République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Draia ADRAR

Faculté Des Sciences et de Technologie

Département Des Sciences et Technologie

Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master En Génie Civil

Option : Géotechnique et Matériaux des Structures

Présenté Par :

LAROUSSI Chahrazad

BAOTMAN Fatima

THEME

Etude des facteurs influençant la fissuration duau retrait plastique dans les structures en BA en zones arides, cas d'Adrar".

Soutenu Le 01/06/2016 devant un Membre du Jury composé de :

MrBenabdelfettah Mohammed **CC.**Univ-ADRAR.A.D Adrar**président**
Mr.BennacerIlyacinDr. Univ-ADRAR A.D Adrar**Examinateur**
Mr.HAMOUDAAbdelazizCC.Univ-ADRAR.A.D Adrar**Encadreur**

Année Universitaire 2015-2016

بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

Je dédie le fruit de ce travaille

*A mes très **chers parents**.*

A tous membre de ma famille

A mon binôme Fatima

*A **tous** mes amis*

Atous les étudient de génie civil

Chahrazad

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents mbirika et Ahmed

Ma mère qui a éclairé mon chemin et qui m'a encouragée et soutenue tout au long de mes études.

Mon père pour son soutien, ses sacrifices et sa générosité.

A mes frères Abdelkhalek,Salahedine, , Mehmmedlhbibe et fathallah car je pourrais jamais oublier la tendresse et l'amour dévoués par lesquels, ils m'ont entourés depuis mon enfance.

Mes chers sœurs Bouchra,Yamina,et Yosra.et a tous membre de ma famille

A mon binôme chahrazed

Atout mes amais

fatima

Remerciement

Nos remerciements et louanges vont primordialement à Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la santé et l'opportunité de mener ce travail à terme.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre promoteur de mémoire, Mr.HAMOUDA. Abdelazize

Qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail, pour sa franchise et sa gentillesse durant tout le long de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également à tous les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui nousdonnent un appui, pour l'achèvement de ce modeste travail.

Résumé

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de fissuration due au retrait plastique et les facteurs environnementaux.

Le béton est un matériau très important et la plus utilisé dans le demain de géniecivile, mais il est un matériau complexe et hétérogène, il existe plusieurs phénomènes qui influent sur son comportement. Parmi eux, le phénomène des fissurations.

Plusieurs facteurs influençant la détérioration du béton comme (le vent, la chaleur, l'humidité….) conduisent l'apparition des fissures résultant par le retraitplastique. Lesstructures en zones arides généralement sont exposées au phénomène des fissurationsen raison du climat chaud et le vent presque durant toute l'année.

L'objectif de ce travail consiste a implanté modèle dans le code des éléments finis **COMSOLMutiphysics** afin d'étudie'un' ou les facteurs influençant la fissuration due au retrait plastique dans les structures en BA en zones arides, cas d'Adrar" et nous prenons comme exemple wilaya d'Adrar.

L'échantillon modélisé est un échantillon réalisé en niveau de l'laboratoire de génie civil de l'université de Béchar pour une recherche expérimentale de fin d'étude de l'année 2008 afin de valider nos résultats.

Mots clés : béton, fissuration, retrait, retrait plastique,zones arides, COMSOLMultiphysics,

ملخص

إن هذا العمل يسجل في إطار دراسة التشققات الناجمة عن الانكماش المرن والعوامل الخارجة

الخرسانة هي أهم عنصر من عناصر البناء والأكثر استعمالا في العالم في ميدان الهندسة المدنية إلاأنها تعد مادة معقدة نظرا لسلوكها الغير مفهوم.

تتأثر الخرسانة بعدة عوامل ك (الحرارة – رياح – رطوبة) تؤدي الى حدوث تشققات ناتجة عن الانكماش في الحالة المرنة. تعد البنايات في المناطق الحارة الأكثر تعرضا لهاته التشققات نظرا لمناخ ها الحار، ورياحها القوية على مدار العام) تقريبا).

الهدف من هذا العمل هو إدراج نموذجفي برنامج حسابي يتمثل **COMSOLMutiphysics** حتى ندرس العوامل المسببة للتشققات في البنايات الخرسانية الناجمة عن الانكماش المرن في المناطق الجافة وأخذنا ولاية ادرار كعينة لدراستنا.

العينة المدروسة هي عينة أنجزت في مخبر الهندسة المدنية بجامعة بشار في أطار مشاريع نهاية الدراسة لسنة 2008، وهذا لأجل مطابقة النتائج المتحصل عليها.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، التشققات، الانكماش، الانكماش اللدن، المناطق الجافة، COMSOL Multiphysics

Abstract

This work is registered in the frame of the cracking study, which is resulted from plastic shrinkage.

Concrete is a very important material and the most used in the civil engineering field, but it is a complex and heterogeneous material, there are several phenomena that influence it behavior. Among them, the cracking phenomenon.

Several factors influencing the deterioration of concrete like (wind, heat, humidity ....) Lead the occurrence of cracks caused by plastic shrinkage. Generally, arid structures are exposed to the cracking phenomenon due to the hot climate and the wind almost all year.

The objective of this work is implanting the model in finite element code **COMSOLMutiphysics** for studying the influence of the cracking factors due to plastic shrinkage in the RC structures in arid area, and we take as an example Adrar region.

The modeled sample it was in the civil engineering laboratory of the University of Bechar for experimental research study at 2008 to validate our results

Keyswords:concrete, cracking, shrinkage, plastic shrinkage, arid areas, COMSOL Multiphysics,

Table de matière

Introduction générale

Introduction générale 1

Chapitre I

Composition et comportement du béton

I.1Introduction 4

I.2.Le béton 4

I.3.l'acier 9

1.4. Comportement du béton 12

1.5. Comportement des aciers: 16

1.6. Comportement de la composition de béton armé : 17

CHAPITRE II

FISSURATION ET RETAIT PLASTIQUE

II.1.Introduction 20

II.2.La Fissuration 20

II.2.4. Les Différentes causes de fissurations 22

II.2.6. Modélisation de la fissuration du béton : 24

II.3. Le Retrait du Béton 26

II.4.Conclusion : 38

Chapitre III

Transfert thermique dans les milieux arides

III.1.Introduction : 40

III.2.Les zones (milieu), arides 40

III.4.Conclusion : 53

Chapitre IV

Modélisation numériqueDu comportement du béton au jeune âge

IV.1 Introduction 55

IV.2 Modélisation numérique 55

IV.3 Hypothèse de modélisation 60

IV.4.Présentation du logiciel COMSOL : 61

IV.5.Résultat et discussions 67

IV.6 : conclusion 68

Conclusion générale

Conclusion générale 70

Références bibliographiques

Références bibliographiques 72

Liste de figure

Figure I. 1: Constituant de béton. [1] 4
Figure I. 2: Essai d'affaissement au cône d'Abrams[14] 7
Figure I. 3: Essai de traction par flexion [17]. 9
Figure I. 4: Le diagramme contrainte - déformation pour les hautes adhérences [18] 11
Figure I. 5: Courbe typique contraintes - déformations sous compression uniaxialeobtenue avec un essai asservi [20,21] 13
Figure I. 6: Courbes contraintes-déformations pour un béton 14
Figure I. 7: (a) Résistances du béton dans le cas de sol licitations biaxiales. (b) Comportement du éton sous sollicitations triaxiales[24]. 15
Figure I. 8: Résistance ultime du béton sous un état de contraintes triaxiales[25]. 16
Figure I. 9: Loi de comportement d'un acier naturel [26] 16
Figure I. 10: Loi de comportement d'un acier écroui [26] 17
Figure I. 11: Diagramme de calcul des aciers naturels d'après le BAEL [27] 17

Chapitre II

Figure II. 1: Age d'apparition de fissures à partir mise en place de béton [30] 21
Figure II. 2: les différentes causes de fissuration[31] 23
Figure II. 3: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage [30]. 23
Figure II. 4: Classification des fissures selon leur Morphologie [31] 24
Figure II. 5: Modes de sollicitation d'une fissure [33] 24
Figure II. 6: Influence de la dimension de granulat sur le retrait. [43] 28
Figure II. 7: évolution du retrait en fonction du rayon moyen des éléments considérés [43] 29
Figure II. 8: Fissuration superficielle provoque par le retrait [43] 29
Figure II. 9: Principaux types de retrait du béton.[47] 31
Figure II. 10: Schématisation des mécanismes du retrait plastique d'une pâte de ciment [49] 32
Figure II. 11: Influence de la température de l'air et du rapport E/C du mortier sur le retrait avant prise (vitesse de l'air : 20 km/h) [52]. 33
Figure II. 12: Abaque permettant le calcul de la vitesse d'évaporation de l'eau a la surface du béton en fonction de l'atmosphère (température, humidité relative, vitesse du vent) et la température du béton. [53] 35
Figure II. 13: Schématisation de la fissuration à l'état frais en termes de retrait et capacité de déformation. [55] 38

Chapitre III

Figure III. 1: Schéma du transfert de chaleur conductif[62] 44
Figure III. 2: Schématisation du mur monocouche.[63] 45
Figure III. 3: Schématisation du mur multicouches.[63] 46
Figure III. 4: Schéma du transfert de chaleur convectif[63] 46
Figure III. 5: Gradient thermique dans la couche laminaire[63] 47
Figure III. 6: Schéma du transfert de chaleur radiatif[62] 50
Figure III. 7: Facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires 52
Figure III. 8: Facteurs de forme de surfaces rectangulaires. [64] 53

Chapitre III

Figure IV. 1 : modélisation numérique de climat chaud [66] 60
Figure IV. 2: Schématique des différentes déformations dans la partie proche 60
Figure IV. 3:température d'une dalle en béton lors du passage 61
Figure IV. 4: Interface graphique de COMSOL Multiphysics. 62
Figure IV. 5: choix de la dimension d'espace 63

Liste de figure

Figure IV. 6: Choix des cracteristiques physique et type d'étude. 63
Figure IV. 7: Construction de la géométrie. 64
Figure IV. 8: Choix des matériaux à partir de navigateur de matériaux 64
Figure IV. 9: saisis des expressions et les valeurs de chaque paramètre 65
Figure IV. 10: Choix du type de maillage à utiliser et son taille. 66
Figure IV. 11: répésentation graphique des résultats. 66
Figure IV. 12: résultats expérimentaux du retrait total en fonction du temps 67

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1 : Les nuances d'acier rond lisse 10

Tableau I. 2: les nuances de acier haut adhérence 10

Chapitre III

Tableau III. 1 : classification des zones au monde suivant leur Indice d'aridité..... 42

Chapitre IV

Tableau IV. 1: coefficients $\alpha ds1$ et $\alpha ds2$ qui tient compte du type de ciment. 57

Tableau IV. 2: les données utilisées. 58

Liste desSymboles

E/C :L'eau sur ciment

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1: est la masse du récipient (kg).

m_2: est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3)

fc28. La résistance à la compression du béton

F : charge maximale, exprimée en Newtons ;

Ac : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

$\frac{dF}{dx}$: La variation de l'effort axial par unité longueur.

U : le périmètre de la barre.

Le coefficient de Poisson ν

ETP : évapotranspiration potentielle, calculée par la méthode de Penman, en tenant compte

de l'humidité atmosphérique, du rayonnement solaire et du vent.

P : précipitations totales en millimètres sur 1 mois,

T : température moyenne en °C sur le même mois

λ : Conductivité thermique du milieu (W m^{-1}°C^{-1})

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m^{-2} °C^{-1})

T_p : Température de surface du solide (°C)

$T_{\square}$: Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

Liste desSymboles

U_m : vitesse moyenne du fluide (W m^{-2}K),

P : masse volumique du fluide (Kg m^{-3}),

Cp : chaleur spécifique du fluide (J $Kg^{-1}K^{-1}$),

µviscosité dynamique du fluide (Pa s),

σ : Constante de Stefan (5,67.10^{-8}W m^{-2} K^{-4})

ε_p : Facteur d'émission de la surface

$F_{1,2}$: facteur de forme entre les surfaces S1etS2.

Φ: flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfacesS1etS2(W).

Introduction générale

Introduction générale

Depuis le début du 20ième siècle. Le béton s'est imposé comme matériau de base dans de nombreuses constructions (bâtiment, ouvrage d'air, etc.). Dès lors, différents phénomènes mal appréhendés initialement, ont conduit à la recherche systémique des mécanismes élémentaires et de leur interaction. [03]

Le béton, parmi les matériaux quasi-fragiles a un comportement complexe difficile à représenter par une seule loi macroscopique homogène. Cette difficulté est liée notamment à la forte hétérogénéité du béton qui est un matériau composite constitué de granulats de différentes tailles, d'une matrice cimentaire et de cavités. A cela s'ajoute des micros fissures distribuèrent de manger aléatoire et présent même à l'état dit vierge, c'est-à-dire avant toute sollicitation externe [2]. Selon la nature et l'intensité de la sollicitation, le béton se déforme de manger complexe en faisant intervenir une ou plusieurs combinaisons de mécanismes élémentaires : élasticité, glissement, frottement,endommagement, fissuration.

La fissuration, qui est un phénomène hasardeux, peut être causée par des facteurs physiques tels que le retrait et les variations de température ou par des facteurs mécaniques directement liés au chargement.

Généralement La fissuration du matériau béton constitue une source de pénétration d'agents agressifs sous formes liquide ou gazeuse, nuisibles au matériau. Ces agents détériorent le béton et entraînent la corrosion des aciers de renforcement noyés à l'intérieur. Dans ce sens, la fissuration affecte sérieusement la durabilité du béton et donc de la structure faite de ce matériau. Donc les fissures constituent des points de faiblesse potentielle qui affectent négativement la durabilité des constructions à long terme et compromettent ainsi les chances d'un développement durable du cadre bâti.

Le retrait en phase plastique du béton résulte d'un séchage rapide du mélange non encore durci, principalement en surface, sous l'effet du vent ou de l'ensoleillement ou encore sous l'effet de succion d'une couche inférieure sèche. La différence de température entre l'air et le béton joue également un rôle important : il est évident que le retrait plastique n'est pas uniquement à craindre en période de forte chaleur mais aussi en hiver. Cette dessiccation provoque une diminution de volume considérable (0,2 à 5 mm/m : retrait libre. pouvant être jusqu'à 10 fois supérieure au retrait du béton en phase de durcissement (retrait hydraulique).

La fissuration due au retrait plastique est la manifestation visible d'une dessiccation prématurée du béton. Les effets non visibles sont bien plus graves encore pour la qualité du béton. En effet, un défaut de protection contre la dessiccation entraîne :

- une porosité plus forte du béton de peau et donc une réduction des performances du béton (e.a. moins bonne résistance au gel en présence de sels de déverglaça gé).

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre :est consacré à l'étude la composition de béton et le comportement de matériau béton.

Le deuxième chapitre :est consacré à l'étude la fissuration due au retrait plastique et lien entre le retrait et la fissuration

Le troisième chapitre : est consacré à l'étude le transfert thermique dans les zones aride par exemple Adrar.

Le quatrième chapitre :est consacré à l'étude Modélisation numérique du comportement du béton au jeune âge.

Chapitre I

Composition et comportement du béton

I.1Introduction

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent (homogènes entre eux), soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton » [1]

I.2.Le béton

I.2.1.Définition :

On appelle bétons les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de granulats avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants, le granulat est composé de sables et de gravillons[2].

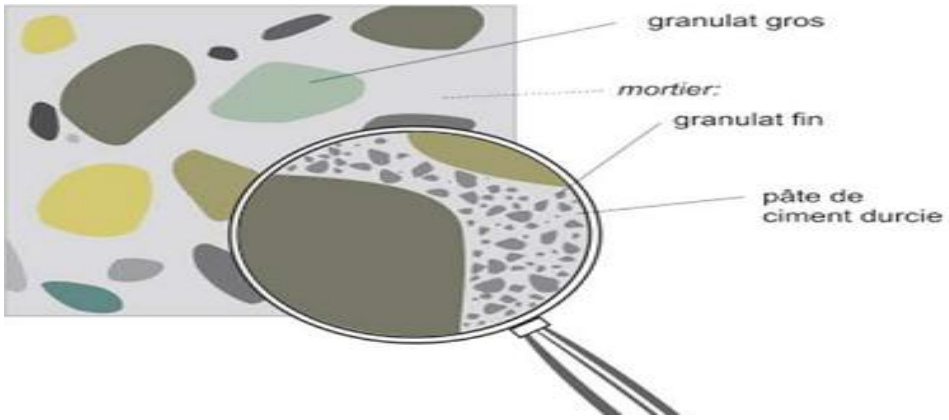


Figure I. 1: Constituant de béton. [1]

I.2.2. Compositions de béton :

I-2.2.1. Les ciments :

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété déshydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. [3]

Le ciment c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients. [4]

I.2.2.2. Les granulats :

La norme expérimentale XP18-545 et la norme EN 12620 définissent les caractéristiques des granulats pouvant être utilisé pour la confection des bétons hydrauliques (béton dont le liant est un liant hydraulique). [3]

a. Classification des granulats [5] **:**

On peut classer les granulats en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à maille carrées dans une série normalisée, qui nous peut aider à distingue plusieurs familles de granulats.

- Fillers 0/D où D ≤ 2 mm et contenant au moins 70% de passant à 0.063mm.
- Sablons 0/D où D≤ 1 mm et contenant moins de 10% de passant à 0.063mm.
- Sable 0/D où D≤ 6.3 mm sauf les sables pour béton où D≤ 4mm.
- Graves 0/D où D>6.3 mm.
- Gravillons d/D où d ≥ 1 mm e t D≤31.5 mm.
- Cailloux d/D où d≥ 20 mm et D≤125 mm.

b. Les types des granulats

On peut citer plusieurs types en fonction de plusieurs critères concernant le granulat lui-même.

- En fonction de leur masse volumique réelle :
  - Granulats légers, granulats courants et granulats lourds.
- En fonction de leur origine :
  - Les granulats naturels et Les granulats artificiels.
- En fonction de la forme de leurs grains :
  - Les granulats concassés et les granulats roulés.

c. Le rôle de granulats :

ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C’est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.

I.2.2.3.Eau de gâchage [6.7.8] :

Le "gâchage" est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage.

L’eau de gâchage est la quantité totale d’eau que l’on utilise pour faire le béton.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) du mélange.

Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles qu'huiles, graisses, Sucres...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...).

L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir.

Il est conseillé d'éviter toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes.

- **Le rôle de l'eau :** [6.7.8]

C'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.

I.2.2.4. Adjuvants [6.7.8]

Les adjuvants sont des matériaux actifs ajoutés en très petite quantité (souvent liquide) dans le butd'influencer certaines propriétés par une action chimique ou physique. Ils ne doivent pas modifier défavorablement la durabilité du béton ou toute autre propriété du béton armé.

Il faut également veiller à la compatibilité des adjuvants et additifs entre eux. Cela se fait à l'aide de tables.

a) Les différents types des adjuvants : CT-B51[9]

> Les plastifiants.

> Les plastifiants réducteurs d'eau et les supers plastifiants,

> Les accélérateurs de prise et de durcissement et les retardateurs de prise

> Les entraîneurs d'air et Les hydrofuges de masse

> Les rétenteurs d'eau

I.2.3. Propriétés du béton

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

I.2.3.1. Propriétés du béton frais

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferraillage[10]. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son

homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencé e par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau. [11]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [12,13]

- **Affaissement au cône d'Abrams**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance. [14]

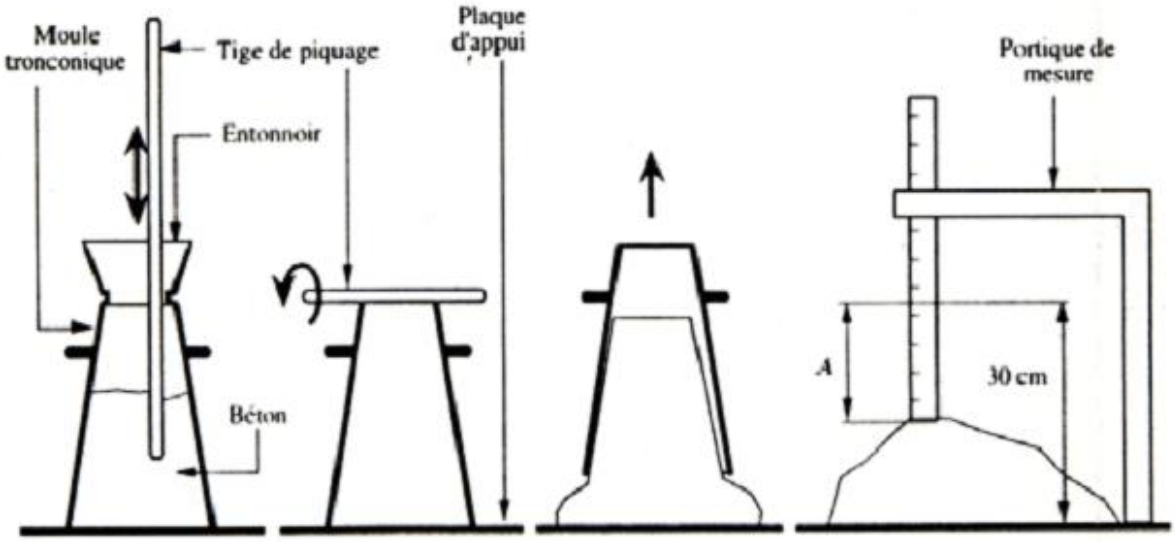


Figure I. 2: Essai d'affaissement au cône d'Abrams[14]

La masse volumique du béton frais

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la

masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = (m_2 - m_1)/V \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

D : est la masse volumique du béton frais (kg/m^3).

m_1: est la masse du récipient (kg).

m_2: est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3)

La masse volumique du béton est arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches.

I.2.3.2. Propriétés du béton durci

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

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

➢ **Résistance à la compression** [15]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, fc28. La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

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

$$f_c = \frac{F}{A_c} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

Où :

- fc : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;
- F : charge maximale, exprimée en Newtons ;
- Ac : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

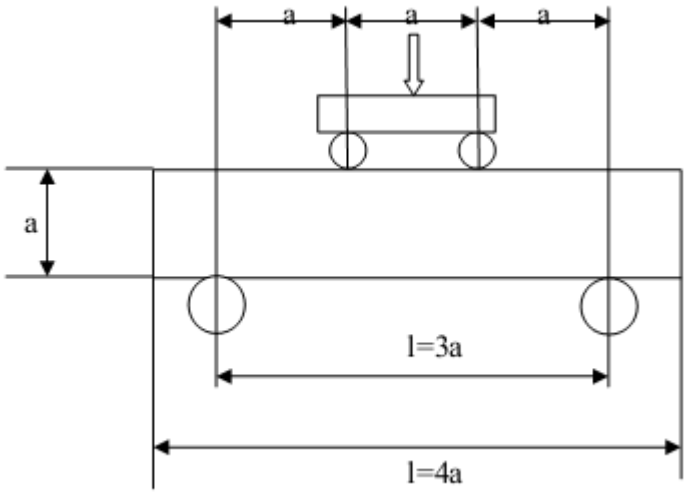
La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm^2) près.

- **Résistance à la traction par flexion** [16]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

[17] Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428) , munie d'un banc de flexion à 4 points.

Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : $M = P\times a / 2$ et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj}= 6M / a^3$, la relation suivante permet de calculer la résistance :



$f_{tj}= 1.8P/ a^2$

Figure I. 3: Essai de traction par flexion [17].

I.3.l'acier [18]

I.3.1.Généralité :

C'est l'alliage fer et carbone. On distingue des aciers doux, des aciers mi-durs et des aciers durs.

Acier doux → % carbone 0,15 - 0,25 %

Acier mi dur et dur → % carbone 0,25 - 0,45 %

I.3.2.Différent types d'aciers :

- Acier rond lisse.

- Acier haute adhérence.

- Treillis soudés.

a) **Acier rond lisse** : l'acier se forme de barre, en principe d'une longueur de 12 m et une section circulaire et ils ont une surface qui est lisse. Les diamètres généralement utilisés sont les suivants :

6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40mm.

Les ronds lisses sont utilisés en deux nuances (catégories).

Qui sont notées par : FeE220 ou FeE215 fe = 215 Mpa.

FeE240 ou FeE235 fe = 235 Mpa.

Nuance	Fe (MPa)	ε	F_r
FeE215	215	1,075	330 - 490
FeE235	235	1,175	410 - 490

Tableau I. 1: Les nuances d'acier rond lisse[18]

b) **Acier haute adhérence** : les barres à haute adhérence ont une section sensiblement circulaire qui présente des nervures d'une hauteur de 0,5 à 3 mm (la hauteur est suivant le diamètre) pour améliorer l'adhérence entre l'acier et le béton. Les diamètres ou les barres à haute adhérence utilisés sont : 6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 ; 25 ; 25 ; 32 ; 40 mm.les hautes adhérences se divisent en deux nuances :

FeE400 → Fe = 400 MPa. FeE500 → Fe = 500 MPa.

Nuance	Fe (MPa)	ε	Fr
FeE400	400	2	480
FeE500	500	2,5	550

Tableau I. 2: les nuances de acier haut adhérence [18]

Le diagrammecontrainte - déformation pour les hautes adhérences sont les suivant :

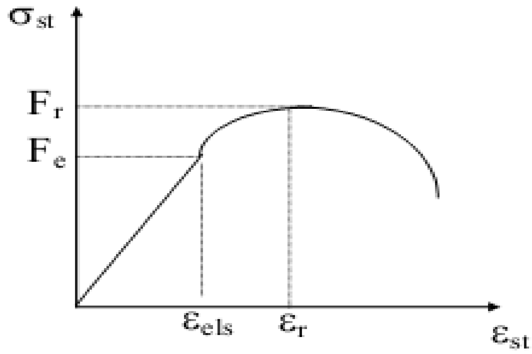


Figure I. 4: Le diagramme contrainte - déformation pour les hautes adhérences [18]

c) **Les treillis soudés** : certain élément dans le B.A tel que les dalles, les murs voile sont armé suivant deux directions perpendiculaire. On utilise pour cela les treillis soudés qui sont constitués par des fils se croisant et qui seront soudés aux point du croisement.

Les treillis soudés sont composés de fils porteurs de diamètre plus important disposés dans le sens des efforts principaux et de fils de répartition de diamètre plus faible, disposés dans le sens perpendiculaire.

Les diamètres couramment utilisés sont les suivants :

3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 mm.

Les espacements entre fils porteurs : 75 - 100 - 125 - 150 - 200 mm.

Les espacements entre fils de répartition : 100 - 150 - 200 - 250 -300 mm.

I.3.3.L'adhérences entre le béton et l'acier : [18]

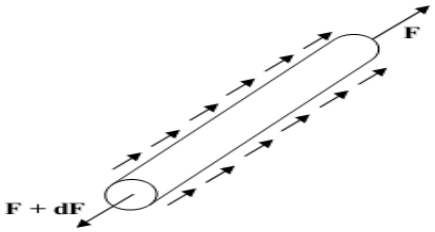
Dans les constructions du béton armé les efforts sont appliqués au béton et non pas aux aciers ceux-ci seront sollicité s grâce à laissons avec le béton. La transmission des efforts à lieu le long de la surface latérale des barres grâce au phénomène d'adhérence.

L'adhérence désigne l'action des forces de liaisons qui s'opposent au glissement des barres suivant l'axe par rapport au béton qui l'entoure. Ces forces de liaisons sont mesurées par la contrainte d'adhérence qui est définie comme étant le rapport entre la variation par unité de longueur de l'effort axial équilibré par la barre et le périmètre de cette barre.

$$\tau = \frac{dF}{dx} . \frac{1}{U} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots .3$$

$\frac{dF}{dx}$: La variation de l'effort axial par unité longueur.

U : le périmètre de la barre.



I.4. Comportement du béton

I.4.1 Introduction

Le béton est un matériau composite. Il se constitue d'un mélange d'agrégats, de ciment, de sable et d'eau. Son comporte ment physique est complexe. Il est influencé par sa composition ; à savoir : le rapport eau/ciment, rapport ciment /agrégat, la forme et la dimension des agrégats et le type de ciment. C'est un matériau fragile. Son comportement contraintes - déformations est affecté par le développement de microfissures dans son corpsavant et après application de charges extérieures. Initialement les fissures sont causées par la ségrégation, le retrait, ou l'expansion thermique dans la pâte de ciment. La progression de ces fissures après application des charges contribue au comportement non linéaire du béton. [19]

I.4.2. Sollicitations uniaxiales

Zone de compression

La courbe typique contrainte - déformation pour un béton à la compression uniaxiale, figure I.5, présente un comportement linéaire élastique jusqu'à environ 30% de la résistance maximale à la compression, fc. Au-delà de la valeur limite d'élasticité, la courbe enregistre une augmentation graduelle en courbure évaluée autour de 75 à 90% de la résistance ultime à la compression, fc. Au-delà du pic, la courbe présente une partie descendante dans le cas d'un essai asservi (déformation contrôlée) jusqu'à la rupture par écrasement à une déformation εultime, u. Pour une contrainte avoisinant 30% de fc, les fissures avant chargement restent presque inchangées. Pour une contrainte entre 30 et 50% de fc, les fissures commencent à s'étendre à cause des concentrations des contraintes aux pointes de celles-ci. Pour une contrainte entre 50 et 70% de fc, quelques nouvelles fissures apparaissent dans le mortier et d'autres fissures s'étendent lentement. Si la charge reste constante, les fissures se propagent à une vitesse décroissante jusqu'à ce quelles atteignent leurs longueurs finales. Pour des contraintes élevées, de larges fissures atteignent les dimensions critiques causant éventuellement la rupture.

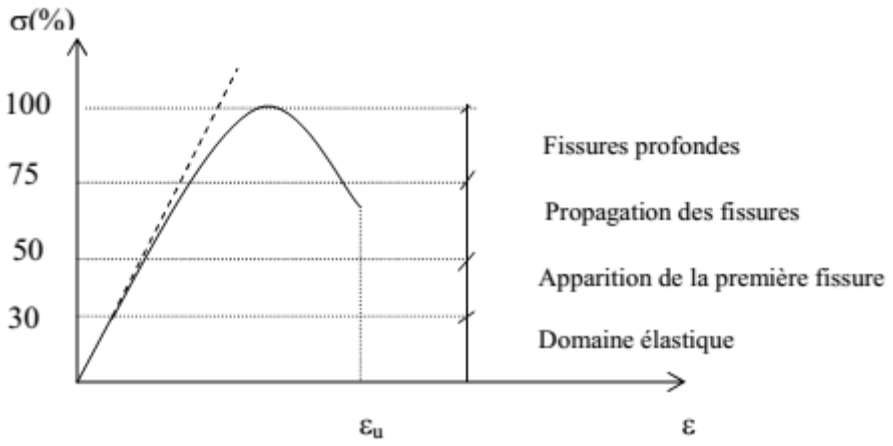


Figure I. 5: Courbe typique contraintes - déformations sous compression uniaxialeobtenue avec un essai asservi [20,21]

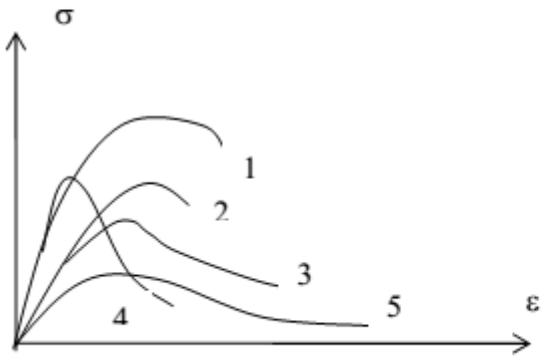
Le module d'élasticité a été fixé par les règles du B.A.E.L (1983) et il est évalué par la formule suivante :

$$E = 11000\sqrt[3]{f_c} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.4$$

Le coefficient de Poissonν,du béton varie entre 0.15 et 0.22. Sous chargement uniaxial, le coefficient de Poisson reste constant jusqu'à 80% de fc. Au-delà de cette valeur, le coefficient de Poisson augmente [20,21].

Zone de tension

La figure I.6 représente l'ensemble des courbes contraintes - déformations du béton avec différents agrégats sous tension uniaxiale[20,21]. Pratiquement toutes les courbes sont linéaires jusqu'à un niveau élevé de contraintes. Jusqu'à un niveau de contraintes ne dépassant pas 60% de la résistance maximale à la traction, ft, l'effet des microfissures sur l'allure de la courbe contraintes - déformations est négligeable. Ceci se traduit par un module de Young constant. Ce niveau de contraintes correspond à la limite élastique en traction. Au-delà de cette limite, des bandes de microfissures apparaissent et donnent naissance au comportement non linéaire. Le rapport ft / fc se situe généralement entre 0.05 et 0.10.



Courbe	Agrégat	
	Type	Dim, pouce
1	Granit	$\frac{3}{8}-\frac{3}{16}$
2	Gravier	$\frac{3}{8}-\frac{3}{16}$
3	Gravier	$\frac{3}{16}-BS.7$
4	Gravier	$\frac{3}{8}-\frac{3}{16}$
5	Gravier	$\frac{3}{8}-\frac{3}{16}$

Figure I. 6: Courbes contraintes-déformations pour un béton sous traction uniaxialeavec différents types d'agrégats [20,21]

I.4.3. Sollicitations biaxiales

Dans le cas de la bi-compression, on constate une augmentation de la résistance par rapport à la résistance uniaxiale (Figure I-7a). Ainsi, la résistance devient maximale pour un rapport des contraintes égal à 0,5. Le gain de résistance pour des contraintes biaxiales égales est d'environ 25 %. De plus, on constate une augmentation de la ductilité du matériau.

Dans le cas de contraintes de compression – traction (Figure I-7a, [22], on observe une diminution progressive (à peu près linéaire) de la résistance ultime en compression, lorsque la contrainte de traction augmente (Figure I-7a). De plus, le comportement du matériau devient de plus en plus fragile.

Dans le cas d'un chargement de bi-traction, on n'observe pas de différence appréciable entre la résistance en traction biaxiale et la résistance en traction uniaxia le (Figure I-7a). On constate alors que la surface de rupture est orthogonale à la direction de la contrainte principale maximale [23]. Ce comporte ment suggère que les fissures orthogonales, induites par des chargements de traction, n'interagissent pas significativement.

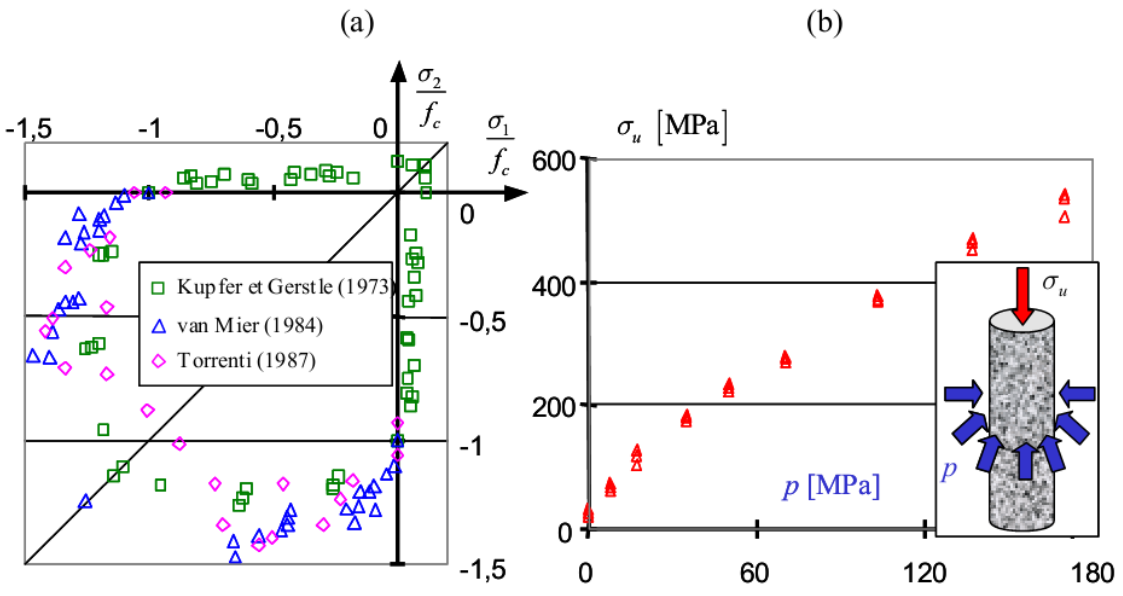


Figure I. 7: (a) Résistances du béton dans le cas de sol licitations biaxiales. (b) Comportement du éton sous sollicitations triaxiales[24].

I.4.4. Sollicitations triaxiales

Sous un chargement hydrostatique, la rupture du matériau est impossible. La relation contrainte-déformation est néanmoins non-linéaire. Les tests triaxiaux mettent en évidence une contrainte de rupture plus élevée, si le confinement initial est important Figure I-7b[23,24]. Comme dans le cas des sols et des autres matériaux granulaires pulvérulents, la teneur en eau affecte considérablement la surface de rupture du béton sous ces sollicitations[25]. Avant la rupture, le volume du matériau augmente. La ductilité augmente par ailleurs, ce qui est une caractéristique commune aux matériaux quasi-fragiles. De plus, le comportement est fortement dépendant de la pression hydrostatique, contrairement aux matériaux métalliques. De même, un phénomène intéressant et inhabituel à de nombreux géo-matériaux, appelé « shearenhanced compaction », est observé : la présence de contraintes dévia-toriques induit une augmentation de volume.

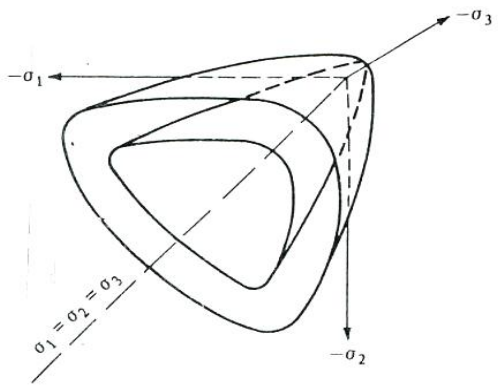


Figure I. 8: Résistance ultime du béton sous un état de contraintes triaxiales[25].

I.5. Comportement des aciers:

Le comportement de l'acier est semblable en traction et en compression, contrairement au béton. La loi contrainte-déformation dépend de la nature de l'acier.

Généralement deux types d'aciers sont utilisés pour le renforcement du béton; l'acier naturel et l'acier écroui.

Pour un acier naturel, la courbe contrainte-déformation a l'allure de la figure (I.9). Elle est caractérisée par un palier de ductilité après l'atteinte de la limite élastique [26].

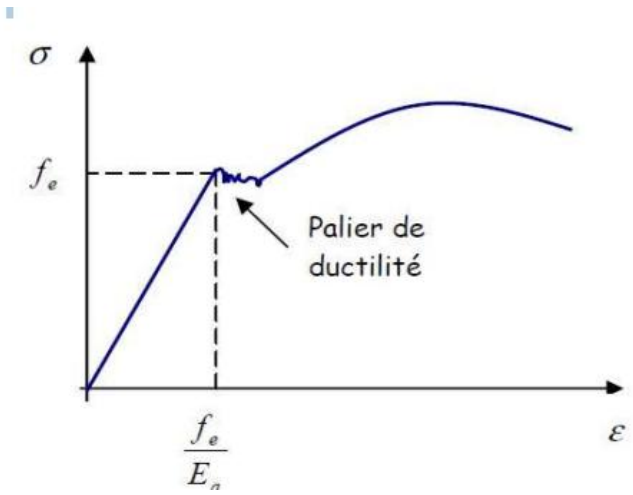


Figure I. 9: Loi de comportement d'un acier naturel [26]

La figure I.10 présente la courbe contrainte-déformation pour un acier écroui. A noter que l'action d'écrouissage permet d'augmenter la limite d'élasticité en faisant disparaitre le

palier de ductilité et diminuer l'allongement à la rupture. La limite élastique correspond à une déformation de l'ordre de 2‰.

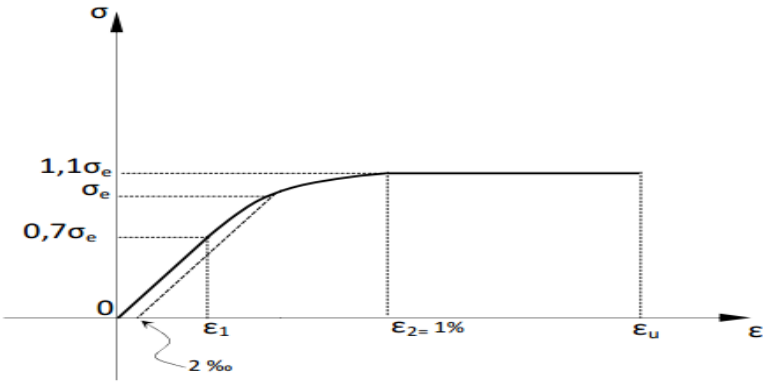


Figure I. 10: Loi de comportement d'un acier écroui [26]

Par contre les règlements adoptent généralement un parfait. Exemple le règlement BAEL qui fixe adopte généralement un comportement des aciersqui fixe Les déformations ultimes à 10‰ [27].Le règlements es aciers élasto-plastique à 10‰ [27].

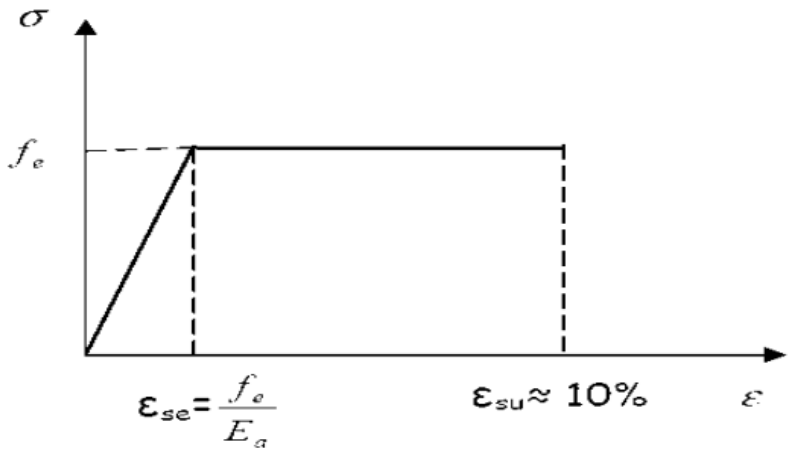


Figure I. 11: Diagramme de calcul des aciers naturels d'après le BAEL [27]

I.6. Comportement de la composition de béton armé :

On vient de voir que le béton présente un comportement fragile sous des contraintes de traction avec des résistances très faibles de l'ordre de 1/10 de sa résistance à la compression.

Pour remédier à cet inconvénient, on introduit des armatures afin de reprendre les efforts de traction dans le matériau béton. Si la résistance à la traction du béton dépasse la valeur limite de critère, il se forme une où plusieurs fissures. Après formation d'une fissure, le béton ne transmet pas d'efforts dans une direction normale à la fissure. A cause de la présence d'armatures dans le béton qui traversent la fissure et de la rugosité de la surface de la fissure, des contraintes substantielles de cisaillement peuvent se développer. La rugosité de la surface de la fissure

conduit au transfert de cisaillement par engrenage des agrégats. Cela est plus effectif lorsquel'acier traverse la fissure parce qu'il a tendance à s'opposer au mouvement relatif des deux lèvres de la fissure.

I.7. Conclusion :

Propriétés du béton caractérisé par la plupart des autres matériaux, ils prennent la forme d'une base solide et avec le temps progressivement, Le béton est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Mais Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

Pour surmonter ce problème, mettre le fer qui est résistant aux forces d'excellents forces de traction et de compression Alors que les brochettes de fer longues peuvent supporter toutes les forces de traction du béton ne supporte pas toutes les forces de pression si les secteurs plomb maigre à la possibilité de flambage de l'élément en béton.

CHAPITRE II

FISSURATION ET RETAIT PLASTIQUE

II.1.Introduction

Les fissures de retrait plastique apparaissent à la surface du béton frais, peu après la mise en place ou durant la finition. Le risque est particulièrement grand dans le cas de surfaces planes horizontales. Le développement de ces fissures peut être minimisé par l'application de mesures adéquates avant et durant la construction.

Généralement la modélisation se fait par des logiciels basés sur les éléments finis. La principale difficulté de la modélisation de la fissuration du béton par éléments finis est engendrée par la nature même de la fissure. Plusieurs chercheurs ont essayé de mobiliser les fissures dans le matériau béton, mais les travaux pionniers en matière de modélisation de fissuration ont été ceux de Ngo & Scor de lis en 1967et ceux de Rachid en 1968 [32]. Bien que ces deux modèles aient évolué et été améliorés au cours des dernières années, d'autres modèles, de nature différente, ont été également développés (modèles basés sur la théorie de la plasticité, de la viscoplasticité, sur la mécanique de l'endommagement continu, modèle micro plan…).

II.2.La Fissuration

1I.2.1 Définition

En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure (hypothèse de Griffith 1920). La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanente ou des surcharges ou lors du déplacement des charges.

II.2.2 Mécanismes de Formation des Fissures[28 ,29]

A) Fissuration gouvernée par des contraintes de traction :

Il y a deux étapes à distinguer :

1) Une microfissuration se développe au sein du matériau.

2) Les microfissures se connectent pour créer une ou plusieurs macro-fissures, c'est une phase de localisation de la fissuration ;

3) Les macro-fissures se propagent, conduisant à la rupture du volume du matériau considéré.

B) **Fissuration gouvernée par des contraintes de compression**

On a trois étapes encore à distinguer :

1) Les microfissures sont créées aléatoirement au sein de l'éprouvette. ce caractère aléatoire est lié à l'hétérogénéité du matériau et à l'existence de points durs (les granulats) , l'orientation des fissures, quant à elle, est gouvernée par la différence de raideur de la pâte de ciment et des granulats ;

2) Les microfissures se rejoignent pour former des macro-fissures, toujours orientées parallèlement à la direction de la sollicitation, délimitant ainsi des « colonnettes ».

3) Des fissures obliques apparaissent à l'intérieur des « colonnettes ». Ces fissures obliques se rejoignent pour former un plan de glissement également oblique à l'échelle de l'éprouvette.

II.2.3. Les Caractéristiques des fissures

Les caractéristiques des fissures se résument en

- L'âge et l'évolution : il nous permette de connaitre la cause de génération mais d'une façon approximative ; La figure suivante montre l'âge de l'apparition des fissures.

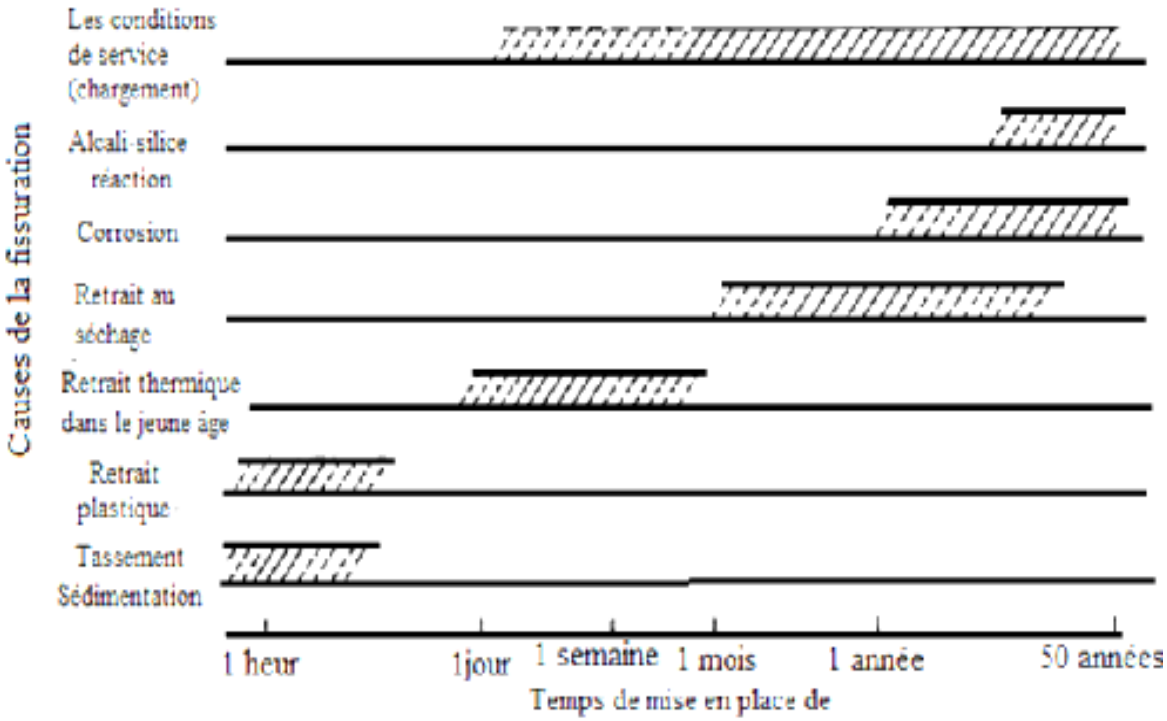


Figure II. 1: Age d'apparition de fissures à partir mise en place de béton [30]

- **La morphologie des fissures**

Le tracé : Le tracé d'une fissure se définit par son orientation et sa longueur mesurable sur l'ouvrage. L'orientation est souvent révélatrice de son origine, lorsque la fissure est continue sur l'axe de l'orientation, elle est dite fissure franche, lorsque l'axe d'orientation est défini par plusieurs fissures successives, elle est dite discontinue.

L'ouverture : On définit l'ouverture d'une fissure par l'ouverture maximale relevée sur le tracé.

La profondeur : on distingue

Une fissure traversant : lorsqu'elle est visible sur deux faces de la structure.

Une fissure aveugle : si elle est supposée traversant mais bouchée sur la face non accessible de la structure (exemple fissure d'un mur de soutènement) elle est souvent d'ouverture importante.

Une fissure dite de surface : si l'ouverture est maximale en surface et s'annule au sein du matériau.

- **L'activité** : L'activité caractérise la variation dimensionnellede l'ouverture de la fissure dans le temps.

Une fissure est dite morte : si l'ouverture reste constante quelles que soient les variations de températures ou de charges.

Une fissure active : si l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs tels que température, charges, vibrations, hygrométrie …etc. [30]

L'ouverture moyenne d'une fissure active est la demi-somme de l'ouverture min et max.

II.2.4. Les Différentes causes de fissurations

Plusieurs phénomènes et mécanismes peuvent être à l'origine de l'apparition des fissures, un ou une combinaison de plusieurs mécanismes peuvent être en cause, agissant simultanément ou séquentiellement. un aperçu des principales causes de fissuration est présenté à la Figure II.2 ainsi que leur position dans l'ouvrage Figure II.2

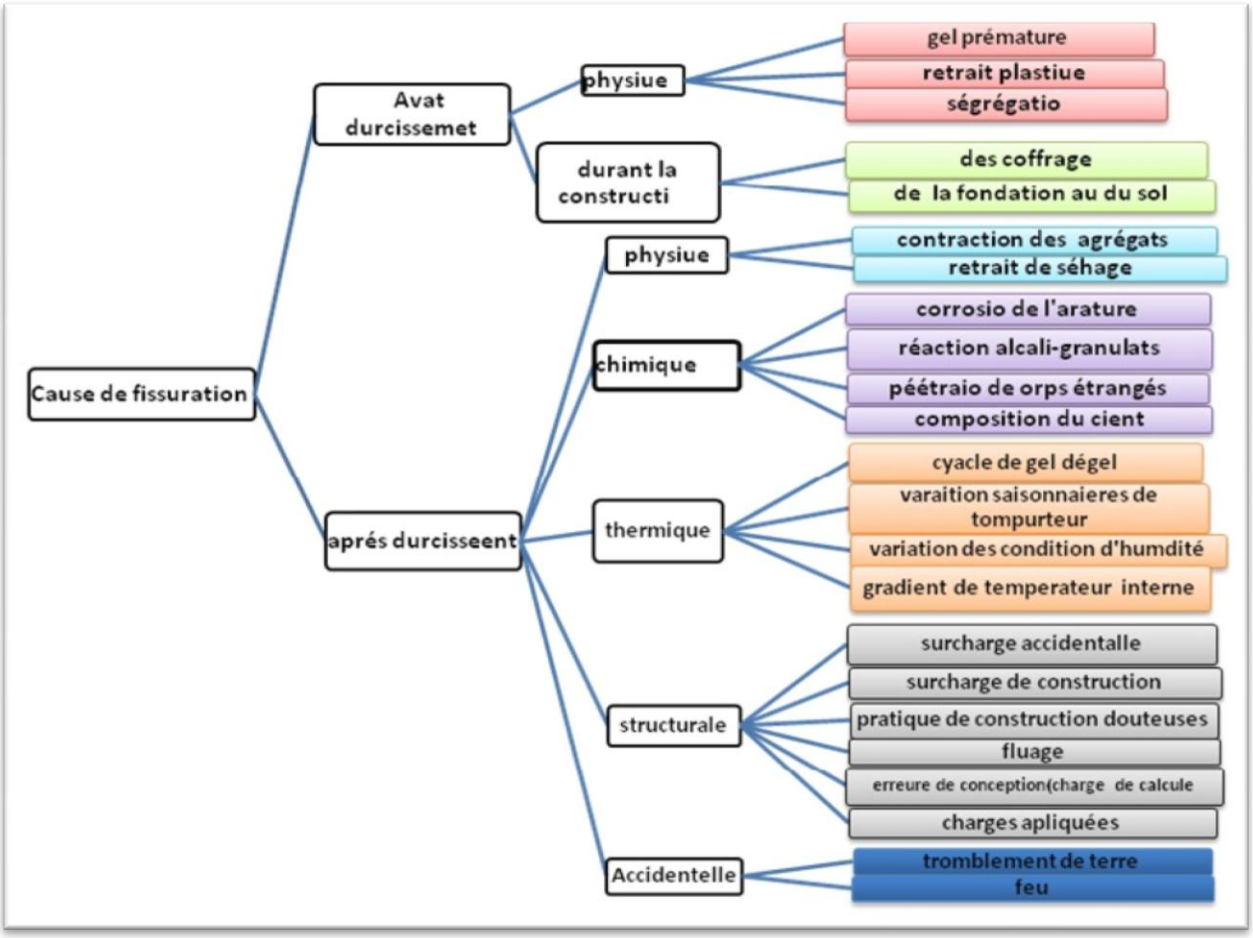


Figure II. 2: les différentes causes de fissuration[31]

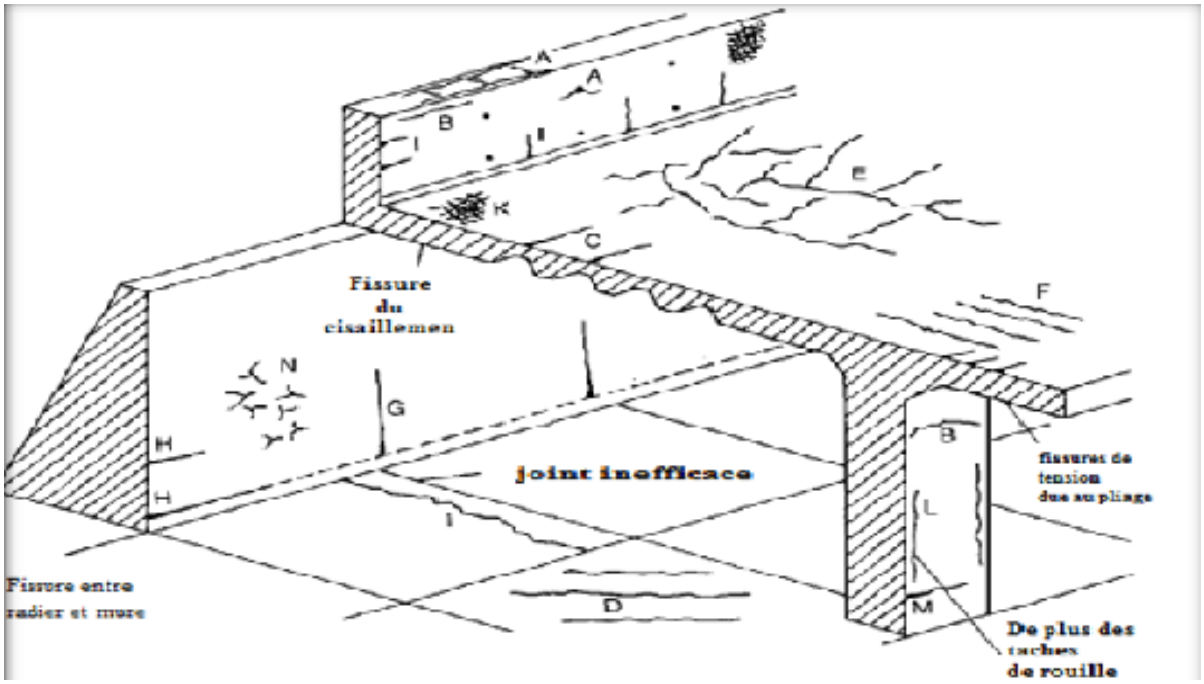


Figure II. 3: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage [30].

II.2.5. Classification des Fissures selon leur Morphologie :

Il est possible de classer les fissures selon leur morphologie, ce type de classement fait appel uniquement aux apparences et pour qu'il soit efficace, les observations doivent être faites de la manière la plus objective et la plus neutre possible.

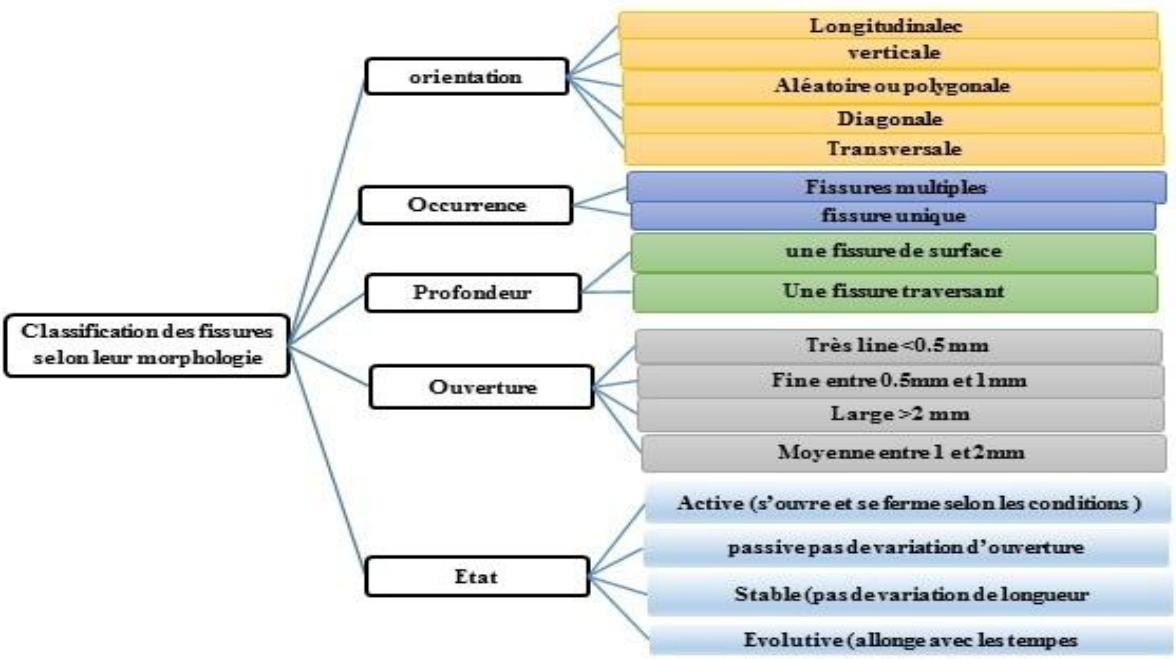


Figure II. 4: Classification des fissures selon leur Morphologie [31]

II.2.6. Modélisation de la fissuration du béton :

II.2.6.1. Critère d'amorçage et de propagation de fissure

Trois modes de sollicitation susceptibles d'ouvrir une fissure sont distingués :

le mode I (mode d'ouverture) où les contraintes normales ouvrent la fissure, les modes II (mode de cisaillement plan) et III (mode de cisaillement Antipan) où ce sont les contraintes tangentielles qui ouvrent la fissure (figure II.5).

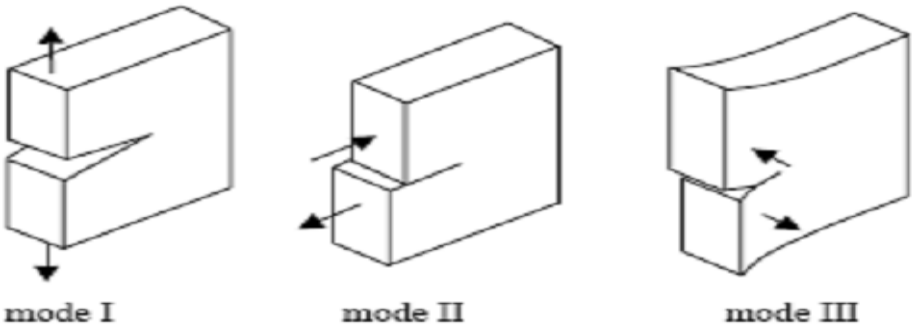


Figure II. 5: Modes de sollicitation d'une fissure [33]

Les critères principalement utilisés pour la modélisation de la fissuration du béton sont développés à partir des deux constats suivants :

- **la non linéarité** de la partie croissante de la courbe uni axiale liant les contraintes aux déformations de traction peut être négligée ;
- **la principale caractéristique du comportement du béton** est probablement sa faible résistance limite en traction qui provoque une fissuration en tension à des niveaux de contrainte faibles comparés à la résistance limite en compression.

Dans la majorité des modèles de fissuration, le béton non fissuré est considéré comme linéaire élastique isotrope en tension et un simple critère de Rankine est utilisé pour détecter l'apparition d'une fissure. L'amorçage d'une fissure s'effectue dans ce cas uniquement en mode I. Ces hypothèses sont justifiées en l'absence de compression latérale significative [33].Pratiquement, les contraintes principales et leurs directions sont calculées en un point d'intégration [34, 35,36].

Des critères d'amorçage de fissureen mode I ont été proposés par Shah et al, légèrement différent de celui de Rankine. En effet, ils prennent en compte la non linéarité de la partie croissante de la courbe de traction uni-axiale du béton ainsi que la non proportionnalité, due à l'effet de Poisson, de la contrainte principale maximale et de la déformation correspondante ε_{nn} qui sont utilisées comme indicateurs dans les analyses.

Le critère de Rankine permet l'amorçage d'une fissure uniquement en mode I. Bien que l'utilisation de ce critère semble justifiée et que de ce fait celui-ci soit abondamment employé dans des modèles de fissuration, il peut paraître restrictif. [37, 38].

1I.2.6.3. Modèle de la fissure discrète

Le concept de la fissuration discrète se distingue de tous les autres modèles de fissuration et d'endommagement du béton car, dans cette approche, une discontinuité Géométrique réelle est introduite dans le maillage d'éléments finis à l'endroit de la fissure.

Cette approche a été initialement développée par Ngo & Scor de lis [39] qui ont modélisé la fissure en séparant par dédoublage des nœuds deux éléments ayant un côté en commun. On peut noter également que l'approche de la fissure discrète ne semble pas avoir été développée en trois dimensions.

II.2.6.4. Modèle de la fissure diffusée

Le concept de la fissure diffuse (smeared crack approach)

(N'introduit pas de discontinuité dans le maillage. Le béton est considéré comme un milieu continu et la fissuration est introduite en modifiant les propriétés du matériau à l'endroit de la fissure.

Cette approche, développée initialement par Rashid [40], permet donc une description de l'endommagement du béton dû à la fissuration, les axes d'orthotrope étant alignés avec la direction de la fissure.

Comme les contraintes et les déformations sont évaluées aux points d'intégration, l'altération des propriétés du matériau affecte la région entourant ces points et diffuse les effets de la fissure dans cette région. Cette procédure est très attractive, non seulement parce qu'elle préserve la topologie originale du maillage d'éléments finis pendant toute l'analyse, mais aussi parce que seule la relation entre les contraintes et les déformations doit être actualisé âpre s l'apparition d'une fissure.

Négliger le transfert des contraintes tangentielles à travers la fissure est une déficience du concept de la fissuration diffuse. Non seulement une telle hypothèse peut engendrer des difficultés d'ordre numérique, mais l'expérience a montré que des contraintes tangentielles peuvent apparaître dans le plan de rupture et qu'elles sont dues au contact d'aspérités entre lesdeux surfaces rugueuses opposées de la fissure.

II.3. Le Retrait du Béton

II.3.1.Définition :

lorsque on observe une pièce de béton aussitôt son gâchage, on constate qu'en, l'absence de toute force extérieure, elle change de volume. Cette propriété, qui a pris le nom de retrait, est à l'origine de désagréments de toutes sortes que les constructeurs connaissent bien. Il est, en réalité, la résultante de mouvement complexe.

II.3.2. Les Causes Du Retrait : [41.42]

- Les quantités d'eau et de ciment ;

- La présence d'ajouts minéraux, entre autres de fumée de silice qui produisent un réseau poreux plus fin ;

- Le volume de la pâte ;

- Le module élastique des granulats ;

- La nature et la finesse du ciment ;

- La quantité d'armature dans la pièce du béton « pour 5% d'armature, le retrait tombe à 1/5 de ca valeur» ;

- Les conditions de la cure telle que l'humidité et la température ;

- Les conditions dues au béton : sa consistance ; la granulométrie et la forme des agrégats, la méthode de mise en œuvre ;

II.3.3. Les Conséquences du Retrait

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissurations pouvant diminuer la durabilité des structures en béton armé ou précontraint, et/ou limiter leur capacité portante, notamment dans le cas de manifestation dans la masse.

Cette fissuration peut conduire à limiter l'adhérence entre un matériau rapport en surface (revêtement par exemple) et le support en béton, ainsi, l'accélération de la diffusion du CO_2 atmosphérique dans le béton, donc accélération de phénomène de carbonatation.

II.3.4. Mesure de retrait :

La mesure du retrait sur béton n'est pas normalisée. On peut accéder aux déformations de retrait sur des éprouvettes en béton.

Le retrait mesuré sur béton est plus faible que celui mesuré sur mortier normal pour deux raisons principal :

- le volume de pâte dans un béton est généralement beaucoup plus faible que dans un mortier : De l'ordre de 30% pour un béton contre plus de 40% pour le mortier normal. Or c'est la pâte qui se rétracte et non le squelette granulaire qui, au contraire, s'oppose au retrait.

D'autre parte, par définition, les dimensions des granulats d'un béton sont plus importantes que celles du sable utilisé dans un mortier. Or ce sont les plus gros grains du granulat qui sont déterminants dans la limitation du retrait. Plus le granulat n'est gros et mieux, il limite les effets du retrait comme le schématise la figure II.7. [43]

II.3.4.1-Rapport gravier / sable (G/S) :

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable.

La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm).

Pour (G/S)= 2.2 (valeurs les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais, la résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes. Concernant l'influence sur le retrait du béton, l'ouvrage montre que l'utilisation de gros granulats diminue le retrait comme ce qui est indiqué sur la figure suivant : [44]

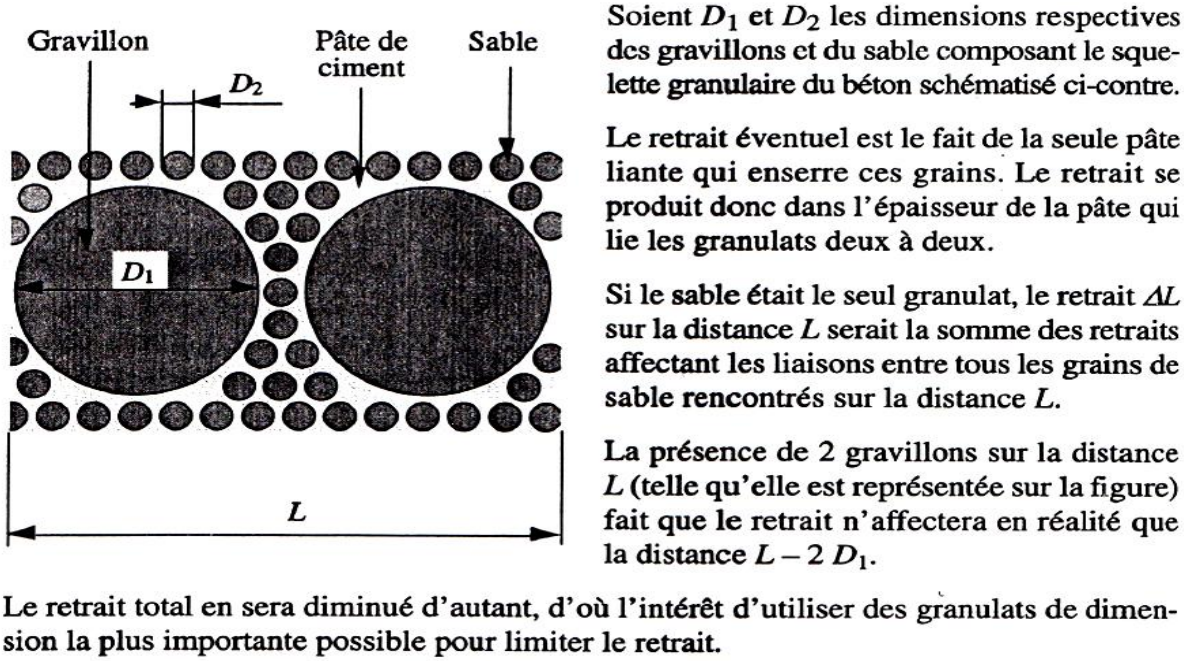


Figure II. 6: Influence de la dimension de granulat sur le retrait. [43**]**

Pour limiter le retrait, il conviendra donc de limiter le volume de pâte et d'utiliser les granulats les plus gros possible, compatibles avec le ferraillage et le coffrage auquel le béton est destiné. [43]

D'autre part, les dimensions des pièces en béton sont beaucoup plus importantes que celles des éprouvettes mortier normal ce qui modifie la cinétique du retrait exogène ; on sait que le séchage d'un élément est d'autant plus long que son rayon moyen h_0, est important ; le retrait du au départ d'eau en sera donc d'autant plus ralenti. La figure II.8 montre l'évolution du retrait moyen de 5 éléments pour prendre en compte le rayon moyen du moule h_0. De ces courbes il ressort que la vitesse du retrait est considérablement influencée par la distance que l'eau doit parcourir pour atteindre les bords libres de l'élément [43].

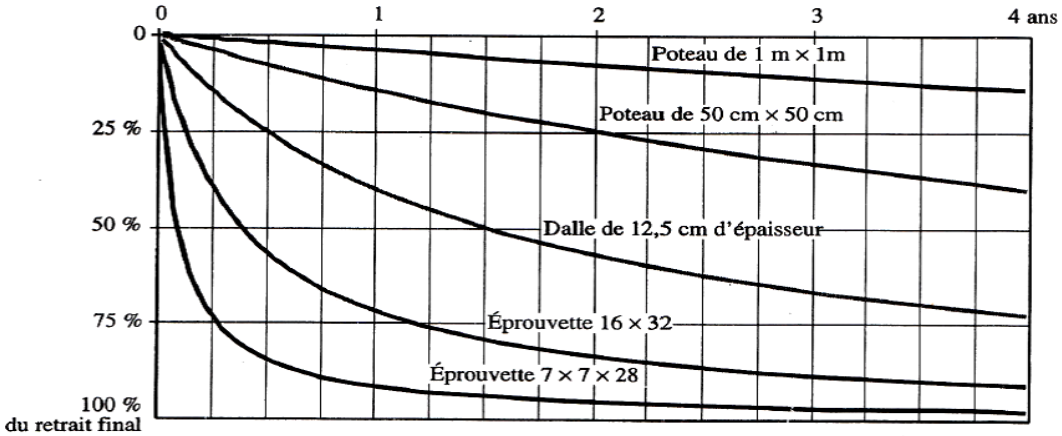


Figure II. 7: **évolution du retrait en fonction du rayon moyen des éléments considérés** [43]

Dans ces conditions parler de retrait moyen masque la réalité du phénomène de retrait qui n'est pas homogène à l'intérieur d'un même élément : plus rapide sur les bords qui sèchent plus vite qu'au cœur qui, dans les pièces très massives, peut mettre siècle avant d'être asséché.

Ce retrait différentiel conduit généralement à une fissuration des zone superficielles dont le retrait différentiel conduit généralement à une fissuration des zones superficielles dont le retrait est empêché par le coure qui connait de moindres variations dimensionnelles.

Une fissuration de ce type (indiquée sur la figure II.9) ne dure que le temps (plus ou moins long suivant la dimension de la pièce) nécessaire pour que l'hygrométrie du cœur se rapproche de celle de sa peau : ces fissures tendent à refermer avec l'âge. Mais le retrait du cœur restera inférieur à celui de la peau, car le départ d'eau du cœur se produit après celui qu'a connu la peau, donc à un moment ou les qualités mécaniques du matériau sont supérieures et sa déformabilité moindre.

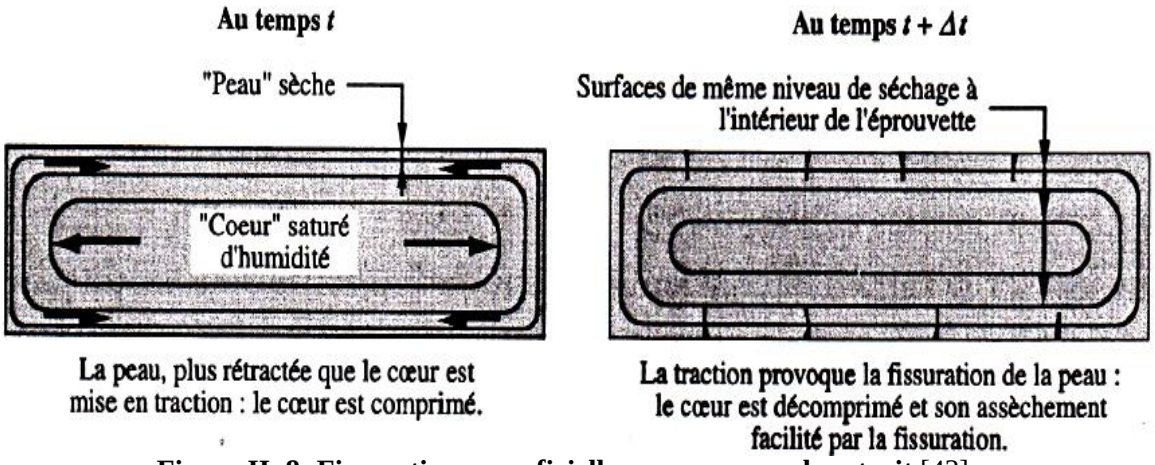


Figure II. 8: Fissuration superficielle provoque par le retrait [43]

II.3.5. Les types de retrait

Lorsque l'eau se retire d'un corps poreux qui n'est pas parfaitement rigide, une contraction volumétrique se produit dans le béton ou le mortier, qu'il soit à l'état frais ou à l'état durci, [45]. Les paragraphes suivants traitent les différents types de retrait.

II.3.5.1. Retrait endogène :

La formation des hydrates nécessite de l'eau qui, initialement, occupe l'espace poreux du système eau-ciment anhydre. Au fur et à mesure que l'hydratation se poursuit, l'eau se raréfie dans les pores capillaires, et le volume qu'occupait l'eau liquide est progressivement remplacé par un gaz dont la pression diminue faisant ainsi apparaître des interfaces liquide-gaz (ménisques), ce qui provoque la mise en compression du squelette solide donc son raccourcissement. Il y a donc séchage interne du matériau [46].

II.3.5.2. Retrait de dessiccation :

L'évaporation de l'eau d'un béton conservé dans de l'air non saturé provoque du retrait dit de séchage. Le changement de volume d'un béton en cours de séchage n'est pas égal au volume d'eau évaporée. Avec la poursuite du séchage, l'eau adsorbée disparaît et le changement de volume de la pâte de ciment hydraté non bloqué correspond approximativement dans cette étape à la perte d'un film d'eau de l'épaisseur d'une molécule à la surface de toute particule du gel. Le retrait de dessiccation est lié aux mouvements de l'eau entre le béton et le milieu extérieur [45].

II.3.5.3. Le retrait thermique :

Est la contraction accompagnant le refroidissement du béton qui fait suite à la réaction d'hydratation exothermique. Dans le cas de constructions massives ou d'éléments à section variable, une évacuation inégale de la chaleur d'hydratation donne lieu à des gradients de température importants et donc à des contraintes de traction.

Le phénomène de retrait est un facteur très important dans la pratique car il peut entraîner l'apparition de fissures parfois nuisibles à la durabilité du béton. Dans ce contexte, les fissures formées au jeune âge (voir figure 6) peuvent être caractérisées par une ouverture importante, favorisant ainsi le transport d'agents agressifs au sein de l'ouvrage. Des problèmes de dégradation de la matrice de ciment et de corrosion des barres d'armatures peuvent alors survenir et compromettre la performance des ouvrages à long terme.

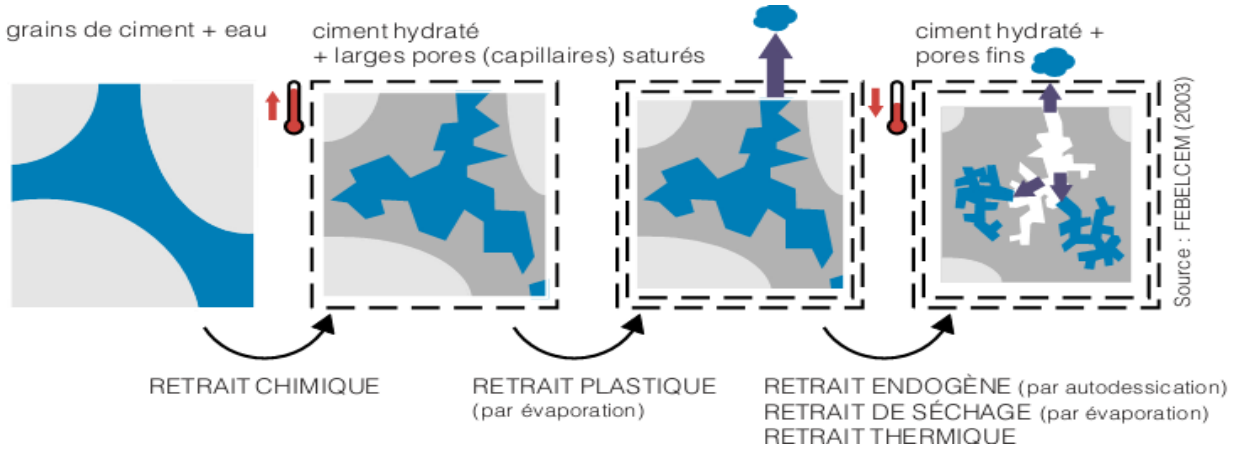


Figure II. 9: Principaux types de retrait du béton.[47]

II.3.5.4. le retrait plastique :

Lorsque le béton est encore à l'état plastique, l'eau évaporée à partir de la surface du béton ou par succion au contact du matériau support, que ce soit du béton sec, du sol ou même du coffrage non humide provoque un retrait dit plastique. L'importance du retrait plastique est influencée par la quantité d'eau perdue à la surface du béton, qui est elle-même influencée par : La température, l'humidité relative ambiante, et la vitesse du vent [45].

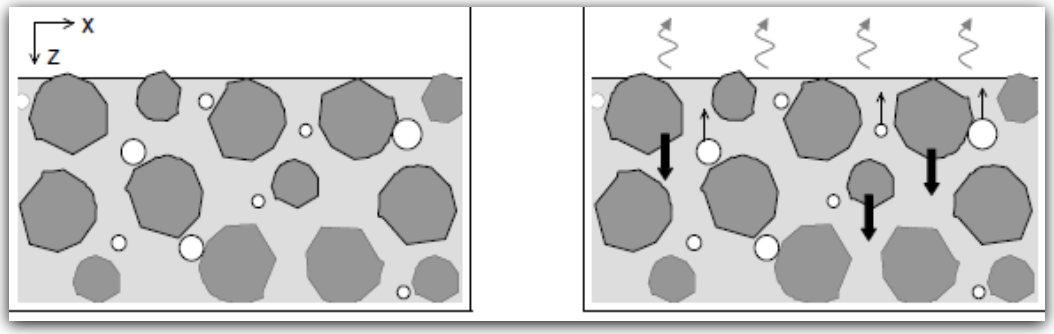
En général; Lorsque la température augmente, l'humidité relative diminue, et avec une augmentation de la vitesse de vent, le retrait augmente.

II.3.5.4.1.Mécanisme à l'origine du retrait plastique :

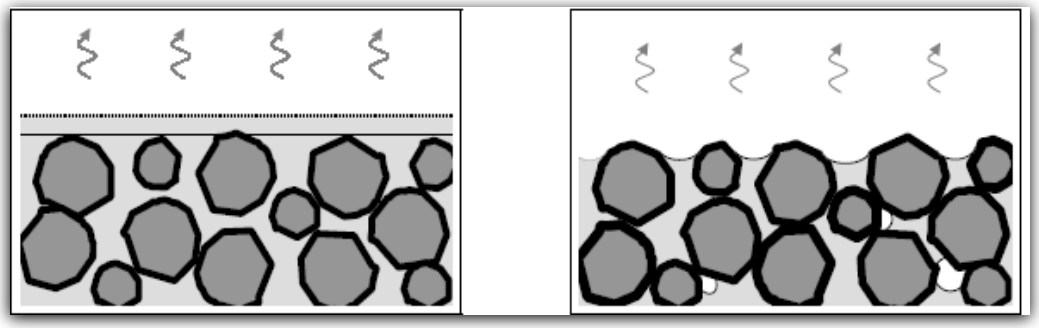
Le mécanisme du retrait plastique est décrit par plusieurs auteurs [48, 49]. Avant la prise, une partie de l'eau du mortier frais peut s'évaporer ou être absorbée par le support. Ce départ d'eau génère des tensions capillaires dans le matériau qui se traduisent par une réduction du volume occupé par la pâte, c'est le retrait plastique. Il se produit lorsque le flux d'eau évaporée au niveau de la surface est supérieur au flux d'eau ressuée, ceci se produit surtout au moment de la pré-prise où l'on observe une nette diminution du ressuage [50]. Le mécanisme du retrait plastique d'une pâte de ciment est schématisé sur la figure II.10.

Le départ d'eau génère des tensions capillaires dans le matériau qui se traduisent alors par une diminution de volume qui peut conduire à une fissuration précoce (fissuration de peau), d'autant plus qu'avant la prise, le mortier (d'enduit) n'a pas encore développé une grande résistance à la traction. Les fissures de retrait plastique sont peu profondes. La durée de ce retrait est d'autant plus courte que l'auto dessiccation est rapide, parce que l'hydratation crée des produits solides qui augmentent la consistance de la pâte et diminuent la connectivité de la phase liquide [49]. Pour limiter le retrait plastique, une solution consiste à avoir recours

à des adjuvants rétenteurs d'eau comme l'usage des éthers de cellulose [51].



(a)Etat initial de la pâte de ciment (b) consolidation de la pate



(c) ressuage de la pâte (d) Ménisques en surface et à l'intérieur de la pate

Figure II. 10: Schématisation des mécanismes du retrait plastique d'une pâte de ciment [49]

II.3.5.4.2. Les causes qui provoquent le retrait plastique : [52]

Les fissures de retrait plastique se manifestent lorsque l'eau de surface s'évapore plus rapidement que l'eau de ressuage. Ii en résulte un retrait et les contraintes de tension en surface provoquent Apparition de petites fissures irrégulières.

Les causes qui provoquent le retrait plastique sont :

- **Quant aux conditions atmosphériques**

Il existe une corrélation linéaire très grande entre la perte d'eau, le degré hygrométrique de l'air et le retrait plastique d'un béton. La perte d'eau par évaporation est d'autant plus grande et rapide que l'air ambiant est plus Sec, que la vitesse de l'air est plus élevée et que la différence de température entre le béton et l'air ambiant est plus forte. Cela est schématisé sur la Figure. II-11.

D'après LERCH : Toutes choses égales par ailleurs, la perte d'eau du béton passe de (1 à 10) pour un vent croissant de 0 à40 km/h, de (1à 9) pour une humidité relative, tombant de 90 à 10 % et de (1à 7) pour des températures de béton et de l'air allant de (10°C à 38°C).

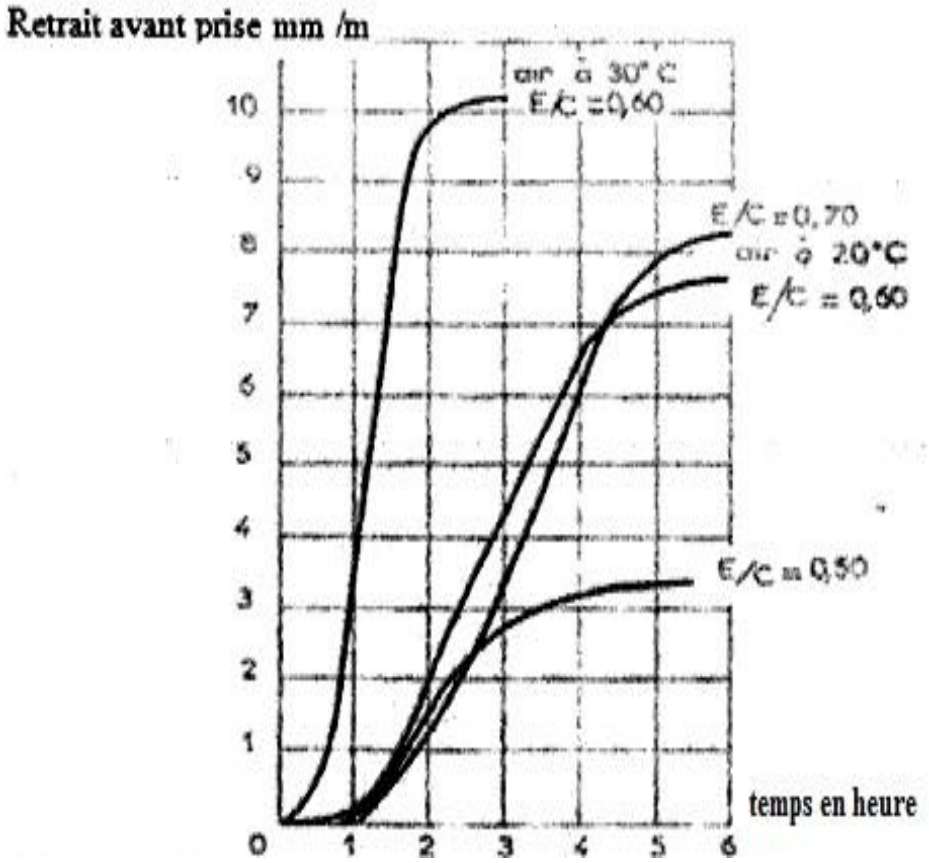


Figure II. 11: Influence de la température de l'air et du rapport E/C du mortier sur le retrait avant prise (vitesse de l'air : 20 km/h) [52].

Le retrait plastique dure quelques heures, il s'achève à la fin de prise lorsque la pâte devient beaucoup moins déformable, C'est donne un phénomène dynamique (hors équilibre). La valeur finale du retrait augmente avec :

- la vitesse de retrait.
- la durée de pré-prise et de prise (**Figure. II-11.)**
- Humidité relative

La variation de l'humidité relative a un effet important sur la vitesse d'évaporation. Si l'humidité relative diminue de 90 % a 50 %, La vitesse d'évaporation de 1'eau de surface est multipliée par 5, (Figure. II-11).

- **Vitesse du vent**

L'évaporation de l'eau de surface augmente si le vent souffle lors de la mise en place et de la finition du béton. Par exemple, une augmentation de la vitesse du vent de 0 à15 km/h multiplie par 4 la vitesse d'évaporation (Figure. II.11).

- **Température de l'air ambiant**

La vitesse d'évaporation de l'eau de surface du béton peut doubler si la température ambiante augmente de façon importante (Figure. II.11).

- **Température du béton élevée par rapport à l'air ambiant**

Une évaporation rapide se produit lorsque la température du béton est trop élevée par rapport à celle de Pair ambiant, même si les autres conditions ambiantes sont favorables. La vitesse d'évaporation peut doubler lors d'une augmentation de 5°C de la température du béton.

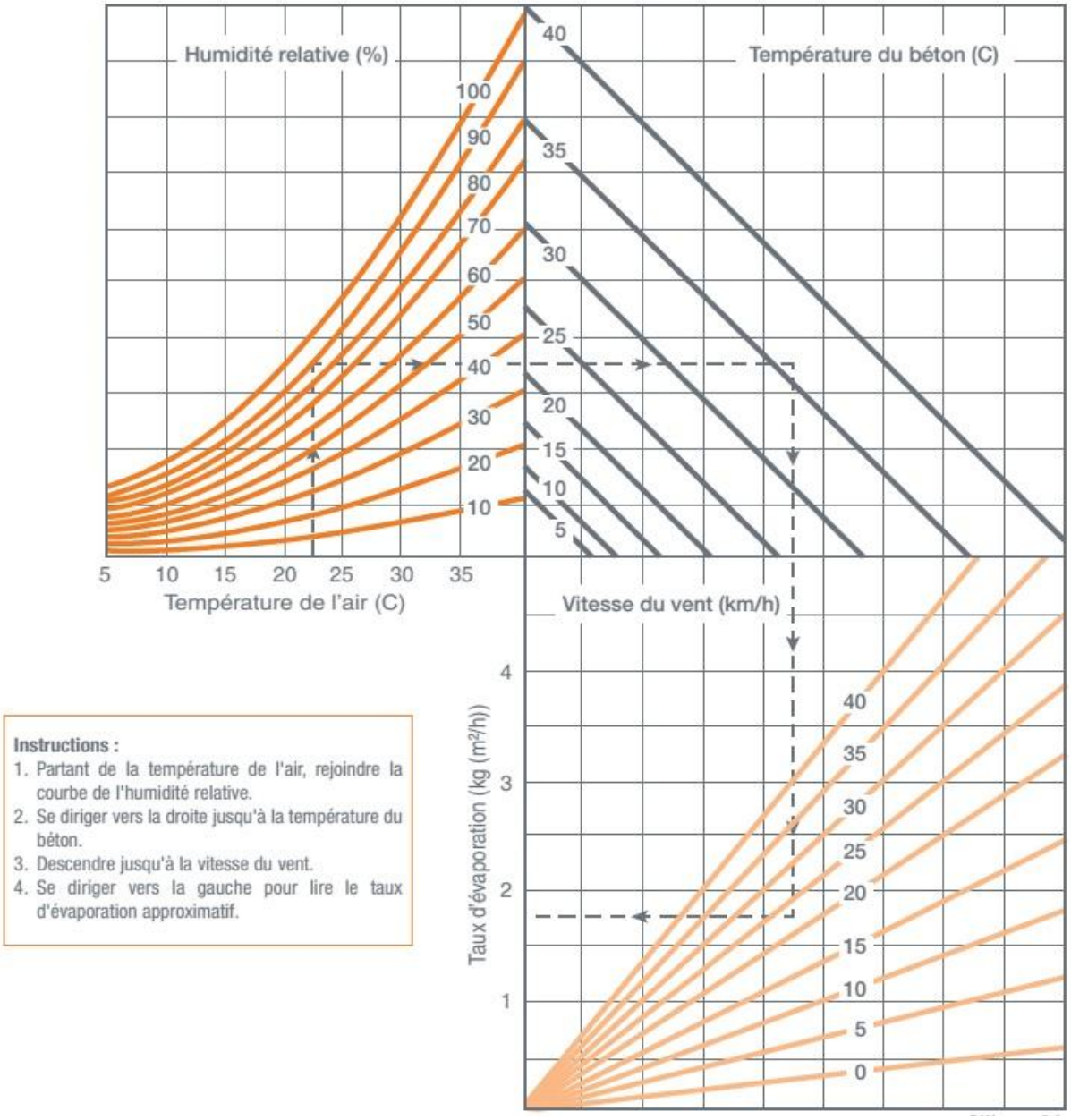


Figure II. 12: Abaque permettant le calcul de la vitesse d'évaporation de l'eau a la surface du béton en fonction de l'atmosphère (température, humidité relative, vitesse du vent) et la température du béton. [53]

II.3.5.4.3.Paramètres affectant le retrait plastique : [54]

A la suite de cette présentation, nous pouvons lister les paramètres qui affectent la cinétique et l'amplitude du retrait plastique.

- ✓ **Le retrait chimique** : L'amplitude de la contraction chimique dépend uniquement de la nature du ciment et de la vitesse d'hydratation (fonction par exemple de la température). Le retrait chimique influe sur le retrait endogène.

- ✓ **Le ressuage :** Le retrait de séchage n'apparaît que si le ressuage est négligeable devant l'évaporation.
- ✓ **Le taux d'évaporation :** Il existe dans la littérature des formules permettant d'estimer le taux d'évaporation en fonction des conditions extérieures.
- ✓ L'angle de frottement interne conditionne la "naissance" de la déformation horizontale.
- ✓ **La géométrie et la taille des pores** : contrôlent le développement de la pression capillaire créé par un départ d'eau. RADOCEA a mis au point une technique pour mesurer le paramètre d'un empilement granulaire fin, modélisant la géométrie des pores. Après remouillage, un matériau qui a séché ne se rétrécit plus ; il faut alors déterminer la courbe pression / perte de masse pour trouver Γ. Il est à noter que Γ diminue avec la taille des pores.
- ✓ **Le module de retrait** : relie déformation volumique et pression capillaire. Avant la prise, c'est la compressibilité du milieu granulaire. Après le début de prise, il représente la compressibilité du squelette.

II.3.5.4.4.Mesures du retrait plastique : [54]

Certains des paramètres cités ci-dessus sont accessibles directement par des mesures. La mesure du retrait chimique peut se faire par pesée hydrostatique d'une fine couche de pâte en contact avec l'eau du bain. Le taux d'évaporation se détermine aisément par suivi de la masse du béton qui sèche. Les autres paramètres sont en revanche difficiles à déterminer expérimentalement. Par exemple, les mesures de la compressibilité d'un béton en phase plastique sont peu courantes ; la mesure du paramètre Γ n'a jamais été testée - ou réussie - sur mortier ou béton.
Par conséquent, les études expérimentales du retrait plastique se focalisent sur la mesure du retrait proprement dit. Les techniques de mesure sont de deux types.

II. 3.5.4.4.1. Mesure linéaire :

On mesure le déplacement dans la direction horizontale d'un échantillon de pâte, mortier, ou béton, placé dans un moule prismatique.

- ✓ Lorsque sa surface est laissée à l'air libre, en ambiance contrôlée, le déplacement correspond au retrait total, résultat du séchage et de l'hydratation. Lorsque l'évaporation est empêchée, il correspond au retrait endogène, parasité par des déformations thermiques si la température du matériau ne reste pas constante en cours d'essai. Le dispositif est souvent pourvu de capteurs mesurant le déplacement vertical, ou le tassement de l'échantillon.

II. 3.5.4.4.2. Mesure volumique :

Comme le retrait chimique, le retrait endogène peut être mesuré par pesée hydrostatique. Dans ce cas, la pâte de ciment (ou le mortier) est placée dans une membrane souple, comme un préservatif. Depuis quelques temps, cette méthode fait l'objet de débats, car le retrait mesuré ainsi n'est pas égal au retrait mesuré avec les méthodes dites linéaires.

Malgré les artefacts expérimentaux suspectés, elle permet tout de même d'analyser de manière qualitative le comportement du matériau.

Les essais sur le retrait plastique sont souvent accompagnés d'autres mesures, par exemple des mesures de la pression capillaire et du temps de prise.

II.3.5.4.4.3. Lien entre retrait plastique et fissuration :

Lorsque le retrait plastique ne peut pas se faire librement dans une structure, le béton est mis en traction et risque par conséquent de fissurer.

Les fissures dues au retrait plastique sont typiquement espacées de 0,3 à 1 m; leur profondeur va de 25 à 50 mm [55]. Le lien entre le retrait et la fissuration est fait dans la littérature avec la notion de capacité de déformation. La capacité de déformation est définie comme la déformation maximale qu'est capable de supporter le béton frais en traction. La fissuration à l'état frais est donc atteinte lorsque le retrait empêché dépasse cette limite en déformation.

La figure (II.13) schématise le principe. La capacité de déformation du béton frais diminue jusqu'à la prise, parce que l'eau interstitielle est consommée par l'hydratation et le séchage, ou encore parce que l'effet d'un éventuel adjuvant s'amenuise dans le temps. La diminution de la capacité de déformation est d'ailleurs à mettre en parallèle de la perte d'ouvrabilité du béton.

Il faut souligner maintenant que les études consacrées à la capacité de déformation du béton frais sont très rares, comparées aux études sur le retrait plastique. Il y a à cela plusieurs raisons. D'abord, toute modélisation est complexe, puisque les propriétés du béton changent beaucoup au très jeune âge, et d'autant plus si l'eau s'évapore. Ensuite, du point de vue expérimental, les problèmes techniques sont nombreux [56] ; il est par exemple délicat d'exercer une traction sur un matériau plastique.

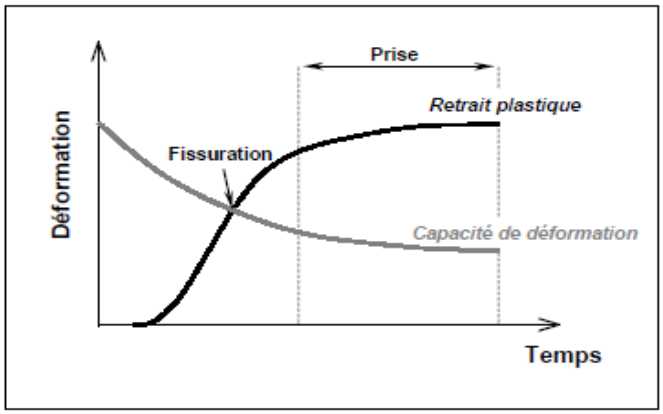


Figure II. 13: Schématisation de la fissuration à l'état frais en termes de retrait et capacité de déformation. [55]

II.4.Conclusion :

Le retrait plastique Surviennent à la suite de l'évaporation rapide de l'eau de la surface du béton qui est élastique au cours de la durci. Cette évaporation rapide dépend de nombreux facteurs, le plus important de la température et de la vitesse du soleil directe rend le taux d'évaporation est supérieure à la flottabilité du débit d'eau sur la surface de béton.

Et les fissures de retrait plastique sont généralement de courte et peu profonde spectacle contraire dans deux directions à la fois.

Pour limiter le retrait, il est impératif donc :

Ajouter de l'eau en permanence au béton pour compenser l'eau qui évapore, il peut également couvrir le béton et hydrater le couvercle jusqu'à ce qu'il soit assuré de l'humidité et de l'eau interaction, et doit prendre des précautions pour la chaleur.

Chapitre III

Transfert thermique dans les milieux arides

III.1.Introduction :

Les zones arides et semi-arides occupent 30% des terres émergées de la planète.[57].Le climat désertique (dans la classification des climats de Köppen BWh et BWk ou encore BWn) parfois appelé climat aride est un climat caractérisé par une sécheresse et une aridité permanente qui dure toute l'année, un manque important d'eau liquide au sol et dans l'air ambiante (on parle plus précisément d'aridité) ce qui restreint fortement le développement de la vie animale et végétale. Ainsi, sauf exception, la présence humaine y est peu importante. L'autre analogie que l'on peut attribuer à l'ensemble des régions arides du globe est que les étés sont partout chauds ou très chauds, mis à part quelques rares exceptions, notamment en haute montagne. Ainsi, ce sont les températures moyennes hivernales des déserts qui jouent un rôle déterminant dans la classification des régions arides, chaudes ou froides.

III.2.Les zones (milieu), arides

III.2.1.définition l'aridité :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (notée ETP) données de 2009. L'aridité étant une notion spatiale, une région peut être qualifiée d'aride et non une période. Elle est d'ailleurs marquée sur près de 30 % des terres continentales1 bien que répartie sur diverses latitudes. Il y a les zones arides zonales dues à la présence de la partie descendante des cellules de Hadley et les déserts non-zonaux dus à diverses causes. L'aridification est le changement de climat graduel ou brutal conduisant à une situation d'aridité [58].

III.2.2.Types de l'aridité

$$\frac{P}{ETP}$$

D'où

P = précipitation

ETP = évapotranspiration potentielle, calculée par la méthode de **Penman**, en tenant compte de l'humidité atmosphérique, du rayonnement solaire et du vent.

Cet indice permet de définir trois types de zones arides: hyper-aride, aride et semi-aride. Sur la superficie totale des terres mondiales, la zone hyper-aride couvre 4,2 %, la zone aride 14,6% et

la zone semi-aride 12,2 %. Ainsi, près d'un tiers de la superficie totale du monde est constituée de terres arides.

La **zone hyper-aride** (indice d'aridité 0,03) comporte des zones dépourvues de végétation, à l'exception de quelques buissons épars. Les zones hyperarides sont caractérisées par un rapport habituellement inférieur à 0,05.

La **zone aride** (indice d'aridité 0,03-0,20) se caractérise par le pastoralisme et l'absence d'agriculture, sauf là où il y a irrigation.

La zone semi-aride : (indice d'aridité 0,20-0,50) peut supporter une agriculture pluviale avec des niveaux de production plus ou moins réguliers.

Les conditions arides se rencontrent également dans la zone sub-humide (indice d'aridité 0,50-0,75). **Le terme "zone aride" est utilisé ici pour désigner collectivement les zones hyper-arides, arides, semi-arides et sub-humides.**

III.2.3. Causes de l'aridité

L'aridité est due à la présence d'un air sec descendant. Aussi la trouve-t-on surtout dans des lieux où les conditions anticycloniques sont persistantes, comme c'est le cas dans les régions situées sous les anticyclones des zones sub-tropicales.

L'influence des anticyclones sub-tropicaux sur les précipitations s'accroît avec la présence de surfaces fraîches. Les conditions arides se rencontrent également du côté sous le vent des grandes chaînes de montagne qui déstructurent les cyclones lorsqu'ils passent par-dessus elles, créant des effets "d'ombre" où la pluie ne tombe pas[59].

III.2.4.Conséquence de l’aridité :

Au niveau du sol, l’aridité donne une raréfaction des êtres vivants ainsi qu'une adaptation de ces derniers à ces conditions xériques. Elle cause des lacunes hydrologiques : précipitations faibles et irrégulières, réseaux hydrographiques peu nombreux. Finalement, il y a un processus d’érosion par le vent et d’accumulation accélérée des sables accompagné d'un appauvrissement des sols[58].

III.2.5.Indices d’aridité :

Le calcul d'un indice d'aridité, au même titre que la classification des climats, a toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une multitude d'indices et de formules,

certaines basées sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques. Parmi tous ces indices, les plus connus restent ceux d'Emmanuel de Martonne (1926 à 1941), de Charles Warren Thornthwaite (1948), et de Bagnouls et Gaussen (1953 à 1957).

III.2.6.Indice de Gaussene :

Selon Gaussen, un mois est dit aride, quand :$P < 2 \times T$

P : précipitations totales en millimètres sur 1 mois, T : température moyenne en °C sur le même mois)

Cet indice est très utile quant à l'utilisation d'un diagramme ombrothermique, ce dernier toujours construit sur le modèle d'échelle : 1 °C = 2mm.

III.2.7.Indice d'aridité de Martonne :

L'indice d'aridité de Martonne, noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule $\boldsymbol{I = \frac{P}{T+10}}$ où P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle ; et, pour un mois :$I = \frac{12P}{T+10}$ où p désigne les précipitations totales mensuelles et T, la température moyenne mensuelles [59].

I = 0	
Régions hyperarides Déserts absolus	(Atacama (Chili) Reg du Tanezrouft (Sahara) vallée de la Mort)
I = 5	
Régions arides Régions désertiques	Sahara Les déserts d'Arizona et de Sonora Dasht-e Kavir, Désespoir (Iran) Désert du Thar (Inde) Désert de Tabernas (près d'Almería)
I = 10	
Régions semi-arides	Sahel Kalahari Chaco (Argentine) Nordeste (Brésil)
I = 20	
Régions semi-humides	
I = 30	
Régions humides	
I = 55	

Tableau III. 1: classification des zones au monde suivant leur Indice d'aridité [59]

III.2.8.2. Températures

Le schéma climatique des zones arides se caractérise souvent par une saison sèche relativement "fraîche", suivie d'une saison sèche relativement "chaude" et finalement d'une saison des pluies "modérée". La variation de la température est généralement entre 20°C a 55°C.

III.2.8.3. Humidité atmosphérique

Bien que les précipitations et la température soient les facteurs essentiels de l'aridité, d'autres facteurs interviennent également. L'humidité de l'air a une importance pour l'équilibre hydrique du sol. Lorsque la teneur du sol en humidité est plus élevée que celle de l'air, l'eau a tendance à s'évaporer dans l'air. Dans le cas contraire, l'eau se condensera dans le sol. L'humiditéestgénéralementfaibledans les zones arides.

III.2.8.4. Vent

En raison de la rareté de la végétation capable de réduire les déplacements d'air, les régions arides sont en général venteuses. Les vents évacuent l'air humide qui se trouve autour des plantes et du sol et accroissent par conséquent l'évapotranspiration.

III.2.8.5. ADRAR comme une zone Aride ou hyperaride [60]

ADRAR. Est une wilaya algérienne, localisée dans le sud-ouest du pays. Majoritairement occupée par le Sahara, elle est peu peuplée, au regard de sa superficie (427 368 km^2).

Adrar a un climat désertique chaud (Classification de KöppenBWh) typique de la zone saharienne hyper-aride, c'est-à-dire du cœur du Sahara, avec un été torride, très long et un hiver court, tempéré chaud. Le climat, hyper-aride, est celui d'un désert absolu, puisque la moyenne annuelle des précipitations atteint à peine 14 - 15 mm, tombant essentiellement en automne ou au printemps. A des occasions exceptionnelles, des orges violents peuvent se produire à cause de masses d'air plus frais venant du nord qui rencontre les masses d'air brûlant venues directement du désert surchauffé pendant la journée. Les températures moyennes maximales sont de 46 - 48 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre, ce qui fait d'Adrar une des villes les plus chaudes du monde.

III.3. Transfert thermique

III.3.1. Les modes de transformation de chaleur :

Le transfert de chaleur au sein d'une phase ou, plus généralement, entre deux phases, se fait de trois façons **:**

III.3.1.1.Conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres. [61]

III.3.1.1.1.Loi de Fourier :

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\varphi} = -\lambda S\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T) \quad \ldots\ldots 5$$

Ou sous forme algébrique :$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial X}$……...6

Avec :

φ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ : Conductivité thermique du milieu (W m^{-1}°C^{-1})

X : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

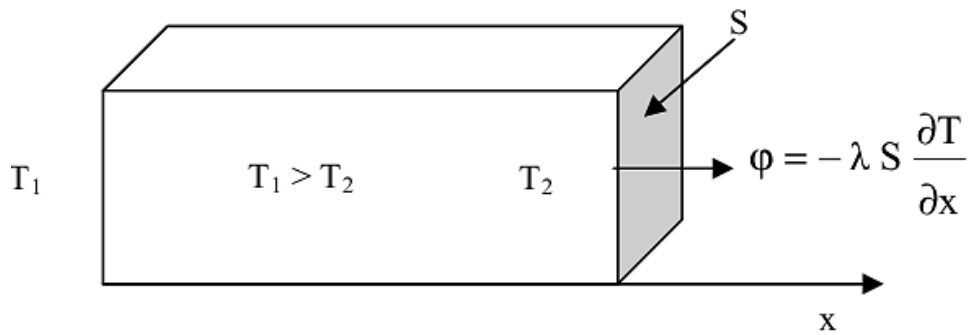


Figure III. 1: Schéma du transfert de chaleur conductif[62]

III.3.1.1.2.Résistance thermique :

Considérons le problème simple de conduction dans un mur (figure VI.2) de conducti vitékconstante et d'épaisseurL. A travers le mur, la température varie de θ_o(température de la paroi gauche) à θ_L(température de la paroi droite).

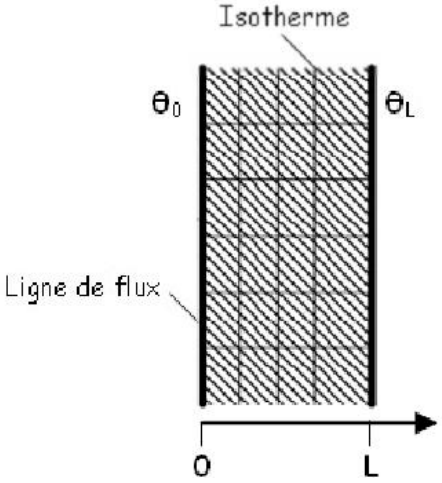


Figure III. 2: Schématisation du mur monocouche.[63]

L'équation qui gouverne le problème en stationnaire et sansgénération interne de chaleur

est:

$\frac{d^2\theta}{dx^2} = 0$ … … …..7avec pour conditions limites$\begin{cases} x = 0 \rightarrow \theta = \theta_0 \\ x = L \rightarrow \theta = \theta_L \end{cases}$

La solution de cette équation est:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_L - \theta_0)\frac{\theta}{L} \text{.....} 8$$

Le flux qui traverse le mur est:

$$\emptyset = \frac{k}{L}(\theta_0 - \theta_L) = -k\frac{d\theta}{dx} \text{.....} 9$$

Si la section du mur estA, la quantité de chaleur qui traverse le mur est:

$$\emptyset = \frac{k.A}{L}(\theta_0 - \theta_L) \text{.....} 10$$

On définit par $\frac{KA}{L}$ la conductance et par $\frac{L}{KA}$ la résistance thermique du mur.Pour un mur multicouches

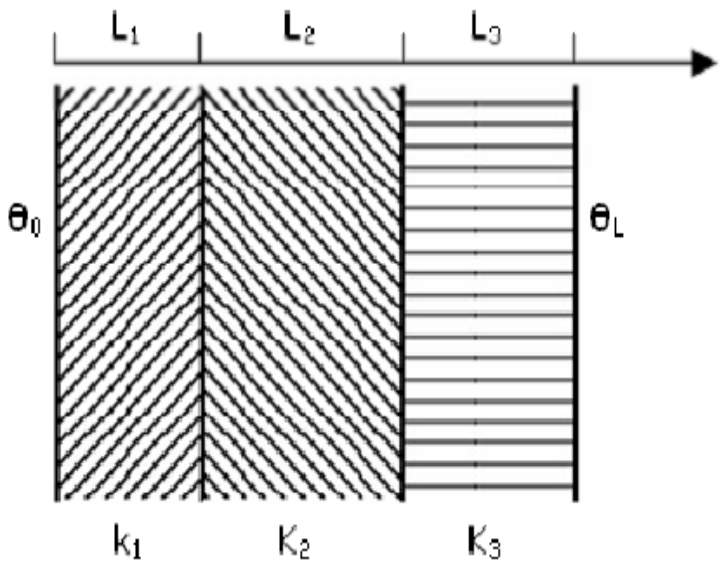


Figure III. 3: Schématisation du mur multicouches.[63]

Les résistances thermiques s'expriment par:

$$R_i = \frac{L_i}{A_i . K_i} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 11$$

et la quantité de chaleur traversant le mur (Figure VI.3) par:

$$\phi = \frac{\theta_0 - \theta_L}{\sum R_i} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 12$$

III.3.1.2.Convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

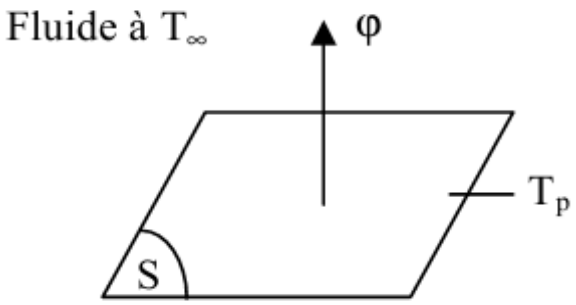


Figure III. 4: Schéma du transfert de chaleur convectif[63]

$$\varphi = hS(T_P - T) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 13$$

Avec :

ϕ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m^{-2} °C^{-1})

T_p : Température de surface du solide (°C)

$T_\square$: Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

III.3.1.2.1.Calcul du coefficient d'échange par convection :

Le flux thermique de conduction à travers la couche laminaire (Figure VI.5) peuts'exprimer par la loi de Fourrier par :

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} S(\Theta_m - \Theta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 14$$

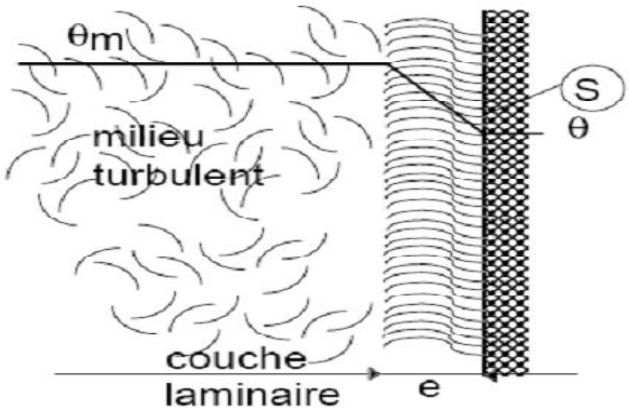


Figure III. 5: Gradient thermique dans la couche laminaire[63]

Mais en général, on ne connaît pas e, de plus l'épaisseur du film laminaire dépend de la

vigueur de la zone turbulente voisine. On exprime alors le flux thermique par:

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} S(\Theta_m - \Theta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 15$$

h (W / $m^{2\circ}$C)est appelé coefficient d'échange par convection.

Le transfert de chaleur par convection est complexe, car il résulte de la superposition dedeux phénomènes :

- conduction entre les particules de fluides qui se rencontrent,

- mélange de ces particules par suite du mouvement d'ensemble du fluide. Si ce mouvement n'est provoqué que par les différences de températures (donc de densité), la convection est naturelle. Si ce mouvement résulte d'une action mécanique (pompe, ventilateur, mise en pression, etc...), la convection est forcée.

III.3.1.2.2.Convection forcée :

En l'absence de convection naturelle, le coefficient d'échange h par convection est indépendant de la différence de température de la paroi et du fluide (θm−θ) mais il dépend des six grandeurs suivantes:

- U_m : vitesse moyenne du fluide (W m^{-2}K),

- ρ : masse volumique du fluide (Kg m^{-3}),

- Cp : chaleur spécifique du fluide (J $Kg^{-1}K^{-1}$),

- μ : viscosité dynamique du fluide (Pa s),

- λ : conductivité thermique du fluide (W $m^{-1}K^{-1}$),

- D : dimension caractéristique de la surface d'échange(m).

A : partir de ces grandeurs, on définit les nombres sans dimension suivant:

Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 16$$

Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho U_m D}{\mu} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 17$$

Nombre de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\rho} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 18$$

Les travaux expérimentaux étudiant le transfert de chaleur par convection dans une situation donnée fournissent leurs résultats sous forme de corrélations mathématiques pour les deux modes de convection (naturelle ou forcée).

Re le nombre de Reynolds caractérise le régime d'écoulement du fluide.

Si Re<2000, l'écoulement est laminaire.

Si 2000<Re<3000, l'écoulement est intermédiaire.

Si Re>3000, l'écoulement est turbulent.

Pr: le nombre de Prandtl caractérise les propriétés thermiques du fluide.

Nu: le nombre de Nusselt caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

Exemple: plaque verticale, oblique ou horizontale

Il existe généralement deux expressions dans la littérature :

$$Nu = \frac{2}{3}.Re^{0,5}.Pr^{1/3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 19$$

$$Nu = \frac{0,036.\mathrm{Re}^{0,5}.\mathrm{Pr}}{1+0,83(\mathrm{Pr}^{\frac{1}{3}}-1)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 20$$

III.3.1.2.1.3.Convection naturelle :[63]

Le mouvement du fluide est dû aux variations de la masse volumique du fluide provenant des échanges de chaleur entre le fluide et la paroi. Le fluide est mis en mouvement sous l'effet des forces d'Archimède car sa masse volumique est fonction de sa température.

La convection forcée est négligeable si: $Gr/Pr^2>100$

$$Nu = C.(Gr.Pr)^n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 21$$

$$Gr = \frac{\beta.\Delta T.\rho^2.L^3}{\mu^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 22$$

Si la convection est laminaire Gr Pr<109et donc n= 1/4

Si la convection est turbulente Gr Pr>109et donc n= 1/3

Exemple : plaque plane verticale ou horizontale de longueur Let de température uniforme.

Si la convection est laminaire

$$Nu = 0,53.(Gr.Pr)^{1/4} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 23$$

Si la convection est turbulente

$$Nu = 0{,}104.(Gr.Pr)^{1/3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 24$$

III.3.1.3.Rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

$$\varphi = \sigma\varepsilon_P S(T_P^4 - T_\infty^4) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots .25$$

Milieu environnant à T_∞

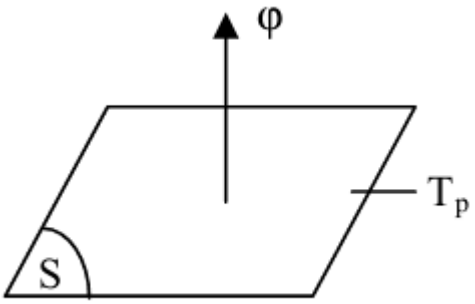


Figure III. 6: Schéma du transfert de chaleur radiatif[62]

Avec : φ Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ Constante de Stefan ($5{,}67.10^{-8}$W m^{-2} K^{-4})

ε_p : Facteur d'émission de la surface

Tp : Température de la surface (K)

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (K)

S : Aire de la surface (m^2)

III.3.1.3.1.Puissance échangée entre deux corps :

Entre deux corps noirs, l'un chaud (température T_1), l'autre froid (température T_2), en vis-à-vis total (c'est à dire que tout le flux émis par l'un des corps est reçu par l'autre), le flux net échangé s'écrit:

$$\phi = fluxémis - fluxabsorbé = S.\sigma.(T_1^4 - T_2^4) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 26$$

σ: constante de Stéfan-Boltzmann, σ= $5{,}67.10^{-8}$($W.m^{-2}.k^{-4}$)……..27

Si les deux corps ne sont pas en vis-à-vis total, le flux net échangé entre deux corps s'écrit:

$$\phi = S_1 . F_{12} . \sigma . (T_1^4 - T_2^4) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 28$$

T: température de la surface (K).

$F_{1,2}$: facteur de forme entre les surfaces S1etS2.

S: aire de la surface (m2)

Φ: flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfacesS1etS2(W).

Où$F_{1,2}$ est un nombre appelé facteur de forme qui fait intervenir la géométrie considérée et les émissivités des deux corps.

L'évaluation des facteurs de forme ou facteur d'angle, liés aux transferts de chaleur par rayonnement, entre deux surfaces. Fij (facteur de forme) est une quantité purement géométrique, qui ne dépend ni de la nature ni de la température des deux surfaces .On peut aussi interpréter Fij comme étant la probabilité pour qu'un rayon issu de Si soit intercepté par Sj .Pour plusieurs surfaces on définit le facteur de forme général entre deux surfaces Si et Sj:

$$Q_{ij} = S_i . F_{ij} . \sigma . (T_i^4 - T_j^4) = S_i . F_{ij} . \sigma . (T_j^4 - T_i^4) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 29$$

Qij: flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces i et j. Si le coefficient d'émission ε du corps est différent du facteur Fij, on peut admettre que

$$F_{ij} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} - 1 + \frac{1}{F_{ij}} + \frac{S_i}{S_j}\left(\frac{1}{\varepsilon_i}\right) - 1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 30$$

Les échanges par rayonnement entre deux surfaces quelconques d'un habitat mettent en jeu deux facteurs différents.

-L'angle sous lequel chaque surface est vue par l'autre.

-Leurs caractéristiques d'émission et d'absorption.

III.3.1.3.2.Facteur de forme géométrique, exemples simples :

Le facteur de forme géométrique ne dépend que de la géométrie et de la disposition relative des surfaces S_i.

$$S_i . F_{ij} = S_j . F_{ji} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 31$$

$$\sum_{j=1}^{j=n} F_{ij} = 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 32$$

n: le nombre de surfaces entourées par la surface i.

Ces deux relations sont utiles pour la détermination des facteurs de formes de plusieurs surfaces.

Si les surfaces Si et Sj sont planes, subséquemment elles ne peuvent pas rayonner vers elles même puisqu'elles ne sont pas convexes.

Facteur de forme entre deux surfaces rectangulaires (ou carrées) planes et parallèles Facteur de forme entre deux surfaces rectangulaires (ou carrées) planes et parallèles, centrées et de mêmes dimensions.$x = x$ = $y = y$ Rectangles de mêmes dimensions.

$$F_{12} = \frac{1}{2.\pi.x^2}[F(2x,2x) - F(2x,0) - F(0,2x)] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 33$$

Nous avons représenté sur la figure (IV.7) quelques courbes donnant les facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires égales parallèles et opposées représentatives de la formule précédente [52 ,64].

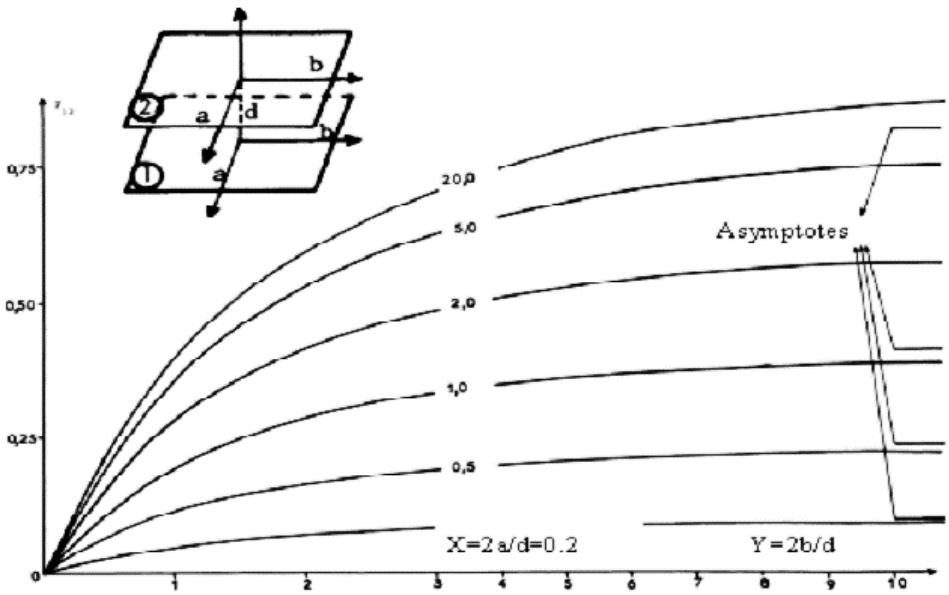


Figure III. 7: Facteurs de forme de deux surfaces rectangulaires et parallèles de mêmes dimensions [64]

III.3.1.3.3.Facteur de forme entre deux surfaces adjacentes perpendiculaires

Le facteur de forme de 1 vers 2 est calculé à partir de la figure suivante.

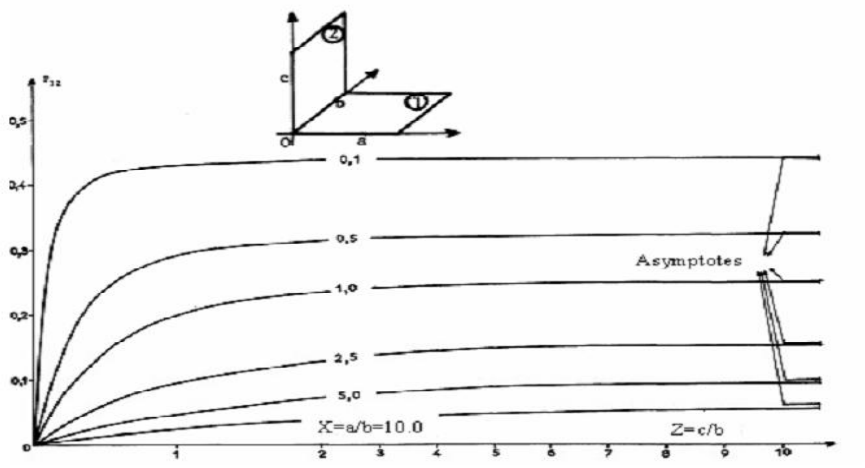


Figure III. 8: Facteurs de forme de surfaces rectangulaires. [64]

Ainsi que nous l'indiquions que les solutions proposées ici permettent de résoudre sansapproximation les cas pratiques les plus courants [62, 64].

III.4.Conclusion :

Les transferts thermiques jouent un rôle très important dans l'application technologique. Donc on va utiliser un mode de transfert pour la simulation du climat chaud.

Chapitre IV :

Modélisation numérique

Du comportement du béton au jeune âge

IV.1 Introduction

Le nature comportement du béton et les facteurs influençant les structuresen béton en générale et les structures en béton armé en spécial exigent la variété des études, ainsi la variété des méthodes et des modèles. Plusieurs méthodes et modèles ont été élaborés pour la modélisation de comportement du béton avec des conditions et des hypothèses bien déterminées. Cette variation été fait soit au niveau de la formulation du béton en fonction des rapport E/C , E/S , soit par l'addition des ajouts , adjuvants …, et soit en fonction des condition climatique (chaleur , humidité température et vent) .

IV.2 Modélisation numérique

La modélisation du comportement du béton surtout au jeune âge c'est-à-dire la présence du retrait plastique est extrêmement complexe, cette complexité vient de la dépendance du retrait plastique d'un nombre important de facteurs (conditions environnementales, hydratation, rhéologie…) d'une part et d'autre que lematériau subit plusieurs sortes detransformations (maturation, séchage, variations dimensionnelles…)

Dans ce chapitre, nous présenterons dans un premier temps une approche d'analyse numérique du comportement du matériau au très jeune âge. Ensuite, nous présenterons l'étude de l'influence de la température sur les structures en béton au jeune âge. Nous utilisons les résultats des essais expérimentaux réalisés au niveau de l'laboratoire de l'université de Béchar en 2008.

Dans cette étude on a choisi la modélisation de retrait totale par la nouvelle norme NBN EN 1992-1-1Eurocode 2 et on propose des hypothèses et des conditions pour simplifier les calculs.

Nous allons proposer un modèle élastoplastique du comportement du matériau béton au cours du retrait plastique. Ce modèle élastoplastiqueest implanté dans un code de calcul éléments finis « ComsolMultiphysics ».

IV.2.1 Modélisation numérique de retrait plastique

- **Modélisation prédictive des retraits de fissuration précoce du béton**

Le manque des travaux de modélisation des risques de fissuration sur les matériaux bétons au jeune âge traduit la complexité du ce phénomène. Mais il y a quelques modèles empiriques pour estimer la fissurabilité précoce des structures minces .le taux d'évaporation a été modélisé en tenant compte de la température du béton et des conditions environnementales Uno[65] a proposé pour le taux d'évaporation (Evap) la formule suivante.

$Evap = 5 * ([T\_c + 18]^{2.5}) * (V + 4) * 10^6$……34

Ou:

- Evap : représente le taux d'évaporation (kg/m^2/h)
- Tc : température de la surface du béton (c°).
- Ta : température de l'air (c°).
- r= (HR%)/100 : l'humidité relative de l'air.
- Et V est la vitesse du vent exprimé en km/h

S'il y a une absence de modélisation de la fissuration précoce du matériau cimentaire.

Il existe quelques modèles dans la littérature sur l'évolution retrait plastique .Holt et al.[67], en se basant sur des résultats expérimentaux, ont proposé un modèle linéaire(Équation VI.1) du retrait de séchage au très jeune âge en fonction du taux d'évaporation :

Retrait (mm/m) = (Evaporation (kg/m^2)*2)-0.5 ……. 35

Ces auteurs ont reconnu que ce modèle ne s'applique que pour les bétons ordinaires et que pour d'autres types de béton, le dernier terme (0.5) peut être différent

IV.2.2 Modélisation de retrait totale du béton

Le retrait endogène et le retrait de séchage. Ces deux types de déformations peuvent être calculés suivant la nouvelle norme NBN 1992 – 1 – 1 Euro code 2 [66].

La déformation totale de retrait peut être calculée par la relation suivante :

$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$……..36

Ou

- ε_{cs} = la déformation totale de retrait.
- ε_{cd} = la déformation due au retrait de séchage.
- ε_{ca} = la déformation due au retrait endogène.

Notions par ailleurs que le retrait s'exemple en ou en (10^{-6} m/m).

1) Retrait de séchage :

L'évolution du retrait de séchage est donnée par l'expression suivante [66] :

$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd0}$……37

Avec :

$\beta_{ds}(t-t_s) = \frac{t-t_s}{(t-t_s)+0.04\sqrt{h_0}^3}$……..38

$\varepsilon_{cd0} = 0.85 * \left[(220 + 110 * \alpha_{ds1}) * \exp\left(\alpha_{ds2} * \frac{f_{cm}}{10}\right)\right] * 10^{-6} * \beta_{RH}$……..39

$\beta_{RH} = 1.55 * \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)\right]$……40

$h_0 = 2 * A_C/u$……..41

ou

- $\beta_{ds}(t, t_s)$: une fonction qui traduit l'évolution dans le temps du retrait de séchage (β_{ds}) vaut 1 pour le calcul de valeur final du retrait). Cette fonction dépend de h_0 tandis que t représente la durée de la cure et (t,t_s) le temps de séchage.
- k_h: un coefficient dépendant du rayon moyen h_0.
- ε_{cd0}: la valeur nominale du retrait de séchage.
- f_{cm} : la résistance moyenne en compression du béton (MPa).
- α_{ds1} , α_{ds2} : sont des coefficients qui tient compte du type de ciment :

	Type de ciment		
coefficient	Classe S : 32,5	Classe N : 32,5R ; 42,5N	Classe R : 42,5R ; 52,5N ;52.5R
	3	4	6
	0 ,13	0,12	0,11

Tableau IV. 1: coefficients α_{ds1} et α_{ds2} qui tient compte du type de ciment.

- RH : l'humidité relative ambiante (%).
- RH_0 : l'humidité relative ambiante de référence (100%).
- H_0 : le rayon moyen de la section.
- A_c : représente l'aire de la section de béton et u le périmètre de la partie de la section exposée au séchage.
- t : l'âge du béton à l'instant considéré (jours).
- t_s : l'âge du béton (jours) au début du retrait de séchage (ou gonflement). Normalement, ceci correspond à la fin de la cure.

2) retrait endogène **:**

La déformation due au retrait endogène peut quant à elle se calculer par l'expression suivante [66] :

$\varepsilon_a(t) = \beta_{as}(t) \times \varepsilon_a(\infty)$……42

Avec :

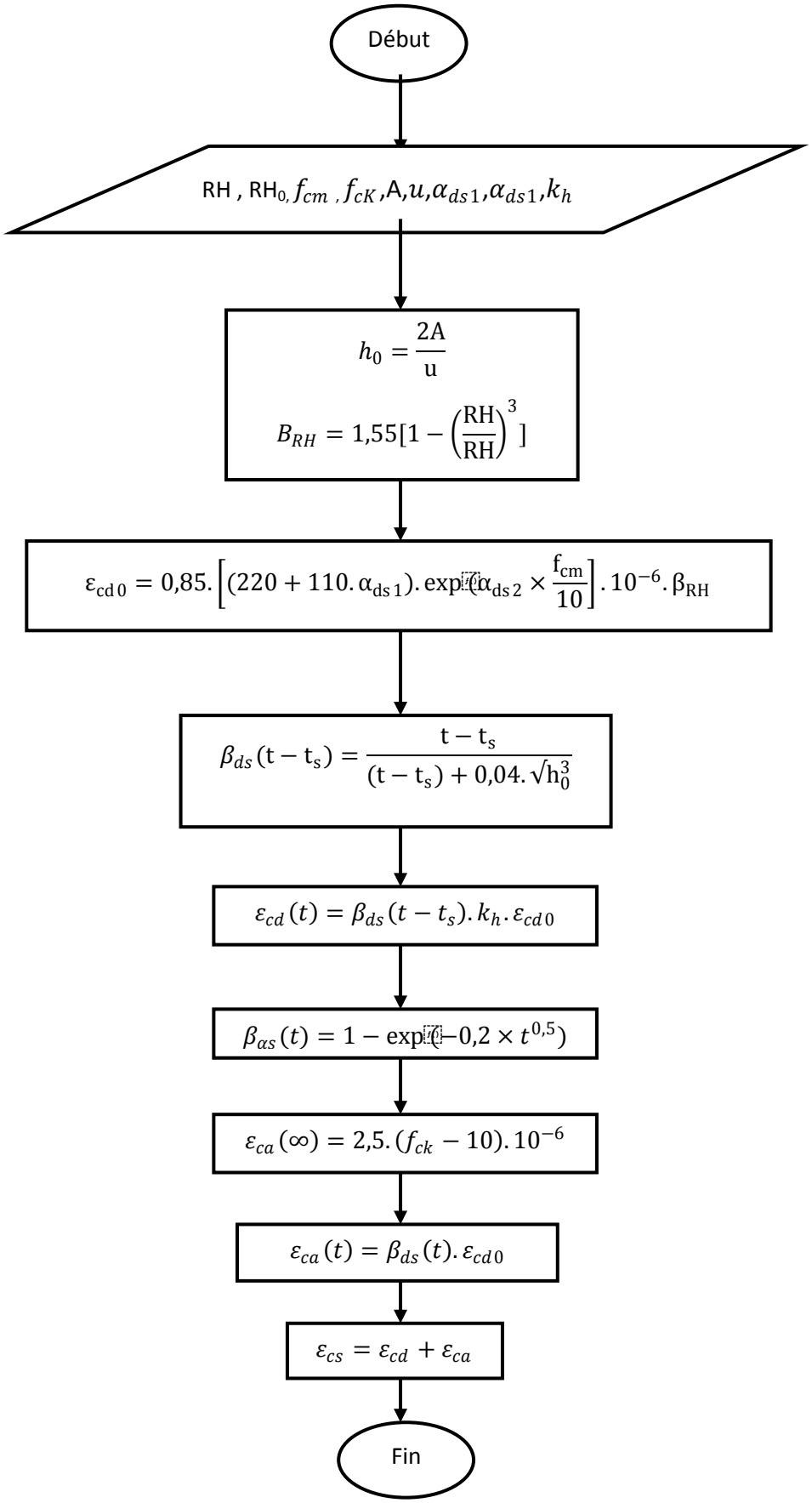
$\varepsilon_a(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$.....43

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0{,}5}), texprimé\ enjours.$$

- f_{ck} : la résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours.

RH	f_{cm}	f_{ck}	A	u	α_{ds1}	α_{ds2}	k_h
11%	51MPa	51MPa	0,49m^2	2,8m^2	4	0,12	1

Tableau IV. 2: les données utilisées.



Organigramme des étapes suivis

IV.3 Hypothèse de modélisation

IV.3.1.Modilisation du climat chaud

On va faire une simulation numérique du climat chaud comme suit :

On considère l'enceinte climatique comme un block d'aire de dimension $1.8\times1.0\times0.8m^3$.

On applique une température de 55 ^{0}C sur les faces de l'enceinte, comme source de chaleur. Le vent modélisé par un écoulement laminaire avec une vitesse de 10 km/h.

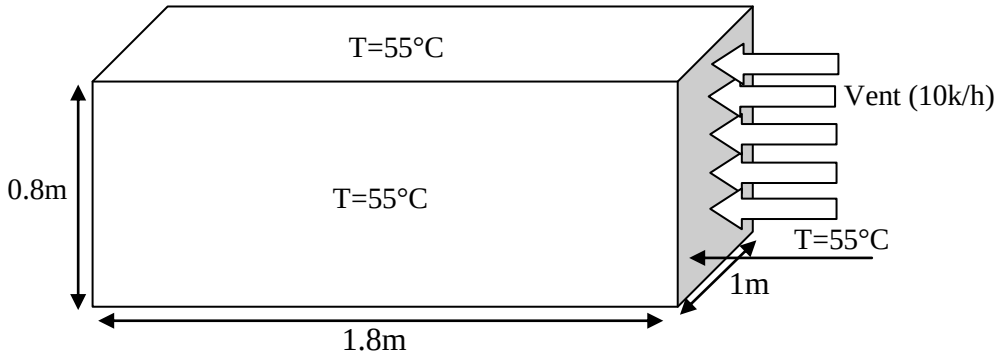


Figure IV. 1 : modélisation numérique de climat chaud [66]

IV.3.2 modalisation de la dalle en béton

Nous allons étudier une dalle en béton dont les caractéristiques suivantes :

- Caractéristique géométrique : la dalle est caractérisée par une section carrée de 70 cm^2 et une épaisseur de 4 cm.
- Caractéristique mécanique : module de Young E=20273MPa et coefficient de poisson ν=0.2.

On suppose que le béton est un matériau homogène et isotrope pour simplifier les calculs.

IV.3.3 les conditions aux limites

La modalisation du comportement de béton que ce soit à l'état frais ou durci se base principalement sur le bon choix des conditions aux limites.

- Le coffrage du béton en réalité protège le première du béton cela dans le cas de bétonnage par climat chaud.

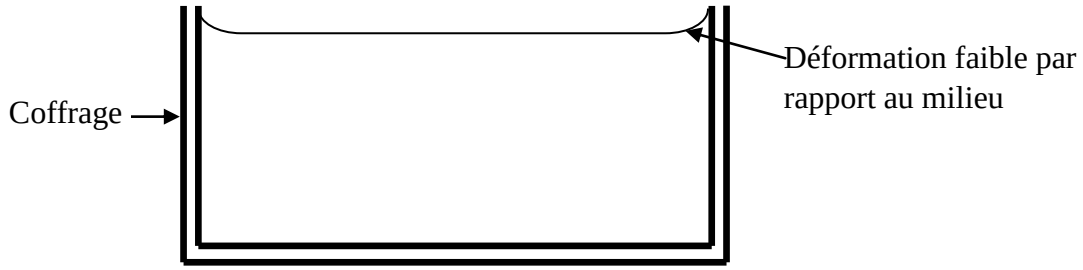


Figure IV. 2: Schématique des différentes déformations dans la partie proche au coffrage et celle du milieu.

On suppose comme conditions aux limites des déformations faibles au périmètre et surface inférieur.

- D'après les travaux expérimentaux qui traitent dans une dalle en béton [66], les résultats montrent que les fissures sont perpendiculaires au sens du vent, pour cela on suppose des fissures avec différentes largeurs et profondeurs.
- Le transfert de chaleur dans la dalle en béton sous l'action du vent est supposé un transfert de chaleur par convection forcée.
- La différence de température entre la dalle en béton et le climat chaud fait que la moitié supérieure de la dalle subira des déformations au cours de passage du flux de chaleur ; pour cela des conditions aux limites sont nécessaire sur la moitié supérieure de la dalle.
- La figure suivant montre la variation de température du béton lors du passage de flux de chaleur en fonction du temps.

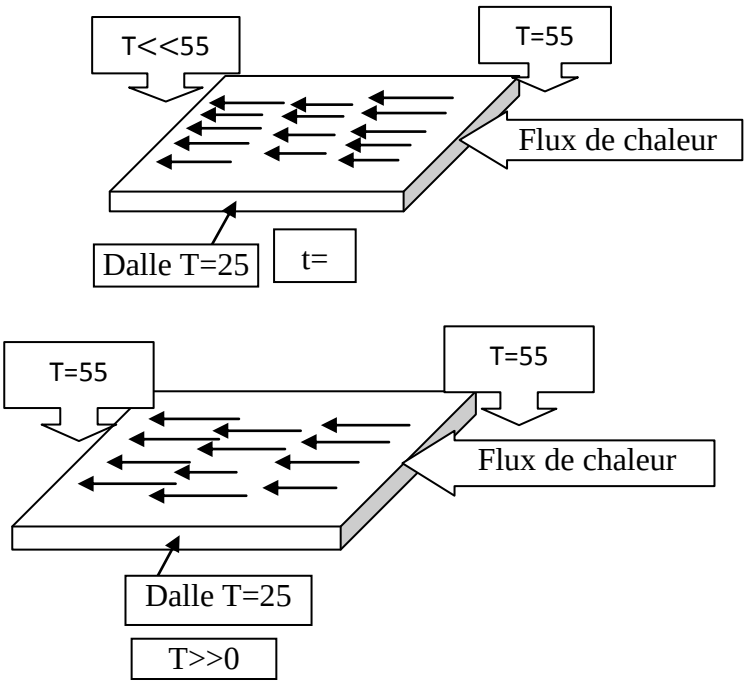


Figure IV. 3:température d'une dalle en béton lors du passage du flux de chaleur à t=0 et après un certain temps

IV.4.Présentation du logiciel COMSOL :

Le logiciel COMSOL, anciennement appelé FEMLab, est avant tout est un outil de résolution d'équation aux dérivées partielles par élément finis. Sa particularité est de disposer d'une base de données d'équations permettant de modélisation différents phénomènes multi physiques, comme la déformation des matériaux, le transfert de chaleur, l'électrostatique, l'écoulement de fluides…

Développé initialement comme une toolbox de Matlab, il dispose aujourd'hui de son propre environnement graphique permettant à la fois le dessin des géométries et l'affichage de résultats en post-traitement.

COMSOL Multiphysics a été développé par des étudiants de GermundDahlquist (1925-2005) à la Royl Institute of Technology à Stockholm.

On utilise COMSOL Multyphsics version 4.2 dans notre étude pour faire la modélisation du béton au jeune age au climat chaud.

IV.4.1 Interface graphique de COMSOL Multiphysics

L'interface graphique de COMSOL Muliphisics est présentée dans la figure suivante :

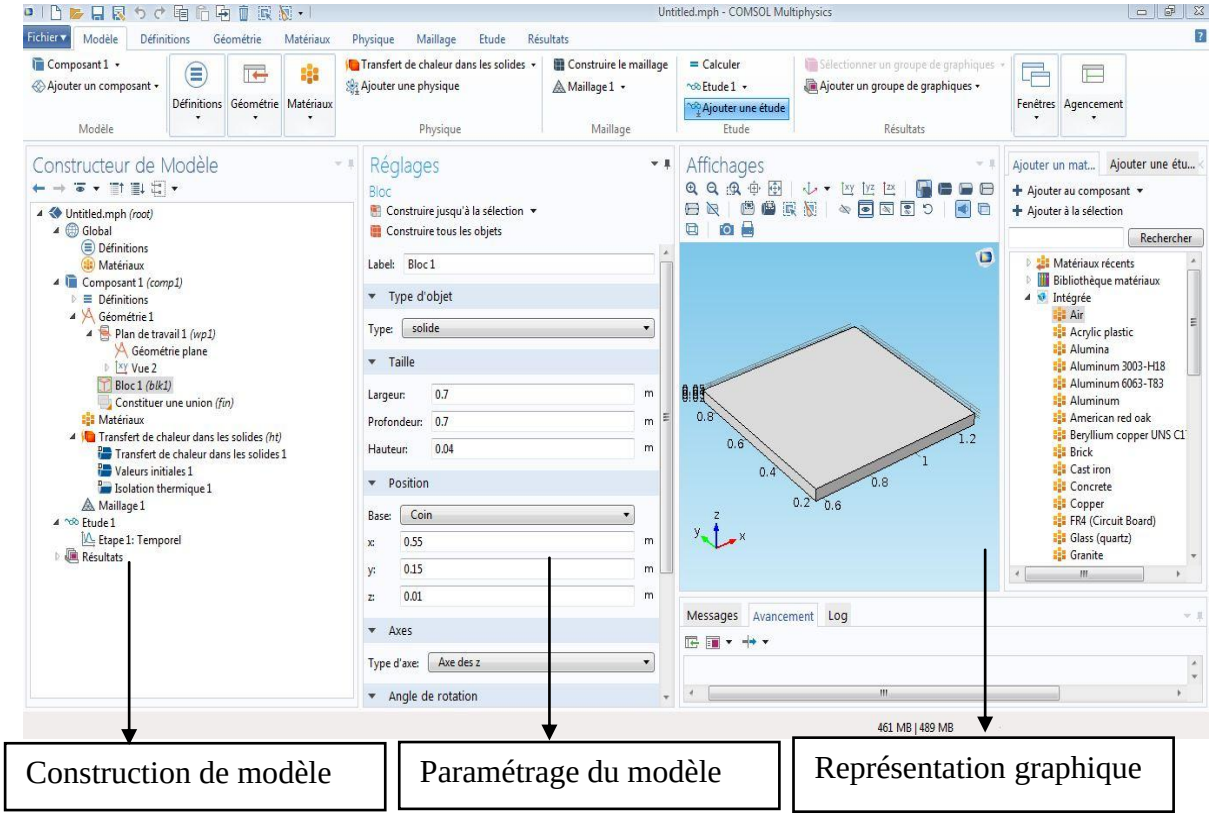


Figure IV. 4: Interface graphique de COMSOL Multiphysics.

IV.4.2. Etapes de modélisations par COMSOL Multiphysics

Les étapes à suivre sont :

1) -choix de la dimension d'espace :3D,2D,2D axisymétrique, 1D axisymétrique, 0D(pour réaction chimique)

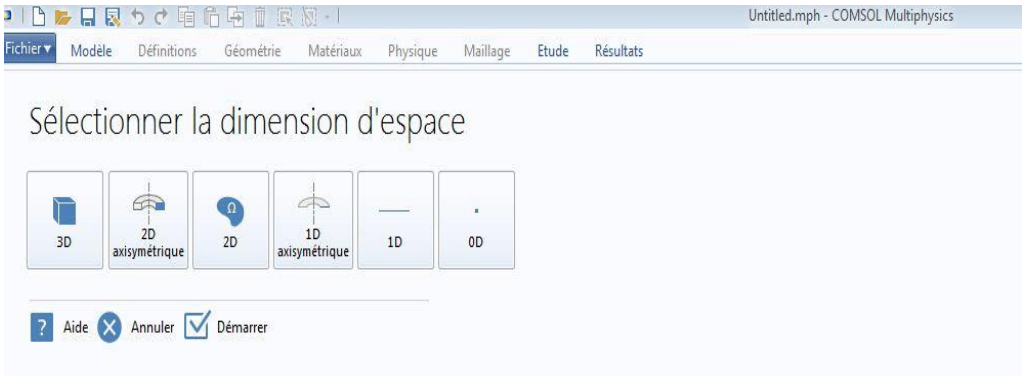


Figure IV. 5: choix de la dimension d'espace

2) - choix des types physique :

Les types physique utilisés sont :

- Mécanique des structures (mécanique du solide).
- Transfert de chaleur (transfert de chaleur fluide-solide→ Ecoulement laminaire)

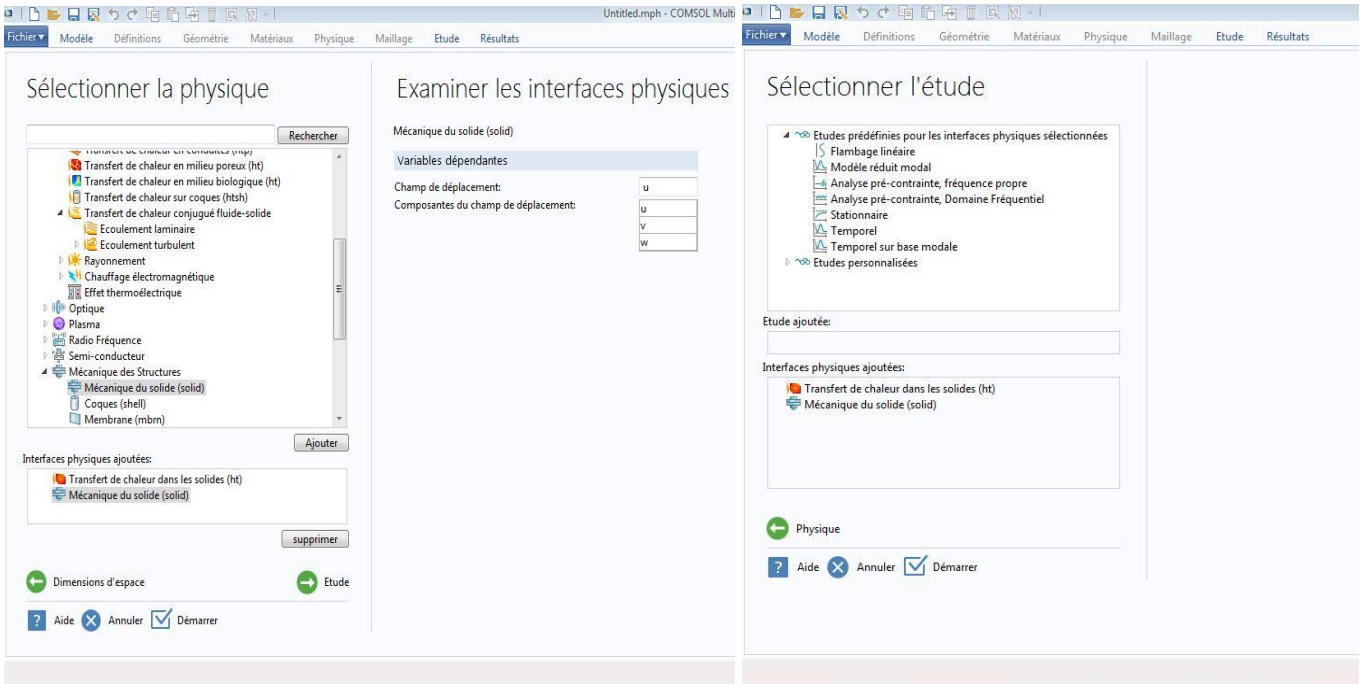


Figure IV. 6: Choix des cracteristiques physique et type d'étude.

3) Choix du type d'étude :

- Stationnaire : pour évaluer l'effet dans une durée déterminée
- Temporel : pour déterminer ladéforminer dans une durée déterminée.

4) Construction de la géométrie : la dalle et l'enceinte climatique

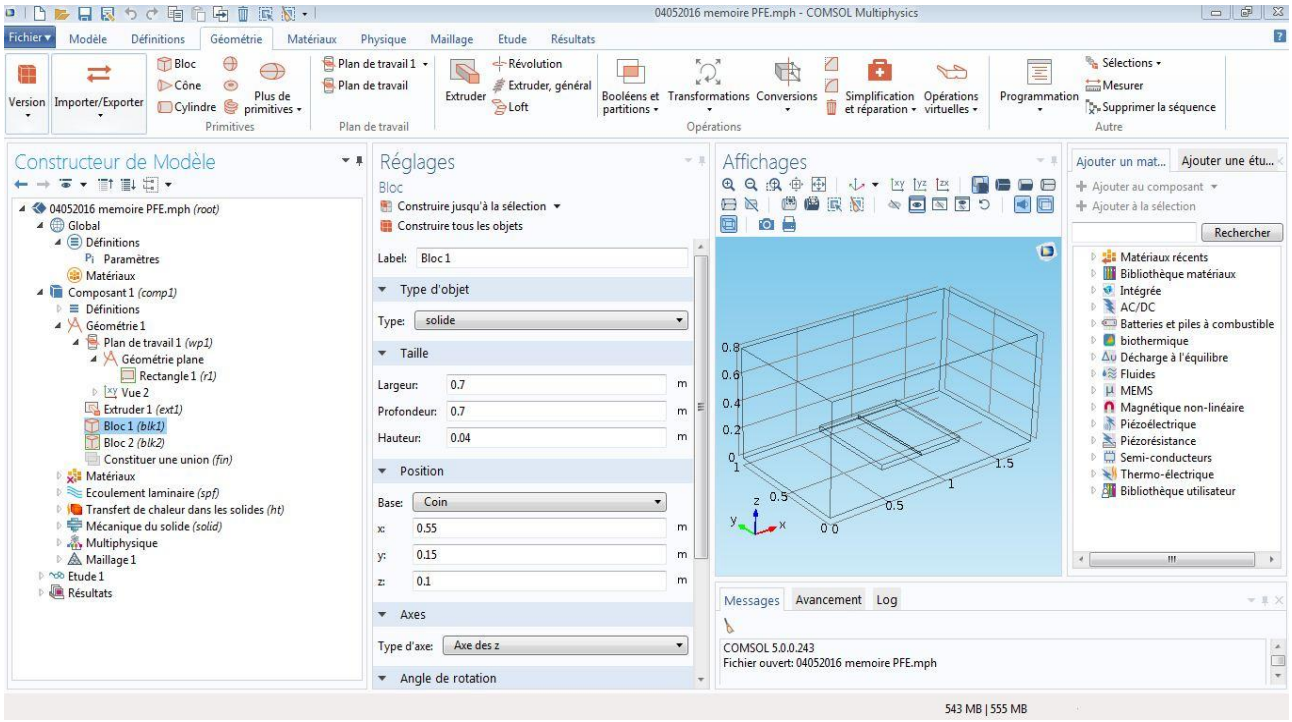


Figure IV. 7: Construction de la géométrie.

5) Choix du (ou des) matériau(x) :à partir de navigateur une panoplie de matériaux est disponible dans ComsolMultphisics

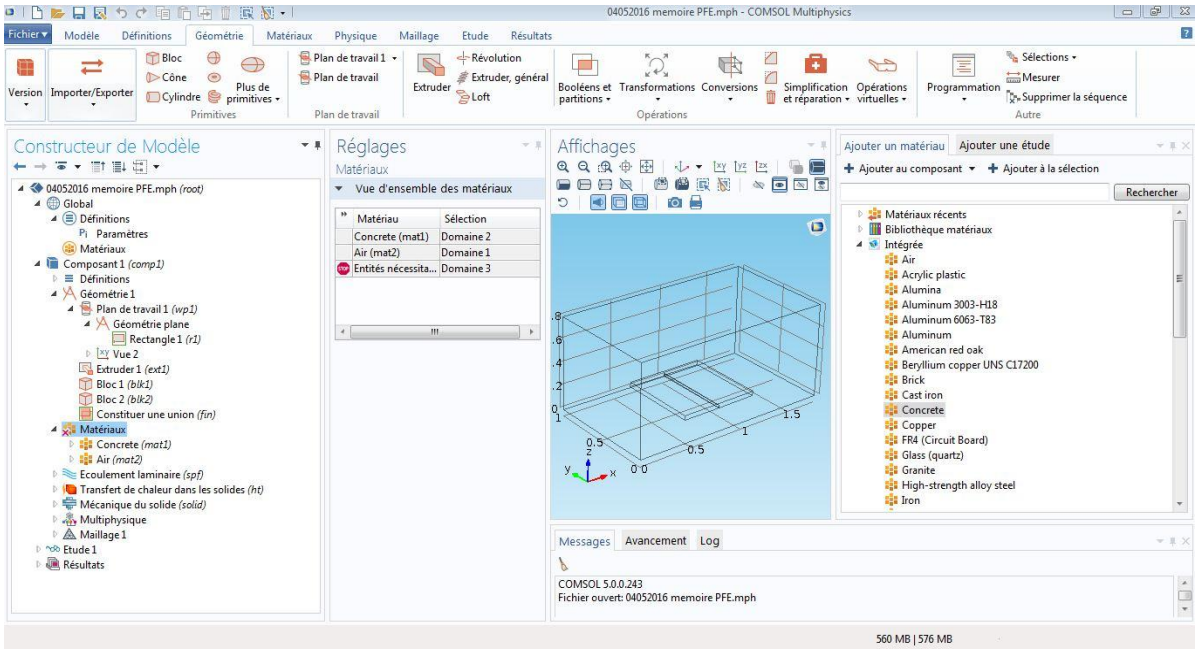


Figure IV. 8: Choix des matériaux à partir de navigateur de matériaux

6) Paramétrage du (ou des) module(s) : identifier les paramètres physiques que définissent le domaine : charges volumiques, constante électrique, etc.

Les paramétrages qui définissent notre cas sont la température ; la vitesse du vent ; la déformation et on peut déformations et on peut définir les paramètres de la géométrie du modèle…

Pour chacun des modèles, il faut préciser quelles sont les variables, et quel est le suffixe propre à ce modèle. En effet, Comsol crée automatiquement des variables pour chaque modèle. Ces variables sont toujours suffixées par le nom du modèle auquel elles sont rattachées.

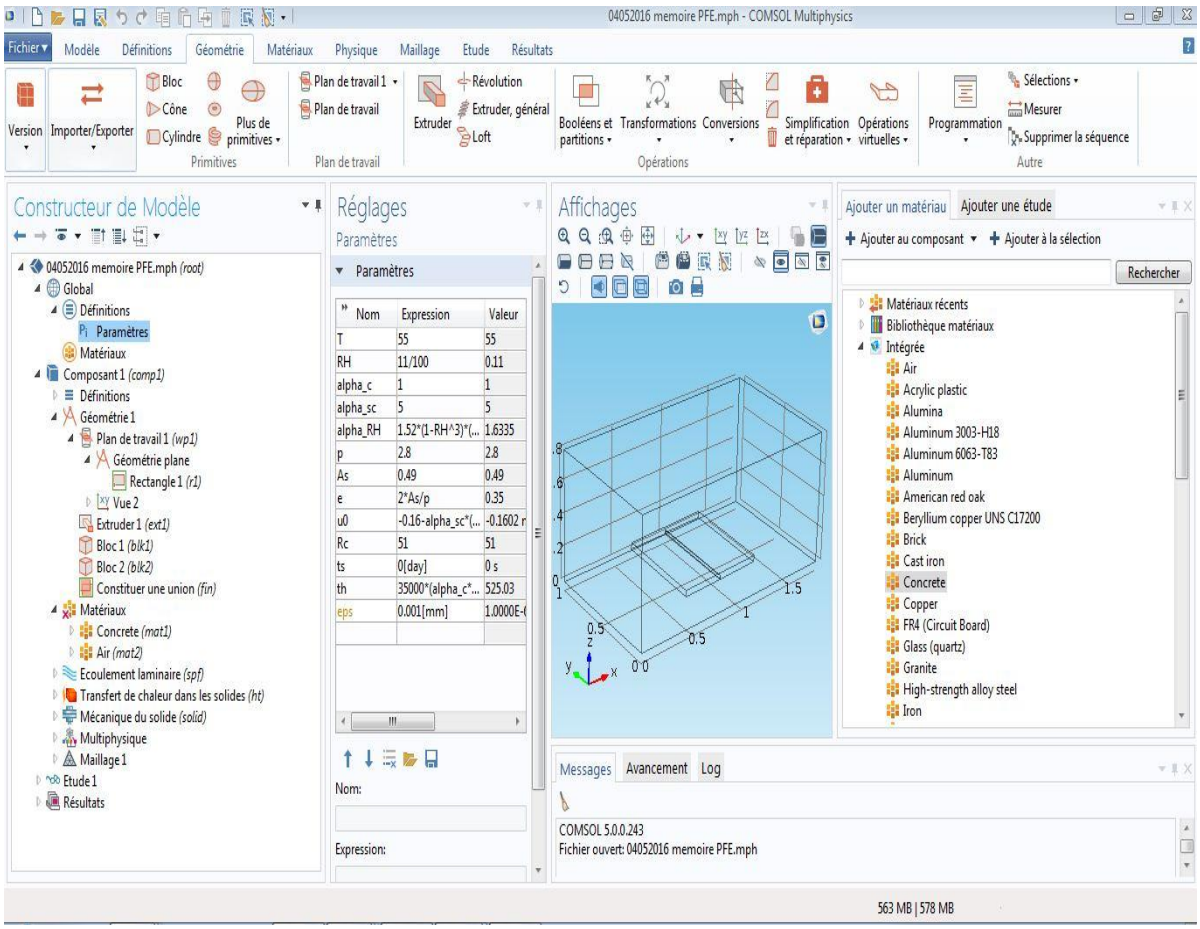


Figure IV. 9: saisis des expressions et les valeurs de chaque paramètre

7)- paramétrage et calcul du maillage

Une fois la physique du problème posée, il faut effectuer le maillage de géométrie. Il est possible de faire un raffinement local du maillage.

Le type de maillage a utilisé dans notre étude : tétraèdre libre.

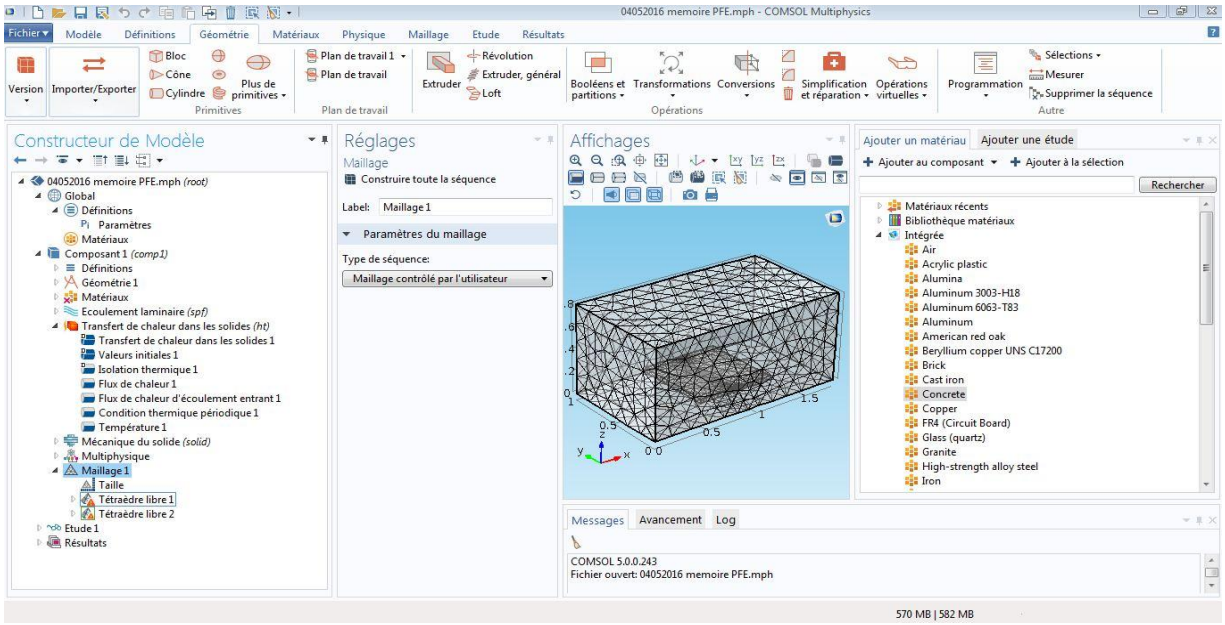


Figure IV. 10: Choix du type de maillage à utiliser et son taille.

8) paramétrage et calcul de l'étude.

Lorsque le problème est complètement défini

Lorsque le programme a convergé vers une solution

9) Représentation graphique des résultats

Lorsque le programme a convergé vers une solution, il bascule automatiquement vers la fenêtre de post-processeur, que permettent d'analyse les résultats.

Il est possible de les visualiser sous forme de remplissage de couleur, de lignes de courant, de champ de flèches, été…

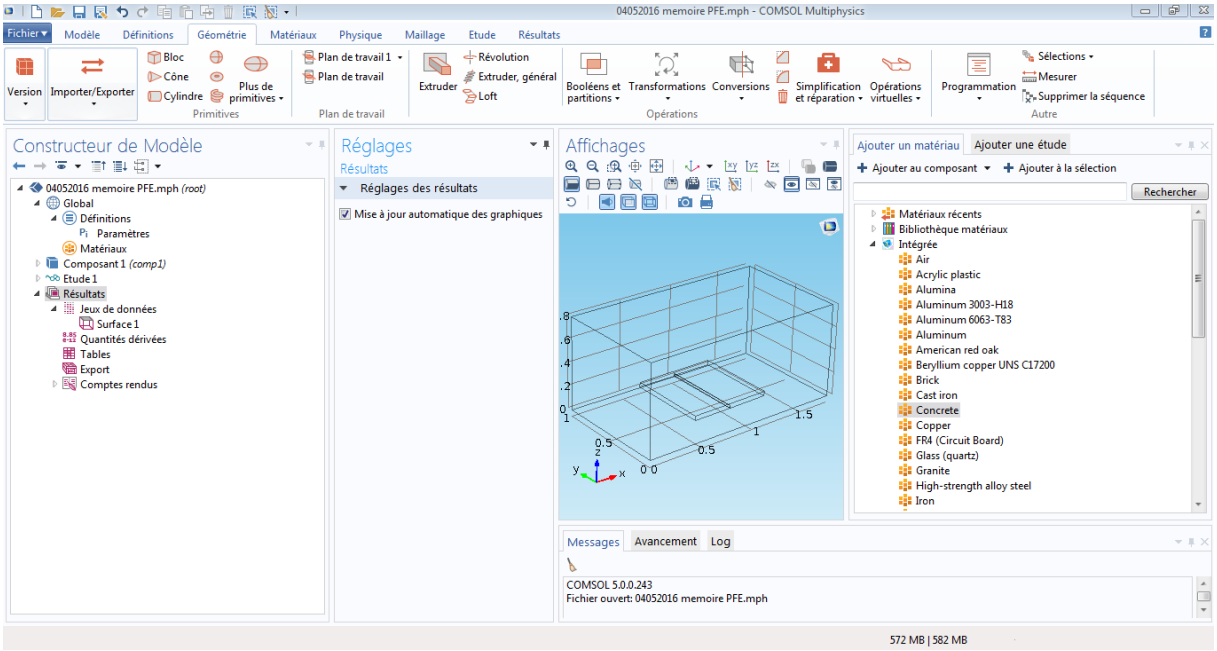


Figure IV. 11: répésentation graphique des résultats.

IV.5.Résultat et discussions

IV.5.1 Résultat expérimentaux :

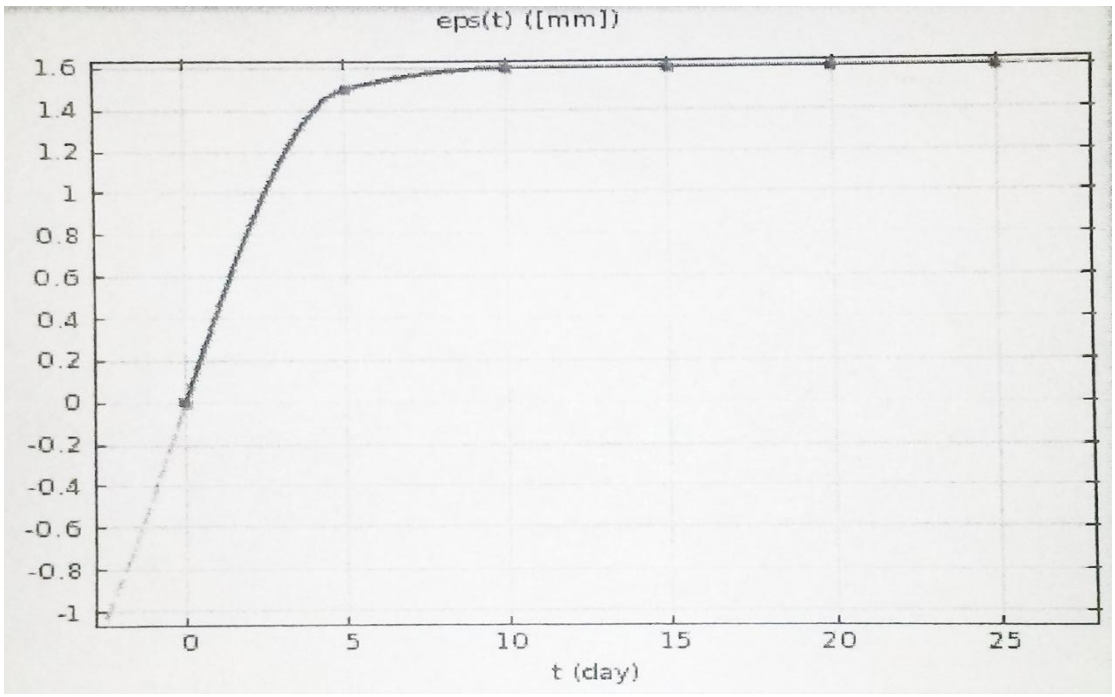
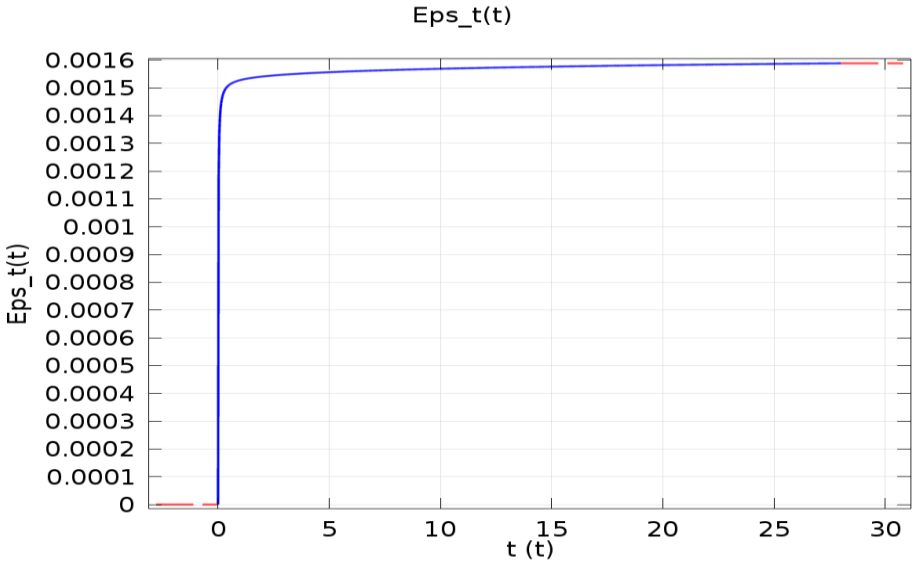


Figure IV. 12: résultats expérimentaux du retrait total en fonction du temps

La figure IV.12 illustre que la variation des déformations dans les premiers Cinque jours le retrait est entre 0 et 1.5, après 5jours et jusqu'à 10jours la variation est petite mais presque constante après constante.

IV.5.2Résultat de simulation numérique :



On remarque qu'il y a une similarité des résultats des déformations obtenues surtout dans les premiers jours entre le 0et 0.0015 m et entre 0.0015 et 0.0016, une variation commence a partir le troisième jour.

IV.6: conclusion

Le comportement du béton surtout au jeune âge est extrêmement du fait du nombre important de facteurs entrant en jeu (formulation, conditions environnementales, géométrie….). Le matériau subit plusieurs sortes de transformations (maturation, séchage, variation dimensionnelles….) parfois couplées entre telle sorte qu'il est difficile de corréler les résultats de retrait liber/empêché et l'évolution chimio– mécaniques du matériau durant cette période.

Les propositions de modèle et l'implantation ne sont pas suffisantes pour une compréhension de comportement du béton au jeune âge (la présence du retrait plastique), et pour déduire l'influence des facteurs environnementaux sur les structures en béton .

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail consiste a implanté modèle dans le code des éléments finis **COMSOLMutiphysics** afin d'étudie'un' ou les facteurs influençant la fissuration due au retrait plastique dans les structures en BA en zones arides, cas d'Adrar" et nous prenons comme exemple wilaya d'Adrar.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une description générale du matériau béton et précisément sa composition, donc les différents éléments introduit dans sa fabrication , ciment , eau, adjuvants et granulats .cette dernière et l'élément principale de notre recherche pour cela nous avons essayé de faire un détail sur cet élément, ces caractéristique intrinsèque et physicochimique pour avoir une idée sur sa influence sur le matériau béton. Puis nous avons réalisé une synthèse sur le comportement du béton. Cela a permis de donner une idée sur la complexité du béton et sa forte hétérogénéité qui est due à ses caractéristiques intrinsèques.

Le deuxième chapitre nous avons prescrit précisément le phénomène du fissuration, les causes de fissuration, modalisation de fissuration et retrait, les causes du retrait, les types de retrait influents sur le béton surtouts le retrait plastique, la mécanisme de retrait plastique les causes de retrait plastique, les facteurs influençant la retrait plastique et la relation entre le fissuration et le retrait plastique.

Le troisième chapitre nous avons prescrit précisément les zones arides, les causes, les conséquences, les Températures, Humidité atmosphérique, Vent dans les ondes arides (cas Adrar) et les modes de transformation de chaleur**.**

Quatrième chapitre est consacré à l'étude Modélisation numérique du comportement du béton au jeune âge L'échantillon modélisé est un échantillon réalisé en niveau de l'laboratoire de génie civil de l'université de Béchar pour une recherche expérimentale de fin d'étude de l'année 2008 afin de valider nos résultats.

Nous avons obtenue un résultat presque des résultats de l'laboratoire de génie civile de université de Béchar, Et on la fin déduire Le comportement du béton surtout au jeune âge est extrêmement du fait du nombre important de facteurs entrant en jeu (formulation, conditions environnementales, géométrie….). Le matériau subit plusieurs sortes de transformations (maturation, séchage, variation dimensionnelles….) parfois couplées entre telle sorte qu'il est

difficile de corréler les résultats de retrait liber/empêché et l'évolution chimio– mécaniques du matériau durant cette période.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] : BERBAOUI.R :« Identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires a base polymère. » Soutenue le 21 janvier 2010 à l'université de Cergy Pontoise. Spécialité génie mécanique.

[2] : Raymond Dupain. (2009) « Granulats, sols, ciments et béton : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » 4éd

[3] :R.Dapain,Granulats, sols, ciments, et béton ''édition castiella, 2000france; P 86-88.

[4] : Omar Chaallal, ""structures en béton armé'', Presses de l'université du québec,2009 ; p3-9.

[5] : LIBRAIRIE TECHNIQUE TECHNOSCIENCES : « Granulats sols ciments bétons.

Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. 03 / 2009. pages

344.

[6] : Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton

[7] : Technologie du béton, Edition 1998, Groupement Belge du Béton

[8] : ABC du ciment et du béton, FEBELCEM.

[9] : YVES MALIER : Les bétons à hautes performances, du matériau à l'ouvrage, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1990.

[10] : DREUX. G 1979 : « Nouveau guide du béton. »

[11] : GABRYSIA. F : Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007

[12] :ADAMM.N : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000

[13] :VENANT.M : « Ciment et bétons. » 2ème édition. 1973

[14]: Groupe Eyrolles : « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles. 2010

[15] : EN-12390-3 : résistance à la compression des éprouvettes.

[16] : EN-12390-5 : résistance à la flexion sur éprouvettes.

[17] : THIBAULT. B, BOUFFARD.M, HORLAIT.C, LACROIX.R : Projet IFIPS(2008)

[18] : JEAN Pierre mougin : "Cours de béton armé B.A.E.L.91: calcul de s éléments simples et des structures en béton armé" Edition Eyrolles. 1997

[19]: Malika KAOUAN «Analyse des contraintes mécaniques et de la fissuration des éléments en béton armé sous l'effet thermomécanique» MEMOIRE DE MAGISTER 2011.

[20]: Chen, W. F. and Han, D. J., (1988), "Plasticity for structural engineers". Springer-Verlag New-York.

[21]: Chen,F.U. and Suzuki,H.,(1980), "Constitutive models for concrete"Computers& Structures, Vol. 12, pp. 23-32.

[22]: Kupfer H.B., Gerstle K.H. (1973), Behavior of concrete under biaxial stresses, Journal of Engineering Mechanics ASCE, 99, p. 853-866.

[23]: Chen Z., Schreyer H.L. (1995), Formulation and computational aspects of plasticity and damage models with application to quasi-Brittle materials, Rapport SAND95-0328, Sandia National Laboratories, U.S.A., 96 p.

[24]:Neville A.M. (2000), Propriétés des bétons, traduction de la version anglaise par le CRIB, Editions Eyrolles, 806 p.

[25] : Imran I., Pantazopoulou S.J. (2001), Plasticity model for concrete under triaxial Compression, ASCE Journal of Engineering Mechanics, 127 (3), p. 281-290.

[26]: B.A.E.L. Règles et techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en Béton armé aux états limite, fascicule 62 du CCTG, règlement français

[27] :Ghannoum .W.M, (1998), «Size effect on shear strength of reinforced concrete beams».mémoire de master école normale supérieure de Cachan.

[28] : P. Rossi. « Les bétons de fibres métalliques ». Presse de l'école nationale des ponts et Chaussées, 1998.

[29] : S. Bonnet. « Matériaux cimentaire à haute déformabilité par incorporation de granulats issus du broyage de pneus usagés ». Thèse d'université de Toulouse 3. 2004.

[30]: Durable Concrete Structures Design Guide Published by Thomas Telford Services Ltd 1997, p 112.

[30] : CALGARO J. A. & LACROIX R., «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.

[31] : Lapointe, R. Mémoire de maitrise « Contribution à l'étude des méthodes d'injection des fissures dans le béton » Université de McGill, Montréal (1997).

[32]: Rashid, Y. R., (1968), "Analysis of Prestressed Concrete Pressure Vessels",Nuclear Engineering Des,Volume 7, No. 4, pp. 334-355.

[33]: Hillerborg, A., (1983), "Analysis of One Single Crack", Fracture Mechanics of Concrete (Editedby F. H. Wittmann). Amsterdam: Elsevier Science, pp. 223-49.94

[34]:Ottozen, S. N., (1980); "A failure criteria for brittle materials". J. Eng. Mech. Div. ASCE,Vol. 103, n°EM4, Proc. Pap. 13111, August, pp. 527-535.

[35]: Shah, S.P.; Swartz, S.E. and Ouyang C., (1995), "FractureMechanics of Concrete",Wiley, New York.

[36]: Sih, G. C.; Ditommaso, A., (1985), "Fracture Mechanics of Concrete". MartinusNijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands.

[37]:Gillemot, L.F., (1976), "Criterion of Crack Initiation and Spreading", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 8,pp. 239-253.

[38] : Merabet O., (1990), "Modélisation des structures planes en béton armé sous chargement monotone et cyclique. Construction et validation d'un modèle numérique», Thèse de Doctorat, INSA Lyon, 1990, 267 p.

[39]: Ngo, D.; Scordelis, A.C, (1967), "Finite element analysis of reinforced concrete beams», Journal of the American Concrete Institute, 1967, vol. 64, n° 3, pp.152-163.

[40]: Rashid, Y. R.; (1968) ; " Analysis of Prestressed Concrete nuclear reactor structures". Unpublished notes presented at conference on prestressed concrete nuclear reactor structures, University of California, Berkley. March.

[41] : Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT «La durabilité des bétons» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.

[42] : KedjourNaser-Eddine "Propriété et pathologie du béton" PUBLIE PAR OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERCITAIRES 1993 269P.

[43] :R.Dapain, « Granulats, sols, ciments, et béton édition castiella ». 2000france.

[44] : Mr BOUFEDAH BADISSI Ahmed, « Influence de granularité (classe granulaire 4/22.4) sur les caractéristique des granulat et sur les propriétés des béton ordinaire ». Mémoire de Magister, Université MENTOURI Constantine, Janvier 2011.

[45] :KedjourNaser-Eddine "Propriété et pathologie du béton" PUBLIE PAR OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERCITAIRES 1993 269P.

[46] : Akchichehamida«contribution à la modélisation du retrait et du fluage des bétons et mortiers renforcées par des fibres de palmier dattier en régions désertiques» mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister université Kasdimerbah de ouargla May 2007.

[47] : Les Dossiers du CSTC – Cahier n° 2 – 2e trimestre 2004.

[48] : Turcry P. (2004) Retrait et fissuration des bétons autoplaçants. Influence de la formulation. Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes.

[49]:Mokarem D. W. (2002) Development of concreteshrinkageperformances specifications. PhdThesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

[50] : Laurence O. (2001) La fissuration due au retrait restreint dans les réparations minces en béton : Apports combinés de l'expérimentation et de la modélisation. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.

[51] : Sabathier V. (2004) Rechargements minces adhérents à base cimentaire renforcés de fibres métalliques. Condition de leur durabilité, modélisation et calcul. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

[52] : OuddaZana"contribution a la modélisation du comportement du béton au jeune âge au climat chaud" université de BÉCHAR mémoire de master 2012".

[53] :

[54] : Joumana YAMMINE : « Rhéologie des bétons fluides à hautes performances : relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques ». Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, 2007.

[55]: D. J. HANNANT, J. BRANCH, and M. MULHERON. Equipment for tensile testing of fresh concrete. Magazine of ConcreteResearch, 51(4): 263_267, August 1999.

[56]:Z. BAYASI and M. MACINTYRE. Application of fibrillated polypropylene fibers for restraint of shrinkage cracking in silica fumes concrete. ACI Materials Journal, 99(4) : 337_344, July-August 2002.

[57]: Joachim Gratzfeld.« Industries extractives dans les zones arides et semi-arides Planification et gestion de l'environnement ».2004,p 06.

[58]:http://www.fao.org/docrep/t0122f/t0122f03.htm

[59] :https://fr.wikipedia.org/wiki/Aridit%C3%A9

[60] :https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrar_(Alg%C3%A9rie)mercredi 25 mai 2016 a 17h.

[61] :Y. Jannot, Thermique Solaire. Cours et Exercices. Chapitre: l'Energie Solaire. Chapitre: Bibliographie: Facteurs de Forme Géométrique de Rayonnement, Octobre2003.

[62]:Yves Jannot«transfert de chaleur 2012».

[63]:Mohamed GACEM« Comparaison Entre l'Isolation Thermique Extérieure et Intérieure d'une pièce D'un Habitat Situé Dans Le Site De Ghardaïa ».

[64] :G. Ritoux,Evaluation Numérique des Facteurs de Forme,RevuePhysAppl. 17 (1982)

503-515.

[65] : Adamah MESSAN ;« Contribution a l'étude du comportement au très jeune âge des structures minces en mortier».

[66] : NBN EN 1992-1-1 'Eurocode 2 ;« le retrait empêché du béton prédiction selon l'Eurocode 2 et maîtrise via les technique d'exécution **».**