \cdot h/I \dots \dots \dots (1-11)$$

h/I est la perte de charge par unité de longueur, appelée encore gradient hydraulique I :

$$Q = K \cdot A \cdot I \dots \dots \dots (1-12)$$

La vitesse de filtration V est égale au rapport de la quantité d'eau passant en une seconde sur la surface A . C'est également le produit du coefficient de perméabilité par le gradient hydraulique

$$V (m/s) = Q/A = K \cdot h/I \dots \dots \dots (1-13)$$

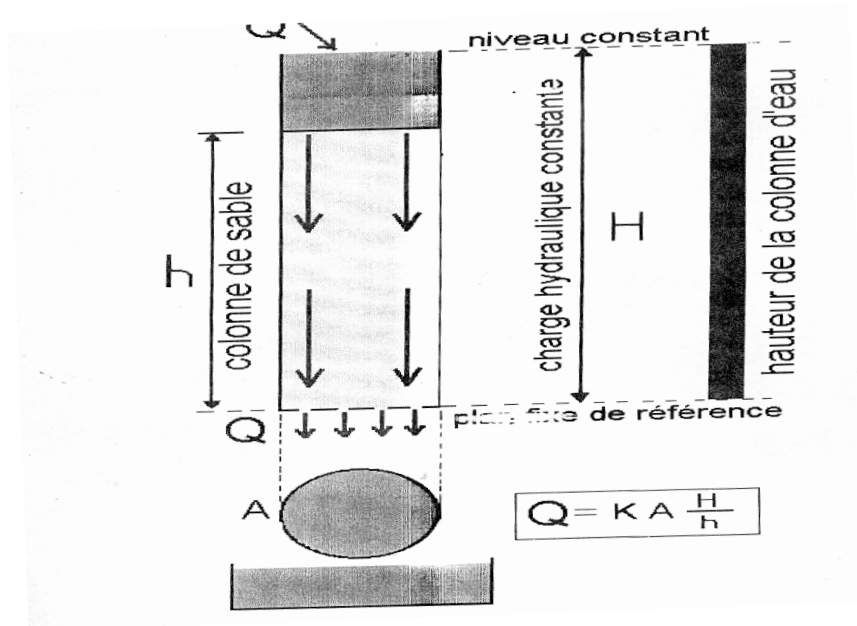


Figure I- 16 : Dispositif expérimental pour la loi de Darcy

La loi de Darcy n'est strictement applicable que pour des milieux homogène ou l'écoulement de l'eau est laminaire. Elle ne peut être utilisée en particulier pour les réseaux Karstiques [35].

Le coefficient de perméabilité est propre à chaque réservoir, il dépend notamment de la porosité efficace et de la viscosité du fluide, il augmente avec la profondeur (l'augmentation de température diminue la viscosité).

I-3-3-2- Mesure de la perméabilité a l'eau [28] :

La mesure de la perméabilité des bétons usuels est relativement simple, tout que le rapport reste élevée, le béton est très poreux et ses capillaires forment un réseau bien connecté. La présence d'eau qui n'a pas réagi lors de l'hydratation du béton crée ce réseau interconnecté à travers du quel l'eau peut s'écouler dès que l'on exerce un gradient de pression.

I-3-3-2-1- Principe de la mesure :

Une mesure directe de K au perméamètre consiste à saturer une éprouvette en fluide mouillant, à imposer une différence de pression entre ses deux faces et à mesurer le débit de fluide la traversant pendant un temps donné [30]. Le coefficient de la perméabilité K est une caractéristiques intrinsèque du matériau dans la mesure ou un certain nombre de conditions sont remplies : [29]

1. le matériau doit avoir été préalablement saturé par l'eau désaérée
2. la température de l'eau doit être constante.
3. il n'existe pas d'interaction physiques ou chimiques entre l'eau et les constituants du béton.

ciment portland, les espaces inter granulaires initialement remplis avec l'eau de gâchage se comblent et la porosité diminue.

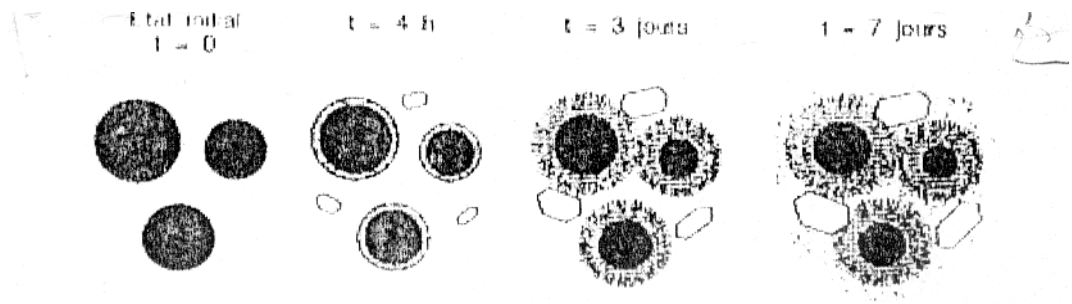


Figure I-18 : Schéma illustrant le développement progressif des hydrates dans une pâte de ciment en cours d'hydratation [20]

La figure «I-19» montre que, pour les ciments portland ordinaires, il existe un rapport E/C au delà duquel le réseau des capillaires reste toujours interconnecté, même après une hydratation complète du ciment. Ce rapport E/C dont la valeur est voisine de 0.7 est appelé premier rapport critique. Il dépend de la nature du ciment car le volume des hydrates formés dépend de la nature chimique du ciment anhydre. Il a une grande importance en pratique: en ne dépassant pas ce rapport E/C, on tire pleinement partie des propriétés des hydrates du ciment. On obtient ainsi, par rapport à un béton qui aurait un rapport E/C un peu supérieur, une très forte réduction de la perméabilité du béton durci.

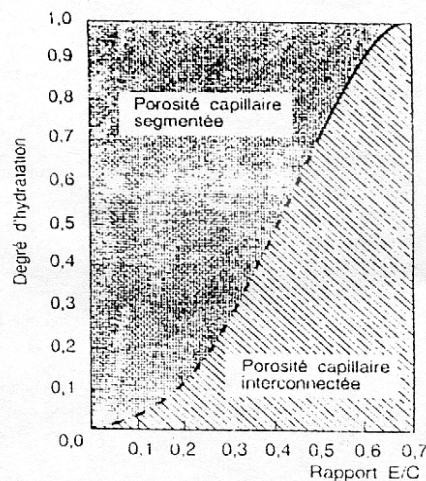


Figure 1-19 : Degré de d'hydratation nécessaire à l'interruption de la condition capillaire [20]

Lorsque le rapport de gâchage diminue, la segmentation du réseau capillaire s'obtient à des degrés d'hydratation plus faibles. Les courbes cumulées de la figure «I-20» renseignent sur l'évolution de la structure porosimétrique au cours du temps: diminution de la porosité interconnectée, existence d'une porosité capillaire à longue échéance pour une teneur en eau de gâchage correspondant à un rapport E/C de 0.70, la diminution de la porosité capillaire au cours de l'avancement

des réactions d'hydratation est accompagnée d'une diminution de la perméabilité comme le montre. Le tableau «I-4»

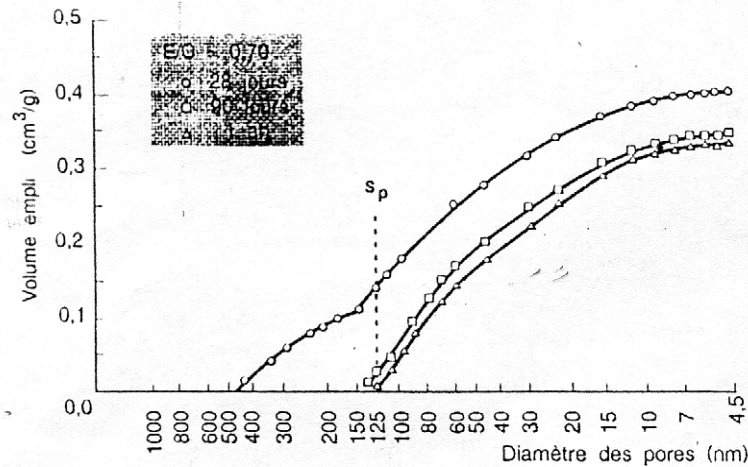


Figure 1-20 : Influence de la durée de l'hydratation, sur l'évolution porosimétrique d'une pâte de ciment dont le E/C =0.7 [20]

Tableau 1-4 : Réduction du coefficient de perméabilité d'une pâte de ciment (E/C =0.7)

Age (jours)	Coefficient de perméabilité (10^{-13} m/s)
Pâte fraîche	20.000.000
5	4000
6	1000
8	400
13	50
24	10
Pâte âgée	6

I-3-4-2- Influence des conditions d'hydratation :

Dans le cas où le béton en service est exposé pendant une longue durée à une source d'eau non agressive et si l'on recherche une imperméabilité élevée, il paraît intéressant de réduire le rapport E/C en dessus d'un troisième rapport critique: E/C= 0.36. En effet, dans ces conditions, l'apport d'eau externe permet une poursuite de l'hydratation jusqu'au remplissage de la porosité capillaire figure «I-21». En pratique, en raison de la faible perméabilité du béton pour un telle rapport E/C, l'eau ne peut pénétrer que dans la partie du béton qui est proche de la surface. Cette possibilité d'hydratation complètement est néanmoins bénéfique puisqu'elle renforce justement la zone du béton la plus exposé aux attaques externes.

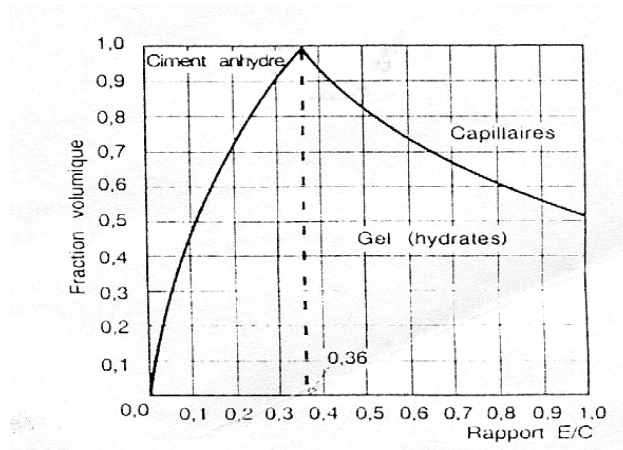


Figure I-21 : Composition volumique d'une pâte de ciment portland totalement hydraté sous eau. Selon le modèle de POWERS [20]

La protection de la surface du béton jeune est d'autant plus nécessaire que, par effet de paroi, la peau du béton est une zone riche en pâte de ciment que la cœur. Les temps nécessaires parvenir à la segmentation des capillaire étant plus importants pour les portes teneurs en eau. La qualité et la durée de la cure auront d'autant plus d'influence sur les propriétés de transfert, donc sur la durabilité, que le rapport E/C sera élevé figure «I-22».

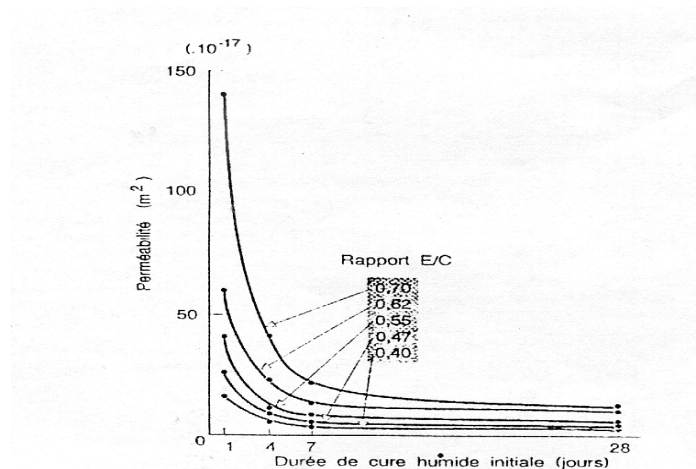


Figure I-22 : Influence de la durée de cure humide initiale sur la Perméabilité

Deux expérimentations dues à RASHEE du ZZAFAR [20] illustrent également l'importance de la cure vis à vis de la durabilité figure «I-23»: elle montrent que la période d'amorçage de la corrosion des armateurs et la résistance aux sulfates augmentent avec la durée de cure.

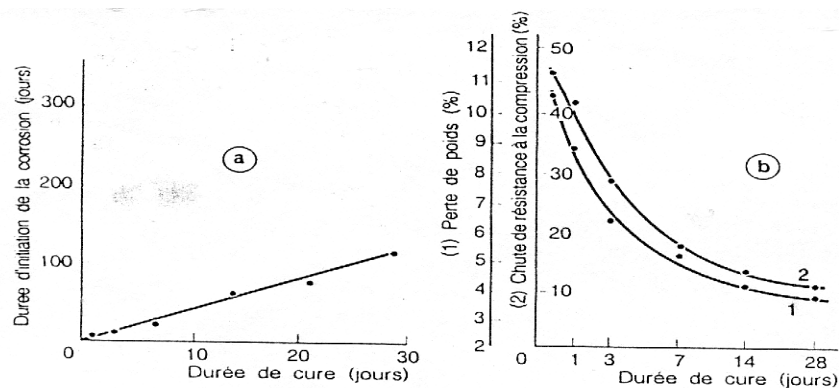


Figure 1-23 : Influence de la durée de cure sur la durabilité [20]

Divers produits des cures peuvent être utilisés pour diminuer les départs d'eau: le tableau «I-5» indique l'efficacité de certains d'entre eux. Une entre humide ou l'utilisation d'une émulsion de cire peut réduire la porosité superficielle d'environ 15% et diviser par 2.5 le diamètre moyen des pores.

Tableau I-5 : Influence des différentes techniques de cure sur porosité totale et la diamètre moyen des pores de mortiers âgés de trois jours .

Méthode de cure	Porosité au mercure %	Diamètre moyen des pores (mm)
3 jours de cure humide	20.1	80
émulsion acrylique	22.9	128
émulsion de cire	20.9	90
Sans cure humide	29.1	228
Conditions de conservation : 35°C, 45% HR, vitesse du vent : 3 m/s		
Composition : ciment /sable = 1/2.9, E/C=0.48		

I-3-4-3- L'influence spécifique des granulats :

Au voisinage de l'interface pâte-granulat les conditions locales de l'hydratation sont modifiées dès le début des réactions à cause de la présence d'un excès d'eau dû, soit à l'effet de paroi, soit au ressuage. Il en résulte, d'une part, une augmentation locale du volume des pores dans lesquels les hydrates peuvent se développer et, d'autre part, la formation d'un gradient de teneur en eau. La structuration de la pâte de ciment est ainsi modifiée sur une distance de quelques dizaines des micromètres. Cette zone inter faciale influencée par la présence des granulats est appelée auréole de transition.

Pour les dosages en ciment constants, le volume des vides augmente rapidement lorsque les dimensions maximales du gros granulats deviennent inférieures à 40mm figure «I-24». Le sable a relativement peu d'influence sur le volume des vides. Les variations dans la granulométrie ou dans la proportion de sable du mélange peuvent néanmoins modifier légèrement la teneur en

vides ($\pm 1\%$). Le volume des vides peut également être légèrement modifié par la forme des particules de sables.

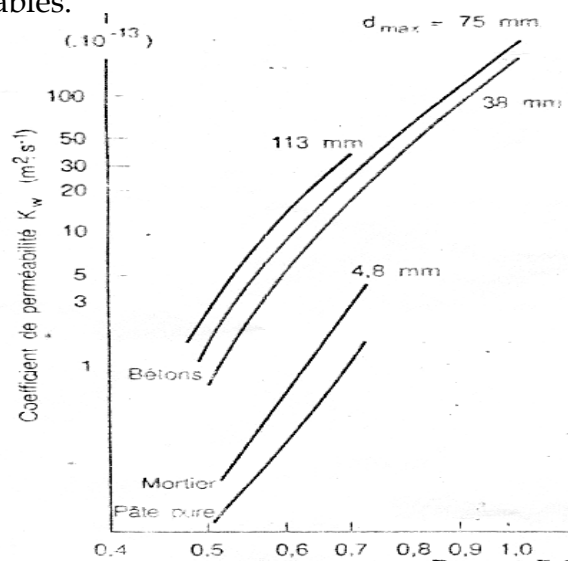


Figure 1-24 : Influence de rapport E/C et de la taille maximale des granulats sur la coefficient de perméabilité à l'eau des bétons [20]

La teneur en pores des granulats naturels est très faible et peut généralement être considérée comme négligeable. La porosité de pâte du ciment durci et les conditions auxquelles l'ouvrage est soumis, comme la nature du transport de l'eau, les conditions de séchage, etc. influent de manière déterminante sur l'étanchéité à l'eau du béton.

Le béton frais avec le rapport théorique eau/ciment = 0,40 nécessaire pour permettre une hydratation complète est très "sec", son ouvrabilité et son aptitude au compactage sont mauvaises. C'est la raison pour laquelle on utilise toujours plus d'eau que la quantité théorique nécessaire à une hydratation totale du ciment lors de la fabrication du béton frais. L'excédent d'eau entraîne cependant la formation de pores capillaires, de forme longiligne, plus ou moins reliés entre eux, dans la pâte de ciment en cours de durcissement [33].

La figure «I-25» montre que la porosité capillaire de la pâte de ciment et par conséquent la perméabilité à l'eau du béton diminuent d'autant plus que le rapport E/C est faible et que le degré d'hydratation du ciment est élevé.

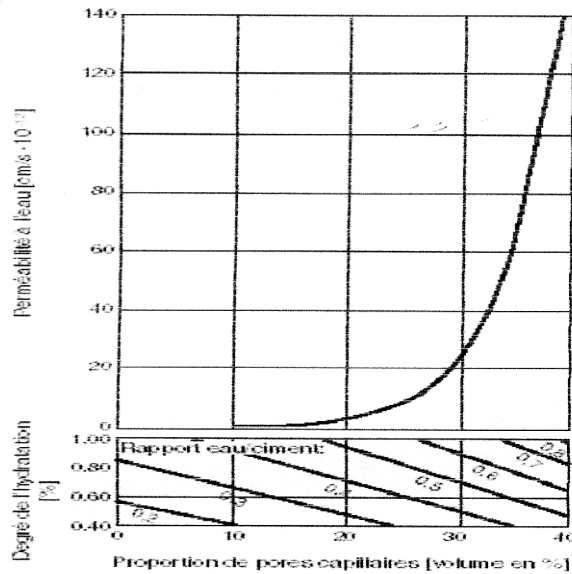


Figure I-25 : Porosité capillaire et perméabilité à l'eau de la pâte de ciment en fonction du rapport E/C et du degré d'hydratation [33]

I-3-4-4- Les caractéristiques spécifiques du béton au voisinage des surfaces exposées :

La structure des premiers centimètres du béton au voisinage des parois est modifiée par plusieurs causes liées à la mise en place et à la cure du béton: effet de coffrage, ségrégation, évaporation, fissuration excessive,...il en résulte l'apparition de gradient, parfois important, dans les principales propriétés du béton lorsqu'on se déplace de la surface externe vers le cœur de l'ouvrage. La figure «I-26», établie d'après un document de KREIJGER[20], rend compte de ces variations.

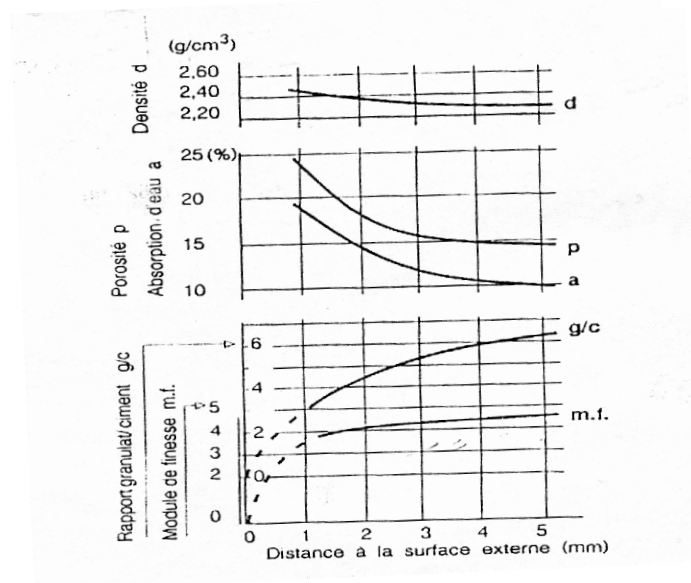


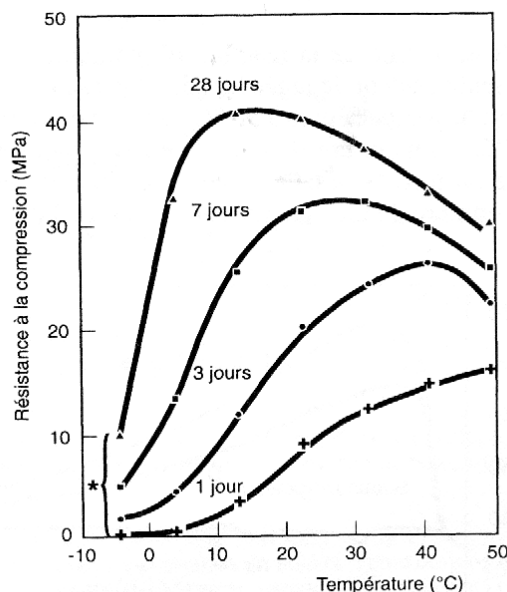
Figure I-26 : Variation de la composition d'un béton dans les premiers millimètres proches d'une face exposée [20]

I-3-4-5- Influence de la température :

Les essais de laboratoire sont habituellement effectués à une température contrôlée normalement constante. Comme les premiers essais ont été effectués dans des climats tempérés, la température choisie était généralement comparé entre 18 et 20, de sorte que la plupart des informations de base sur les propriétés des bétons frais et durcis sont fondées sur le comportement du béton à des températures.

L'influence de la température de la pâte de ciment au tout jeune âge (à partir 14 heures) sur la structure de la pâte de ciment hydraté a été démontrée par GOTO et ROY, qui ont trouvé qu'un mûrissement à 60°C entraîne la formation d'un volume de pores dépassant 150mm de diamètre beaucoup plus élevé que lors d'un mûrissement à 27°C°. La porosité totale varie de manière inverse. Mais ce sont les plus gros pores qui contrôlent la perméabilité. Cette dernière étant d'une grande importance en matière du durabilité.

L'influence de la température sur la résistance du béton à 1 jour et 28 jours est représentée par cette figure «I-27» montre que plus la température de fabrication et de mûrissement du béton est élevé, plus la résistance à un jour de ce béton est élevé, alors que pour les âges de trois à 28 jours l'influence de la température change radicalement.



* Béton fabriqué à 4 °C et conservé immédiatement à - 4 °C.

Figure I-27 : L'influence de la température sur la résistance à la compression d'un béton [11]

I-3-4-6- Influence des additions minérales :

I-3-4-6-1- fumée de silice :

Parmi les additions minérales pouvant être utilisées dans la formulation des bétons, les fumées de silice. Elles jouent un rôle particulier du fait, d'une part, de leur composition (taux de silice supérieur 70%) et, d'autre part, de leur finesse (supérieur à 10 000 m²/kg), [11].

Plusieurs études (BENTURE et GOLDMAN, 1989...) [8] montrent que la présence de fumées de silice accélère la réaction d'hydratation du ciment portland.

Cet effet accélérateur des fumées de silice sur l'hydratation du ciment, combiné à l'effet de remplissage dû à leur extrême finesse peut conduire à de meilleures résistances à court terme du béton. Toutefois, il semble que l'amélioration des résistances à court terme du béton dépende de plusieurs caractéristiques des fumées de silice et du ciment, mais aussi de la façon dont les fumées de silice sont prises en compte dans les bétons :

- En substitution d'une partie du ciment
- En ajout au ciment
- En optimisant la quantité de liant dans le béton dans le but d'obtenir une résistance donnée à 28 jours

L'influence de la fumée de silice sur la perméabilité du béton est plus grande que celle indiquée par les essais sur pâte de ciment hydraté, car dans le premier cas, la fumée de silice réduit la perméabilité de la zone de transition des granulats aussi bien que la perméabilité de la masse de la pâte. L'influence de la fumée de silice sur la perméabilité du béton est très importante : Khayat et Aitcin ont signalé qu'une teneur de 5% de fumée de silice réduit le coefficient de perméabilité dans le rapport de 1 et 3. Ainsi, l'influence bénéfique de la fumée de silice est donc plus importante sur la perméabilité que sur la résistance à la compression figure «I-28»

La figure «I-28» montre que la perméabilité du béton est réduite par une addition de fumée de silice, associée à un superplastifiant, par contre, l'effet inverse est observé lorsque le béton ne contient pas de superplastifiant

Coefficient de la perméabilité en m/s

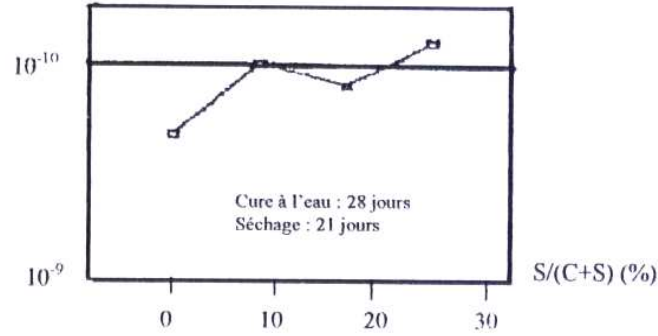


Figure I-28 : Coefficient de perméabilité avec fumée de silice et ans ajout de réducteur d'eau

La valeur du paramètre du premier ordre, la porosité est ainsi très fortement réduite. Mais l'effet des fumée de silice touche également les autres paramètres de la texture des bétons : elle réduit la dimension des pores capillaires figure «I-29» et densifie l'auréole de transition au voisinage des granulats. En plus de cet effet géométrique, les fumées de silice ont un rôle chimique. Par réaction pouzzolanique ou par un action sur les conditions de germination des hydrates, la structure des C-S-H est modifier : Ils ont une texture d'aspect vitreux et, à long terme la taille des pores des C-S-H est, elle aussi, diminuée en présence de fumée de silice.

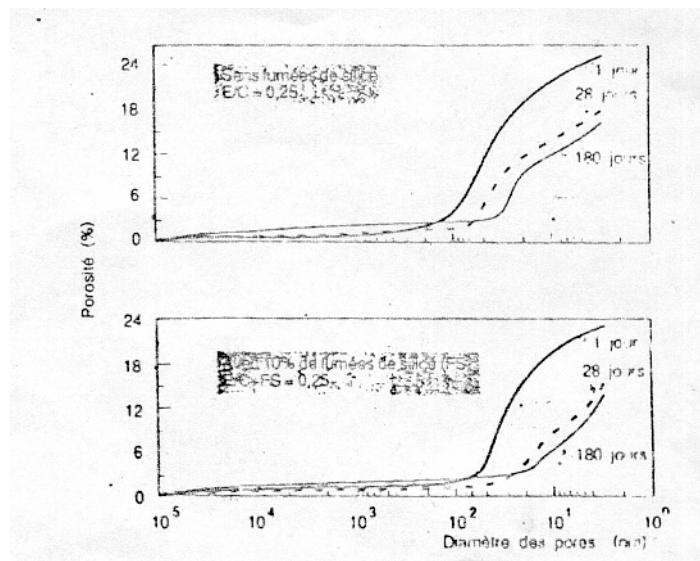


Figure I-29 : Courbe fréquence porosimétrique de pâtes de ciment influence des fumée de silice en présence de fluidifiant

I-3-4-6-2- Cendres volantes et laitier :

Dans le cas des cendres volantes et particulièrement des cendres de houille, présentant une activité pouzzolanique, la substitution d'une partie du ciment par des cendres volantes aurait tendance à affaiblir les résistances à court terme.

Cependant, il faut se garder de généraliser ce résultat dans la mesure où les caractéristiques des cendres (finesse et composition) semblent jouer un rôle prépondérant sur le développement de l'activité pouzzolanique.

Enfin, formulation d'un béton peut avoir recours au laitier plusieurs facteurs influencent le rendement du laitier dans un béton, parmi lesquels nous pouvons citer la finesse du laitier, son pouvoir hydraulique, son pourcentage de substitution du ciment, le rapport E/C du mélange et le type de ciment utilisé. L'addition est dosée en ajout au ciment pour améliorer, par exemple, la maniabilité du béton. Dans le cas la résistance à 28 jours augmente, la perméabilité est réduite.

Les quelques résultats qui prennent en compte la résistance des bétons dans les études de perméabilité conduisent à la même conclusion : une relation approximative existe entre la perméabilité d'un béton contenant des cendres volantes ou laitier et sa résistance mesurée à la même échéance figure «I-30».

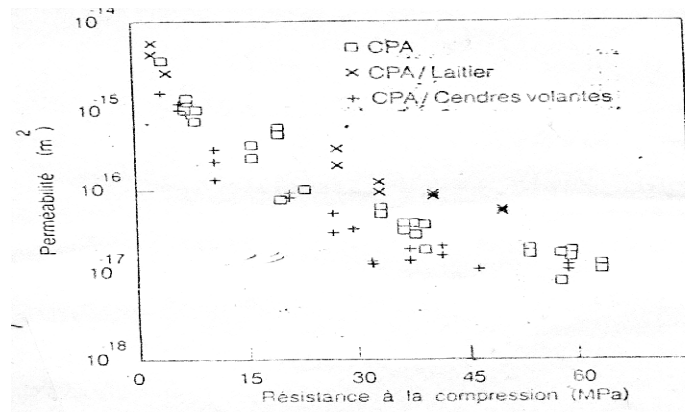


Figure 1-30 : Corrélation approximative entre la perméabilité de béton réaliser avec des ciments composer aux cendres volantes ou au laitier et leurs résistance mécaniques

I-3-4-6-3- Fillers calcaires :

Dans le début de ce chapitre, nous avons indiqué que la qualité du béton était la premier condition d'une bonne durabilité. pour réaliser un béton durable, il faut aussi s'adapter la nature des constituants à celle de l'environnement .

Puisque les ciments aux fillers calcaires produisent à peu près les mêmes hydrates que la CPA, l'important pour la qualité d'un béton n'est pas la quantité de ciment en soi, mais plutôt la quantité d'hydraté, la porosité et la distribution de la taille des pores. Des travaux de Rance et Cariou, montrent que ces caractéristiques sont les même, a la classe de résistance identique, pour un CPA et un CPJ aux fillers calcaires. Les corrélation entre porosité et degré d'hydratation d'une part, et entre résistance et porosité d'autre part, sont les mêmes pour les deux catégories de ciment CPA et CPJ aux fillers calcaires figure «I-31».

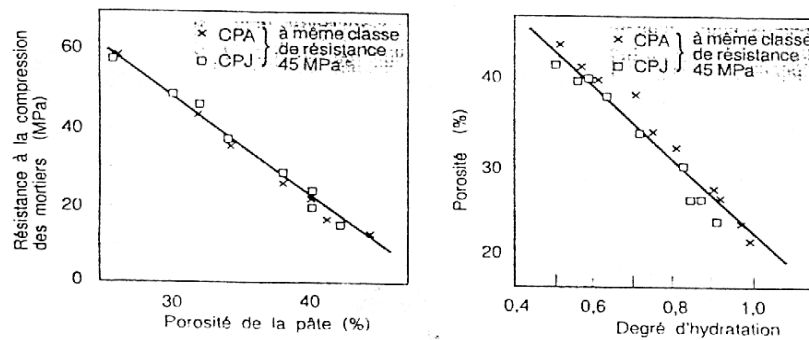


Figure 1-31 : Les corrélations porosité degré d'hydratation sur pâte pure et résistance du mortier normal porosité de la pâte son analogues pour un CPA et un CPJ aux fillers calcaires se même classe de résistance[20].

I-4- DURABILITE DES BETONS ET LES MECANISMES D'ALTERATION :

Les altérations du béton peuvent être dues à des agents extérieurs (solutions acides, sols gypseux agressifs vis-à-vis de la pâte de ciment) ou à des appuis internes (hydratation de CaO et de MgO) libre dans le ciment, alcalis-réactions, solidification de l'eau sous l'action du gel). Les altérations sont de deux types : Soit l'érosion, qui entraîne une partie du liant, soit le gonflement, par formation de composés expansifs.

I-4-1- LA DISSOLUTION ET L'EROSION :

De tous les constituants hydratés du ciment. La chaux est la plus soluble. Elle peut être dissoute par attaque superficielle. La dissolution de la chaux peut s'accompagner de la formation de composés nouveaux. S'ils sont solubles, les sels formés diminuent la résistance du béton. S'ils sont insolubles, ils peuvent, au contraire, se substituer à la chaux et former une couche protectrice. Les différentes réactions qui accompagnent la dissolution de la chaux.

I-4-2- LES GONFLEMENTS ET LES ECLATEMENTS :

I-4-2-1- L'action des sulfates :

L'action des eaux souterraines sulfatées offre le cas le plus simple d'une agression donnant naissance à des composés nouveaux expansifs à partir des constituants du ciment . La réaction de base est la formation d'ettringite ou sel de COUDLOT $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ [19].

Il est à noter qu'il se forme normalement de l'ettringite lors de la prise du ciment portland, mais elle se transforme rapidement, dans les conditions habituelles de conservation en monosulfaluminates, en outre le gypse ajouté au clinker n'est plus à l'état libre dans le béton durci .

Comme les différents sulfates de calcium (gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, hemihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, anhydrite CaSO_4 , les sulfates de potassium, sodium, magnésium et ammonium sont agressifs et peuvent donner naissance à un gypse secondaire).

La chaux et l'aluminate tricalcique sont donc dans le ciment. Les phases les plus vulnérables aux sulfatées (l'action sera plus complexe) si elles sont en contact avec l'eau de mer.

I-4-2-2-L'action de l'eau de mer :

Les sels dissous sont principalement des chlorures et des sulfates. L'attaque du béton est le résultat de réactions séparées mais plus aux moins simultanées entre les sulfates et les chlorures et les constituants du ciment. Aucun des composants du ciment portland n'est stable en milieu marin. VICAT dès 1857 avait établi un lien entre l'attaque chimique du ciment et la présence de MgSO_4 , les sels de magnésium et MgCl_2 sont les plus agressifs.

La substitution $\longrightarrow (\text{Mg}^{2+} \text{ Ca}^{2+})$ s'effectue également dans les silicates hydratés C-S-H qui se transforment progressivement en M-S-H silicates de magnésium sans propriétés liantes.

Le chlore peut s'insérer dans le réseau cristallin de C-S-H, il fait disparaître les fibres et crée une structure alvéolaire. Il se forme un freillis dont les mailles deviennent de plus en plus lâches quand la qualité de chaux dissoute augmente.

I-4-2-3- Les réactions alcali-granulats ou " alcalis- réactions " :

La réaction alcalis-granulat a été découverte aux Etats-Unis par STANTON (1940) [18], dans des bétons préparés avec des sables contenant des silices réactives. Le sodium et le potassium peuvent réagir, en présence d'ions OH^- soit avec la silice amorphe (opale, calcédoine), soit avec les silicates (granits, schistes, feldspaths, micas, basaltes), soit avec les calcaires argileux dolomitiques. La réaction de la silice avec les alcalins donne naissance à des gels expansifs $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{H}_2\text{O}$ qui entraînent une fissuration des ouvrages, les fissures produites laissent ensuite exsuder le gel de silice.

Le problème posé par les granulats est complexe. Très souvent polyphasés. Ils réagissent plus ou moins rapidement, il suffit d'un très faible pourcentage des grains réactifs (3 - 5%) pour entraîner une expansion du béton et la texture de la roche intervient d'une manière prépondérante, tous les gels formés ne sont pas gonflants. Ceux qui contiennent du CaO sont plus stables que les gels alcalins et restent localisés à la surface des granulats.

Au contraire les gels $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ - ou $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ sont expansifs d'où l'intérêt de connaître leurs composition par les tests de sensibilité des granulats aux alcalins

(dissolution de la silice dans une solution alcaline à 80°C). L'action des sulfates de l'eau de mer, l'alcali réaction sont des réactions chimiques qui donnent naissance à des composés expansifs, en transformant en glace l'eau libre de la phase aqueuse interstitielle du béton.

I-5- CONCLUSION DE L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

L'étude bibliographique a permis de tirer les conclusions suivantes :

- 1- Les effets de l'adjuvant sur la durabilité des bétons sont très importants.
- 2- Les adjuvants sont des composants très importants des bétons modernes qui permettent de modifier certaines propriétés du béton à l'état frais ou durci.
- 3- Les adjuvants permettent de diminuer les quantités d'eau de gâchage des bétons, à ouvrabilité équivalente, et d'améliorer ainsi la durabilité du béton.
- 4- De faibles variations sur le dosage de certains adjuvants (plastifiant, retardateur...), peuvent avoir des incidences très importantes sur le temps de prise (résistance à court terme).
- 5- La plupart des adjuvants permettent de réduire la perméabilité et la porosité du béton.
- 6- Avec des ciments contenant des laitiers, des cendres volantes ou des fumées de silice, la nature et la texture des hydrates formés sont modifiées. On peut ainsi réaliser des bétons plus durables en réduisant la perméabilité à porosité constante.
- 7- La présence de la fumée de silice dans le béton a une influence bénéfique sur la perméabilité que sur la résistance à la compression, en effet elle réduit la perméabilité K et augmente la résistance.
- 8- Une perméabilité très faible d'un ciment à base de laitier est également efficace pour contrôler la réaction alcalis silice. La modification de la mobilité des alcalis est extrêmement réduite.
- 9- Nous avons montré que les transferts d'agents agressifs dans le béton pouvaient être différents à porosité égale. La perméabilité et la diffusivité, qui dépendent de l'interconnexion des pores capillaires, sont des paramètres du second ordre vis-à-vis de la durabilité.
- 10- La Porosité, la perméabilité et la diffusivité, sont des critères physiques de la durabilité du béton.
- 11- La perméabilité du béton dépend de sa porosité et de la distribution de la taille des pores, en effet, elle dépend de la nature des pores isolés ou interconnectés.

12- La perméabilité à l'eau est une propriété d'un corps, d'un milieu solide notamment un sol, une roche à se laisser pénétrer et traverser par un fluide (l'eau)

13- La loi de DARCY est une hypothèse à respecter pour le calcul du coefficient de perméabilité k .

14- La température modifie de façon importante les temps de prise du ciment, que le ciment est plus sensible à une chute qu'à une élévation de température.

15- Les effets de la cure humide sur la durabilité des bétons composés de CPJ sont très importants, il en résulte une réduction considérable de la perméabilité à 28 jours.

CHAPITRE II

ETUDE DES PROPRIETES DES MATERIAUX UTILISES

INTRODUCTION :

Nous avons utilisé pour la confection du béton des matériaux locaux dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement au laboratoire de développement Géomatériaux à l'université de M'sila.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de M'sila. Les matériaux utilisés sont :

1. Le sable de dune fin d'origine silicique
2. Trois fractions de graviers (3/8, 8/16, 16/25): le gravier est d'origine calcaire
3. Le ciment de CPJ45 : de la région de Ain Kbir
4. Cinq types d'adjuvants de Granitex
5. Le filler de fumée de silice
6. Eau de gâchage : c'est l'eau potable

II-1- SABLES DE DUNE :

II-1-1-Origine :

Le sable utilisé provient des abords de l'oued Maïter. Cet oued est situé entre les collines de Boussaâda, entre lesquelles souffle un vent provenant du sud chargé de grains fins. L'avance du désert a permis donc, au fil des ans le dépôt du sable dans l'oued, qui par la suite a assuré son transport et son étalement. Ainsi plusieurs couches de sable fin mélangé aux galets de l'oued se sont formées sur des profondeurs de plusieurs mètres le long de l'oued Maïter. Nous pouvons dire que ce sable est d'origine édiennaise.

II-1-2-Caractéristiques physiques :

Nous avons utilisé pour la confection de béton le sable de dune dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement, au laboratoire de développement de Géomatériaux l'université de M'sila selon la norme française AFNOR [43].

Les résultats d'essais sont présentés dans le tableau «II-1 » .

Tableau II - 1: Caractéristiques physiques.

Caractéristiques		Résultats	Normes
Masse spécifiques absolue g/cm ³		2.58	NFP18-555
Masse volumiques Apparent g/cm ³	Etat Lâche	1.63	NFP18-555
	Etat compact	1.78	
Porosité %	Etat Lâche	34.5	NFP18-554
	Etat compact	28.4	
Compacité		68.9	-
Equivalent de sable	E.S.V	76	NFP18-598
	E.S.P	73	
Teneur en eau %		0.02	NFP18-555
Degré d'absorption d'eau %		1.85	NFP18-555

Commentaires:

a) **Porosité** : Pour les granulats courants on peut admettre que la compacité en vrac est de l'ordre de 0.70 à 0.60 pour le sable, c'est dire la porosité est de 0.30 à 0.40 [16]. La porosité du sable à l'état lâche est de 34.5% donc $30\% < V\% < 40\% \Rightarrow$ c'est un sable de qualité courante .

b) **Equivalent de sable**: $ESV=76\%$ et $ESP + 73\% \Rightarrow 75\% < ESV < 80\%$

$$70\% < ESP < 80\%$$

c'est un sable à faible pourcentage, de fine argileuses convenant parfaitement pour le béton de haute qualité.

c) **Degré d'absorption d'eau** : selon les normes française la limite supérieur du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5% c'est à dire $Ab= 1.85 < 5\%$, Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée pour les sables utilisé.

II-1-3-Analyse granulométrique:

La granularité du sable est déterminée selon la norme NFP18-304 les résultat d'essais sont présentées dans le tableau Ci-dessous :

Tableaux II-2 : Analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Refus partiels	Refus cumulées		Tamisât %
		g	%	
5.00	0	0	0	100
2.5	6	6	0.6	99.4
1.25	30	36	3.6	96.4
0.63	29	65	6.6	93.4
0.315	181	246	24.6	75.4
0.125	696	942	94.2	5.8
0.08	48	990	99	1
le fond	10	1000	100	0

II-1-4- Module de finesse :[38]

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : 0.16 - 0.315 - 1.25 - 2.5 et 5 (mm) sur 100. Il est calculé par la relation suivante :

$$Mf = \Sigma Rc / 100 \quad \text{avec } Rc : \text{ refus cumulé.}$$

1 < Mf < 1.5 : Sable très fin

1.5 < Mf < 2 : Sable fin

2 < Mf < 2.5 : Sable moyen

M > 2.5 : Gros sable

Dans notre cas **Mf = 1.41** C'est un sable très fin.

II-1-5-Analuse chimique:

La composition chimique a été établie au niveau du laboratoire de la cimenterie de Ain Touta . Elle est présentée au tableau «II-3 »

Tableau II-3 : Analyse chimique.

Elément	Symbole teneur %	Sable
Silice	SiO ₂	80.14
Chaux	CaO	10.50
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.12
Aluminium	Al ₂ O ₃	1.84
Oxyde de magnésium	MgO	0.44
Perte au feu	P.F	4.08

Remarque :

- Le sable est très pur à haute teneur en silice.
- La figure «II-1»présenté la proposition chimique par diffractometre à rayon X du sable. Elle été établie au niveau du laboratoire matériaux et durabilité des constructions de L'.I.N.S.A de Toulouse (FRAINCE).

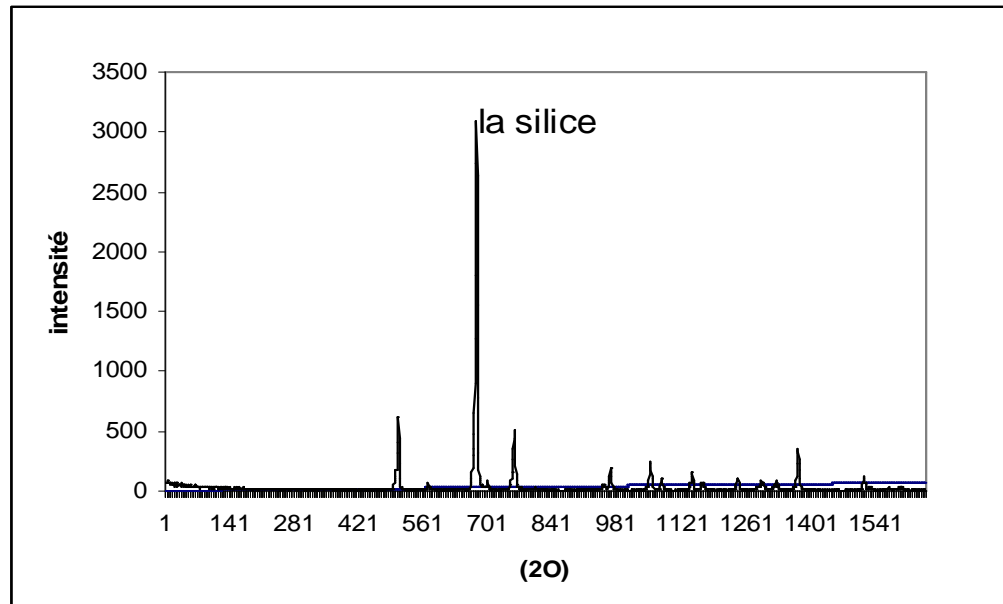


Figure II-1: Composition chimique du sable

II-2- GRAVIER :

II-2-1- Origine:

Les graviers utilisés dans la confection du béton, sont obtenus par concassage des roches de la carrière COSIDER située à 25 km de M'sila en allant vers B.B.A .

la roche est d'origine calcaire, sa résistance à la compression simple égale à 610 kgf/cm², [42].

II-2-2-Classe granulaires :

Les fractions du gravier sont :

fraction 3/8

fraction 8/16

fraction 16/25

II-2-3- Caractéristique physique:

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau :II- 4 : Caractéristiques physiques des graviers.

Caractéristique	fraction	fraction	fraction	Normes
	3/8	8/16	16/25	
Masse: volumique absolue g/cm ³	2.58	2.60	2.62	NFP18-554
Masse: volumique apparente g/cm ³	1.31	1.34	1.34	NFP18-554
Porosité %	48.7	47.9	47.5	NFP18-554
Degrés d'absorption %	1.80	1.35	1.03	NFP18-554
Teneur en eau %	0.21	0.27	0.32	NFP18-554

II-2-4- Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus de chaque type de gravier, sont regroupés dans les tableaux ci dessous :

a) fraction 3/8

Tableau II-5 : Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulées		Tamisât %
		g	%	
8	0	0	0	100
6.3	306	306	19.125	80.87
5	530	836	52.25	47.75
4	430	1266	79.125	20.87
3.15	220	1486	92.87	7.125
2.5	97	1583	98.94	1.062
Fond	17	1600	100	0

b) fraction 8/16

Tableau II-6 : Analyse granulométrique du gravier 8/16.

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulées		Tamisât %
		g	%	
16	0	0	0	100
12.5	231	231	6.6	93.4
10	1602	1833	65.37	47.63
8	1139.5	2972.5	84.93	15.07
6.3	409.5	3382	96.63	3.37
5	47.5	3429.5	97.98	2.015
Fond	70.5	3500	0	0

c) fraction 16/25

Tableau II-7 : Analyse granulométrique du gravier 16/25.

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulées		Tamisât %
		g	%	
25	0	0	0	100
20	1490	1490	49.66	50.33
16	980.5	2470.5	82.35	17.64
fond	529.5	3000	100	0

II-2-5- Caractéristiques chimiques:

Les résultats de l'analyse sont donnés par le tableau «II-8 ».

Tableau II-8: Analyse chimique du gravier

Elément	Symbole teneur %	Gravier
Silice	SiO ₂	36.80
Chaux	CaO	32.34
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	1.41
Aluminium	Al ₂ O ₃	4.59
Oxyde de magnésium	MgO	2.04
Perte au feu	P.F	17.80

Figure II-2 : Courbe granulometrique du sable et gravier

II-3- CIMENT :

Le ciment utilisés dans cette recherche est un ciment portland composé CPJ45 de classe 450 provient de la cimenterie de Ain K'bir (wilaya de Sétif).

II-3-1- Composition chimique:

La composition chimique à été établie en avril 2003 dans la cimenterie de Ain Touta. Elle est présentée au tableau suivant :

Tableau II-9: Composition chimique du ciment CPJ45

Eléments	Teneur %
SiO ₂	22.9
Al ₂ O ₃	4.37
Fe ₂ O ₃	3.75
CaO	63.3
MgO	1.80
K ₂ O	0.31
Na ₂ O	0.16
P.A.F	5.73

II-3-2- Composition minéralogique :

Cette composition minéralogique est obtenu par diffraction un rayon X au niveau de la cimenterie de Ain Touta, wilaya de Batna .

C_3S = 51.55 %
 C_2S = 30.85%
 C_3A = 05.56%
 C_4AF = 12.08%

II-3-3- Caractéristiques physiques :

Les différents caractéristiques mesurées au laboratoire de développement des géomatériaux de l'université de M'sila, présentée au tableau «II-10 ».

Tableau II-10 : Caractéristiques physiques du ciment

Caractéristique	CPJ45
Masse volumique apparente	1.80
Masse volumique absolue	3.11
Surface spécifique	3800

II-3-4 Activité du ciment :

Les résistances réelles se calculent en faisant des essais de compression sur les éprouvettes prismatiques (4x4x16)cm³. Selon les normes française AFNOR [43], il a été adopté le mélange suivant :

Ciment450g
 Sable normalisé1350g
 Eau225 g
 E/C.....0.5

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II-11: Activité du ciment

J(jours)	7j	14j	28j
Rc (bars)	313	405	471
Rt (bars)	54	67	80

Observation :dans nos calculs , on admet un minimum de résistance garantie, qui est de 450bars.

II-4- ADJUVANT :

Les adjuvants utilisés sont fabriqués en Algérie par la société Granitex implantée à l'oued Smar Alger. Nous avons utilisés les adjuvants suivants : Un retardateur de prise, un plastifiant, un super plastifiant et un fluidifiant, tous sous

forme liquide. En ce qui concerne les dosage et les modes d'emplois, nous avons respecté les fiches technique Granitex qui donnent les caractéristiques suivants:

II-4-1- Medafluid SFR : [46]

II-4-1-1- Description :

Le Medafluid SFR est un super plastifiant réducteur d'eau à perte d'ouvrabilité retardée, il est compatible avec tous les types de ciment. Leurs caractéristiques sont regroupés dans le tableau «II-12 ».

Tableau II-12 : Caractéristiques de Medafluid SFR

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Marron foncé	6.7 (±0.1)	1.58 ±0.01	1g/l

II-4-1-2- Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0.8 à 0.5 % du poids de ciment soit 0.71 à 1.31 par 100kg de ciment.

II-4-1-3- Propriétés et effets :

Grâce ses propriétés le Medafluid SFR permet sur béton durci :

- d'augmenter la compacité
- de déminer le retrait
- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'augmenter la durabilité
- d'augmenter l'imperméabilité

II-4-2- Medaplast SP:

II-4-2-1- Description :

La Medafluid Medaplast SP est un super plastifiant réducteur d'eau, il est compatible avec tous les types de ciment et se dilue parfaitement dans l'eau de gâchage. Leurs caractéristiques sont regroupés dans le tableau «II-13 ».

Tableau II-13 :Caractéristiques de Medaplast SP

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Marron	7.0 - 8.0	1.18 ±0.01	< 1g/l

II-4-2-2- Dosage

Le dosage varie selon le type de béton

- béton ordinaire: 0.5% à 1% du poids du ciment, soit 0.42 litre à 0.85 litre par 100 kg de ciment.
- béton pompé : 1.5% à 2% du poids du ciment soit 1.27 litre à 1.71 par 100kg de ciment.
- béton à hautes performances (B.H.P): 2.0% à 2.5% du poids du ciment soit 1.71 à 2.11 par 100kg de ciment.

II-4-2-3- Propriétés et effets :

Grâce à ses propriétés le Medaplast SP permet son béton durci

- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'augmenter l'imperméabilité
- d'augmenter la cohésion granulats -ciment
- d'augmenter la durabilité du béton
- d'obtenir de beaux béton bruts au décoffrage

II-4-3- Medafluid SF :

II-4-3-1- Description :

Le Medafluid SF est un super plastifiant réducteur d'eau , il est compatible avec tous les types de ciment. Leurs caractéristiques sont regroupés dans le tableau «II-14 ».

Tableau II-14 : Caractéristiques de Medafluid SF.

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Marron	7.5 - 8.0	1.18 ± 0.01	< 1g/l

II-4-3-2- Dosage :

Plage de dosage recommandée :0.8 à 1.8 % du poids ciment, soit 0.7l à 1.5l d'adjuvant par 100 kg de ciment des dosages de 1.8% à 2.5 % du poids de ciment (1.5l à 2.1l) d'adjuvant par 100kg de ciment .

II-4-3-3- Propriétés et effets :

Grâce à propriétés fluidifiants, le Medafluid SF permet sur béton durci:

- d'augmenter les résistances mécaniques
- d'augmenter la compacité
- d'augmenter l'imperméabilité
- d'augmenter la durabilité
- d'éviter la formation de nids d'abeilles

II-4-4- Medaretard R.P.F :

II-4-4-1- Description :

Le Medaretard RPF est un retardateur de prise pour béton ayant aussi une action fluidifiante comme effet secondaire. Il est compatible avec tous les types de ciment. Leurs caractéristiques sont regroupés dans le tableau «II-15 ».

Tableau II-15 : Caractéristiques de Medaretard RPF.

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Marron	5.3 ± 0.1	1.10 ± 0.01	< 1g/l

II-4-4-2- Dosage :

le dosage du Medaretard RPF est déterminé suivant la durée du retard de prise souhaitée, et donc suivant la durée pendant laquelle un béton conserve sa maniabilité, il dépendra aussi de la composition du béton et de la température à une température 20°C, il peut varier de 0.5% à 1.5% du poids du ciment (soit 0.45 litre à 1.35 litre de Medaretard RPF par 100 kg de ciment) pour retards allant de 1h à 5h.

II-4-4-3- Propriétés et effets :

Grâce à son action le Medaretard RPF permet sur béton durci :

- d'augmenter la compacité et l'étanchéité
- d'augmenter les résistances mécaniques
- de diminuer le retrait le fluage et les fissurations

II-4-5- Medaplast S120 :

II-4-5-1- Description :

Le Medaplast S120 est un super plastifiant ayant pour action secondaire une accélération du durcissement. Le Medaplast S120 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité possédant des résistances élevées jeune âge. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. Les caractéristiques sont regroupées dans le tableau «II-16 ».

Tableau II-16 : Caractéristiques de Medaplast S120

Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Marron	8 - 8.5	120 ± 0.01	1g/l

II-4-5-2- Dosage :

Plage de dosage recommandée : 0.5 à 2.5% du poids du ciment ,soit 0.5l à 2.1l par 100kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

II-4-5-3- Propriétés et effets :

Grâce à ses propriétés le Medaplast S120 permet :

Sur le béton durci	Sur le béton frais
<ul style="list-style-type: none"> - d'augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge - de diminuer la porosité - d'augmenter la durabilité - de diminuer le retrait 	<ul style="list-style-type: none"> - d'améliorer la fluidité - d'augmenter la maniabilité - de réduire l'eau de gâchage - d'éviter la ségrégation -de faciliter la mise en œuvre du béton

II-5- FUMEE DE SILICE :

Parmi les additions minérales pouvant être utilisées dans la formulation des bétons, les fumées de silice jouent un rôle particulier du fait, d'une part, de leur composition (taux de silice supérieur à 70%) et , d'autre part, de leur finesse (supérieure à 10000 m²/Kg) .

La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée. C'est un sous produit des usines de fabrication d'alliage de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à avec à partir de quartz de grande pente et de charbon.

La fumée de silice que nous avons mise en œuvre, provient des industries fabriquant entre autres de silicium et du ferro-silicium. Cette fumée de silice est de couleur grise claire, qui est fabriqué en Algérie par la société Granitex implantée à l'oued Smar Alger. Trois pourcentage de fumée de silice (5%, 10%, 15%) par rapport le poids du ciment sont utilisés.

II-5-1- Caractéristiques physiques :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau «II-17 ».

Tableau II-17 : Caractéristiques physiques des fumée de silice

Caractéristiques	Fumée de silice
Masse volumique apparente	1.34
Masse volumique absolue	2.87
Surface spécifique	3586

II-6- EAU DE GACHAGE :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable fournie au laboratoire de Génie Civil.

CHAPITRE III
TECHNIQUES
EXPERIMENTALES

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présentons la technique d'évaluation de la perméabilité, en suite, la méthode détermination de la porosité et de la résistance à la compression.

III-1- DETERMINATION DE LA COMPOSITION DU BETON :

III-1-1- Béton sans adjuvants :

La composition du béton est déterminée selon la méthode de Dreux-Gorisse :

Sable.....	606 Kg/m ³
Gravier 3/8	182 Kg/m ³
Gravier 8/16	194 Kg/m ³
Gravier 16/25	813 Kg/m ³
Ciment	350 Kg/m ³
Eau	197 l

III-1-2- Béton adjuvante :

Le dosage en ciment utilisé : 350Kg/m³, C/E= 1.78

Les types et dosages des adjuvants utilisés sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Composition du béton avec adjuvants

Type d'adjuvant	Dosage %	Nombre et forme éprouvettes	Essais	Conservation
SFR 122 Superplastifiant réducteur d'eau	0.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	27- éprouvettes A l'eau 27- éprouvettes A l'air libre
	1	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
	2	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
SP40 Superplastifiant réducteur d'eau	0.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	27- éprouvettes A l'eau 27- éprouvettes A l'air libre
	1	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
	1.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
SF40 Superplastifiant réducteur d'eau	0.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	27- éprouvettes A l'eau 27- éprouvettes A l'air libre
	1	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
	1.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
S 120 Superplastifiant accélérateur de durcissement	0.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	27- éprouvettes A l'eau 27- éprouvettes A l'air libre
	1	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
	2	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	
R P F Retardateur de prise	0.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	27- éprouvettes A l'eau 27- éprouvettes
	1	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	

	1.5	6 cylindriques 6 cubiques 6 cubiques	Perméabilité porosité résistance	A l'air libre
--	-----	--	--	---------------

III-2- PROCEDURE DE CONSERVATION DES EPROUVETTES :

Les modes de conservation utilisées lors de notre travail expérimental sont détaillées ci-après :

III-2-1- Conservation à l'eau :

Les éprouvettes sont complètement immergées dans un bac (100% d'humidité, température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1$), qui contient de l'eau potable de laboratoire. Nous avons fait varier plusieurs facteurs dans la composition du béton, à savoir :

- 1- Le dosage en ciment
- 2- Le pourcentage en fumée de silice
- 3- Type et dosage en adjuvant

III-2-2- Conservation à l'air :

Les éprouvettes du béton, ont été simplement laissées à l'air libre sans aucune protection contre l'évaporation de leur eau de gâchage (humidité de 15 à 40%, température variable entre 20°C et 50°C), cela afin de pouvoir les comparer à celles conservées à l'eau .

Paramètres pris en compte

- Type et dosage en adjuvant (Mode de conservation).
 - Conservation à l'air libre pendant 28 jours (L'intérieure du laboratoire $T = 20^{\circ}\text{C}$ à 30°C).
 - Conservation au soleil pendant la Période du juin jusqu'à la fin du septembre (la température entre 35°C et 50°C).

III-2-3- Conservation dans l'eau agressive :

Des séries d'éprouvettes de béton adjuvanté (dosage 1% de SFR,1% SP 40 et 1% SF 40) sont conservés dans des milieux agressifs, solution de sel et milieu saturé d'acide, pendant 30 jours et 90 jours.

III-3- LES METHODES D'ESSAI EMPLOYEES :

III-3-1- Perméabilité à l'eau :

La composition des bétons et les conditions de conservation déterminent la micro-structure du matériau qui est en relation directe avec la perméabilité.

Dans la partie expérimentale, notre objectif est la détermination de la perméabilité pour différentes compositions du béton. Or, la perméabilité d'un milieu peu perméable est plus facilement mesurable avec l'eau, ce qui permet d'obtenir des débits plus forts, donc plus faciles à mesurer.

C'est pourquoi la perméabilité d'un béton ordinaire est appréciée par la mesure d'un débit d'eau et par un gradient de pression.

III-3-1-1- Choix de méthode :

Nous avons utilisé les moyens disponibles au laboratoire de développement des géomatériaux, et principalement le perméamètre à eau. Figure «III-2». Nous réalisons des éprouvettes adaptés pour cet appareillage, ce qui nous a permis d'atteindre le résultat escompté. Nous avons confectionné des éprouvettes cylindriques (16×16)cm, dans les moules 16×32 (½ remplissage des moules). Les surface extérieur sont coupés à l'aide d'une Scie à béton afin d'obtenir une surface lisse figure«III-1».



Figure III-1 : Eprouvette cylindrique 16×16 pour essai perméabilité

III-3-1-2- Description général de perméamètre :

Le perméamètre à l'eau utilisé dans la campagne d'essais est un appareil de mesure de débit à eau traversant une éprouvette cylindrique en béton. Le perméamètre est schématisé sur la figure «III-2». Ses composants sont :

- Une table avec système de fixation des éprouvettes
- Un régulateur de pression

- Trois cellules graduées de capacité de 1000 ml pour mise en place de l'eau
- Trois emplacements pour le maintien des éprouvettes cylindriques 16×16 cm munies d'un joint pour assurer l'étanchéité
- Conduite d'eau et d'air en pression
- Compresseur à air de capacité de 10 bars



Figure III-2 : Perméamètre à l'eau (laboratoire développement des Géomatériaux - M'sila)

III-3-1-3- Procédure d'essai :

A- Pour ces essais, nous avons allons poursuivie les étapes suivantes :

- 1- Remplissage des cellules avec de l'eau.
- 2- Vérifier la mise en place et le serrage des éprouvettes (étanchéité).
- 3- Poursuivre le raccordement les différents éléments .
- 4- Avant d'effectuer l'essai. M'assures du dégagement de l'air au niveau des conduite(purge).
- 5- Vérifier l'étanchéité de l'ensemble .
- 6- Poursuivre le raccordement les différents éléments .
- 7- Mise en pression (6 bars).
- 8- Après exécution de l'essai, a niveau en dépression de l'appareil et la remise à zéro du manomètre.
- 9- Dessers les écrous de fixation pour le dégagement des éprouvettes .

A- Mesure de la perméabilité :

Le but d'essais de perméabilité est de déterminer le temps d'écoulement d'un volume de l'eau délimité par des graduation. La vitesse de l'écoulement est

déterminée par le calcul du rapport entre le volume d'eau écoulé et temps d'écoulement .

C- calcul de la perméabilité :

la perméabilité est déterminée par la loi de DARCY :

$$Q = A.K.i.....(III-1)$$

Avec :

Q : le volume d'eau par unité de temps (vitesse d'écoulement)

A : section traversée par l'eau

K : coefficient de perméabilité

I : gradient hydraulique à travers le spécimen (m/m) =

(pression à l'intérieure se l'éprouvette - pression extérieur) / (épaisseur du béton)

La pression à l'extérieur est équivalent à la pression atmosphérique. Elle est prise égale à 101.3 Kpa, elle peut être exprimée comme un équivalent d'une colonne d'eau de hauteur de 10.34 m .

La pression à l'intérieur de l'éprouvette en béton est prise égale à 0.6 Mpa (6 bars). Elle peut être exprimée comme suit :

$$[(0.6 \cdot 1000 \text{ kpa}) / (101.3 \text{ kpa})] \times 10.34 \text{ m} = 61.24\text{m (eau)}$$

III-3-2- Porosité :

Cette série de tests correspond aux normes établies par ASTM désignation C 642 (standard test méthode for specific gravity, absorption, and voids in hardened concrete).

Le but de cette méthode est déterminer le pourcentage de volume des pores contenus dans les éprouvettes du béton, afin de connaître l'influence de la structure interne de béton sur l'interconnexion des pores.

III-3-2-1- Procédure d'essai :

La méthode utilisée est de celle de la norme ASTM désignation C642. Pour l'évaluation la porosité est la suivante :

- 1- Sécher les éprouvettes dans une étuve à 105°C pendant 24 heures jusqu'à obtention d'une masse constante. Cette masse est notée « A »
- 2- Immersion des éprouvettes dans l'eau pendant 24 heures.
- 3- Chauffer jusqu'à ébullition pendant 5 heures.

- Les éprouvettes sont retirées pour être pesées à l'air, soit « C » ce poids pris dans l'eau pesée (hydrostatique) soit « D » ce poids.

III-3-2-2- Calcul de la porosité :

La porosité est déterminée par de la relation suivante.

$$V_p = [(C - A) / (C - D)] \times 100 \dots\dots\dots(III-2)$$

- Avec : V_p : Volume des pores en %
C : Poids à l'air après immersion et ébullition (g)
A : Poids de l'échantillon après étuvage (g)
D : Poids de l'eau après immersion et ébullition (g)

III-3-3- Résistance à la compression :

L'essai de résistance à la compression est réalisé à 28 jours sur des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm, on utilise une presse hydraulique. La résistance à la compression est calculée à partir de la moyenne de 3 essais réalisés sur des éprouvettes identiques (même composition, mise en œuvre et conditions de cure

La valeur moyenne de la résistance à la compression obtenue sur les cubes est multipliée par un coefficient d'équivalence (Rapport de résistance entre le cube et le cylindre est égal à 0.8) pour tenir compte de la forme d'éprouvettes utilisées (Norme ENV 206).

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats obtenus expérimentaux à savoir : la perméabilité, la porosité et la résistance du béton. Les paramètres considérés sont :

- Dosages et types des adjuvants
- Dosage en ciment (250, 300, 530) Kg/m³
- Mode de conservation (à l'air, à l'eau)
- Dosage en fumée de silice (5%, 10%, 15%) par rapport au poids du ciment
- Milieu agressif (NaCl, Acide)
- Agressivité climatique (température, soleil, vent,...)

IV-1- INFLUENCE DES ADJUVANTS SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES:

Le but recherché par l'utilisation des adjuvants, étant la diminution de la quantité d'eau à consistance fixe (Af = 6 cm), afin de réduire la perméabilité et la porosité, d'une part et augmenter ainsi la résistance à la compression du béton d'autre part.

Les résultats d'essais obtenus sont rassemblés dans les tableaux (IV-1 à IV-4) et représentés dans les figures (IV-1 à IV-6)

Tableau IV-1 : Fluidité et rapport E/C du béton

Type du béton	Dosage en adjuvant	Rapport E/C	Réduction d'eau en %
Témoin	0	0,56	0
SFR 122	0,5	0,47	16
	1	0,42	25
	2	0,39	30
SP40	0,5	0,46	18
	1	0,44	21
	2	0,41	27
SF40	0,5	0,48	14
	1	0,45	20
	1,5	0,42	25
S120	0,5	0,45	20
	1	0,49	23
	2	0,39	30
RPF	0,5	0,49	13
	1	0,43	23
	1,5	0,40	29

**Tableau IV-2 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction
du type et dosage des adjuvants**

Type du béton	Dosage en adjuvant (%)	Béton conservé à l'eau	Béton conservé à l'air
Béton témoin	0	$3,56 \times 10^{-12}$	$10,02 \times 10^{-12}$
SFR 122	0,5	$0,088 \times 10^{-12}$	$4,289 \times 10^{-12}$
	1	$0,066 \times 10^{-12}$	$3,69 \times 10^{-12}$
	2	$0,032 \times 10^{-12}$	$2,40 \times 10^{-12}$
SP40	0,5	$0,098 \times 10^{-12}$	$3,90 \times 10^{-12}$
	1	$0,070 \times 10^{-12}$	$2,60 \times 10^{-12}$
	2	$0,050 \times 10^{-12}$	$2,23 \times 10^{-12}$
SF40	0,5	$0,1 \times 10^{-12}$	$7,92 \times 10^{-12}$
	1	$0,080 \times 10^{-12}$	$6,70 \times 10^{-12}$
	1,5	$0,033 \times 10^{-12}$	$5,73 \times 10^{-12}$
S120	0,5	$0,058 \times 10^{-12}$	$5,60 \times 10^{-12}$
	1	$0,025 \times 10^{-12}$	$3,98 \times 10^{-12}$
	2	$0,014 \times 10^{-12}$	$2,99 \times 10^{-12}$
RPF	0,5	$0,95 \times 10^{-12}$	$8,70 \times 10^{-12}$
	1	$0,063 \times 10^{-12}$	$7,25 \times 10^{-12}$
	1,5	$0,035 \times 10^{-12}$	$5,10 \times 10^{-12}$

Tableau IV-3 : Porosité (%) en fonction du type et dosage des adjuvants

Type du béton	Dosage en adjuvant (%)	Béton conservé à l'eau	Béton conservé à l'air
Béton témoin	0	3,88	8,27
SFR122	0,5	2,76	7,5
	1	2,55	7,1
	2	2,10	5,96
SP40	0,5	2,88	7,73
	1	2,40	7,56
	2	2,30	6,38
SF40	0,5	2,64	8,22
	1	2,30	8,02
	1,5	2,15	7,48
S120	0,5	2,75	7,68
	1	1,15	7,20
	2	1,20	5,31
RPF	0,5	2,80	7,66
	1	2,50	7,10
	1,5	2,36	6,03

Tableau IV-4 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction du type et dosage des adjuvants

Type du béton	Dosage en adjuvant (%)	Béton conservé à l'eau	Béton conservé à l'air
Béton témoin	0	36,4	18,53
SFR 122	0,5	40,93	24
	1	45,47	32,4
	2	47,2	36,43
SP40	0,5	39,97	22
	1	42,8	23,46
	2	44,8	30,14
SF40	0,5	39,73	22,8
	1	41,07	24
	1,5	42,14	26,4
S120	0,5	37,2	19,74
	1	45,07	21,6
	2	46,8	24,54
RPF	0,5	37,66	20,8
	1	39,25	22,93
	1,5	40,16	24

IV-1-1- Fluidité et rapport E/C du béton :

D'après le tableau (IV-1), une réduction de la quantité en eau de gâchage est observée en fonction de la quantité d'adjuvant ajouté dans l'intervalle préconisé par le fabricant (0 - 2%). On note alors que la plage de variation de E/C est située entre 0,39 et 0,49 pour une fluidité constante du béton, alors que la réduction d'eau de gâchage varie de (13 à 30%).

IV-1-2- Effets des dosages et types des adjuvants sur la perméabilité :

La variation de la perméabilité en fonction du type d'adjuvant est représenté graphiquement sur la figure (IV-1), dont les résultats sont exprimés dans le tableau (IV-2).

On note clairement qu'il y a une diminution très significative de la perméabilité pour les pourcentages (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) quelque soit le type d'adjuvant. Les trois adjuvants (SFR122 , S120, SP40) ont montré leur efficacité vis à vis d'un béton soumis à des conditions climatiques préjudiciables. Cette réduction peut atteindre 90% pour un béton exposé à l'eau et des dosages en adjuvants de 2%, voir le figure(IV-1).

IV-1-3- Effets des dosages et types des adjuvants sur la porosité :

Les résultats montrent que les conditions climatiques extérieures affectent considérablement le béton relativement celui a conservé au laboratoire. D'après la figure (IV-2), on note que l'augmentation de la quantité d'adjuvant dans le béton entraîne une diminution de la porosité (entre 10% et 35% pour un béton exposé à l'air et 45% a 70% pour un béton conservé à l'eau). Le volume de vide est réduit pour un dosage de 2% de l'adjuvant Medaplast S120, cela permet de le considérer comme le meilleur adjuvant réducteur de la porosité. Il faut noter aussi que la forte dispersion des résultats est constatée dans le cas d'un béton exposé à l'air. Cela est due à la forte variation des conditions climatiques extérieures (température, humidité, vent,) durant le période de conservation.

IV-1-4- Effets des dosages et types des adjuvants sur la résistance à la compression :

La résistance à la compression d'un béton adjuvanté est une caractéristiques principale des propriétés mécaniques des bétons car le béton résiste mieux à la compression.

D'après la figure (IV-3) établie à partir des données du tableau (IV-4), on note que l'augmentation du pourcentage des adjuvants engendre une amélioration de la résistance à la compression. Cette amélioration atteint 10 à 30% pour un béton conservé à l'eau selon le type d'adjuvant. La résistance optimale du béton est obtenue avec 2% d'adjuvant SFR122 pour un béton conservé à l'eau ($R = 47.90 \text{ Mpa}$) est plus efficace.

Ceci peut être expliqué par le fait que les composants chimiques de cet adjuvant influent directement et positivement sur la vitesse d'hydratation du ciment. La nature des produits d'hydratation reste inchangée, de même que la structure de la pâte de ciment hydraté et l'amélioration de la qualité des hydrates.

IV-1-5- Variation de la perméabilité en fonction de la porosité :

Dans le but de voir la relation existante entre la perméabilité et la porosité, on trace les courbes sur la figure (IV-4). On note que la diminution de la porosité entraîne une réduction du coefficient de la perméabilité (quelque soit le type ou dosage d'adjuvant) à cause des réseaux existant dans le béton.

IV-1-6-Variation de la perméabilité en fonction de la résistance à la compression :

La figure (IV-5), montre que lorsque le pourcentage d'adjuvant augmente la perméabilité diminue et cela est engendré par l'augmentation dû au résistance à la compression. Ceci est du essentiellement à l'influence de la quantité des hydrates formés avec le temps, qui font boucher les pores d'une part et augmentent la résistance du béton d'autre part.

IV-1-7-Variation de la porosité en fonction de la résistance à la compression

L'augmentation de la résistance à la compression entraîne une diminution de la porosité, les résultats sont bien claires au figure (IV-6). Ceci peut être expliqué par le même fait mentionné auparavant (voir titre IV-1-6).

Conclusion :

Dans cette partie, nous avons noté que l'utilisation de ces adjuvants entraîne une amélioration de l'ouvrabilité de tous les bétons testés, en effet, l'affaissement au cône augmente avec le dosage en adjuvant.

L'augmentation du pourcentage d'adjuvant, engendre une augmentation de la résistance à la compression, une légère diminution de la porosité et une forte imperméabilité du béton.

En fin, nous pouvons dire que les meilleurs types d'adjuvants pour l'obtention d'un béton moins poreux, moins perméable sont : (SFR122, SP40, S120) pour un dosage constant de ciment 350 Kg/m³, à un âge égal à 28 jour et pour conservation à l'eau.

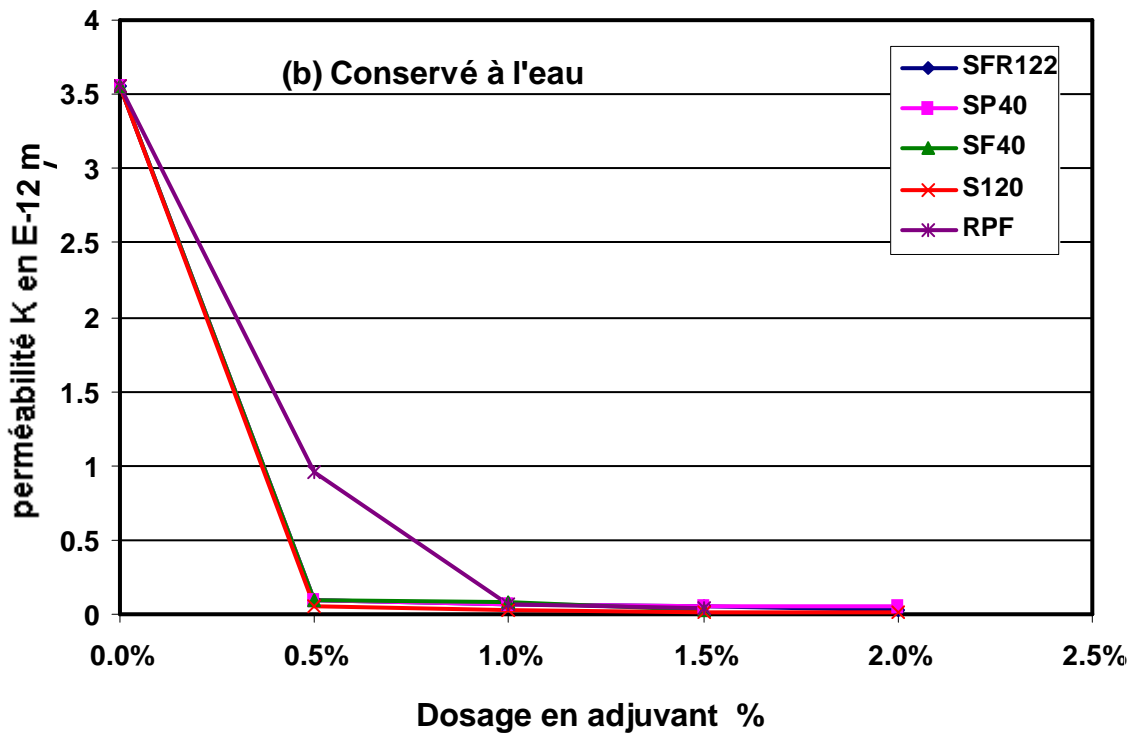
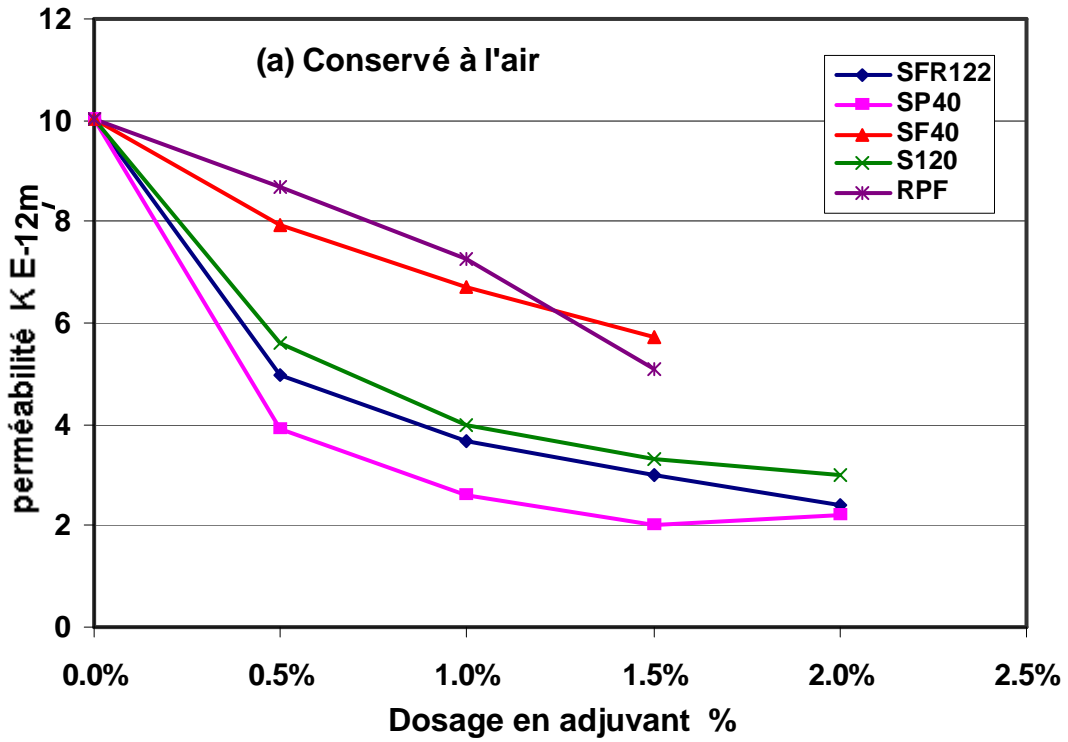


Figure IV-1 : Effets des dosages et types des adjuvants sur la perméabilité à l'eau

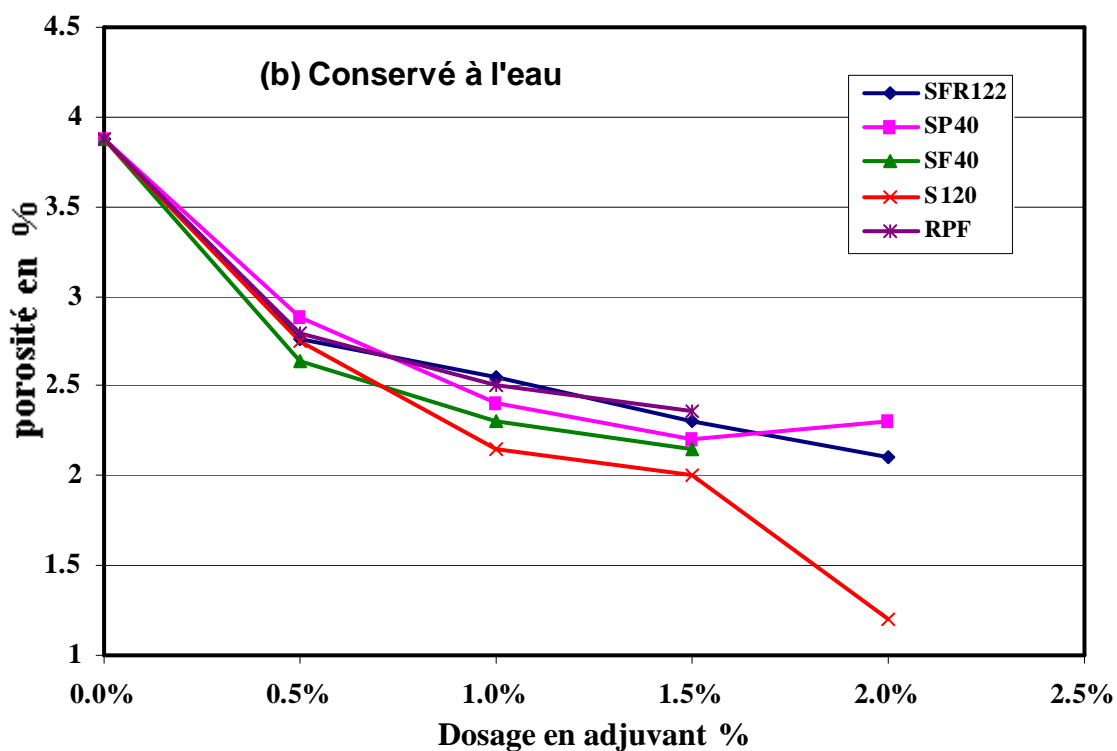
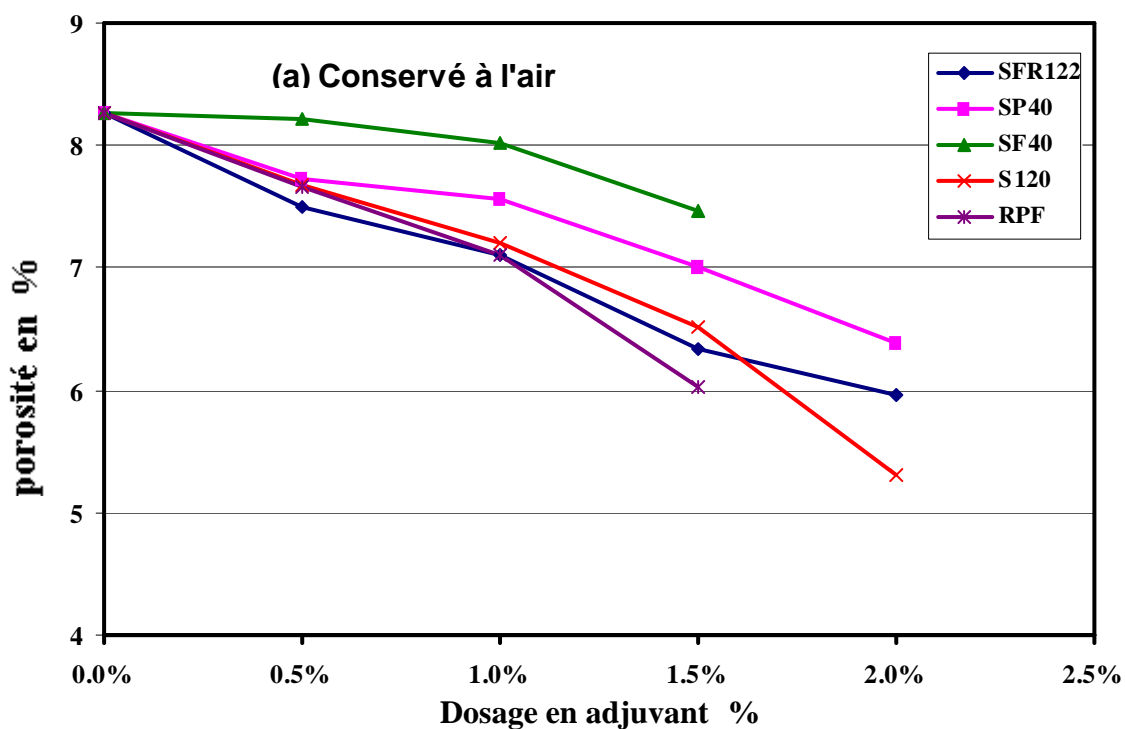


Figure IV-2 : Effets des dosages et types des adjuvants sur la porosité

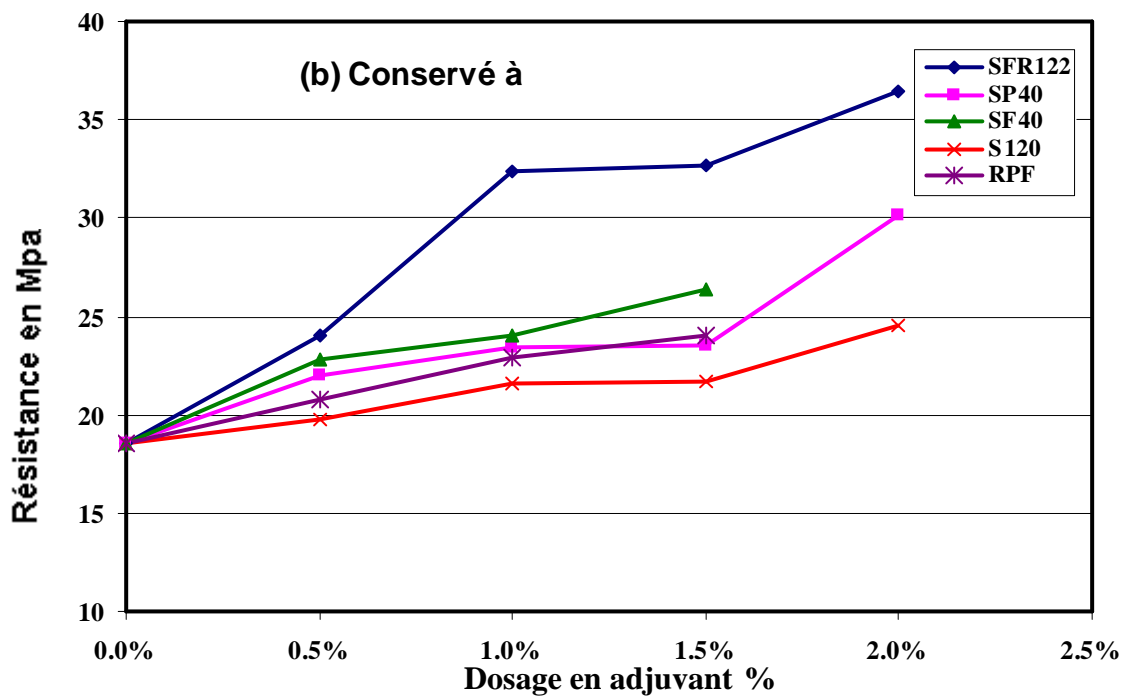
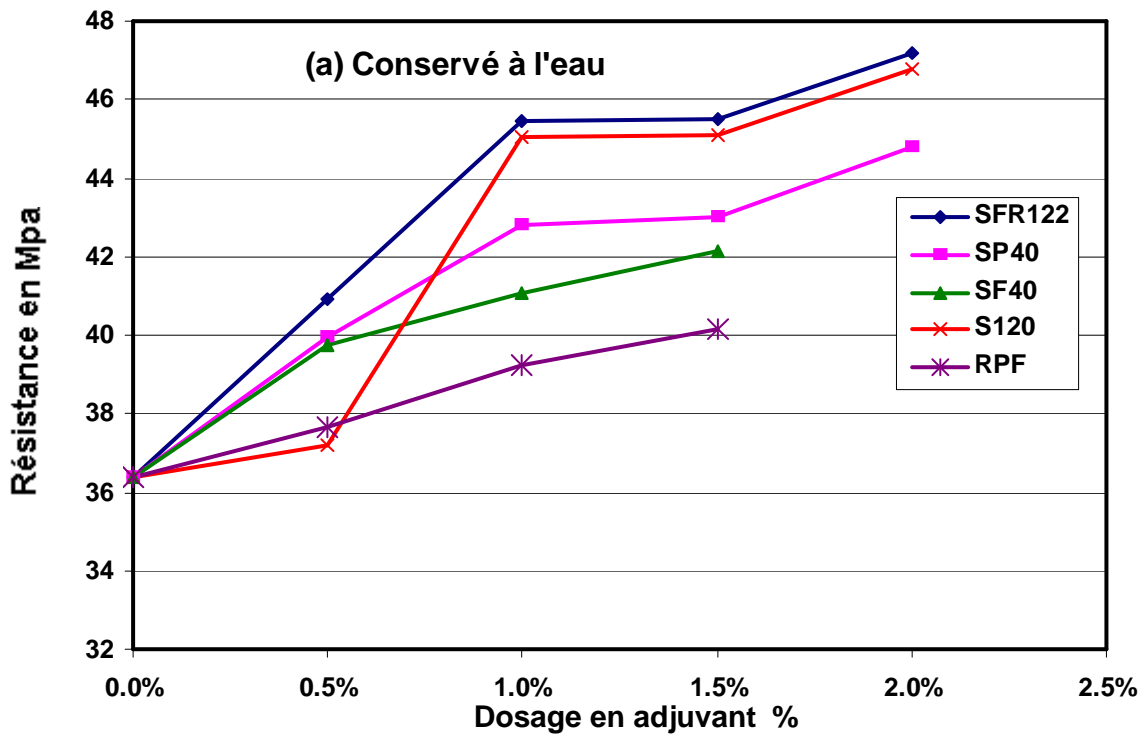


Figure IV-3 : Effets des dosages et types des adjuvants sur la résistance à la compression

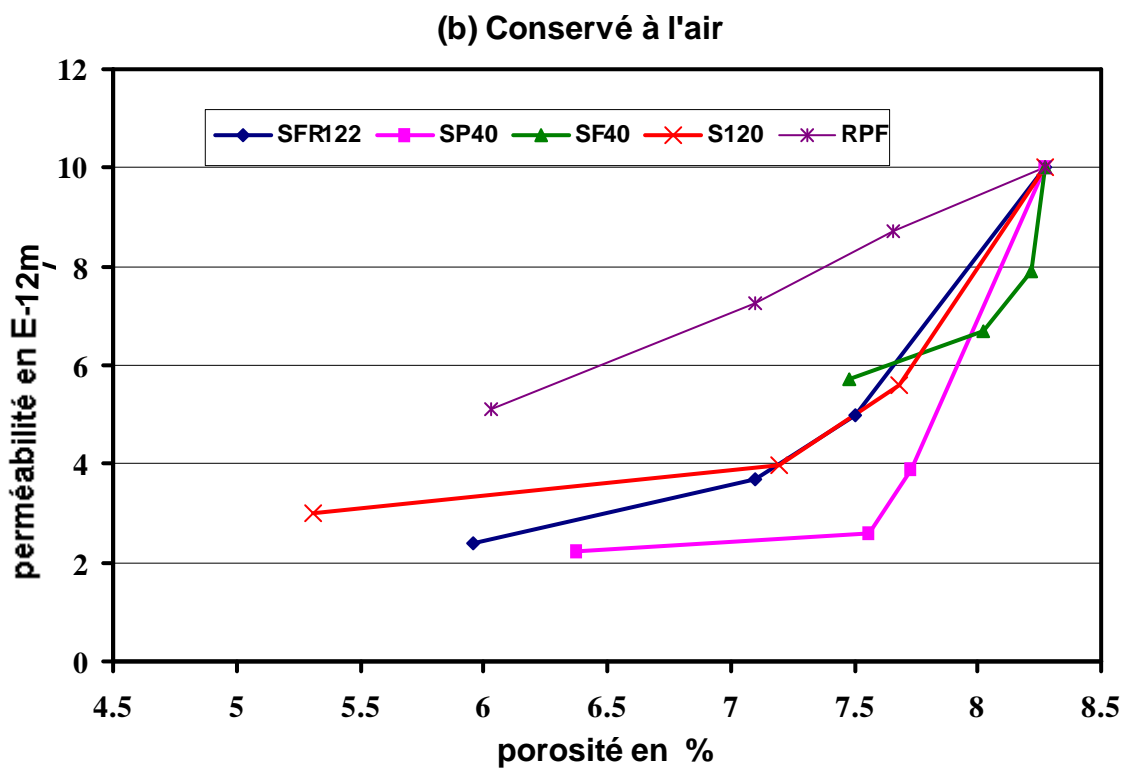
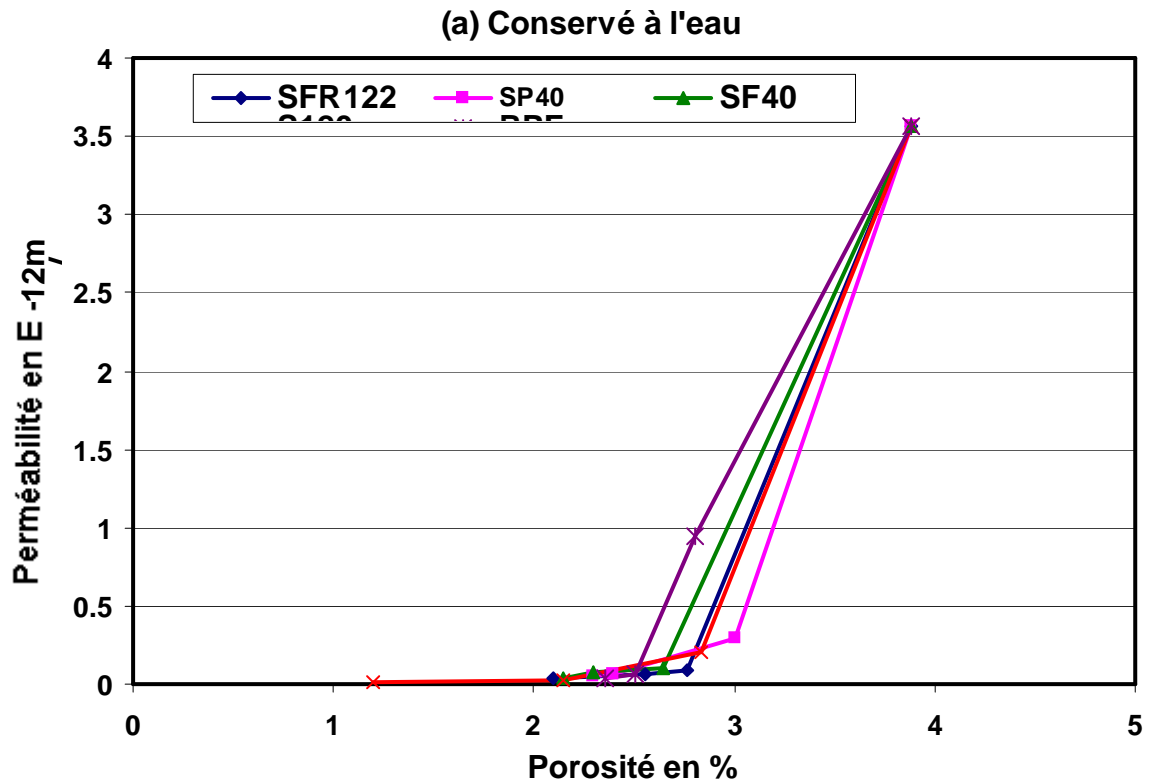


Figure IV-4 : Effets de la perméabilité en fonction de la porosité (Paramètre type d'adjuvant)

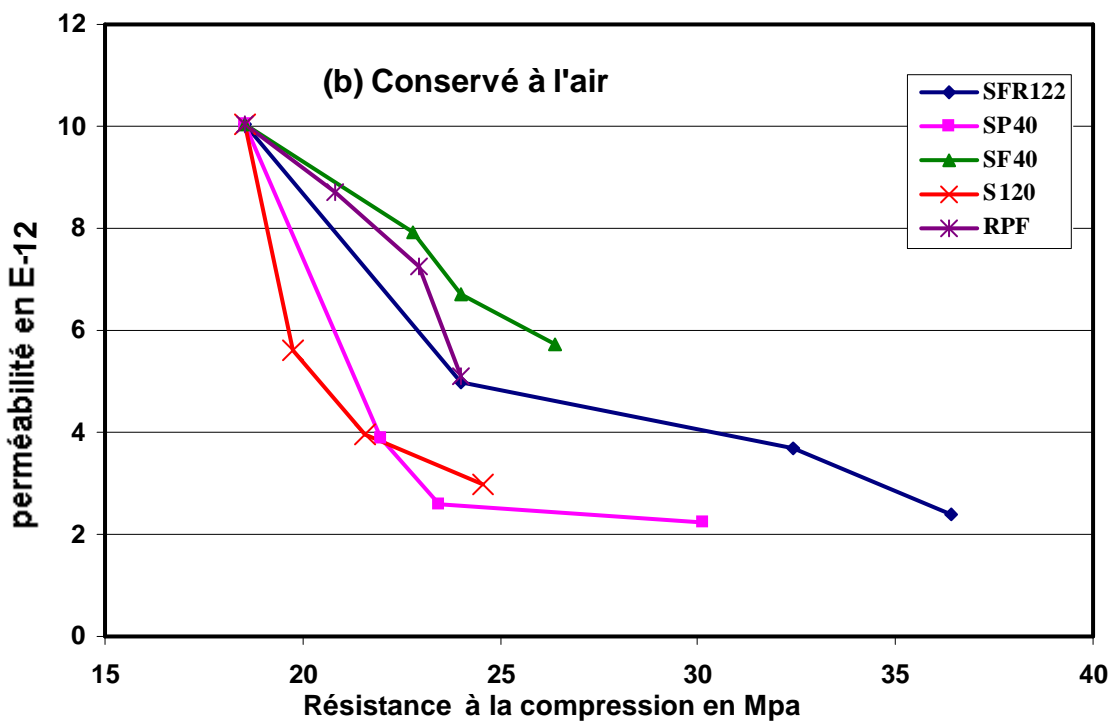
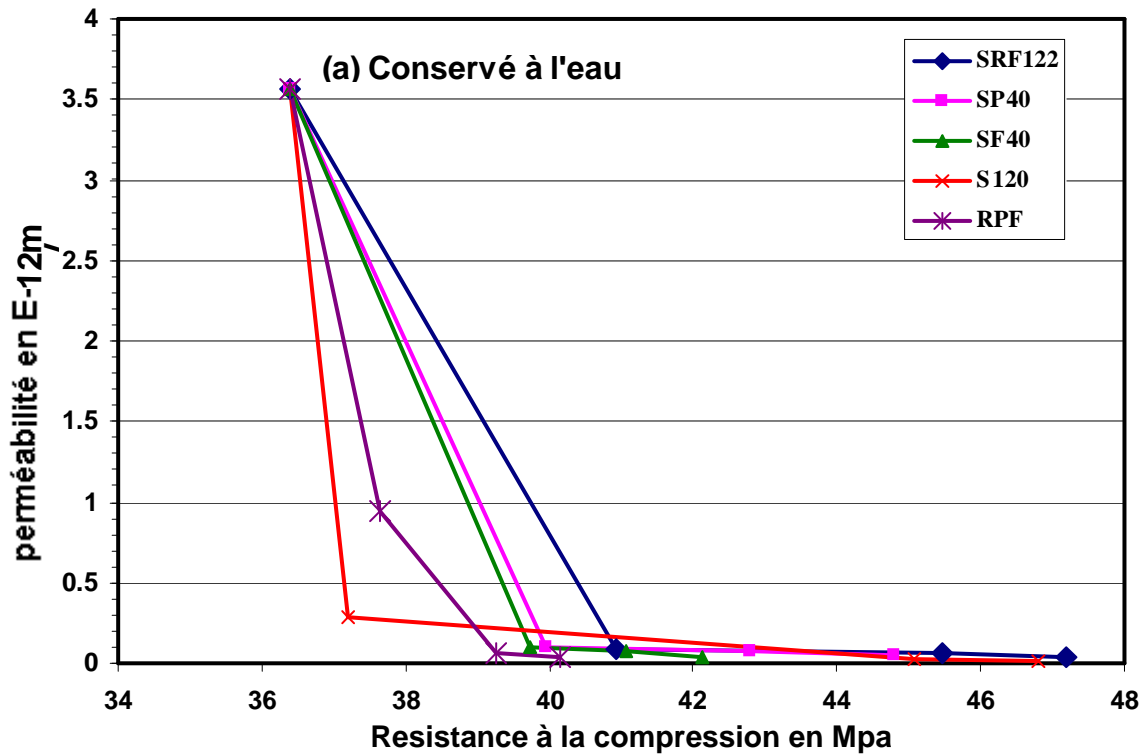


Figure IV-5 : Perméabilité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

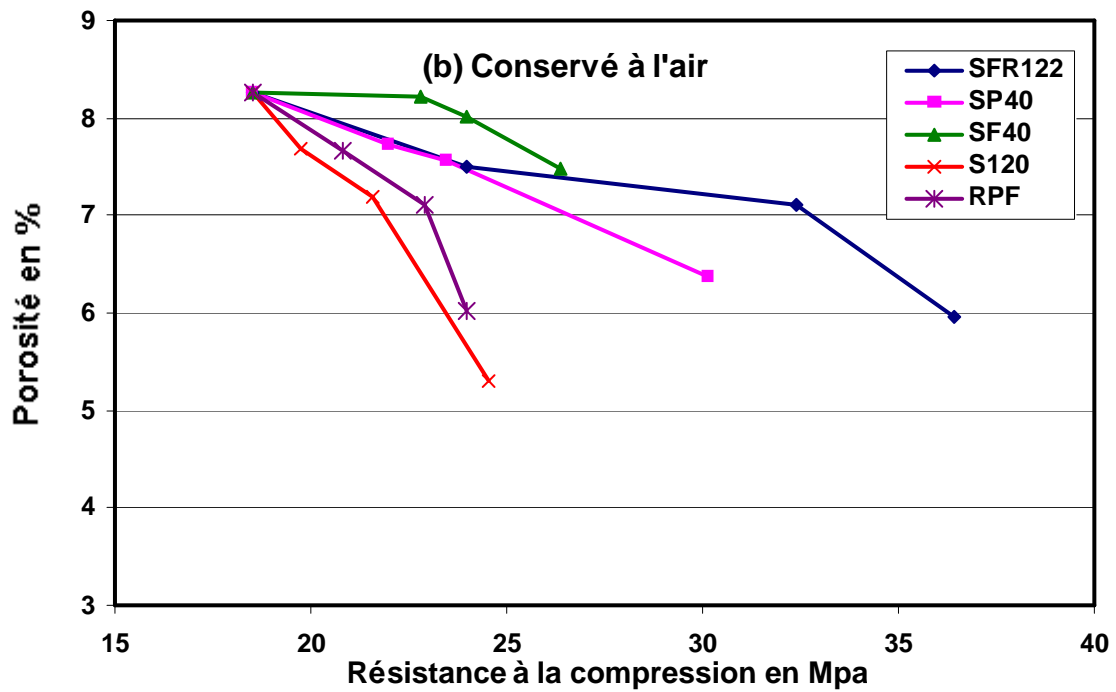
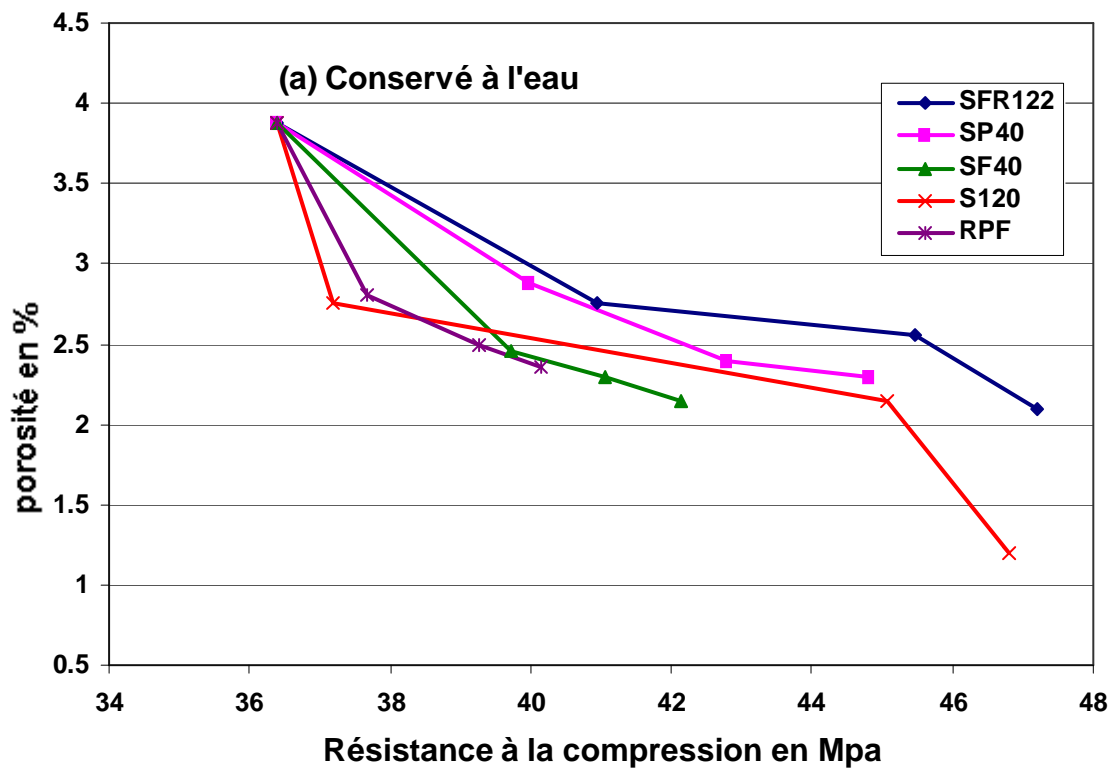


Figure IV-6 : Porosité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

IV-2- INFLUENCE DU DOSAGE EN CIMENT SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES:

Dans cette partie, nous avons comparé les résultats obtenus, entre les trois classes du ciment (250, 300 et 350kg/m³), afin de connaître l'influence de la modification du dosage en ciment sur quelque propriétés du béton à l'état durci.

Les résultats obtenus dans cette partie sont regroupés dans les tableaux (IV-5 , IV-6 , IV-7), et représentés sur les figures (IV-7 jusqu'à IV-12)

Tableau IV-5: Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction du dosage en ciment

Dosage en Ciment \ Type d'adjuvant	250 Kg/m ³		300 Kg /m ³		350Kg/m ³	
	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau
Béton témoin	14.75x10 ⁻¹²	6.87x10 ⁻¹²	12.32x10 ⁻¹²	4.57 x10 ⁻¹²	10.02 x10 ⁻¹²	3.56x10 ⁻¹²
1%SFR122	7.89 x10 ⁻¹²	0.15 x10 ⁻¹²	5.67x10 ⁻¹²	0.11 x10 ⁻¹²	3.69 x10 ⁻¹²	0.066x10 ⁻¹²
1%SF40	9.10 x10 ⁻¹²	0.13 x10 ⁻¹²	7.63x10 ⁻¹²	0.10x10 ⁻¹²	6.70 x10 ⁻¹²	0.080 x10 ⁻¹²
1% SP40	7.60x10 ⁻¹²	0.11 x10 ⁻¹²	4.59x10 ⁻¹²	0.088 x10 ⁻¹²	2.60 x10 ⁻¹²	0.070 x10 ⁻¹²

Tableau IV- 6 : porosité (%) en fonction du dosage en ciment

Dosage en Ciment \ Type d'adjuvant	250 Kg/m ³		300 Kg /m ³		350Kg/m ³	
	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau
Béton témoin	12.05	6.88	10.30	4.98	8.27	3.88
1%SFR122	10.25	5.27	8.77	4.09	7.1	2.55
1%SF40	11.35	5.06	9.19	3.75	8.02	2.30
1% SP40	9.59	4.81	8.56	3.10	7.56	2.40

Tableau IV-7: Résultats d'essais de la résistance (Mpa) en fonction du dosage en ciment

Dosage en Ciment \ Type d'adjuvant	250 Kg/m ³		300 Kg/m ³		350Kg/m ³	
	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau	A l'air	A l'eau
Béton témoin	17.90	22.80	18.19	24.09	18.53	36.4
1%SFR122	20.97	32.14	22.78	34.25	32.40	45.47
1%SF40	21.26	30.54	23.04	33.16	24	41.07
1% SP40	19.57	29.57	21.65	31.45	23.46	42.80

IV-2-1- Effet du dosage en ciment sur de la perméabilité :

La variation de la perméabilité en fonction du dosage en ciment est représentée dans le tableau (IV-5), et illustrée sur la figure (IV-7).

D'après la courbe (IV-7), on note que pour le béton sans adjuvant, la perméabilité diminue proportionnellement avec l'augmentation des dosages en ciment entre 250Kg/m³ et 350Kg/m³. Par exemple lorsque le dosage en ciment varie de [250 à 350Kg/m³] la perméabilité diminue de (9.10 à 2.60 m/s) pour un béton conservé à l'air.

On remarque que malgré l'augmentation du dosage en ciment ainsi que le changement des types d'adjuvants (dosage fixé à 1% par rapport au poids du ciment), la perméabilité diminue progressivement. Cette diminution peut atteindre 23% pour un béton conservé à l'eau et pour des types d'adjuvants de SFR122 (avec un dosage en ciment 350 Kg/m³). Ceci s'explique par le fait que la quantité des hydrates formés qui est plus grande dans l'intervalle (300-350 Kg/m³) par rapport aux autres, ce qui entraîne un matériau plus dense, en plus un nombre considérable des pores est bouché. Au voisinage du ciment égal à 350 Kg/m³, le pourcentage de pores bouchés par les hydrates est moins à ceux de l'intervalle (300 - 350Kg/m³). Cela prouve que le pourcentage des pores est réduit par rapport à ceux existant dans le béton pour un dosage inférieur à 300Kg/m³. Ces résultats confirment que la perméabilité est d'autant plus élevée que le dosage en ciment diminue.

IV-2-2- Effet du dosage en ciment sur la porosité :

D'après la courbe (IV-8), et les résultats obtenus , expérimentalement, il existe une relation entre le dosage en ciment et la porosité. L'augmentation du dosage en ciment entraîne une réduction de porosité du béton quelque soit le type d'adjuvant utilisé (dosage fixé à 1%). L'analyse de ces résultats est le suivant :

Lorsque le ciment s'hydrate, les hydrates formés bouchent les pores c'est à dire la porosité diminue. Celle-ci est d'autant plus faible que la quantité du ciment hydraté est plus élevée. Plus la quantité du ciment est importante, plus la pénétration d'eau est ralentie.

IV-2-3- Effet du dosage en ciment sur la résistance:

La variation de la résistance à la compression en fonction du dosage en ciment, est représenté graphiquement sur la figure (IV-9), dont les résultats sont indiqués dans le tableau (IV-7).

D'après ce figure(b), on note que pour le béton sans adjuvant (témoin). La résistance à la compression reste presque constante, lorsque le dosage en ciment augmente.

Pour un béton adjuvanté. l'augmentation du dosage en ciment ainsi le changement du type d'adjuvant (pour un dosage fixe 1%) est engendrée par une amélioration de la résistance du béton témoin. Cette amélioration peut atteindre 41%(béton conservé à l'eau) et 75%(béton conservé à l'air).

IV-2-4- Variation de la perméabilité en fonction de la porosité : (paramètres types d'adjuvants et dosage en ciment)

Selon la courbe (IV-10) on constate que la diminution de la porosité du béton adjuvanté entraîne une réduction du coefficient de la perméabilité (quelque soit le dosage en ciment et type d'adjuvant utilisé). Cela se confirme avec les travaux de Baron et Al (1992) [13], [38] « La vitesse de la perméabilité varie comme l'inverse du dosage en ciment, si le dosage est réduit, la vitesse de la perméabilité augmente et elle est plus faible que la quantité du ciment hydraté est élevé».

IV-2-5- Variation de la perméabilité en fonction de la résistance : (paramètres dosage en ciment , types d'adjuvants)

La figure (IV-11) montre clairement que la courbe de variation de la perméabilité en fonction de la résistance, la perméabilité diminue avec

l'augmentation de la résistance à la compression quelque soit (le dosage en ciment et type d'adjuvant).

IV-2-6- Variation de la porosité en fonction de la résistance : (paramètres dosage en ciment , types d'adjuvants)

D'après les résultats regroupés dans la figure (IV-12), on note que pour un béton adjuvanté, la porosité diminue et la résistance augmente lorsque le dosage en ciment augmente pour un béton adjuvanté.

Conclusion :

A partir des résultats obtenus, le type d'adjuvant et le dosage en ciment sont des paramètres de choix très important, c'est à dire, l'augmentation du dosage en ciment entraîne une réduction du coefficient de perméabilité et de porosité, avec une augmentation de la résistance en compression.

Nous pouvons conclure que le béton dosé à 350Kg/m³ de ciment contenant un adjuvant (Superplastifiant réducteur d'eau SFR122) permet d'obtenir des caractéristiques optimale du point de vue durabilité du béton .

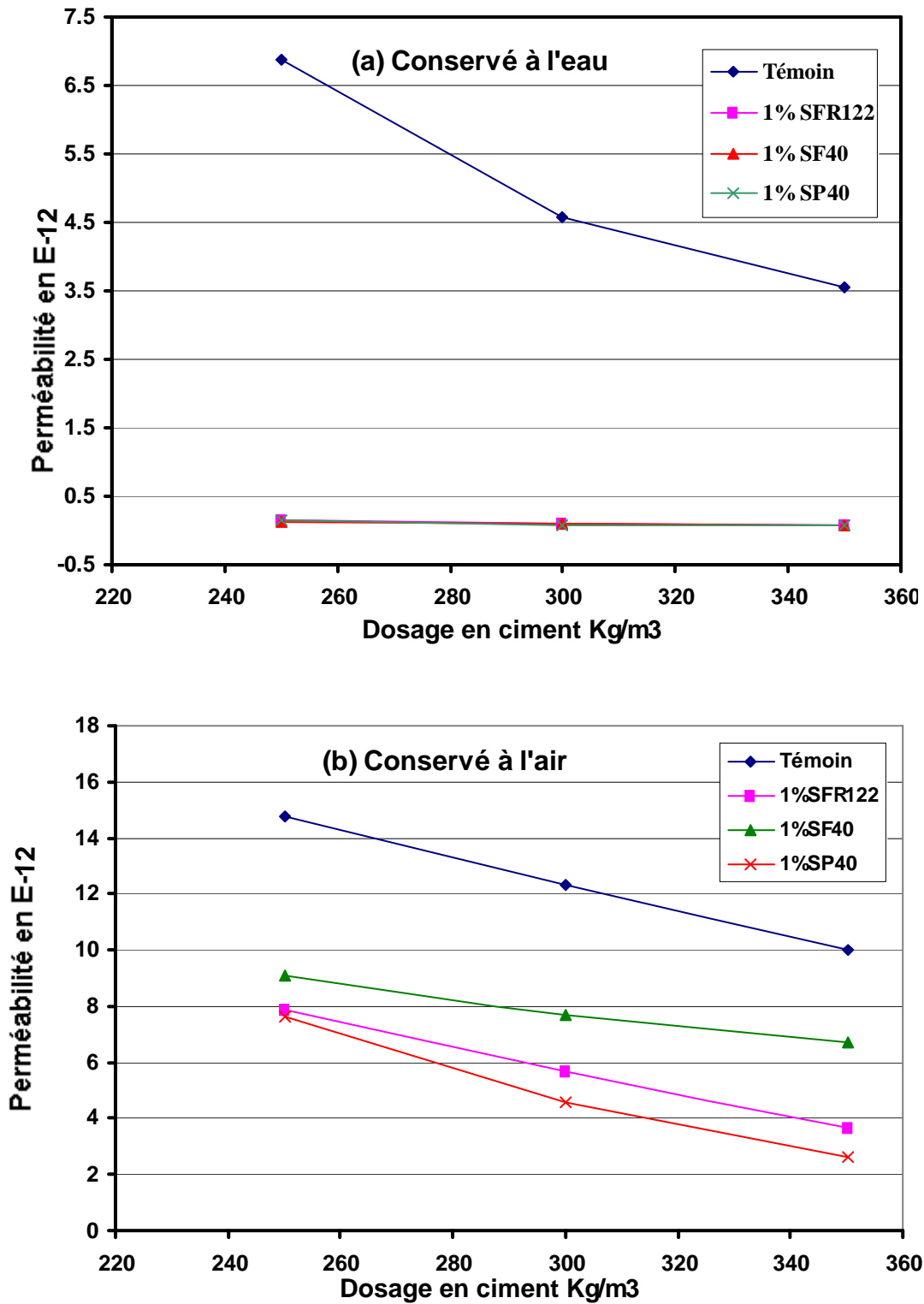


Figure IV-7 : Perméabilité en fonction du dosage en ciment (Paramètre type d'adjuvant)

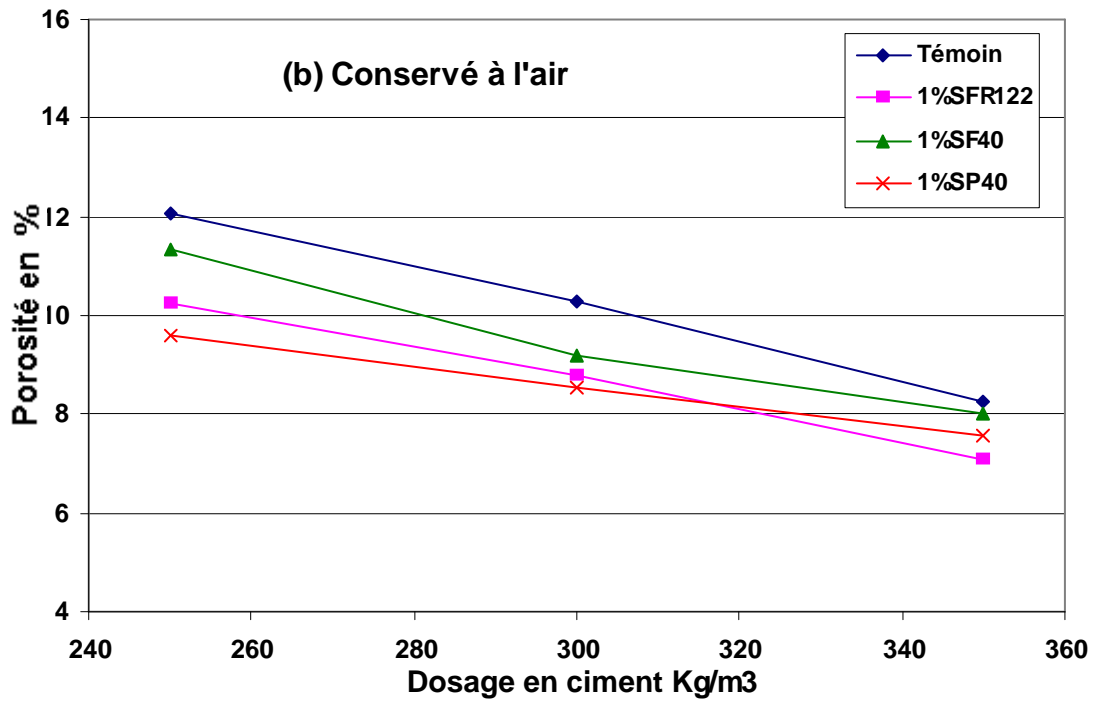
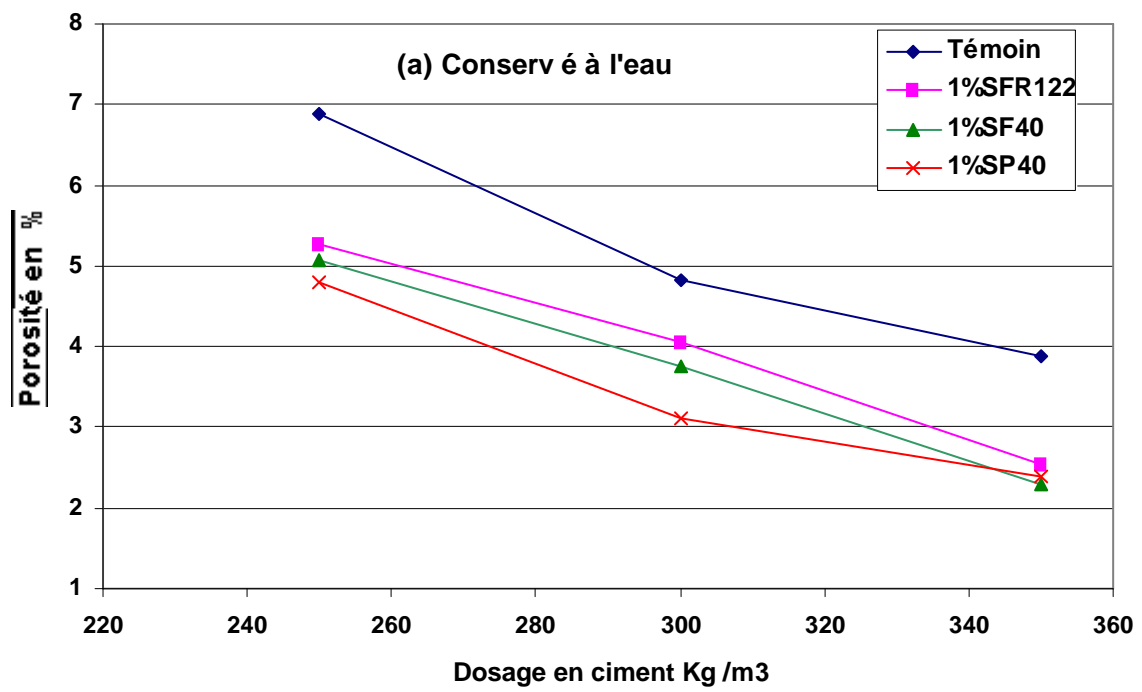


Figure IV-8 : Porosité en fonction du dosage en ciment
(Paramètre type d'adjuvant)

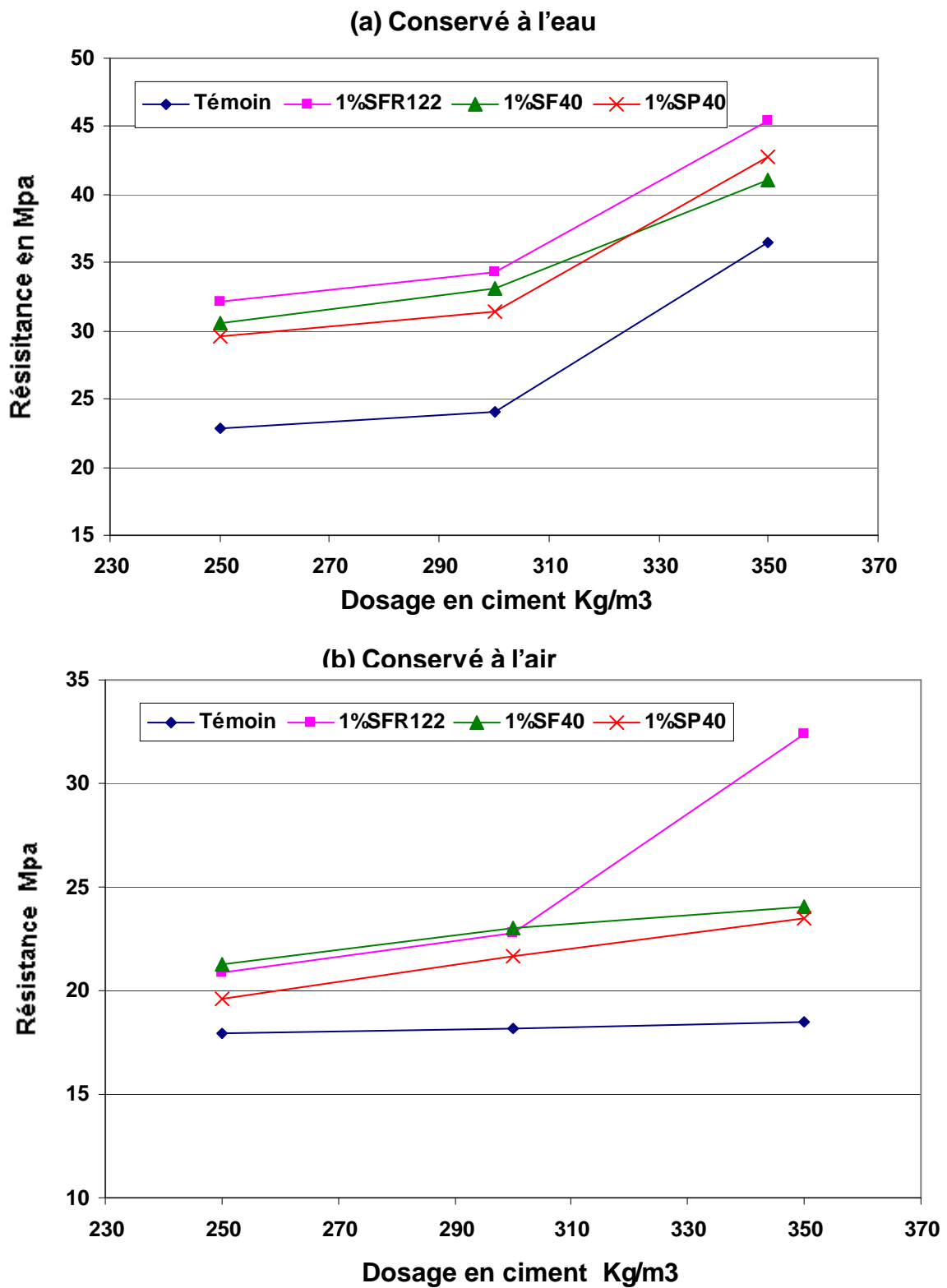


Figure IV-9 : Résistance à la compression en fonction du dosage en ciment (Paramètre type d'adjuvant)

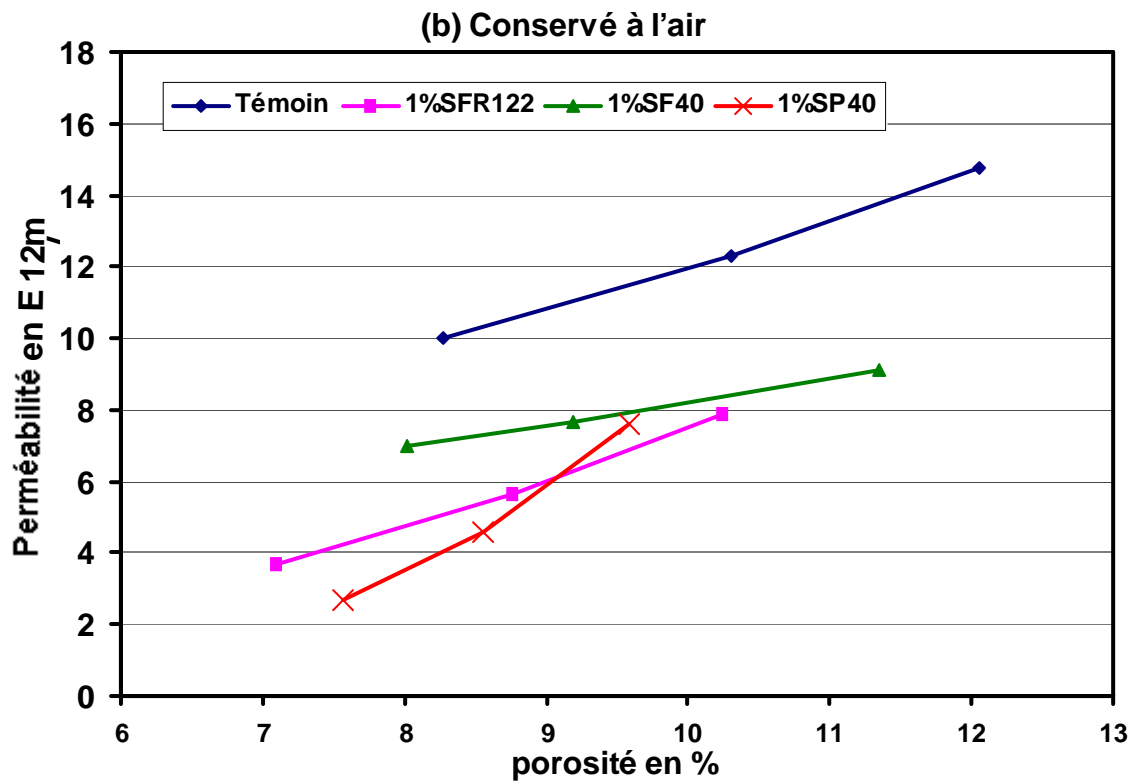
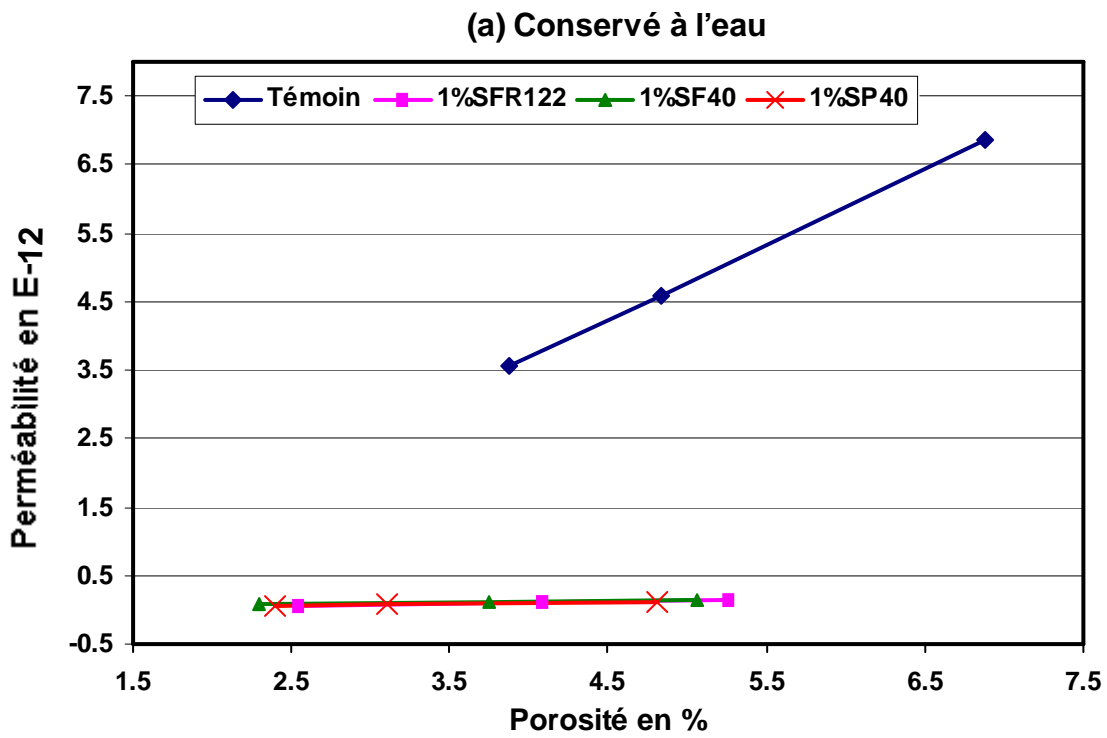


Figure IV-10 : Perméabilité en fonction de la porosité
(Paramètre dosage en ciment)

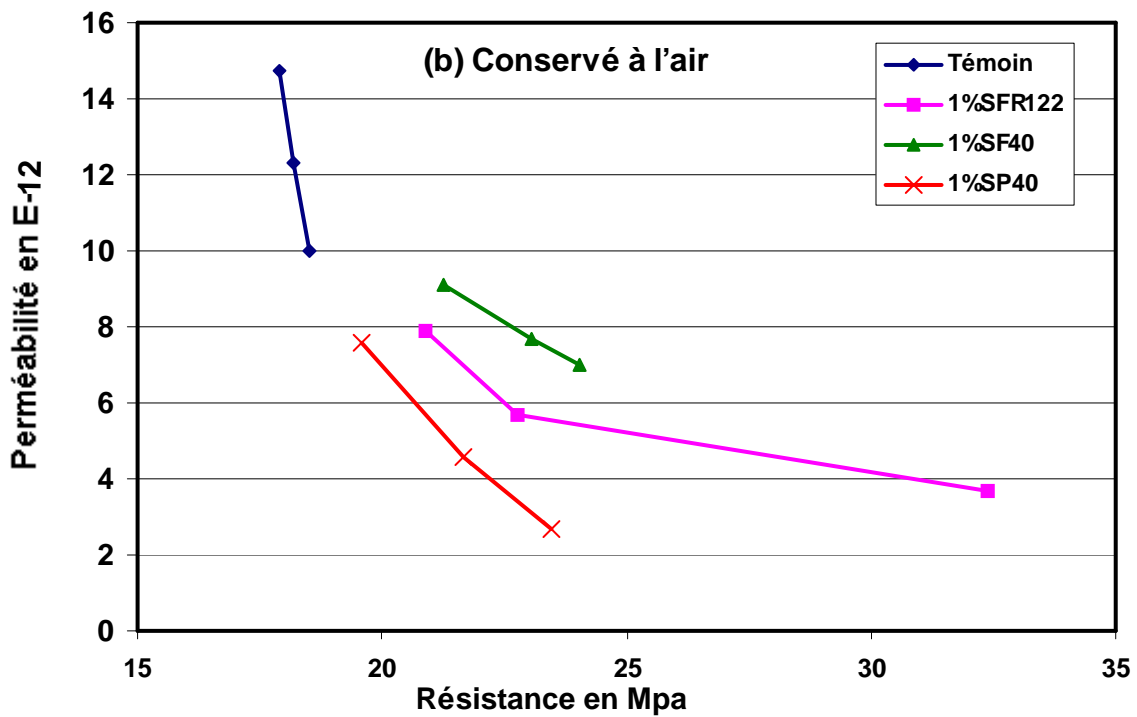
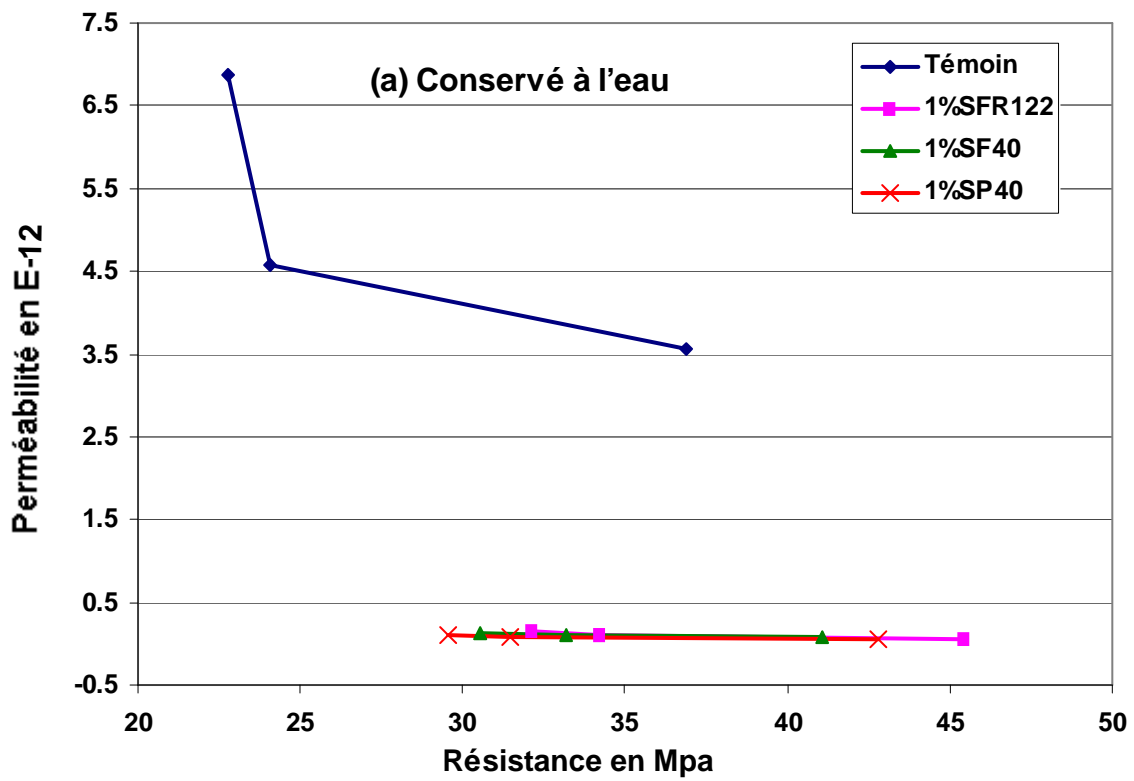


Figure IV-11 : Perméabilité en fonction de la résistance (Paramètre type d'adjuvant)

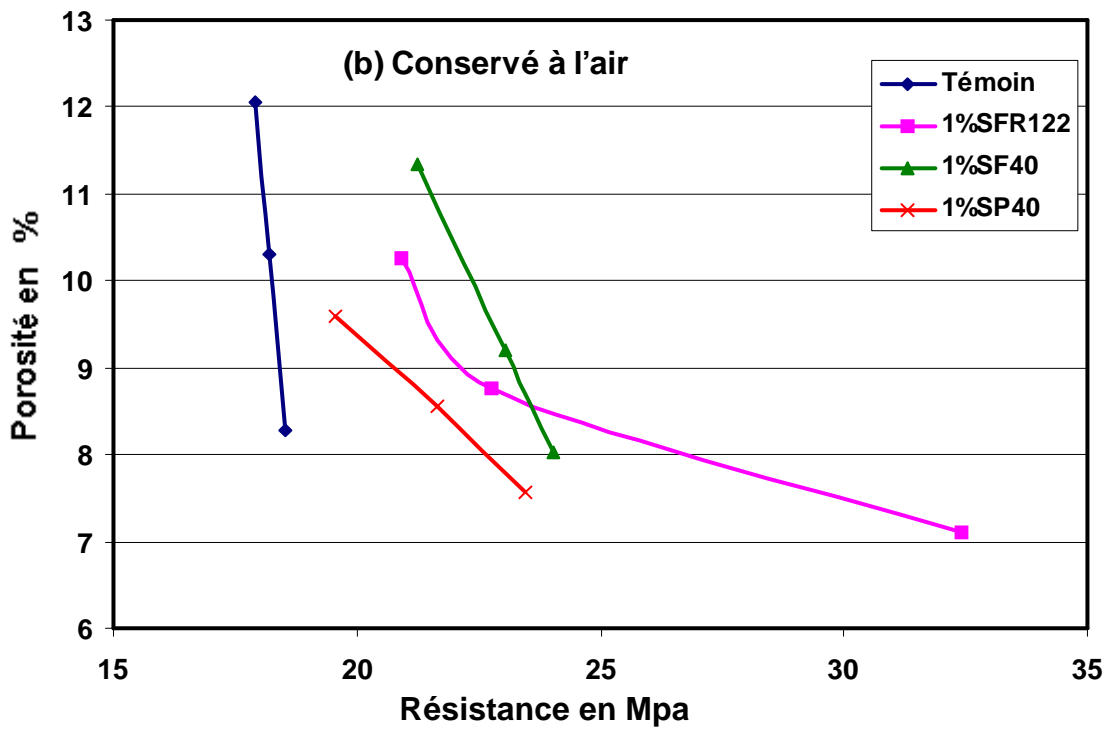
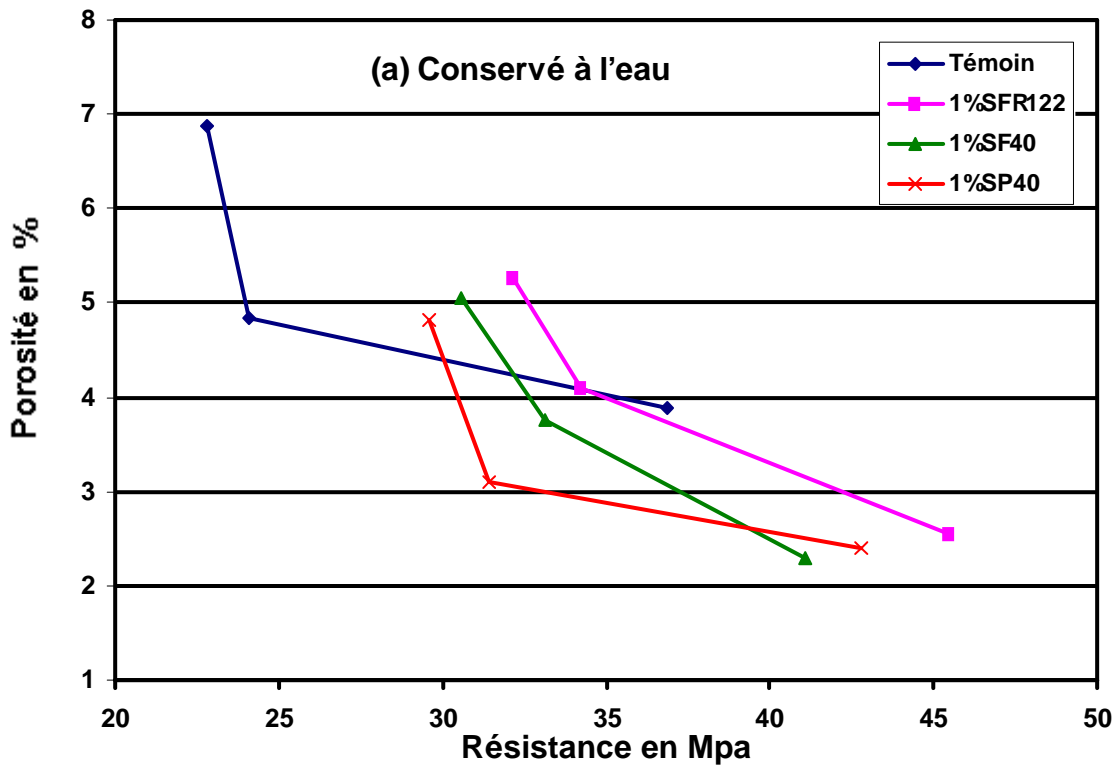


figure IV-12 : Porosité en fonction de la résistance à la compression (Paramètre type d'adjuvant)

IV-3- EFFETS DES ADJUVANTS ET MODE DE CONSERVATION SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES :

Dans cette partie, nous avons essayé de déterminer l'influence du mode de conservation sur quelques propriétés du béton à l'état durci.

D'après les résultats obtenus qui sont représentés sur les figures (IV-13 jusqu'à IV-15) on remarque que :

- 1- La valeur maximale de la résistance et la valeur minimale de la perméabilité et de la porosité sont obtenus par un béton exposé à l'eau (béton témoin)
- 2- Lorsque le pourcentage d'adjuvant augmente (quelque soit le type d'adjuvant) la perméabilité et la porosité diminuent. Ceci est engendré par l'augmentation de la résistance à la compression.
- 3- Une grande différence des résultats obtenus entre la conservation à l'eau et à l'air (quelque soit les propriétés du béton).
- 4- On constate que la perméabilité et la porosité du béton conservé à l'eau diminuent avec l'augmentation du dosage en ciment.

Explication :

En règle générale, le mode de conservation influe considérablement sur la vitesse de durcissement des bétons, mais aussi sur leur structure.

L'humidité interne d'un béton varie dans le même sens que celle du milieu ambiant, l'hydratation du ciment a pu se poursuivre résultant en un développement favorable des hydrates.

Nous constatons un grand écart des résultats entre la conservation à l'eau et à l'air. Les éprouvettes conservés à l'air sont beaucoup plus sensibles au phénomène de création des pores et des connectés, ce qui se traduit par les fortes valeurs de perméabilité et porosité.

Conclusion :

La conservation du béton dans un milieu humide (à 100%) lui procure une meilleure résistance, et une imperméabilité considérable. L'utilisation des adjuvants a montré lors de cette étude expérimentale que l'on peut protéger le béton soumis à des conditions climatiques préjudiciables (climat chaud , vent,...) et lui procurer une très bonne imperméabilité relativement à celle d'une conservation dans un milieu humide, donc on peut déduire que le milieu de conservation joue un rôle très important sur les propriétés(perméabilité, porosité et résistance) du béton.

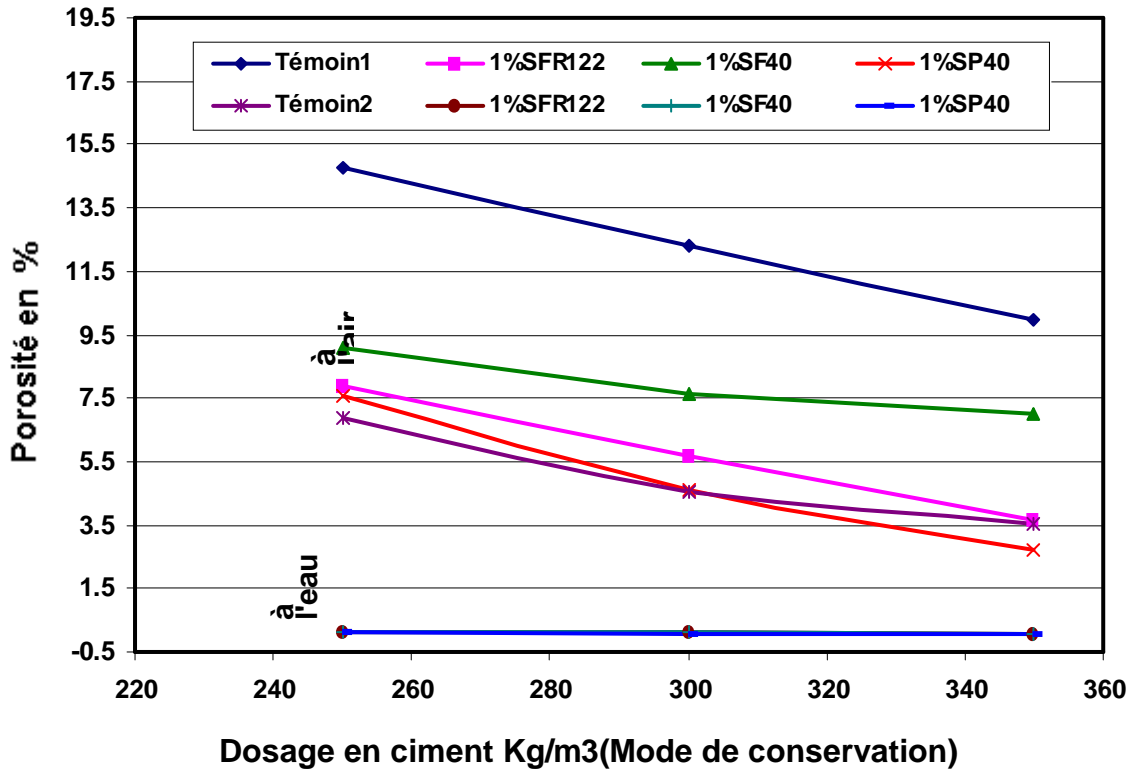


Figure IV-13 : Perméabilité en fonction du dosage en ciment (Paramètre mode de conservation)

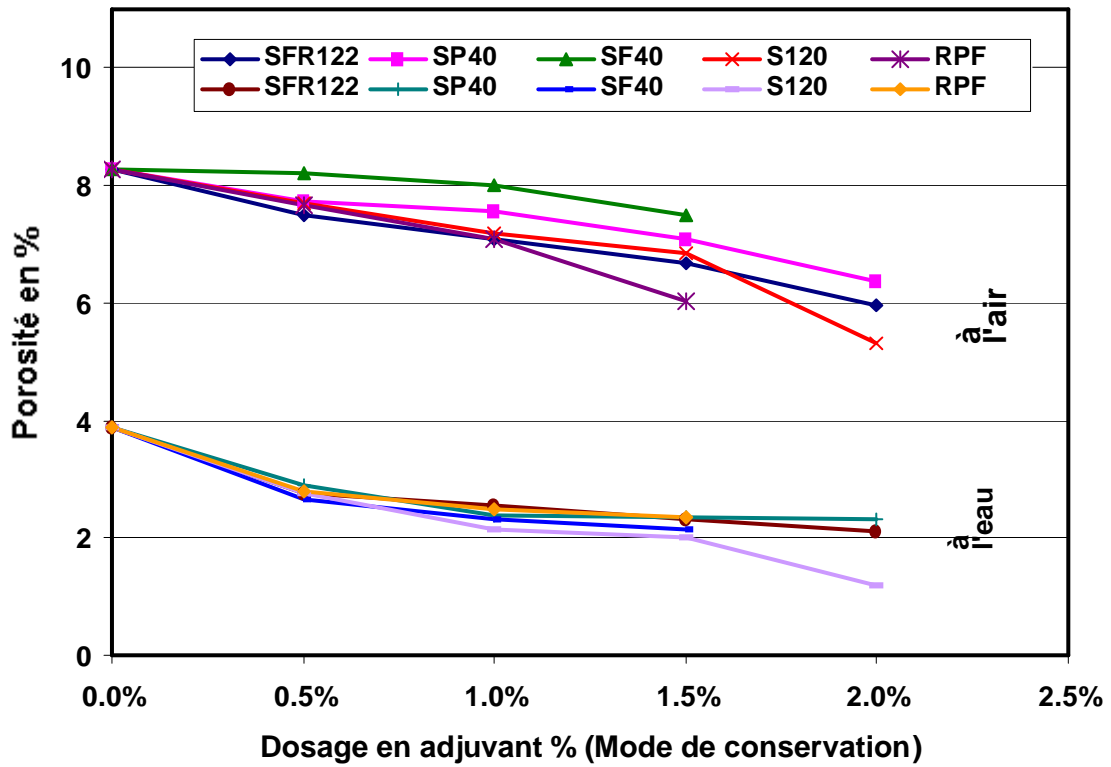


Figure IV-14 : Porosité en fonction du dosage en adjuvant (Paramètre mode de conservation)

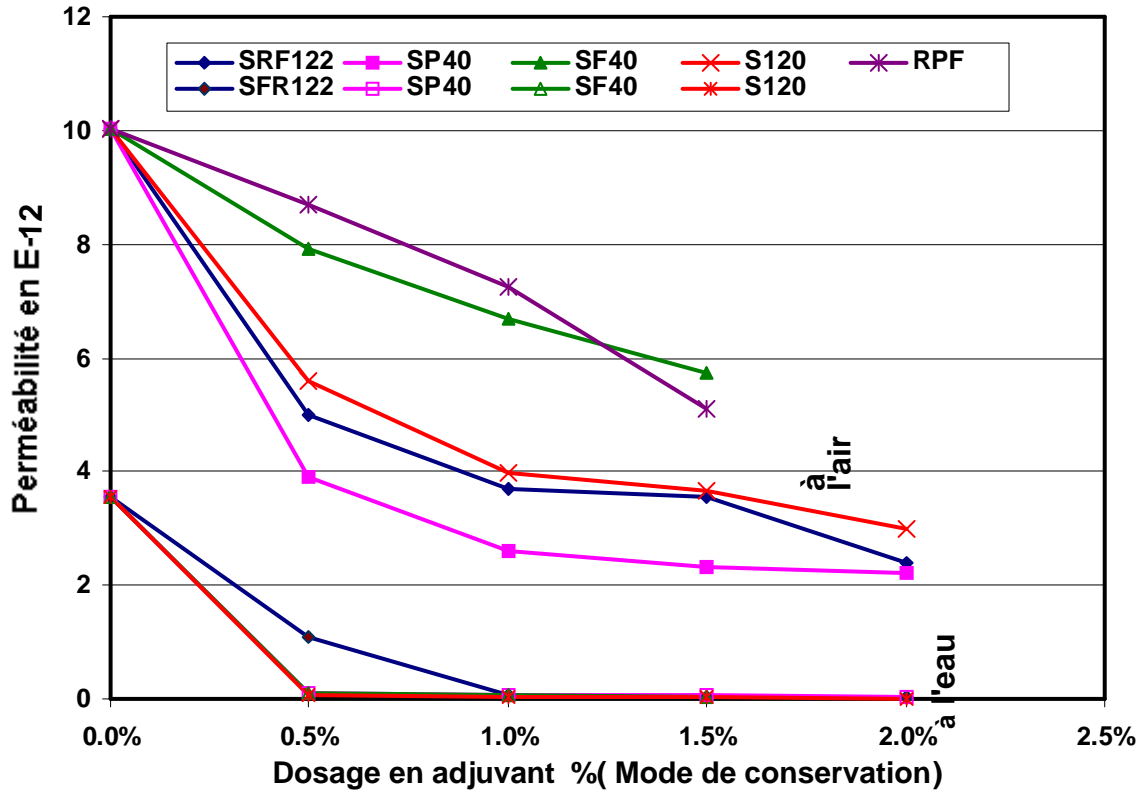


Figure IV-15 : Perméabilité en fonction du dosage en adjuvant (Paramètre mode de conservation)

IV-4-EFFETS DU FUMEE DE SILICE SUR LES PARAMETRES DE DURABILITES:

Parmi les additions minérales pouvant être utilisées dans la formulation des bétons, sont les fumées de silice . Nous avons étudié dans cette partie l'influence de la fumée de silice sur les propriétés du béton à l'état durci.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux (IV-8 , IV-9 , IV-10) et illustrés graphiquement sur les figures (IV-16 jusqu'à IV-20).

Tableau IV-8 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction des ajouts

béton temps (Jours)	Témoin	Fumée de silice			10% fumée de silice+ 1% d'adjuvant		
	0%	5%	10%	15%	SFR	SP40	SF40
21	3,42x10 ⁻¹¹	0,28x10 ⁻¹¹	0,22x10 ⁻¹¹	0,20x10 ⁻¹¹	0,13x10 ⁻¹¹	0,12x10 ⁻¹¹	0,15x10 ⁻¹¹
30	2,15x10 ⁻¹¹	0,10x10 ⁻¹¹	0,096x10 ⁻¹¹	0,090x10 ⁻¹¹	0,076x10 ⁻¹¹	0,079x10 ⁻¹¹	0,082x10 ⁻¹¹

Tableau IV-9 : Porosité (%) en fonction des ajouts

béton temps (Jours)	Témoin	Fumée de silice			10% fumée de silice+ 1% d'adjuvant		
	0%	5%	10%	15%	SFR	SP40	SF40
21	3,38	3,33	3,29	3,05	2,05	2,15	2,20
30	2,09	1,87	1,30	1,11	1,01	0,95	0,99

Tableau IV-10 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction des ajouts

Béton temps (Jours)	Témoin	Fumée de silice			10% fumée de silice+ 1% d'adj.		
	0%	5%	10%	15%	SFR	SP40	SF40
21	36	37	38	40,50	47	44	43
30	40	41	43	45	63	60	58

Remarque :

- a. On constate que la résistance à la compression du béton non adjuvanté augmente avec le dosage de la fumée de silice. La résistance maximale est obtenue pour un dosage en fumée de silice égal à 15% du poids du ciment ($R_c = 45 \text{ Mpa}$).
- b. La porosité et la perméabilité diminuent avec l'augmentation du dosage en fumée de silice.
- c. Lorsque le pourcentage des fumées de silice fixe égale 10% en poids du ciment ainsi le changement de type d'adjuvant (pour un dosage fixe 1%), la résistance augmente et cela est engendré par la réduction de perméabilité et la porosité.
- d. On constate que la perméabilité et la porosité du béton avec ajout (fumée de silice adjuvanté) diminuent au cours du temps quelque soit le type d'adjuvant

Explication :

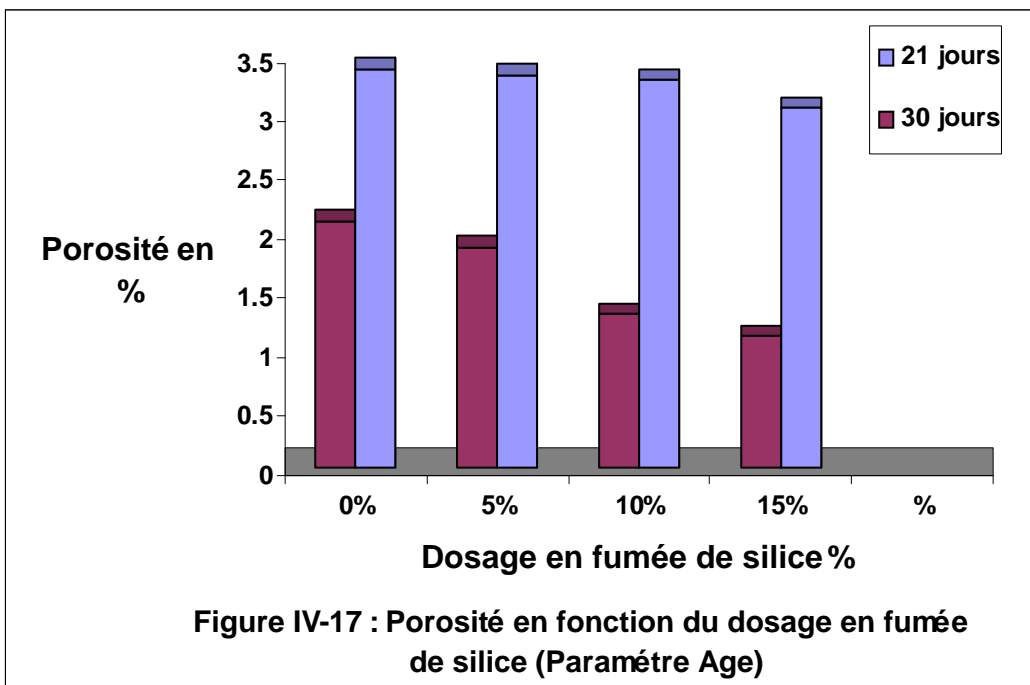
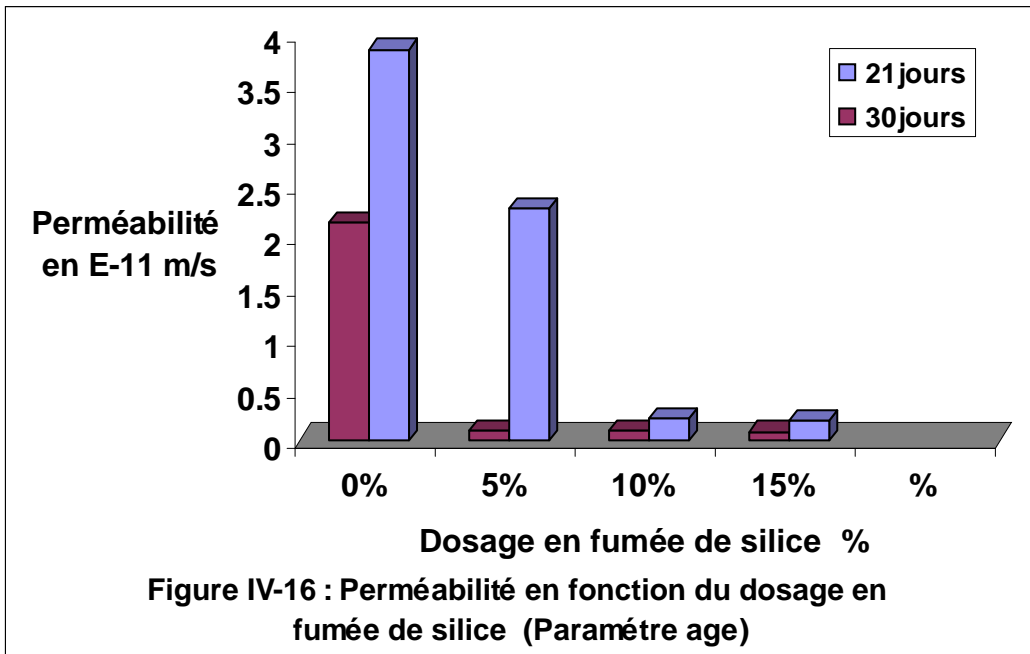
L'interprétation de ces résultats est simple, la présence de fumées de silice accélère la réaction d'hydratation du ciment Portland. Huang Cheng et Fel Duran [1985] émettent même que les fumées de silice accélèrent la réaction d'hydratation en favorisant la création de sites de germination des cristaux de portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dès les premières minutes qui suivent le début de la réaction.

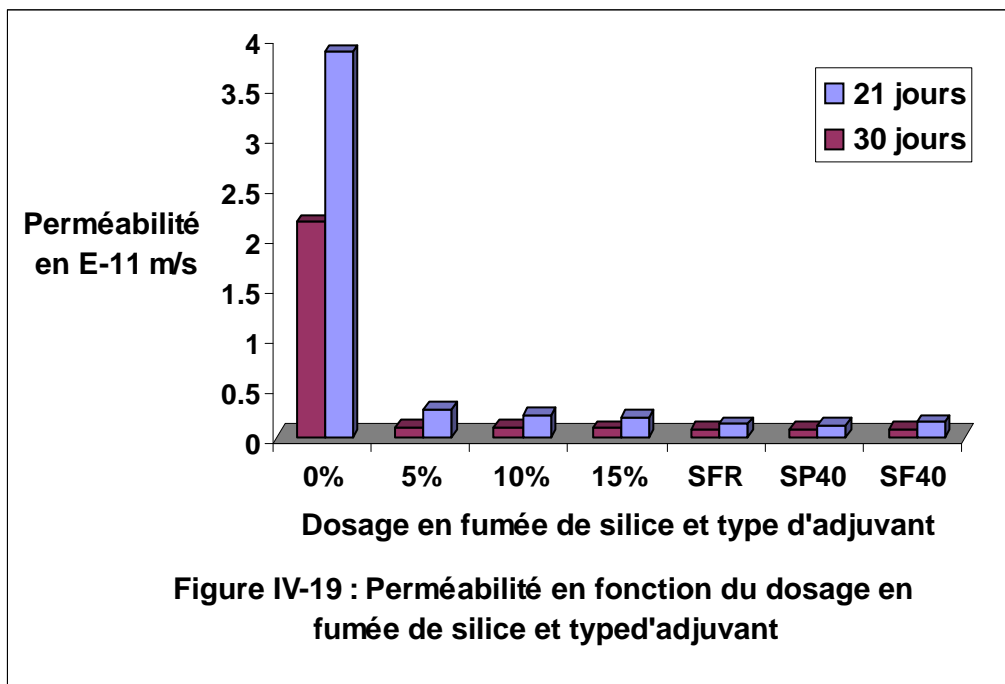
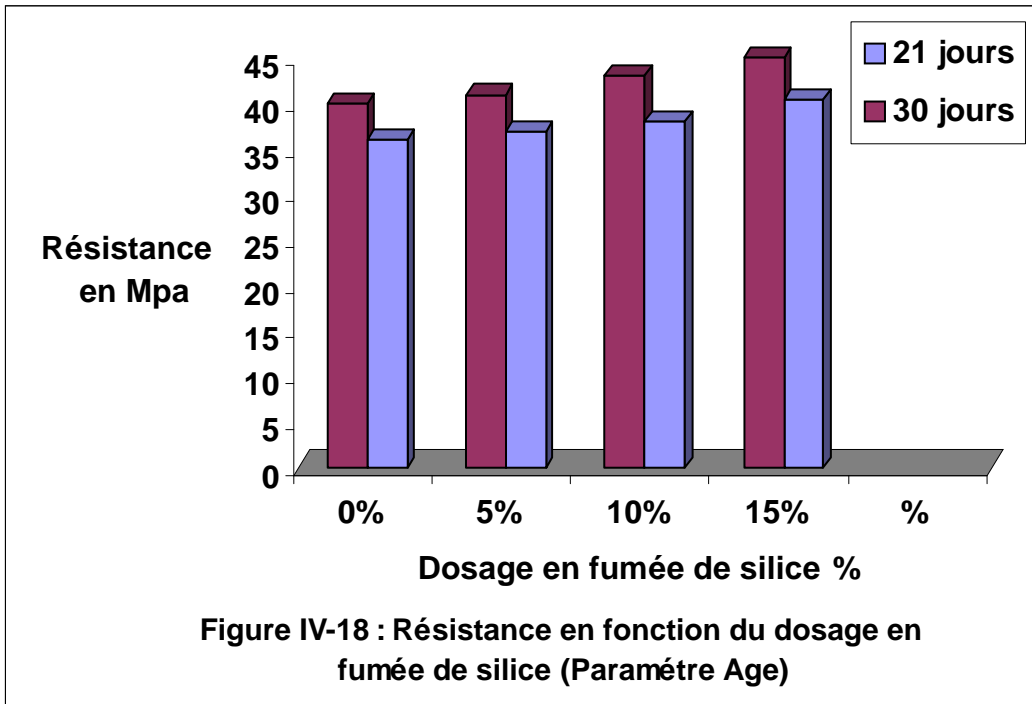
Ils concluent que cet effet accélérateur des fumées de silice est plus important lorsque celles-ci sont utilisées avec un adjuvant.

Conclusion :

Les fumées de silice modifient la microstructure des hydrates du ciment portland par leur réaction pouzzolanique qui contribue à fractionner davantage le réseau de pores capillaires.

Enfin, on peut également conclure à partir de ce paramètre que pour obtenir un béton le moins poreux et le moins perméable, il faut que le dosage en fumée de silice est de 15% en poids du ciment tout en utilisant l'adjuvant Médaplast SFR.





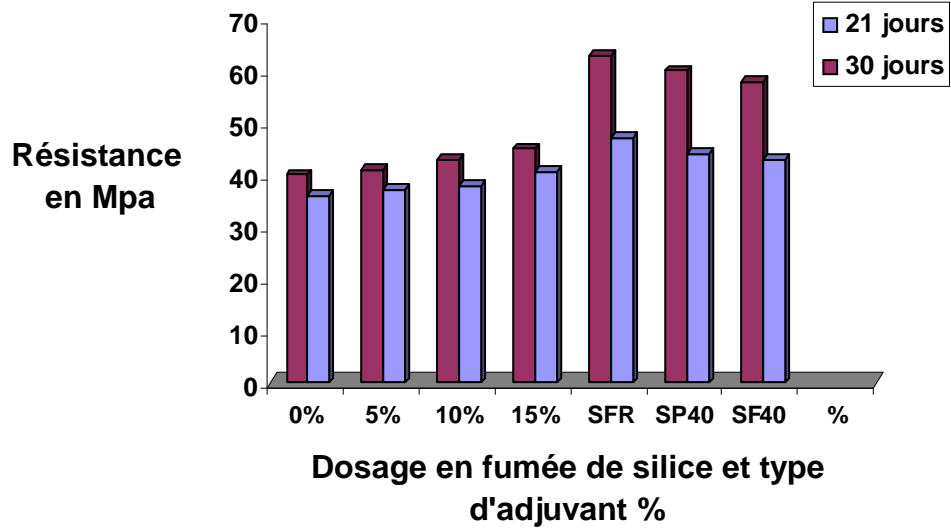


Figure IV-20: Résistance en fonction du dosage en fumée de silice et type d'adjuvant

IV-5- EFFETS DES ADJUVANTS SUR L'ACTION DES AGENTS AGRESSIF :

IV-5-1- Milieu agressif :

Dans cette partie, nous avons essayé de comparer les résultats obtenus, pour le béton exposé dans un milieu acide et milieu de sel.

Les résultats d'essais sont indiqués dans les tableaux (IV-11 à IV-14) et représentés graphiquement sur les figures (IV-21 jusqu'à IV-26).

Tableau IV-11 : Coefficient de la perméabilité (m/s) en fonction de milieu agressif

Béton Jours	Acide				Nacl			
	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40
30	3.24x10 ⁻¹¹	1.67 x10 ⁻¹¹	2.24 x10 ⁻¹¹	1.97 x10 ⁻¹¹	2.86x10 ⁻¹¹	1.11x10 ⁻¹¹	1.08x10 ⁻¹¹	2.32x10 ⁻¹¹
90	3.95x10 ⁻¹¹	2.81 x10 ⁻¹¹	2.78 x10 ⁻¹¹	2.85 x10 ⁻¹¹	3.35x10 ⁻¹¹	2.33x10 ⁻¹¹	2.28x10 ⁻¹¹	2.77x10 ⁻¹¹

Tableau IV-12 : Porosité (%) en fonction de milieu agressif

Béton Temps (Jours)	Acide				Nacl			
	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40
30	6.11	5.07	5.32	6.01	4.22	3.67	3.04	4.01
90	8.97	6.45	6.56	7.10	5.65	4.62	4.35	5.11

Tableau IV-13 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction de milieu agressif

Béton Temps (Jours)	Acide				NaCl			
	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40
30	28	39	38	37	32	40	42	38.5
90	25	35	33.5	32	29	37	38.05	35

Remarque :

- 1- La conservation du béton dans un milieu agressif (l'acide et le sel) est influe négativement sur la perméabilité, la porosité et la résistance, par rapport au béton conservé à l'eau potable.
- 2- Le changement des adjuvants (pour un dosage fixé 1% du poids de ciment) réduit sensiblement la perméabilité, et la porosité. Cette réduction est engendre par une amélioration de la résistance quelque soit le milieu agressif (l'acide, le sel).
- 3- L'influence de l'acide est plus forte que le sel.
- 4- L'adjuvant SP40 protège le béton contre l'attaque de NaCl, il améliore sa résistance du béton.
- 5- L'adjuvant SFR122 est très efficace pour l'attaque des acides, il améliore l'imperméabilité du béton réduit le volume des vides.

Explication :

L'action des milieu acide est identique dans son principe à celle des eaux pures et douces, mais elle est plus intense : la portlandite est dissoute en premier, puis les silicates et aluminates de calcium hydratés sont attaqués et perdent leur calcium. La plus ou moins grande nocivité des acides dépend du caractère soluble ou insoluble des sels qu'ils forment par réaction avec les hydrates calciques.

Le béton placé dans l'eau contenant une quantité considérable de sel est susceptible à une attaque chimique ou à une détérioration résultant de la cristallisation des sels à l'intérieur du béton sous des conditions de cycle alternes d'humidité.

Selon <<Guyotr Rancp and Varizata (1983)>>.

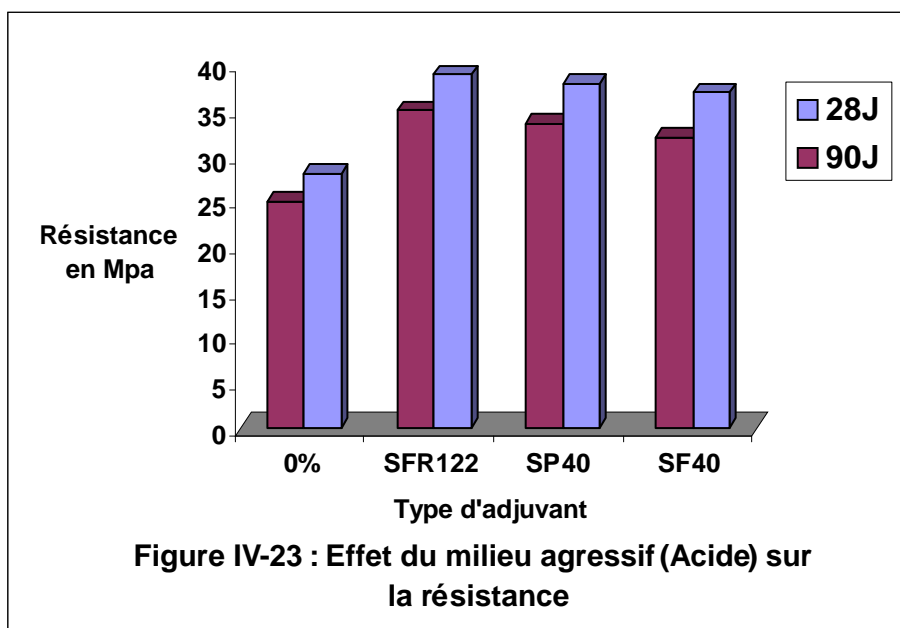
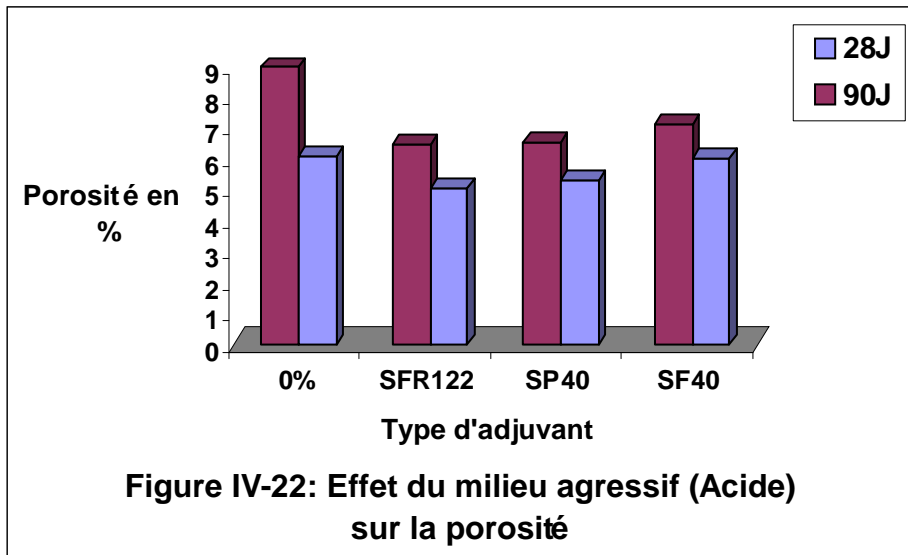
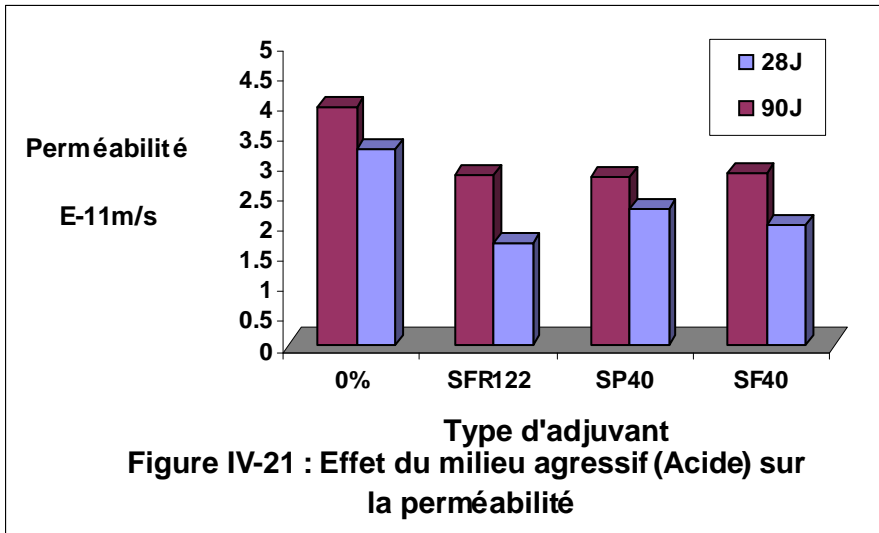
- 1- les sels sont des milieux moyennement agressifs

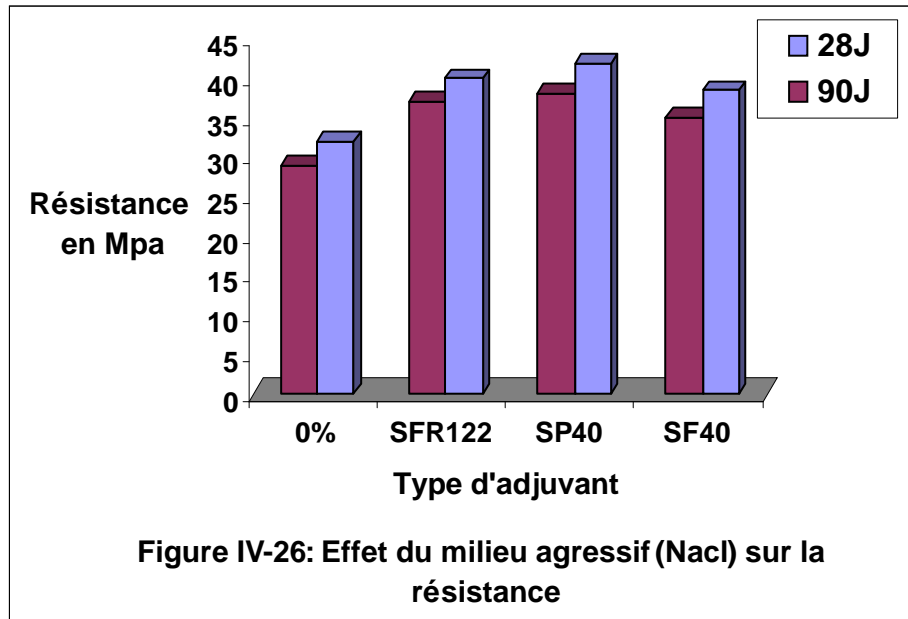
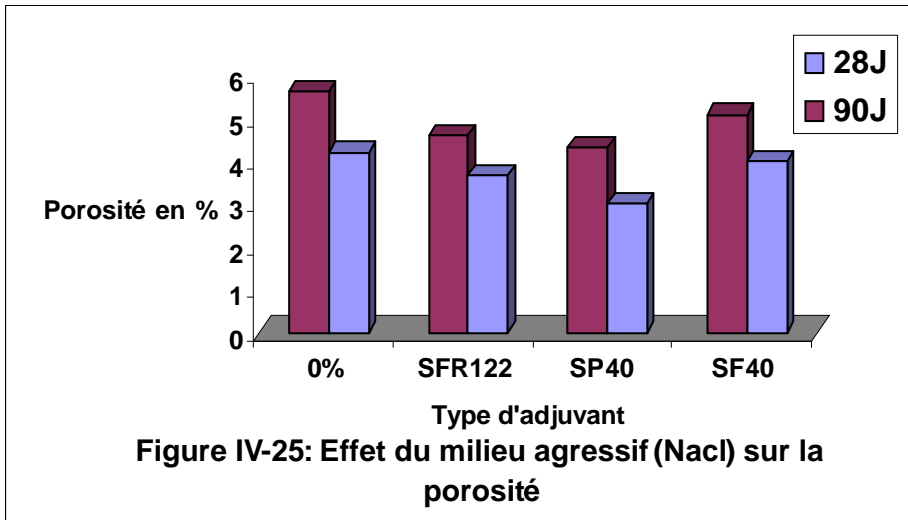
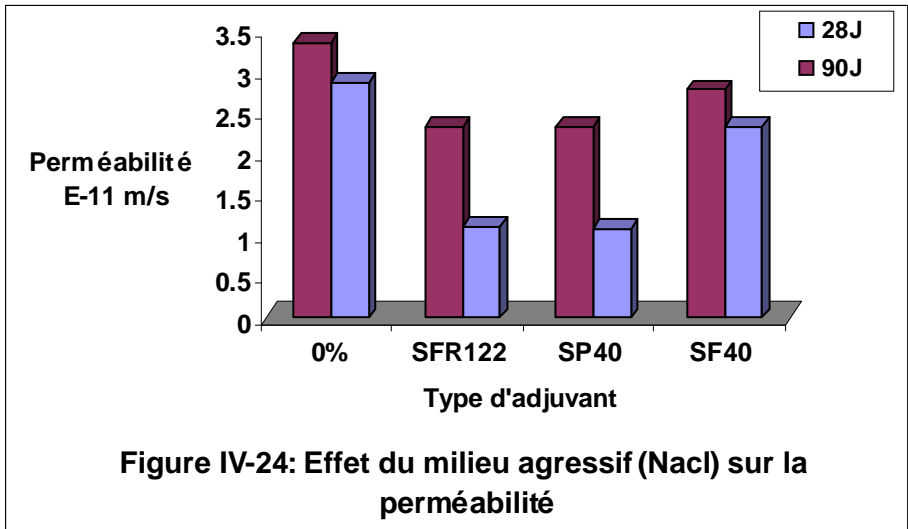
- 2- la dégradation est variable suivant le degré d'immersion ce qui fait que la porosité et la perméabilité croissent avec le degré de concentration alors sa que résistance décroît .

la composition chimique de adjuvant influe positivement sur la vitesse de mécanisme d'hydratation ce qui favorise l'amélioration de la propriété du béton (porosité, perméabilité et résistance) dans un milieu agressif (acide, sel)

Conclusion :

d'une façon générale, le béton est un matériau durable lorsqu'il est bien formulé est bien mise en œuvre. Son comportement au contact des eaux agressives ne fait pas exception à cette règle, sauf dans des environnements particulièrement servires (certains acides formant des sels solubles) où une protection chimique observée dans certains milieux (sel, par exemple), quelques règles simples permettent de préparer un béton résistance à la majeure partie des eaux recentrées. La solution passe nécessairement par la préparation d'un matériaux de porosité et de perméabilité minimales. Cette qualité du béton est obtenue en réduisant le rapport E/C, et en utilisant les adjuvants.





**Tableau IV-16 : Résistance à la compression (Mpa) en fonction de
agressivité climatique**

Béton Temps (Jours)	Témoïn		Adjuvant	
	0%	1%SFR	1%SP40	1%SF40
21	25	32	34	35
90	18.66	25.66	29.5	30.50

Remarque :

- L'augmentation de la température initiale du béton favorise le développement de hautes résistance durant les premiers jours , jusqu'à l'age 21 jours , néanmoins et au de la de 28 jours la résistance du béton tend à diminuer progressivement, (béton témoïn) .
- D'après les figures(IV-27 à IV-29)on constate que la perméabilité et la porosité diminuent à une température ambiante, et augmentent à une température élevée (50°C) pendant le mois de juin.
- On remarque que, l'utilisation des adjuvants (quelque soit leur type), fait diminuer la perméabilité, la porosité et améliore aussi la résistance du béton conservé au soleil (la température entre 35°C à 50°C)

Explication :

Les effets bénéfiques de la condition climatique sur les premiers résistances qui peuvent être expliqués par le fait que la l'élévation de la température augmente le taux initial d'hydratation du ciment et par conséquent les résistance initiales du béton. D'autre part, une explication probable des effets néfastes de la haute température sur la résistance au delà de 21 jours est la suivante : l'hydratation initiale rapide engendre des produits d'hydratation (gels) dont la structure physique est pauvre et plus poreuse et laisse une large proportion de pores non-remplie de ces produits. De plus, le dépôt initial anarchique et précipité des gels crée une grande concentration autour des grains de ciment non encore hydratés. On observe alors un emprisonnement de ces grains retardant ainsi l'avancement de l'hydratation ce qui affecte défavorablement la résistance du béton à long-terme.

Conclusion :

Le climat étant caractérisé par trois facteurs redoutables à savoir une température élevée, une humidité relative basse et un vent souvent violent, il en résulte que le béton se trouve confronté à beaucoup de problèmes se manifestant dès le jeune âge du béton par la perte de son ouvrabilité, l'accélération de son durcissement et l'augmentation des risques de fissuration due essentiellement à la perte excessive de son eau. Après durcissement et à long terme, les problèmes du béton se traduisent par la réduction de sa résistance, l'augmentation de sa perméabilité et porosité, ces trois facteurs jouent un rôle clé dans la durabilité du béton.

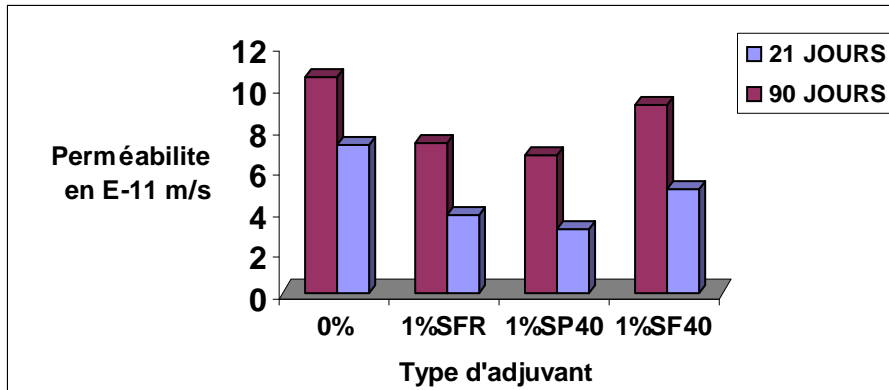


Figure IV-27 : Effets des condition climatiques sur la perméabilité

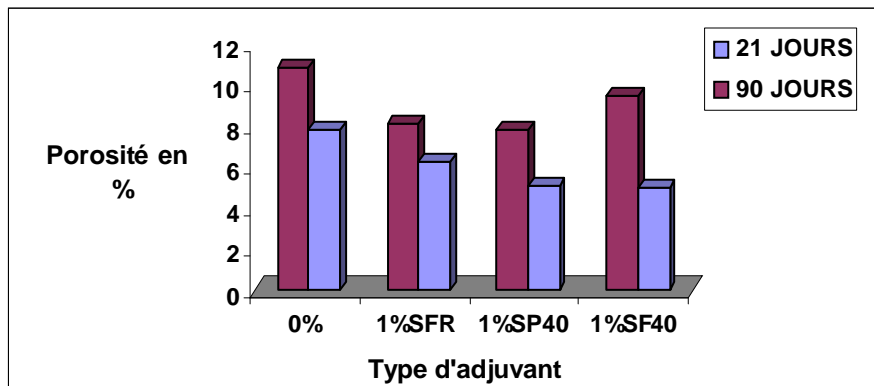


Figure IV -28: Effets des conditions climatiques sur la porosité

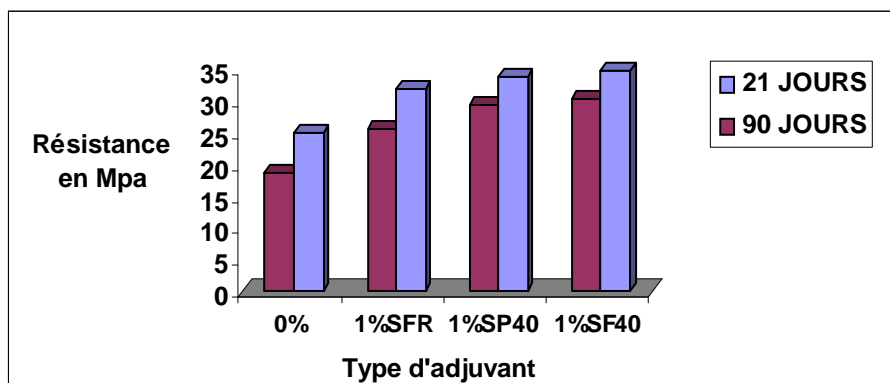


Figure IV -29 : Effets des conditions climatiques sur la résistance

V-1- CONCLUSION :

Dans ce modeste travail, nous avons pu quantifier l'influence de cinq types d'adjuvants sur la perméabilité, la porosité et la résistance à la compression d'un béton à base de matériaux locaux. Les paramètres pris en compte sont :

- Dosages et types des adjuvants
- Dosage en ciment (250, 300, 350) kg/m³
- Mode de conservation (a l'air libre où a l'eau)
- Dosage en fumée de silice (5%, 10%, 15%)
- Milieu agressif (sel , acide)
- Agressivités climatiques

Après cette étude expérimentale nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

1- L'augmentation du pourcentage d'adjuvant réduit en premier lieu le rapport E/C à fluidité constante. Elle engendre en suite une augmentation de la résistance à la compression, une légère diminution de la porosité et une forte imperméabilité du béton.

2- L'utilisation de cinq types d'adjuvants dans l'intervalle (0,5% jusqu'à 2%) réduit la quantité d'eau de gâchage et améliorer l'ouvrabilité d'un béton.

3- L'adjuvant Médafluid SFR122 donne un meilleure résistance pour un dosage à 2% en poids du ciment pour un béton conservé à l'eau pendant 28 jours.

4- Les cinq types d'adjuvants réduisent la perméabilité, la porosité et augmentent la résistance du béton pour les trois dosages utilisés.

5- Le meilleur adjuvant pour obtenir un béton le moins perméable, le moins poreux et le plus résistant est l'adjuvant Médafluid SFR122.

6- La perméabilité et la porosité diminuent lorsque le dosage en ciment augmente (quelque soit le type d'adjuvant) pour un béton conservé à l'eau avec un résultat optimum pour un dosage supérieur ou égale à 350 Kg/m³.

7- L'influence de la conservation dans un milieu humide se traduit par une forte imperméabilité du béton ainsi qu'une meilleure résistance à la compression.

8- Un grand écart de résultat entre une conservation à l'eau et à l'air (quelque soit la propriété : perméabilité, porosité et résistance) .

9- L'augmentation des dosage en fumée de silice, réduit sensiblement la perméabilité et la porosité.

10- La résistance à la compression de béton adjuvanté augmente lorsque le dosage en fumée de silice augmente.

11- Pour obtenir une forte imperméabilité , faible porosité et une résistance plus élevé , il est recommandé d'utiliser le fumée de silice et le type d'adjuvant est égale à 15% en poids du ciment et avec un d'adjuvant (exemple Médafluid SFR122).

12- Le béton est un matériau durable lorsqu'il est bien formulé et bien mise œuvre. Il perd sa durabilité, c'est à dire, il devient poreux, perméable et moins résistant lorsqu'il est exposé à des agents agressifs (sel ou acide).

13- L'effet de l'acide est plus rapide pas rapport à la solution de NaCl.

14- L'attaque de l'acide et de la NaCl, augmente la porosité et la perméabilité du béton et elle réduit la résistance à la compression.

15- Pour protéger le béton contre l'attaque des eaux agressives il faut utiliser les adjuvants (exemples SFR122, SP40), afin de diminuer la porosité et la perméabilité , et par conséquent augmenter la durabilité des bétons.

V-2- FUTURES TRAVAUX :

- Etude l'influence des additions minérales (fumée de silice, laitier, soudre volonte) sur la propriété du béton (porosité, perméabilité)
- Etude l'effet d'adjuvant et fillers sur la perméabilité
- L'utilisation des sables concassés pour la fabrication des bétons adjuvantés aux fillers
- Etude le comportement du béton avec l'ajout d'autres adjuvant
- Etude l'effet d'autres milieux agressifs sur la perméabilité, la porosité et la résistance mécanique
- L'influence de condition climatique (soleil, vent,...) sur la durabilité du béton .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : **A. Asroun, M. Harraz** « Amélioration de la qualité des bétons et mortier en utilisant des résines synthétiques » Séminaire national de Génie Civil 16 et 17 Novembre 1997, M'sila
- [2] : **V. Michel** « La pratique des ciments et des bétons » Editions Moniteur, Paris 1976, PP : 3-154
- [3] : « Béton » Article 2001, Internet PP : 1- 20
- [4] : **J. Baron, R. Sauterey** « La durabilité du béton » Le béton hydraulique connaissance et pratique , presse de l'imprimerie : La source d'or , dépôt légal : 2ème trimestre 1995 paris , N : 5603 PP : 481 - 543
- [5] : **E.G. Swenson** «Durabilité du béton sous conditions hivernales», Article 1993 Internet, PP : 1 - 9
- [6] : **H.R. Metakaolin** «Technical bulletin 10-106- concrete perméability », Article 1997, Internet, PP : 1 - 5
- [7] : Cimbéton ; « Fiche technique » Centre d'information de l'industrie cimentière 41, avenue de Friedland, 75008, Paris
- [8] : **M. Venuat** « Adjuvant et traitement des mortiers et bétons » 1ere Ed. Venaut , Paris 1976, PP : 40 - 52
- [9] : **M. Duriez** Annales de l'institut technique du bâtiment et travaux public, Juin 1953 N° 66 séance du 17/02/1953
- [10] : **Adam . M. Neville** « propriété des bétons » Edition, Eyrolles, Paris 1999 PP : 255 - 260
- [11] : **G.Chanviliard et P.Laplante** «viser une résistance à court terme pour tenir les d'étais de fabrication » les bétons basses et données pour leur formulation, Editions, Eyrolles, N° 2434875 Dépôt légal- Janvier 1997 Paris, 2ème tirage, N: d'éditeur : 5820, PP : 224 - 25
- [12] : **J. Baron** « Introduction à la durabilité des bétons » durabilité des béton Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-184-6, Paris 1992, PP : 32 - 40
- [13] : **P.C.Aitcin, J. Baron, J.P. Bournazel** «Viser une résistance à la compression » les bétons bases et données pour leur formulation, Editions Eyrolles, N: 2434875 Dépôt légal Janvier 1997 Paris, 2ème tirage, N: d'éditeur: 5820, pp : 277 -282
- [14] : **R. Bertrand, C. Piketty** « Les granulats pour béton » les bétons basses et données pour leur formulation, Editions Eyrolles, N: 2434875 Dépôt légal Janvier 1997 Paris, 2ème tirage, N: d'éditeur : 5820, PP: 65 - 130
- [15] : **L. Baali** « Perméabilité , porosité et résistance mécanique d'un béton à bases des matériaux locaux comme critères de durabilité » Mémoire de magister Guelma 2002
- [16] : **G. Dreux** « nouveau guide du béton et de ses constituants » 2ème trimestre 1981, Paris, PP : 159 - 200
- [17] : **J. Baron et R. Santeny** « Le béton hydraulique, connaissance pratique » Presse de L'ENPC, Paris 1995, PP : 513 - 544

- [18] : **Stanton (T.E)** « Expansion of concrete through réaction between cement and agregate » Trans. Am. Soc. Civil Eng- 107m N° 2129, PP : 50 – 133
- [19] : **E.G. Swenson** « Le béton en milieu sulfate» Article, Internet 1999 PP: 1- 8
- [20] : **M.Buil et J.P.Olluvrer** « Conception des bétons La structure poreuse » la durabilité des bétons, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-184-6, Paris 1992, PP : 57 – 94
- [21] : **B.Véronique , Bouny, A. Abdelkrim** « Matrices cimentaires : Analyse de la microstructure et propriété de transfert » PP : 150 – 174
- [22] : **J. Margat** « perméabilité , perméable » Article Janvier 1999 PP :1 – 25
- [23] : **Y. Billard** « Etudes expérimentales de béton : Etude de perméabilité » DEA , INSA , Iyon , France 1997
- [24] : **A. Desderises** « La durabilité et l'organisation de la qualité » La durabilité des bétons, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-184-6,paris 1992, PP : 44 - 50
- [25] : **S. Tirag** « structure de béton » Article 2002, Internet PP : 1 - 15
- [26] : **J. Baron, A. Pyssorche** « Microstructure et perméabilité aux gaze des bétons haut performances » Les bétons à haut performances, caractérisation, Durabilité, Application , PP : 271 - 290
- [27] : Loi Darcy Article , Internet, 2003
- [28] : **Pierre , Claude .Attcin** « Bétons haut performances » Edition Eyrolles, code éditeur : GO 1323 , PP : 440 - 500
- [29] : **D. Perraton, P. C. Aiton, D.Vezina** « perméability of silice fume concrete » Perméabilité of concrete Davide whiting, Arthur walitt editors, ACI publication, SP 108-9, Editorial production : Patricia J. Kost, N : 88-71000, USA 1988, PP : 63 - 88
- [30] : **D. Perraton, A. Carles, Gibergues P.C. Aiton** « La perméabilité vue par chercheur » Les bétons à haut performances , Caractérisation ,Durabilité, Application , Presses de l'école nationale des ponts et chaussées , PP: 289 - 370
- [31] : **Y. Geraud** « A quoi correspond l'unité de mesure darcy » Article, 23 Maris 2000, Internet.
- [32] : **O. Caussy, V. Baroghel, M. Mainguy** « Evaluation de la perméabilité à l'eau liquide des bétons à partir de leur perte de masse durant le séchage » PP : 270 - 28
- [33] : **M. Badawy, Hermann** « Le béton étanche » Article 19/12/2001, Internet, PP:1 - 20
- [34] : **B. Fournier** « Ciment et des bétons » Article 5/4/2001, Internet, PP: 1 - 15
- [35] : « Les systèmes aquifères » Article 2003, Internet, PP: 1 - 80
- [36] : « Notion d'hydraulique et d'étanchéité » Article 2002, Internet, PP: 1 - 10
- [37] : **R. Baron, Gagne et J. P. Ouivier** « Viser la durabilité » Le béton bases et données pour leur formulation, édition Eyrolles , N: 2434875 Dépôt légal Janvier 1997 Paris, 2eme tirage, N: d'éditeur : 5820, Page : 309
- [38] : **J.C. Saint, Arroman** « Granulats, Sols , Ciment et Béton » Edition CASTEILLA N: 15-0990 - Dépôt lègel : Mai 1995 Paris
- [39] : **Fiche technique de Granitex** , Alger 2003

- [40] : **P. Laplante, C. Catherine et D. Germain** « Démarche et conseils pratiques quant au choix des plastifiants et des superplastifiants » Le béton bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, N: 2434875 Dépôt légal Janvier 1997 Paris, 2eme tirage, N: d'éditeur : 5820, PP : 135 - 140
- [41] : **P.C. Aitcin et J. Baron**«Les adjuvants normalisés pour béton» PP : 89-130
- [42] : **Z. Boudaoud** « Etude des mortiers, micro-béton et béton de sable à bases de sable de Boussaâda » Thèse de magister, M'sila, 1993, PP :124 - 130
- [43] : **Recueil de normes français** AFNOR, Béton et ciment courant, Paris 1978
- [44] : **K. Khayat et J. P. Ollivier** « Viser une consistance adaptée aux moyens de mise en œuvre » Les bétons bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles, N: 2434875 Dépôt légal Janvier 1997 Paris, 2eme tirage, N: d'éditeur : 5820, PP : 199-208
- [45] : **G. Ihirralde** « La perméabilité et la durabilité vues par le maître d'ouvrage, intérêts des bétons à haut performances » Les bétons à haut performances, caractérisation , Durabilité, Applications, Page : 310
- [46] : **Dossier technique de la société algérienne ; Granitex** , BP.85 - 16270, Alger 2003
- [47] : **A.C.I.Fall** convention review journal Américain concrete institut 1974