

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

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :  
Master En Génie Civil  
Option : Matériaux en Génie Civil  
Présenté Par :

KAMARI KELTHOUM

MANSOURI Wafa

**THEME**

---

*Effet du ressuage sur le comportement mécanique du  
béton dans une région aride (cas d'Adrar) Etat de L'Art*

---

Soutenu le :27 /10/2020, devant le jury composé de :

Dr. D. DJAAFARI	Univ. D'ADRAR	Examineur
Mr. M. ABDELDJALIL	Univ. D'ADRAR	Examineur
Mr. A. HAMOUDA	Univ. D'ADRAR	Encadreur

Année Universitaire2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciement

*Nous remercions notre Dieu ALLAH, de nous avoir donné le savoir la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à **Mr. Hamouda Abdelaziz** pour avoir accepté de nous encadrer et pour son suivi sans cesse d'élaborer ce travail.*

*Nous remercions tout le personnel de laboratoire LTPS d'Adrar pour tous les moyens qu'elle a mis à notre disposition pour que nous puissions effectuer notre stage pratique dans les meilleures conditions.*

*Nous n'oublions pas l'aide qui nous a été fournie par le laboratoire.*

*Nous saisissons cette occasion pour exprimer toute notre reconnaissance pour tous les enseignants de la spécialité*

**Génie Civil.**

*Enfin, que toutes celles et ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs encouragements à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde sympathie.*

**Merci.**

# Dédicaces

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*A mon père Mohammed et à ma mère mebirika la source de ma force*

*A mes chères sœurs : Hadjer, Samia, Amira.*

*A mes chers frères : Ilyas, Abdelmalek, Oussama, Yacine.*

*A toute la famille MANSOURI*

*A tous mes amis*

*A mon binôme KELTHOUM.*

*A toute la promotion MGC*



Wafa

# Dédicaces

*A mes parents BOUDJAMAA et MEBARKA qui m'ont soutenu et encouragé  
durant toutes mes années d'études,*

*A mes sœurs FATMA, GHADA, FATIHA, KHAOULA.*

*A mes frères OUSSAMA et MOHAMMED EL BACHIR*

*A tous mes ONCLES et TANTES*

*A toute la famille KAMARI et la famille EL KARIM*

*A tous qui aide-moi surtout ZINOUR MOHAMED,*

*A toutes mes amies D'AOUGROU*

*A mon binôme WAFI.*

*A toutes les personnes qui j'ai connu et aime.*

KELTHOUM

## *Résumé*

Ce travail est pour but de présenter l'état de l'art sur l'effet du ressuage sur les propriétés et le comportement mécanique du béton coulé dans une région aride.

Bien que l'utilisation du béton dans le domaine de la construction croit avec le temps, l'étude de ses propriétés et son comportement reste encore un sujet qui demande beaucoup de recherches. Ceci est vient de la particularité des phénomènes influencent les matériaux béton surtout dans les zones arides.

Le béton après son coulage est exposé à plusieurs problèmes, dont l'un de ces problèmes est le ressuage. Ce dernier est connu comme un phénomène de remontée d'une partie d'eau à la surface du béton frais. Dans le cas où les vitesses d'évaporation restent limitées, il apparaît une pellicule d'eau claire à la surface du béton. En l'absence d'évaporation, le débit d'eau ressué est maximal aux premiers instants puis décroît jusqu'à une disparition totale, mais dans les zones arides avec la présence d'une température élevée, un vent chaud et une faible humidité le ressuage augmente et produit d'autres phénomènes affectant la résistance, et la qualité du béton. Cela nécessite des précautions à faire pendant le coulage et à l'état frais du béton et avant le durcissement.

**Mots clés :** Ressuage, Régions Arides, Propriétés du béton, Béton coulé.

## *Abstract*

The aim of this work is to present a state of the art on the effects of bleeding on the properties and mechanical behavior of poured concrete in an arid region.

Although the use of concrete in construction is growing over time, the study of its properties and behavior is still a subject that requires a lot of research. This is due to the peculiarity of the phenomena influence concrete materials especially in arid zones.

Concrete after it has been poured is exposed to several problems, one of which is bleeding. The latter is known as a phenomenon of a part of water rising to the surface of fresh concrete. If the evaporation rates remain limited, a film of clear water will appear on the surface of the concrete. In the absence of evaporation, the flow of water exhaled is maximum at the first moments and then decreases until it is canceled, but in arid areas with the presence of high temperature, hot wind and low humidity bleeding increases and produces other phenomena affecting the strength and quality of concrete. This requires precautions to be taken during pouring and when the concrete is fresh and before hardening.

### **Key words:**

Concrete, Bleeding, Hot regions, Concrete properties, Pouring concrete

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقديم حالة فنية حول تأثيرات النضح على الخصائص والسلوك الميكانيكي للخرسانة المصبوبة في منطقة جافة.

على الرغم من استخدام الخرسانة المتزايد في البناء مع مرور الوقت إلا أن دراسة خصائصها وسلوكها لا يزال موضوعًا يتطلب الكثير من البحث. هذا بسبب خصوصية الظواهر التي تؤثر على مادة الخرسانة خاصة في المناطق الجافة.

تعرض الخرسانة بعد صبها لعدة مشاكل، أحدها النضح أو (النرف). يُعرف هذا الأخير بظاهرة ارتفاع جزء من الماء إلى سطح الخرسانة الطازجة. في ظل معدلات التبخر المحدودة، تظهر طبقة من الماء على سطح الخرسانة، أما في حالة عدم وجود تبخر، يكون تدفق المياه إلى أقصى حد في اللحظات الأولى ثم يتناقص حتى يتوقف، ولكن في المناطق الجافة مع وجود درجة حرارة عالية ومرياح حارة ورطوبة منخفضة يزيد النرف وينتج ظواهر أخرى تؤثر على متانة وجودة الخرسانة، ولهذا يتطلب شيء من العناية أثناء الصب في حالة الخرسانة الجديدة وقبل المعالجة..

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة، النرف، المنطقة الحارة، صب الخرسانة، خواص الخرسانة.

# TABLE DES MATIÈRES

## INTRODUCTION GENERALE

*Introduction Général..... 1*

## CHAPITRE I :LE BETON ET SES COMPOSITIONS

*I.1. Introduction..... 4*

*I.2. Béton :..... 4*

*I.2.1. Compositions de béton :..... 4*

*I.2.3. Classification du béton [19]..... 13*

*I.2.4. Les types de bétons [20] : ..... 14*

*I.3. Le retrait dans béton .....17*

*I.3.1. Les types de retrait [14] ..... 17*

*I.3.2. Les causes du retrait : [23.24] ..... 21*

*I.3.3. Les Conséquences du Retrait : [23.24] ..... 22*

*I.4. Conclusion : .....22*

## CHAPITRE II: LES CAUSES ET LES FACTEURS AFFECTANTS LE RESSUAGE

*II.1. Introduction .....24*

*II.3. Causes de ressuage .....27*

*II.3.1. Ségrégation..... 27*

*II.3.2. Les facteurs affectant la ségrégation..... 27*

*II.3.3. Les causes de ségrégation ..... 28*

*II.3.2. Effets des ingrédients sur les ressuges..... 28*

*II.4. Facteurs affectants le ressuage [33] .....30*

*II.5. Méthodes d'essai pour accéder au ressuage [34] .....31*

*II.6. Différents types de ressuage : .....31*

<i>II.7. Effets du ressuage dans le béton :</i> .....	<b>32</b>
<i>II.8. Façons de réduire le ressuage du béton</i> .....	<b>32</b>
<i>II.9. Mélange de béton</i> .....	<b>33</b>
<i>II.10. Compactage du béton</i> .....	<b>35</b>
<i>II.11. Vibration du béton</i> .....	<b>35</b>
<b>II.13.2. Prise en compte par temps chaud</b> .....	<b>39</b>
<b>II.13.3. Les effets de la température</b> .....	<b>39</b>
<b>II.13.4. Problèmes potentiels par temps chaud</b> .....	<b>41</b>
<b>II.13.5. Problèmes potentiels liés à d'autres facteurs</b> .....	<b>41</b>
<i>II.14. La relation entre les ressuages et le temps chaud</i> .....	<b>42</b>
<i>II.15. Les régions arides</i> .....	<b>42</b>
<b>II.15.1. Définition l'aridité :</b> .....	<b>42</b>
<b>II.15.2. Types de l'aridité</b> .....	<b>43</b>
<b>II.15.3. Causes de l'aridité :</b> .....	<b>44</b>
<b>II.15.4. Indices d'aridité :</b> .....	<b>44</b>
<b>II.15.5. Indice de Gaussene :</b> .....	<b>44</b>
<b>II.15.6. Indice d'aridité de Martonne :</b> .....	<b>44</b>
<i>II.16. Les facteurs environnementaux influencés sur le béton frais :</i> .....	<b>45</b>
<b>II.16.1. Températures :</b> .....	<b>45</b>
<b>II.16.2. Vent :</b> .....	<b>45</b>
<b>II.16.3. Humidité atmosphérique :</b> .....	<b>45</b>
<i>II.17. La relation entre les ressuages et les régions arides</i> .....	<b>46</b>
 <b>CHAPITRE III :INFUENCE DU RESSUAGE SUR LE BETON FRAIS DANS UNE REGION ARIDE</b>	
<i>III.1 Introduction :</i> .....	<b>48</b>
<i>III.2. Opérations de bétons</i> .....	<b>48</b>
<i>III.3. Propriétés du béton</i> .....	<b>48</b>

III.3.1. Béton frais .....	48
<i>III.4. Couler le béton par temps chaud [40].....</i>	<i>57</i>
III.4.2. Effets des conditions météorologiques chaudes .....	60
III.4.3. Minimiser les effets des conditions météorologiques chaudes [40].....	61
III.4.4. Précautions par temps chaud [40].....	63
<i>III.5. Procédures de bétonnage en climat chaud [42].....</i>	<i>67</i>
III.5.1. Refroidissement des composants.....	67
III.5.2. Production et livraison.....	68
III.5.3. Placement .....	68
III.5.4. Guérir.....	69
<i>III.7. Conclusion.....</i>	<i>73</i>

*CONCLUSION GENERALE*

<i>Conclusion générale.....</i>	<i>75</i>
---------------------------------	-----------

*REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

<i>Références Bibliographiques .....</i>	<i>78</i>
--	-----------

---

## Liste des Figures

---

### CHAPITRE I : LE BETON ET SES COMPOSITIONS

<i>Figure I. 1: Constituant de béton.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure I. 2 : Clinker Portland.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure I. 3: Essai d'affaissement au cône d'Abrams [15].....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I. 4: Béton frais [16].....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I. 5: Essai de traction par flexion.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I. 6: bétons autoplaçants.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure I. 7: Représentation schématique du retrait de ressuage.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure I. 8: Retrait plastique à la surface d'une dalle en béton armé. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figure I. 9 : Ouverture importante des fissures de retrait. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figure I. 10: Volume absolu et volume apparent [18].....</i>	<i>21</i>

### CHAPITRE II: LES CAUSES ET LES FACTEURS AFFECTANTS LE RESSUAGE

<i>Figure II. 1 : Répartition E / C de la colonne de béton 150 min. plus tard après le casting.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II. 2: Rapport de résistance à la compression entre la valeur réelle et la valeur de conception.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure II. 3 Variation de la masse du volume unitaire et du grossier contenu agrégé des bétons placés avec hauteur.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure II. 4: Le phénomène des ressuges.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure II. 5: Phénomène de ségrégation.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure II. 6: Relation entre la résistance à la compression et le temps de mélange.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure II. 7 : Relation entre le coefficient de variation de la résistance et le mélange temps.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure II. 8: Vibreur interne, (Rayon d'action).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure II. 9: vibration correcte.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure II. 10: vibration incorrecte.....</i>	<i>37</i>

### CHAPITRE III: INFLUENCE DU RESSUAGE SUR LE BETON FRAIS DANS UNE REGION ARIDE

<i>Figure III. 1: Pression du béton.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III. 2 : Finition béton.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III. 3: Les effets de l'augmentation de l'hydratation contenu.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III. 4: L'augmentation de l'eau a éclaté contenu du ciment.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III. 5: Gamme typique d'agrégats.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure III. 6: Séparation des particules.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure III. 7: remplissage du moule.....</i>	<i>53</i>

---

## Liste des Figures

---

<i>Figure III. 8: Test d'affaissement - test le plus simple et le plus grossier</i> .....	54
<i>Figure III. 9: Test d'affaissement (ture, tondre, effondrer)</i> .....	54
<i>Figure III. 10: Appareil à facteur de compactage</i> .....	55
<i>Figure III. 11: Test de débit</i> .....	55
<i>Figure III. 12: Influence du béton, de la température de l'air, de l'humidité relative et de la vitesse du vent sur le taux L'humidité de surface s'évapore du béton (après ACI 305)</i> .....	58
<i>Figure III. 13: Influence de la température de l'air sur le réglage temps de béton fabriqué avec du ciment de type GP</i> .....	59
<i>Figure III. 14: Diminution de l'ouvrabilité du béton frais (tel que mesuré par affaissement), fait avec de l'eau constante contenu, à mesure que la température augmente</i> .....	59
<i>Figure III. 15: Effet des températures de durcissement élevées sur résistance à la compression du béton</i> .....	59
<i>Figure III. 16 : Effet du temps de séchage humide sur le gain de résistance béton</i> .....	72

---

## Liste des tableaux

---

### CHAPITRE I : LE BETON ET SES COMPOSITIONS

*Tableau I. 1. La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance..... 10*

*Tableau I. 2. Vibration recommandée en fonction de l'ouvrabilité du béton. .... 10*

### CHAPITRE II: LES CAUSES ET LES FACTEURS AFFECTANTS LE RESSUAGE

*Tableau II. 1 : Températures typiques du béton pour diverses humidités relatives potentiellement critique à la fissuration par retrait plastique. .... 40*

*Tableau II. 2 : classification des zones au monde suivant leur Indice d'aridité [36] ..... 44*

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction Général

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de Génie Civil, plus que tous les autres matériaux réunis. Sans le béton, on ne pourrait pas réaliser ce qu'on construit aujourd'hui en matière de logement, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures malgré que les charpentes soient intervenus dans des nombreux travaux de construction.

Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière homogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants. Des phénomènes influent le béton, dans son état frais, surtout dans les zones arides où les superficies des ouvrages sont exposées à une température élevée qui accélère et augmente le taux d'évaporation d'eau du ressuage.

Le ressuage est caractérisé par une remontée d'eau de gâchage sur la surface du béton hydraulique après son coulage, cette particularité n'est pas entièrement néfaste. Dans le cas où le ressuage se présente sous sa forme normale ou localisée, une pellicule d'eau claire apparaît à la surface du matériau. En effet elle permet d'isoler par sa fine couche d'eau le béton des agents atmosphériques lors de son durcissement, et ainsi ne pas perturber la cinétique de sa prise.

La connaissance des causes du ressuage ainsi que de ces effets est primordiale, pour nous pouvons prise une idée sur le comportement du béton soit dans son état durci ou son état frais, qui caractérise par une sédimentation des grains, par conséquent l'apparitions des ségrégations affectant le comportement du béton après sa dessiccation.

L'objectif de notre étude est de présenter une synthèse bibliographique sur le ressuage du béton en montrant l'effet du ressuage sur les propriétés du béton coulé dans une région aride.

Le mémoire s'articule autour de trois chapitres :

**Le premier chapitre :** Consiste la présentation du matériau sujet de cette recherche et ses composants en donnant les différentes caractéristiques à prendre en compte pendant les formulations.

**Le deuxième chapitre :** Comporte une généralité sur le ressuage et les facteurs affectant ce phénomène et sa relation avec l'élévation de la température du béton.

**Le troisième chapitre :** Consacré à la description et la discussion de l'effet du phénomène du ressuage sur les propriétés du béton coulé dans les régions arides.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale, comporte une recommandation pour bien développer l'idée coupée à cause des conditions actuelles.

# **CHAPITRE I :**

# **LE BETON ET SES COMPOSITIONS**

## I.1. Introduction

Les bétons sont des matériaux de construction qui contiennent du ciment, de l'eau, du sable, des granulats et des adjuvants (retardateurs ou accélérateurs de prise, réducteurs d'eau...et). Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature, les pourcentages des constituants, le malaxage et la mise en œuvre. Le béton est constitué de [1]:

- liant (ciment ou chaux),
- eau,
- sable,
- granulats,
- adjuvants.

## I.2. Béton :

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].

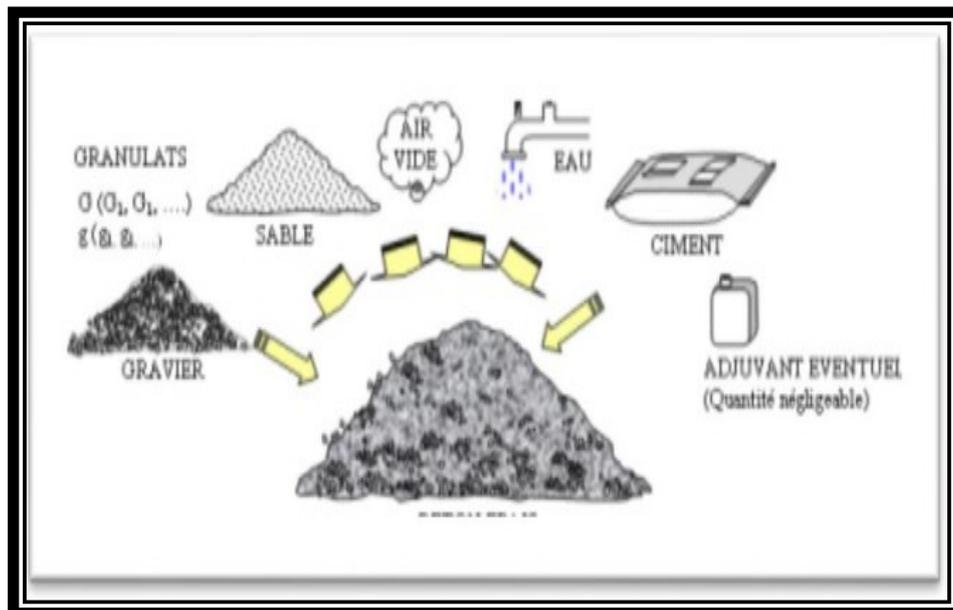


Figure I. 1: Constituants de béton. [2].

### I.2.1. Compositions de béton :

#### I.2.1.1. Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction

(hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau. [3.4.5]

#### I.2.1.1.1. Type de ciment :

- CEM I (ciment Portland)
- CEM II A ou B (ciment Portland composé)
- CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau)
- CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) sont également adaptés à un milieu agressif.
- CEM V A ou B (ciment composé) ont les mêmes propriétés physiques que les CEM III, mais pas les mêmes constituants. [6]

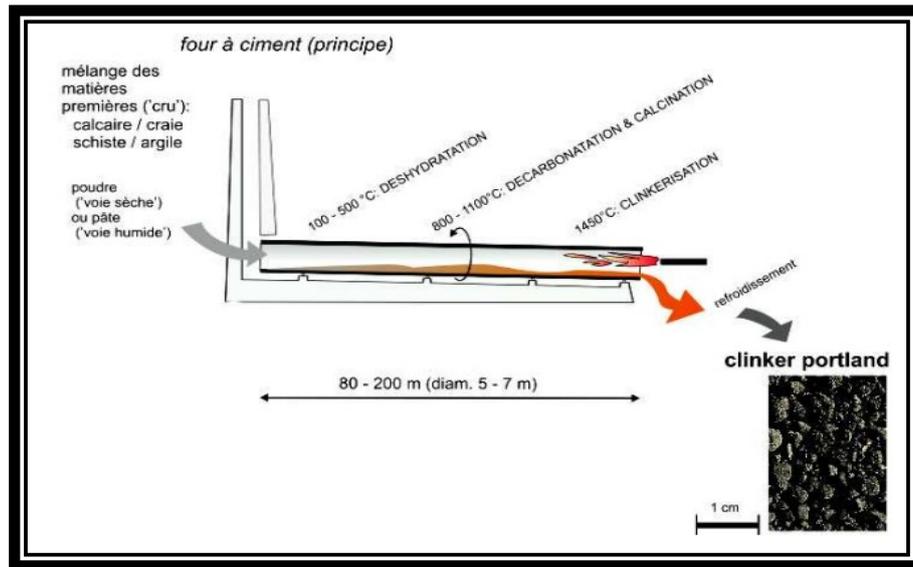
#### ➤ Le ciment Portland (aussi appelé clinker Portland) [3.4.5]

Il s'agit d'un mélange, finement moulu de roche calcaire (craie) et de schiste (argile), homogénéisé, séché, décarbonaté puis fondu (1500°C) dans un four rotatif. Ensuite ce mélange est refroidi rapidement et enfin broyé. On obtient ainsi le clinker Portland.

Le clinker est finement broyé pour donner un ciment. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, gros cylindres chargés de boulets d'acier et mis en rotation.

Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker. On obtient alors le ciment.

Les matières premières (calcaire, argile) sont obtenues à partir de carrières naturelles à ciel ouvert. Elles sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près de carrières de calcaire ou de craie.



*Figure I. 2: Clinker Portland [3.4.5]*

➤ **Les autres types de ciment :**

Au clinker Portland peut être ajoutés un ou plusieurs des ingrédients suivants :

- laitier de haut-fourneau : produit granulé qui est obtenu par le refroidissement brusque de la gangue en fusion des hauts fourneaux. Constituant à hydraulité latente, c.-à-d. que l'hydratation doit être activée. Le rôle de démarreur est joué par le clinker Portland.
- cendre volante : réagit avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker.
- calcaire : constituant inerte. Intervient physiquement comme plastifiant dans le béton frais.

➤ **Rôle de ciment :**

C'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients [7].

**I.2.1.2. Les granulats :**

Les granulats, d'origine naturelle ou artificielle, sont des grains minéraux de dimensions variables. En tant que principaux composants du béton, ils lui transmettent certaines caractéristiques techniques et esthétiques, notamment sa résistance. La norme expérimentale XP18-545[6].

**a. Les classifications des granulats [8] :**

Le granulat utilisé ne doit donc pas être fait à la légère car il aura une influence sur la durabilité de votre béton. On distingue alors différentes sortes de granulats : les fillers, les sables, les graves, les gravillons et les ballasts.

- Fillers 0/D où  $D \leq 2$  mm et contenant au moins 70% de passant à 0.063mm.
- Sablons 0/D où  $D \leq 1$  mm et contenant moins de 10% de passant à 0.063mm.
- Sable 0/D où  $D \leq 6.3$  mm sauf les sables pour béton où  $D \leq 4$ mm.
- Graves 0/D où  $D > 6.3$  mm.
- Gravillons d/D où  $d \geq 1$  mm et  $D \leq 31.5$  mm.
- Cailloux d/D où  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 125$  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.2.1.3. L'eau de gâchage : [3.4.5]**

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 : [3.4.5]**

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

**I.2.1.4. Adjuvants et additifs :**

➤ **Les adjuvants : NF EN 934-2 [9]**

Les adjuvants sont des produits chimiques ajoutés lors du malaxage du béton et faiblement dosés lors de la préparation (moins de 5% de la masse du béton). Ces produits offrent la possibilité d'améliorer certaines caractéristiques du béton telles que son temps de prise ou son étanchéité. Très répandus aujourd'hui, il existe différents types d'adjuvants qui nous permettront d'obtenir le béton de nos rêves...

• **Les différents types des adjuvants : CT-B51**

- 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.

Les principaux adjuvats sont :

- Les plastifiants et fluidifiants réducteurs d'eau, qui remplissent deux fonctions : ils permettent, d'une part, d'obtenir des bétons frais à consistance fluide et même liquide ; à maniabilité donnée, ils offrent, d'autre part, la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton frais. Ce sont des résines mélamines ou des naphthalènes sulfonâtes. Leur action s'exerce par défloculation et dispersion par répulsion électrostatique des grains de ciment en solution dans l'eau, et leur durée d'activité n'excède pas 1 ou 2 heures.

- Les retardateurs de prise du ciment, qui prolongent la durée pratique d'utilisation du béton frais. Ce sont généralement des sucres ou des ligno-sulfonâtes. Ils sont utiles pour le transport du béton sur de grandes distances ou pour sa mise place par pompage, particulièrement par temps chaud.

- Les accélérateurs de prise et de durcissement, qui permettent pour les premiers la réalisation de scellements ou d'étanchements et, pour les seconds, une acquisition plus rapide de résistance du béton durci.

- Les entraîneurs d'air, qui confèrent au béton durci la capacité de résister aux effets de gels et de dégels successifs en favorisant la formation de microbulles d'air réparties de façon homogènes.

- L'influence des adjuvants peut varier sensiblement en fonction de la nature et de la composition du ciment ; des problèmes de compatibilité peuvent apparaître entre adjuvants et ciments [10].

### Les additifs [3.4.5] :

Sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Ils sont à prendre en compte dans la composition volumétrique. On peut distinguer les additifs à caractère hydraulique latent (ex: pouzzolanes, cendres volantes,...) qui renforcent le pouvoir de liaison ciment et les additifs neutres (ex: poudres colorantes,...). Ces additifs doivent bien sûr être sans danger pour le béton.

#### I.2.2. Propriétés des bétons

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage ;
- **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

##### I.2.2.1. 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 ferrailage [11]. 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 influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.

- Le dosage en eau. [12]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façons 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. [13], [14]

*Tableau I. 1. La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance. [13], [14].*

Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'abrams-narme NF EN 206-1		
Classe	Consistance du béton	Affaissement au cône d'abrams
S1	Ferme	10-40
S2	Plastique	50-90
S3	Très plastique	100-150
S4	Fluide	160-210
S5	Très fluide	≥220

❖ **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. [15]

*Tableau I. 2. Vibration recommandée en fonction de l'ouvrabilité du béton [15].*

Affaissements cm	Béton	Mise en œuvre
0-2.5	Très fermes	Vibration pissante
3-5	Ferme	Bonne vibration
6-9	Plastique	Vibration courante
10-13	Mou	Piquage
>13	Très mou	Leger piquage

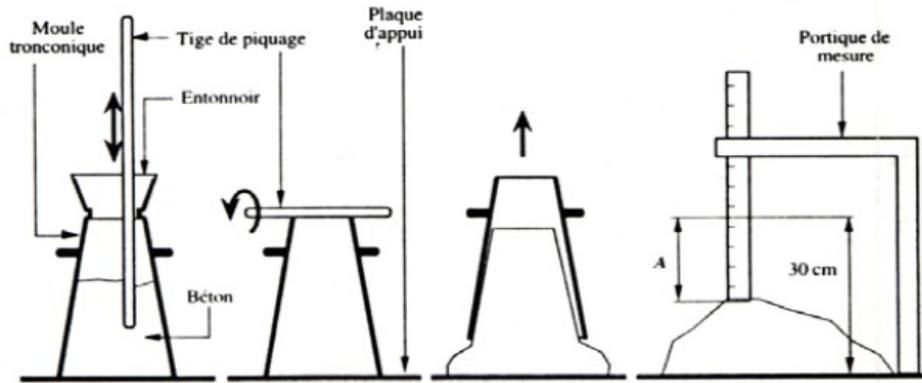


Figure I. 3: Essai d'affaissement au cône d'Abrams [15]

#### ❖ 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 :

$$D = m_2 - m_1 / V$$

**D** : est la masse volumique du béton frais ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

**$m_1$**  : est la masse du récipient (kg).

**V** : est le volume du récipient en mètre cube ( $\text{m}^3$ )

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

La masse volumique du béton est arrondie aux  $10 \text{ kg}/\text{m}^3$  les plus proches.



Figure I. 4: Béton frais [16]

### 1.2.2.2. Propriétés du béton durci

- 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.

#### 1.2.2.2.1. Résistance à la compression

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uniaxiale 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. [17]

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ . 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 :

$$f_c = F/A_c$$

Où :

- $f_c$ : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;
- $F$  : charge maximale, exprimée en Newtons ;
- $A_c$  : 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.

### I.2.2.2.2. Resistance à la traction par flexion [18]

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.

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 [18].

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

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

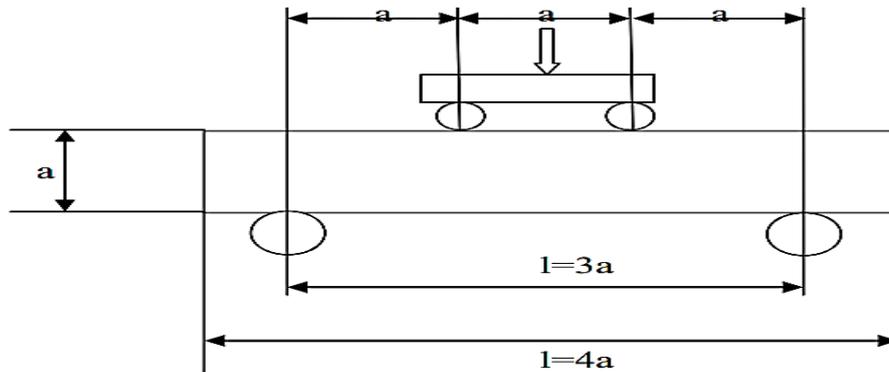


Figure I. 5: Essai de traction par flexion [18]

### I.2.3. Classification du béton [19]

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en trois groupes (norme NF EN 206-1 articles 3.1.7 à 3.1.9),

Selon sa masse volumique  $\rho$  :

- Béton normal :  $\rho$  entre 2 000 et 2 600 kg/m<sup>3</sup> ;
- Béton lourd :  $\rho > 2600$  kg/m<sup>3</sup>.
- Béton léger :  $\rho$  entre 800 et 2 000 kg/m<sup>3</sup> ;
- Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment ;
- Béton silicate (chaux)
- Béton de gypse (gypse) ;
- Béton asphalte.

Béton résineux (résine)

#### **I.2.4. Les types de bétons [20] :**

Les progrès accomplis depuis quelques décennies permettent une très bonne adaptation du béton aux diverses exigences des utilisateurs :

- Les ciments offrent une gamme étendue de caractéristiques : résistance, cinétique de prise ;
- Les adjuvants permettent d'améliorer la mise en place du béton, sa compacité ou son durcissement ;
- Les granulats permettent par leur variété de moduler les propriétés du béton : aspect, poids, dureté de surface, teinte et texture.

Tous les ouvrages réalisés aujourd'hui en béton, armé ou non, bénéficient de bétons formulés pour répondre aux contraintes du chantier, et mis en œuvre grâce à de techniques en évolution constante : vibration, traitements thermiques, traitements de surface. Parmi la diversité de l'offre des bétons utilisés, on peut citer...

#### **✚ Les bétons apparents**

Les propriétés architecturales du béton permettent de jouer sur les trois facteurs de l'apparence :

- la teinte est apportée par le choix des composants (ciments, sables, gravillons et éventuellement pigments) ;
- l'aspect résulte de la variété des matériaux et de leur traitement, qui donnent à la surface du béton une texture plus ou moins lisse, des reliefs qui font jouer la lumière ;
- la forme a pu se développer dans toute sa variété grâce à la plasticité du béton et à l'emploi de coffrages ou de matrices qui permettent de mouler le béton au gré de l'imagination du concepteur.

#### **✚ Les bétons légers**

L'intérêt des bétons légers réside dans le gain important qu'on peut réaliser sur le poids propre de l'ouvrage. Les bétons légers présentent des masses volumiques qui vont de 800 à 2

000 kg/m<sup>3</sup>, contre 2000 à 2 600 kg/m<sup>3</sup> pour un béton classique. Cette qualité est également recherchée dans les bétons isolants thermiques, la conductivité variant dans

Le même sens que la densité. Les bétons légers sont obtenus en jouant sur la composition (bétons caverneux) ou sur l'emploi de matériaux allégés (type argile expansée, polystyrène expansé, liège). On peut également créer des vides par une réaction provoquant un dégagement gazeux ; c'est le cas du béton cellulaire.

#### **Les bétons lourds**

À l'inverse, l'emploi de granulats très denses (barytine, magnétite) permet la réalisation de bétons de masse volumique dépassant 3 000 kg/m<sup>3</sup>. Ces bétons sont utilisés dans la protection contre les radiations ou pour réaliser des culées, des contrepoids, etc.

#### **Les Bétons Hautes Performances (BHP)**

Ces nouveaux bétons atteignent des résistances de plus de 100 MPa, grâce à l'emploi d'ultrafines (essentiellement fumées de silice) et de super plastifiants. Leur très forte compacité leur confère une très grande durabilité qui, jointe aux résistances élevées, les privilégie pour les ouvrages très sollicités – à court et à long terme – ou en ambiance agressive.

#### **Les bétons fibrés**

Les diverses fibres, dont les caractéristiques sont développées au chapitre 3 sont utilisées dans des domaines variés : pièces minces architectoniques, éléments décoratifs, dallages industriels, bardages, tuyaux et bétons projetés.

#### **Les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP)**

Les bétons fibrés à ultra hautes performances, outre leur durabilité absolue, se distinguent par leur extrême résistance à la compression et leur ductilité.

#### **Les bétons autoplaçants (BAP)**

Les BAP se caractérisent par leur hyper fluidité qui permet une mise en place sans recours à la vibration. Ils ont des compositions granulométriques fortement chargées en éléments fins. Des adjuvants de type super plastifiants ou plastifiants réducteur d'eau sont utilisés systématiquement.



*Figure I. 6: bétons autoplaçants [20]*

### **+ Le béton imprimé**

Est un béton obtenu par l'application en pression d'un moule d'empreinte au moment du coulage, sur la surface fraîche du béton. On y imprime différents motifs en relief tels que des rosaces, du carrelage ou un aspect de pavés. Ce type de béton est aussi appelé béton pochoir ou béton empreinte car les motifs peuvent être réalisés à l'aide de pochoirs enfoncés dans la chape de façon à laisser une empreinte.

Il existe une large gamme de pochoirs, chacun étant propre à chaque fabricant. Le choix des dessins des empreintes est ainsi très varié, ce qui permet d'obtenir tous les types de décors. Ces empreintes permettent d'imiter de façon réaliste les matières naturelles telles que les pierres, les pavés, la brique ou le bois. [21]

### **+ Le béton ordinaire**

Le béton est un ensemble homogène obtenu par le mélange du ciment, de l'eau, des granulats et quelque fois d'adjuvants. Sa masse volumique se situe aux alentours de 2 500 Kg/m<sup>3</sup>. Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints.

Ses performances (durabilité, résistance au feu, etc.) varient selon ses composants. C'est un matériau dont le moulage est assez facile et il est adapté à tous les types de formes d'ouvrage. [21]

### **+ Le béton précontraint**

Le béton est un matériau qui dispose d'une grande résistance face à la compression mais qui est fragile face à la flexion. Pour y remédier, des armatures en acier ont été incorporées dans le béton, donnant le béton armé.

En 1928, Eugène Freyssinet eut l'idée de préparer le béton afin que ce dernier puisse faire face à des charges et à des tractions qui peuvent présenter un danger pour son intégrité (fissures puis rupture).

La préparation du béton consiste à suffisamment le comprimer pour qu'en tous points, les compressions soient supérieures aux tractions qui se développeront ultérieurement. La compression préalable du béton est la précontrainte, un vocabulaire utilisé pour la première fois par Eugène Freyssinet en 1933.

De ce fait, le béton précontraint est un béton dans lequel on introduit, avant sa mise en service, des tensions opposées à celles qu'il devra subir.

L'intensité de la précontrainte à mettre en œuvre dépend évidemment des tractions auxquelles il faudra s'opposer et des raccourcissements instantanés et différés du béton. [21]

### **I.3. Le retrait dans béton**

Le retrait correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise des bétons. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par le ferrailage ou la présence de joints, ces variations dimensionnelles donnent lieu à l'apparition de fissurations précoces, d'ouverture conséquente. Les fissurations liées au retrait doivent être différenciées des phénomènes de fissuration fonctionnelle des ouvrages, ces derniers étant généralement maîtrisés par les règles de calcul, et restent compatibles avec la bonne tenue des ouvrages dans le temps, notamment en raison des faibles ouvertures des fissures. Quatre types de retrait peuvent être à l'origine de l'apparition de fissures sur la surface des parements : retrait plastique, retrait de dessiccation, le retrait thermique et le retrait d'auto-dessiccation. [22].

#### **I.3.1. Les types de retrait [14]**

##### **a. Le retrait de plastique**

Le retrait est en relation avec des déformations par tassement général du béton frais, déformations qui peuvent être gênées et créer une fissuration de surface au droit d'obstacles tels que des armatures par exemple (fig. 1). Ce retrait est limité à la période précédant la prise du béton, lorsque ce dernier reste suffisamment déformable pour subir des tassements.

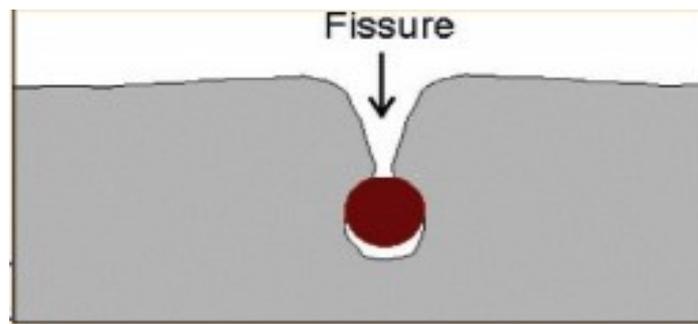


Figure I. 7: Représentation schématique du retrait de ressuage [14]

### b. Le retrait de dessiccation

C'est lié au séchage qui se manifeste avant, pendant et après la prise du béton. Dans des conditions courantes, il est de l'ordre de 1 mm/m. La fissuration qui en résulte (fig. 2 et 3) est due à la dépression capillaire qui se produit lorsque des ménisques d'eau se forment dans les pores capillaires du béton frais. Ce retrait, qui est donc consécutif à l'évaporation de l'eau, peut se manifester quelques minutes après la mise en œuvre du béton, et se poursuivre quelques semaines après. Il est piloté par la cinétique de dessiccation.



Figure I. 8: Retrait plastique à la surface d'une dalle en béton armé. [48]



Figure I. 9 : Ouverture importante des fissures de retrait. [48]

### c. Le retrait thermique

Lié au retour à température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment. Ce retour à température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition de phénomènes de fissuration. Ce type de retrait, qui ne concerne que des pièces d'épaisseur supérieure à 60 à 80 cm, se manifeste de quelques dizaines d'heures après la mise en œuvre, jusqu'à quelques semaines, sa durée étant dépendante de la nature des éléments en béton considérés (plus une pièce est massive, et plus la contraction thermique sera lente).

#### **d. Le retrait d'auto-dessiccation**

Est lié à la contraction du béton en cours d'hydratation et protégé de tout échange d'eau avec le milieu environnant. Il provient en fait d'un phénomène d'auto-dessiccation de la pâte de ciment consécutif à la contraction Le Chatelier (le volume des hydrates formés est plus petit que le volume de l'eau et du ciment anhydre initial). Le phénomène conduisant à la contraction est dû à des forces de traction capillaires internes, similaires à celles responsables du retrait plastique. Ce dernier type de retrait concerne plus particulièrement les bétons à hautes performances (BHP) ou à très hautes performances (BTHP). Il devient négligeable pour les bétons ordinaires. Ces quatre types de retrait peuvent se cumuler à l'échelle d'un même béton (on parle ainsi du retrait total comme la somme des différents retraits). Enfin, le retrait d'auto-dessiccation et le retrait thermique intéressent la masse du béton, alors que les deux autres types de retrait concernent la périphérie des éléments en béton. Il existe un cinquième type de retrait, le retrait de carbonatation, pour lequel il n'existe que peu de données expérimentales à l'heure actuelle. Ce retrait est lié aux réactions de carbonatation des constituants du ciment.

#### **e. Le retrait hydraulique**

Le retrait hydraulique résulte du lent séchage du béton. Pour simplifier, on désigne couramment par retrait hydraulique la diminution de volume du béton observée au fur et à mesure de son séchage dans le temps.

Plus la quantité d'eau non liée s'évapore rapidement, plus le retrait du béton est élevé et rapide. Ce processus de séchage et le retrait qui en résulte est d'autant plus élevé et rapide que l'excès d'eau non liée est important (E/C élevé) car la porosité et la perméabilité du béton augmentent, ce qui accélère encore le phénomène.

La valeur finale du retrait hydraulique se situe généralement entre 0,3 et 0,8 mm/m. Cette valeur dépend essentiellement de la quantité d'eau du béton. Toute augmentation du dosage en eau entraîne une augmentation relative deux fois plus grande de la valeur du retrait. D'où l'importance de minimiser la demande en eau d'une recette de béton grâce au choix approprié et au contrôle régulier de la granularité du mélange, en particulier celle des sables.

#### **d. Retrait endogène :**

Le premier à observer le retrait endogène est LYNAM, qui en 1934, lui a donné la définition suivante : « retrait qui n'est pas causé par des causes thermiques, par des contraintes externes ou par la perte d'humidité dans l'environnement ». Depuis ce temps, plusieurs chercheurs ont étudié le retrait endogène afin d'obtenir une définition plus complète. Le retrait endogène est maintenant défini comme la diminution de volume apparent du béton lorsqu'il est sous condition scellée et en régime isotherme (sans variation de température). Le retrait endogène peut également être appelé retrait externe. [14]

On appelle retrait endogène, le retrait provoqué par des phénomènes strictement internes au béton, en absence de tout échange d'eau avec l'extérieur, c'est ce qu'on appelle en thermodynamique un **système fermé**.

Le retrait endogène est un phénomène propre à l'hydratation du ciment qui témoigne de son évolution et de la quantité des hydrates formés. Ce retrait est rapide et croît lorsque la quantité d'eau diminue, il s'achève (95 %) au bout de (1 à 4) semaines. On distingue d'après l'évolution de la structure du matériau l'apparition de plusieurs phénomènes qui donnent au retrait endogène plusieurs formes de déformation d'où on présente les formes majeures qui le détermine :

- 1) Retrait de serrage (Contraction Le Chatelier)
- 2) Retrait thermique
- 3) Retrait d'hydratation (auto-dessiccation) [22]

Ce type de retrait est la conséquence de l'absorption de l'eau des pores capillaires due à l'hydratation du ciment non encore hydraté, phénomène connu comme l'auto dessiccation.

#### **• Mécanismes du retrait endogène :**

Pendant l'évolution d'hydratation ils découlent de la dessiccation le retrait endogène et le retrait exogène c'est-à-dire suite à une diminution de la pression de vapeur d'eau d'équilibre qui provoque les mêmes effets mécaniques. Le retrait de séchage peut être expliqué par trois mécanismes :

- a) variation de la dépression capillaire,

- b) variation de la tension superficielle et
- c) variation de la pression de disjonction. [7]

#### e. Retrait chimique (contraction Le Châtelier)

Durant l'hydratation, le retrait chimique se manifeste par un déficit volumétrique des hydrates produits. Dès que la prise commence, le squelette solide commence à se former, celui-ci devient de plus en plus rigide et s'oppose à la contraction Le Châtelier. Il est important de distinguer les notions de volume apparent et de volume absolu dans l'analyse des déformations endogènes. Le volume apparent peut être défini comme la somme des volumes des différentes phases du matériau qu'elles soient solides, liquide ou gazeuse. Le volume absolu correspond à la somme des volumes des phases solides et liquides uniquement. [15]

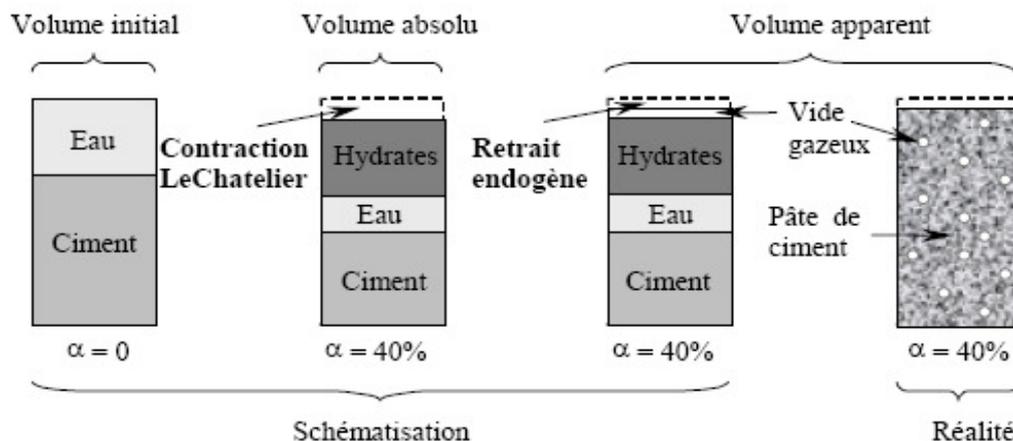


Figure I. 10: Volume absolu et volume apparent [18]

#### f. Le retrait de séchage :

L'eau qui s'évapore d'un béton conservé dans de l'air non saturé provoque du retrait, dit de séchage. Une partie de ce mouvement est irréversible et doit être distinguée de celui réversible dû à une conservation où alternant des conditions de séchage et d'humidité.

On indique les valeurs moyennes de retrait en mm/m ci-après:

- dans les régions très humides  $\Delta L/L = 1.5 \times 10^{-4}$  à  $2 \times 10^{-4}$ .
- dans les régions très sèches (Sahara)  $\Delta L/L = 5 \times 10^{-4}$ . [14]

#### I.3.2. Les causes du retrait : [23.24]

- 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 ;
- 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 sa valeur » ;
- Les conditions de 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 ;
- la vitesse de vent au moment de collage.

### **I.3.3. Les Conséquences du Retrait : [23.24]**

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.

### **I.4. Conclusion :**

Le retrait est un phénomène lié, en grande partie, aux mouvements de l'eau. Par conséquent tout paramètre influant sur le bilan de l'eau dans le béton, influera sur son retrait.

Pour limiter le retrait, il est impératif donc :

- D'employer un minimum de l'eau de gâchage,
- De tenir les pièces humides en les arrosant pendant leur durcissement (le durcissement sous l'eau diminue beaucoup les effets de retrait),
- De protéger le béton contre la dessiccation, pendant et après prise,
- De créer les joints au niveau des ouvrages (joints de dilatation, joints de fractionnement). [11]

**CHAPITRE II**

**LES CAUSES ET LES FACTEURS**

**AFFECTANT LE RESSUAGE**

## II.1. Introduction

Le ressuage est un phénomène ascendant de mélange d'eau de matériaux cimentaires à l'état frais. L'eau peut contribuer à empêcher le béton de sécher et des fissures en plastique. Cependant, un ressuage excessif a de mauvais effets sur les propriétés mécaniques et la durabilité de béton. Rapport eau-ciment ( $E / C$ ), qui affecte définitivement la structure interne et les propriétés de béton durci, change considérablement de direction verticale en raison du mouvement de l'eau après la coulée. Fig. 1 montre la répartition du rapport eau-ciment réel de deux colonnes, 150 minutes plus tard après la construction, qui ont été coulées jusqu'à 200 cm de hauteur avec deux types de concrets avec un affaissement de 8 cm et 21 cm, respectivement. Comme le montre cette figure, plus la section de la colonne est basse, plus le rapport eau-ciment réel du béton dessus. La variation de la résistance à la compression dans la direction verticale représentée sur la Figure II. 1, s'expliquerait par l'inégalité de  $W / C$  causée par le ressuage. [25, 26, 27,28]

Le ressuage résulte d'une pression excessive de l'eau interstitielle. Dans le béton frais, le poids de la particule solide est supporté par des particules adjacentes qui entrent en contact avec elle. Si le verrouillage des particules n'est pas suffisamment serré pour soutenir poids des particules solides, le poids non supporté est appliqué sur l'eau interstitielle pour entraîner un pore excessif pression de l'eau. Les particules qui ne sont pas complètement supportés par d'autres particules se déplacent progressivement vers leurs positions stables. Avec le règlement de particules solides, la pression excessive de l'eau interstitielle diminue progressivement, et le ressuage prend fin finalement. D'où le ressuage fait partie des comportements de ségrégation qui accompagnent avec dépôt de particules solides.

Comme le montre la figure 1, plus la position est basse, plus la masse volumique du béton et la teneur en agrégats grossiers sont grandes.

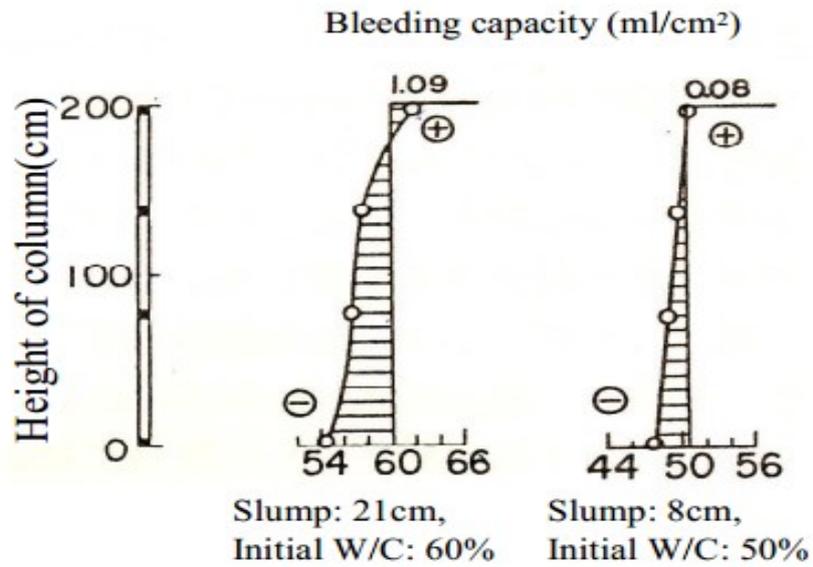


Figure II. 1 : Répartition E / C de la colonne de béton 150 min. plus tard après le casting [29,30]

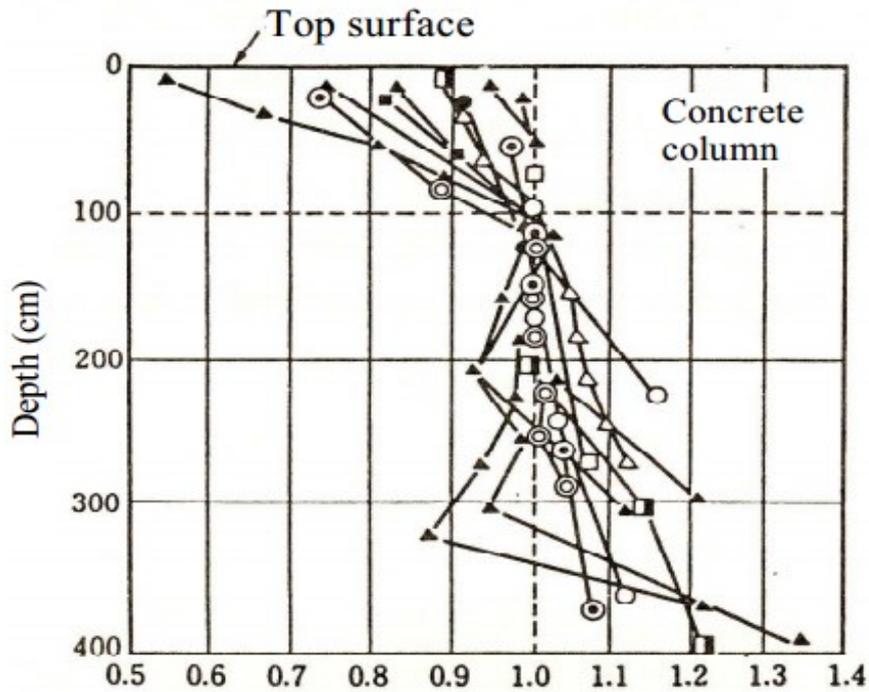
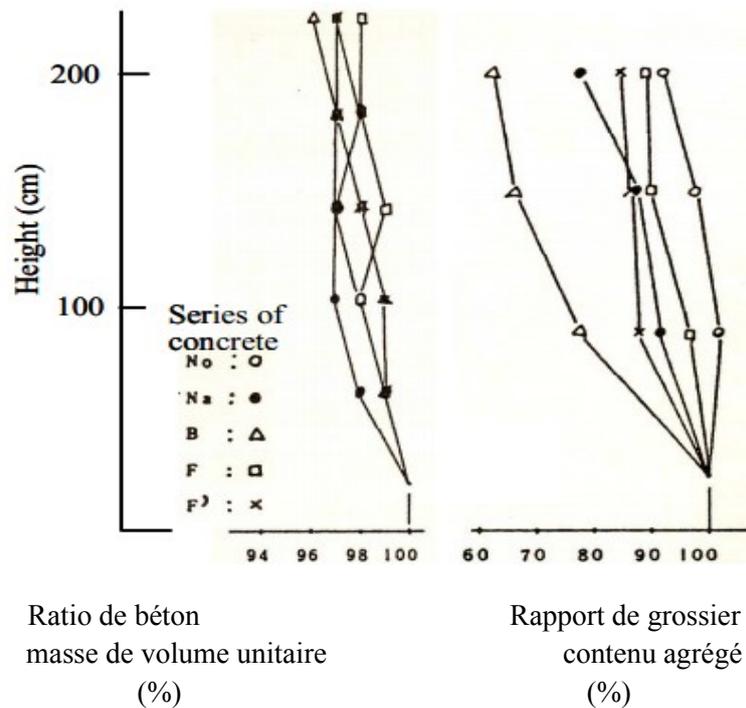


Figure II. 2: Rapport de résistance à la compression entre la valeur réelle et la valeur de conception  
Variation de la résistance à la compression d'un poteau en béton ordinaire dans le sens vertical [29,30]



*Figure II. 3 Variation de la masse du volume unitaire et du grossier contenu agrégé des bétons placés avec hauteur [29,30]*

## II.2. Définition

Le béton est un mélange de ciment, d'agrégats fins et d'agrégats de couche. Un certain nombre de problèmes peuvent survenir dans le béton en raison d'un mélange, d'un durcissement et d'une mise en place incorrects.

Le ressuage dans le béton est un phénomène dans lequel l'eau libre du mélange remonte à la surface et forme à la surface une pâte de ciment appelée « laitance ».



*Figure II. 4: Présence du phénomène du ressuage [47]*

### II.3. Causes de ressuage

La ségrégation est à l'origine des ressuges dans le mélange de béton. La ségrégation est le phénomène dans lequel les particules d'agrégats lourds se déposent, en raison de la sédimentation des particules lourdes, l'eau remonte à la surface et forme une couche. Ce mouvement ascendant de l'eau entraîne également de fines particules de ciment. La surface supérieure des dalles et des trottoirs n'aura pas une bonne qualité de port. [31]

Le ressuage sera plus fréquent à la surface du béton, lorsque le rapport E/C est plus élevé. Le type de ciment utilisé, la quantité de granulats fins jouent également un rôle clé dans le taux de ressuage.

#### II.3.1. Ségrégation

La ségrégation fait référence à une séparation des composants de béton frais, résultant en un mélange non uniforme. Les principales causes de la ségrégation sont des différences en densité et en taille spécifiques constituants du béton.

De plus, un mauvais mélange ,placement incorrect et consolidation incorrecte également conduire à la ségrégation. [31]



*Figure II. 5: Phénomène de ségrégation [31]*

#### II.3.2. Les facteurs affectant la ségrégation

- Granulométrie maximale plus grande (25 mm) et proportion des plus grosses particules.
- Masse volumique élevée des agrégats grossiers.
- Diminution de la quantité de fines particules.
- Forme et texture des particules.

- Rapport eau / ciment. [31]

### II.3.3. Les cause de ségrégation

- Transport de mélanges de béton sur de longues distances
- Mélange mal dosé où il n'y a pas suffisamment de matrice pour lier les agrégats
- Chute de béton depuis des endroits en hauteur.
- Béton vibrant pendant longtemps.

La tendance à la ségrégation peut être corrigée en proportionnant correctement le mélange, par une manipulation, un transport, une mise en place, un compactage et une finition appropriés, en utilisant l'entraînement de l'air adjuvant et matériaux pouzzolanique, et en choisissant des granulats grossiers et fins avec approche de la gravité spécifique.[31]

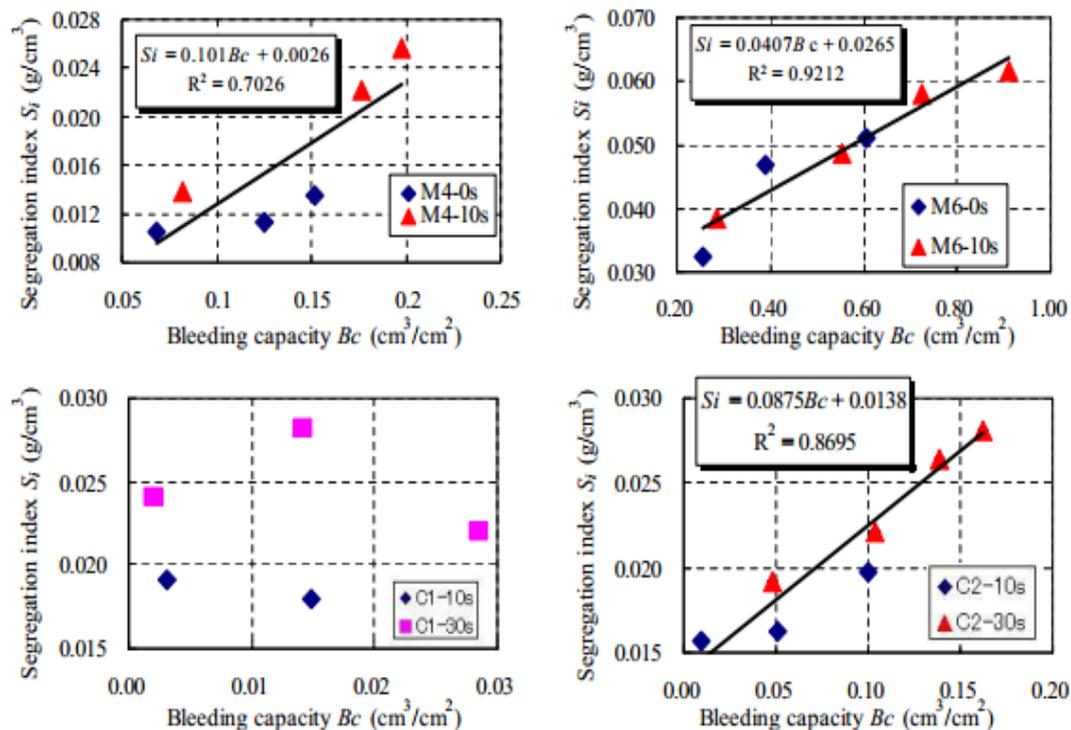


Figure II.6 : Relation entre le degré de ségrégation et la capacité de ressuage.[31]

### II.3.2. Effets des ingrédients sur les ressuages

Chaque ingrédient et sa quantité ont un effet majeur sur le ressuage du béton. Certains des ingrédients courants et leurs proportions sont énumérés ci-dessous:

- Teneur en eau et rapport eau-ciment:** toute augmentation de la quantité d'eau ou du rapport eau / matériau cimentaire entraîne une plus grande quantité d'eau disponible

pour la purge. Un cinquième l'augmentation de la teneur en eau d'un mélange de béton normal peut augmenter le taux de ressuage de plus de deux fois et demie.

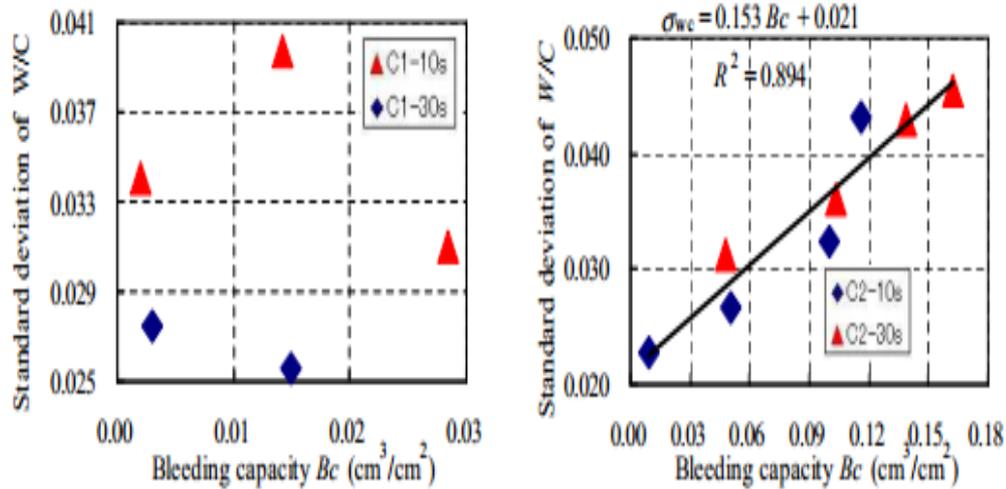


Figure II.7 : Relation entre l'écart type de W/C et la capacité de ressuage (béton) [32]

- b. **Ciment:** le type, le contenu et la finesse du ciment peuvent provoquer des ressuages. Comme la finesse du ciment augmente, la quantité de ressuage diminue. Augmente la teneur en ciment, réduit le rapport eau-ciment et réduit également les ressuages.
- c. **Matériaux de ciment supplémentaires:** les cendres volantes, les scories, les fumées de silice, les cendres de balle de riz et les pouzzolanes naturelles peuvent réduire les ressuages par leurs propriétés inhérentes et en augmentant la quantité de matériaux cimentaires dans un mélange.

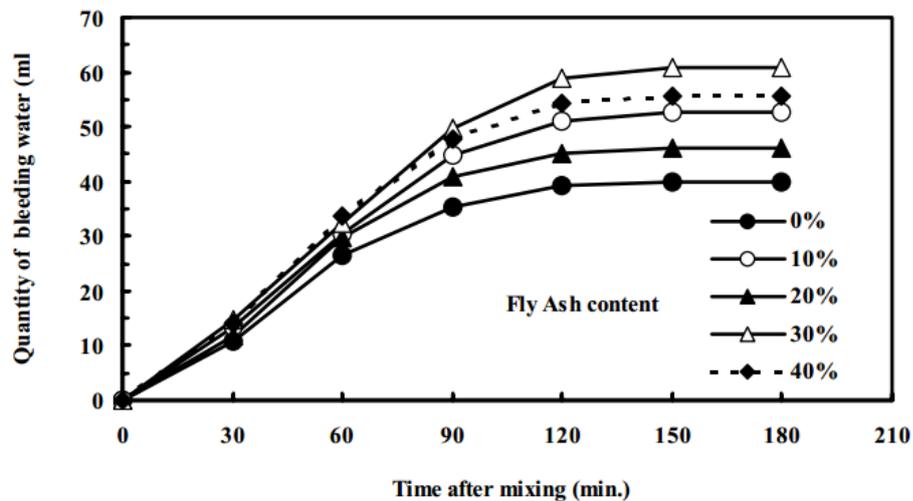


Figure II.8 : Effet du remplacement du ciment par des cendre volantes sur la capacité de ressuage du béton [32]

- d. **Agrégat:** les agrégats contenant une grande quantité de limon, d'argile ou d'autres matériaux passant le tamis de 75  $\mu\text{m}$  peuvent avoir un effet significatif sur la réduction des ressuages, bien qu'il puisse y en avoir d'autres effets néfastes sur le béton, comme l'augmentation des besoins en eau et le retrait.
- e. **Adjuvant chimique:** Les agents entraîneurs d'air ont été utilisés en grande partie parce que les bulles d'air semblent maintenir les particules solides en suspension. Les réducteurs d'eau réduisent également quantité de ressuage parce qu'ils libèrent de l'eau piégée dans le mélange. [33]

#### II.4. Facteurs affectant le ressuage [33]

1. **Finesse du ciment :** le ressuage diminue en augmentant la finesse du ciment, peut-être parce que les particules plus fines hydratent plus tôt et aussi parce que leur taux de la sédimentation est plus faible.

#### 2. D'autres propriétés du ciment affectent également le ressuage :

Il y a moins de ressuage lorsque le ciment a une teneur élevée en alcalis, un C élevé un contenu, ou lorsque du chlorure de calcium est ajouté.

3. **Granulat fin:** présence d'une proportion adéquate de particules de granulats très fines (en particulier inférieure à 150  $\mu\text{m}$  (tamis n ° 100)) réduit considérablement les ressuages.

4. Les mélanges riches en ciment sont moins sujets aux ressuages que les mélanges maigres.

5. **La réduction des ressuages :** est obtenue par l'addition des pouzzolanes ou d'autres matières fines ou poudre d'aluminium.

6. L'entraînement d'air réduit efficacement les ressuages afin que la finition puisse suivre le moulage sans délai.

7. **Température :** une température plus élevée, dans la plage normale, augmente le taux de ressuage, mais la capacité totale de ressuage n'est probablement pas affectée. Très basse température, cependant, peut augmenter la capacité de ressuage, probablement parce qu'il y a plus de temps avant le raidissement pour que le ressuage se produise.

8. **L'influence des adjuvants** n'est pas simple. Super plastifiants en général diminuer les ressuages sauf à un très fort affaissement. Cependant, s'ils sont utilisés avec un retardateur, une augmentation des ressuages peut survenir, une augmentation des ressuages peut survenir.

**II.5. Méthodes d'essai pour accéder au ressuage [34]**

ASTM C 232 / AASHTO T 158 comprend deux méthodes d'essai pour évaluer les ressuages.

Cette méthode d'essai fournit des procédures à utiliser pour déterminer l'effet des variables de la composition, du traitement, de l'environnement ou d'autres facteurs dans le ressuage du béton. Il est également permis d'être utilisé pour déterminer la conformité d'un produit ou d'un traitement avec un exigence relative à son effet sur le ressuage du béton.

**Méthode A:** pour un échantillon consolidé par tige uniquement et testé sans autre perturbation, simulant ainsi des conditions dans lesquelles le béton, après mise en place, n'est pas soumis à des vibrations intermittentes.

**Méthode B:** pour un échantillon consolidé par vibration et testé avec d'autres intermittents périodes de vibration, simulant ainsi les conditions dans lesquelles le béton, après sa mise en place, est soumis à des vibrations intermittentes.

Ces méthodes d'essai couvrent la détermination de la quantité relative d'eau de mélange qui ressuage à partir d'un échantillon de béton fraîchement mélangé. Deux méthodes d'essai qui diffèrent principalement degré de vibration auquel l'échantillon de béton est soumis est incluses.

**II.6. Différents types de ressuage :**

Un ressuage normal indique une fuite d'eau régulière sur toute la surface de la structure, et le ressuage du canal indique la montée de l'eau à travers certains chemins. Toute l'eau drainée n'atteindra pas la surface du béton, une partie de l'eau qui s'écoule peut monter et rester emprisonnée sous les gravats et les armatures, ce qui conduit à un affaiblissement de la liaison entre le mastic et ces éléments.

Le but n'est pas forcément de se débarrasser de l'eau de prélèvement, mais plutôt de la gérer pour assurer la qualité du béton en permettant à l'eau libre de se déplacer vers la surface et de s'évaporer afin que le rapport eau-ciment de la structure soit réduit, réduisant ainsi la porosité capillaire et augmentant sa densité et sa durabilité, il peut également être utile pour aider à terminer les opérations et réduire les fissures de retrait plastique. .

De plus, il est important de ne pas commencer les opérations de finition avant que la majeure partie de l'eau de purge ne se soit évaporée, car le redémarrage de l'eau dans le mélange augmentera le rapport eau / ciment à la surface supérieure et cela peut également augmenter la

perméabilité, si cette surface est exposée à la circulation ou à des environnements agressifs. , Cela peut provoquer des rayures, des plaies et des fissures prématurées.

L'utilisation de matériaux de ciment complémentaires peut réduire les taux de ressuage, en particulier lors de l'utilisation de mélanges fins. Les cendres volantes peuvent être efficaces pour réduire les taux de liquéfaction. La fumée de silice a le plus grand effet sur la réduction des ressuages. Il a également été démontré que les microfibrilles utilisées dans le béton ralentissent les taux de ressuage parce qu'elles contrôlent la vitesse de migration de l'eau vers la surface tout en empêchant la sédimentation des particules solides.

### **II.7. Effets du ressuage dans le béton :**

Les ressuages de béton perdant en homogénéité, le ressuage est responsable de la perméabilité du béton et en termes de sécurité, l'eau qui s'accumule sous les tiges d'armature réduit l'adhérence entre l'armature et le béton. Ciment, en raison du ressuage, la capacité de pompage du béton est réduite et le rapport eau / ciment augmente en haut, ce qui conduit à une accumulation d'eau en haut et retarde la finition de surface.

Le ressuage n'est pas complètement nocif si le taux d'évaporation de l'eau est égal au taux de ressuage, le ressuage normal est très bon pour les propriétés du béton car il améliore la maniabilité du béton, le ressuage remplace l'eau perdue par évaporation et empêche la surface de sécher rapidement avant qu'elle n'atteigne une force suffisante pour résister à la fissuration Le ressuage précoce lorsque Le bloc de béton est entièrement en plastique, il peut ne pas causer beaucoup de dommages, car le béton est dans un état complètement plastique, il va s'affaisser et se comprimer.

### **II.8. Façons de réduire le ressuage du béton**

Les moyens de réduire les ressuages sont les suivants :

- a. Dosage adéquat du béton
- b. Un mélange complet et uniforme de béton
- c. Si nous pouvons augmenter la longueur de déplacement de l'eau pour saigner, le ressuage peut être réduit considérablement. Pour cela, nous pouvons utiliser des matières pouzzolanique finement divisées.
- d. Une introduction de l'entraînement d'air en utilisant un agent entraîneur d'air peut réduire le ressuage.
- e. L'utilisation de ciment plus fin.

- f. Application de ciment à teneur en alcali.
- g. En utilisant un mélange riche plutôt qu'un mélange maigre.
- h. Des vibrations contrôlées peuvent réduire les ressuges. Lorsque le ressuage apparaît dans le frais et béton plastique, la vibration du béton de manière contrôlée peut surmonter un impact néfaste des ressuges.[30]

## II.9. Mélange de béton

Il est essentiel que les ingrédients du mélange (ciment, sable, gravier et eau) soient correctement mélangés afin pour produire du béton frais dans lequel la surface de toutes les particules d'agrégat est revêtue de pâte de ciment et qui est homogène à l'échelle macro et donc possédant propriétés uniformes.

### II.9.1. Méthodes de mélange du béton

1. **Mélange à la main** : il peut y avoir de rares occasions où de petites quantités de béton doivent être mélangé à la main et, car dans ce cas l'uniformité est plus difficile à obtenir, des soins et des efforts particuliers sont nécessaires.
2. **Mélange mécanique** : à l'aide de bétonnières (malaxeurs à casserole, malaxeurs basculants, ..... etc.).

#### 2.2. Temps de mélange

Sur un chantier, on a souvent tendance à mélanger le béton le plus rapidement possible, et il est donc important de savoir quel est le temps de malaxage minimum nécessaire pour produire un béton de composition uniforme et, par conséquent, d'une résistance satisfaisante. Cette durée varie avec :a) type de mélangeur; (b) la taille du mélangeur.

- ✓ Pour un mélangeur donné, il existe une relation entre le temps de mélange et l'uniformité du mélanger.
- ✓ De (Fig. II.6) et (Fig. II.7):
  - Il est évident que mélanger pendant moins de 1 à 1 ¼ minute produit un béton sensiblement plus variable, mais prolongeant le temps de malaxage au-delà ces valeurs n'entraînent aucune amélioration significative de l'uniformité.
  - La résistance moyenne du béton augmente également avec une augmentation du mélange temps. Le taux d'augmentation tombe rapidement au-delà d'environ 1 minute et n'est pas significatif au-delà de 2 minutes; parfois, même une légère diminution de la force a été observé.

- Dans la minute, cependant, l'influence du temps de mélange sur la force est d'importance considérable.

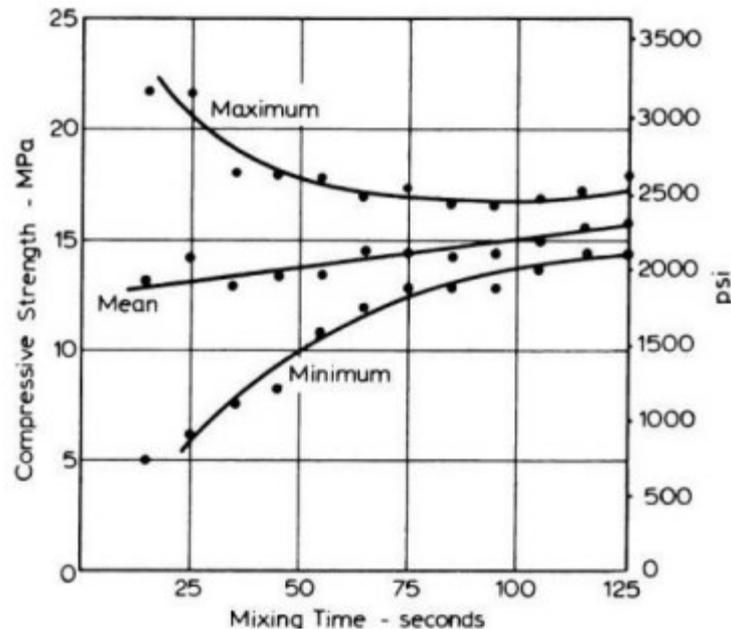


Figure II. 9: Relation entre la résistance à la compression et le temps de mélange [33]

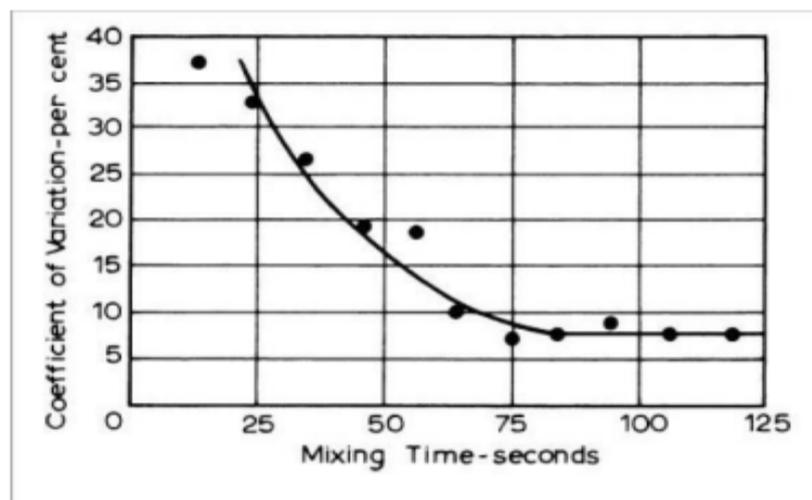


Figure II. 10: Relation entre le coefficient de variation de la résistance et le temps de mélange [33]

- ✓ Lorsqu'un agrégat léger est utilisé, le temps de mélange ne doit pas être inférieur à 5 minutes, parfois divisées en 2 minutes de mélange de l'agrégat avec de l'eau, suivies de 3 minutes avec du ciment ajouté.
- ✓ En général, la durée du mélange nécessaire pour une uniformité suffisante du mélange dépend de la qualité du mélange des matières lors du chargement du mélangeur, (une alimentation simultanée est avantageuse).
- ✓ Le mélange sur une longue période provoque :

- ❖ L'évaporation de l'eau du mélange a lieu, avec une diminution conséquente de maniabilité et augmentation de la résistance.
- ❖ Broyage du granulat, surtout s'il est mou : le calibrage du granulat ainsi devient plus fine et la maniabilité plus faible.
- ❖ L'effet de friction produit également une augmentation de la température du mélange.[33]

### II.10. Compactage du béton

- ✓ Le compactage du béton a pour but d'atteindre la densité la plus élevée possible de le béton. Le moyen le plus ancien d'y parvenir est de bousculer ou de punir, mais de nos jours, cette technique est très rarement utilisée. La méthode habituelle de compactage est par vibration.
- ✓ Lorsque le béton est fraîchement placé dans le coffrage, les bulles d'air peuvent occuper entre 5% (en un mélange de haute ouvrabilité) et 20% (dans un béton à faible affaissement) du volume total.
- ✓ La vibration a pour effet de fluidifier le composant mortier du mélange de sorte que le frottement interne est réduit et un tassement d'agrégat grossier a lieu. C'est avec par rapport à l'obtention d'une configuration étroite de particules d'agrégats grossiers que la forme des particules est d'une grande importance.
- ✓ Les vibrations doivent être appliquées uniformément sur toute la masse de béton, sinon certaines de ses parties ne seraient pas entièrement compactées, tandis que d'autres pourraient être isolées en raison de vibrations excessives. Cependant, avec un mélange suffisamment rigide et bien calibré, les effets néfastes de la sur-vibration peuvent être largement éliminés.
- ✓ compactage de sorte que la consistance du béton et les caractéristiques du vibreur disponible doivent correspondre. Il convient de noter que le béton qui coule, bien qu'il puisse être auto nivelant, il n'atteint pas un compactage complet par la seule gravité. Cependant, la durée nécessaire d'application des vibrations peut être réduite d'environ moitié par rapport au béton ordinaire.
- ✓ De bons conseils pratiques sur le compactage du béton sont donnés par Mass et aussi dans ACI Guide 309R-87.[33]

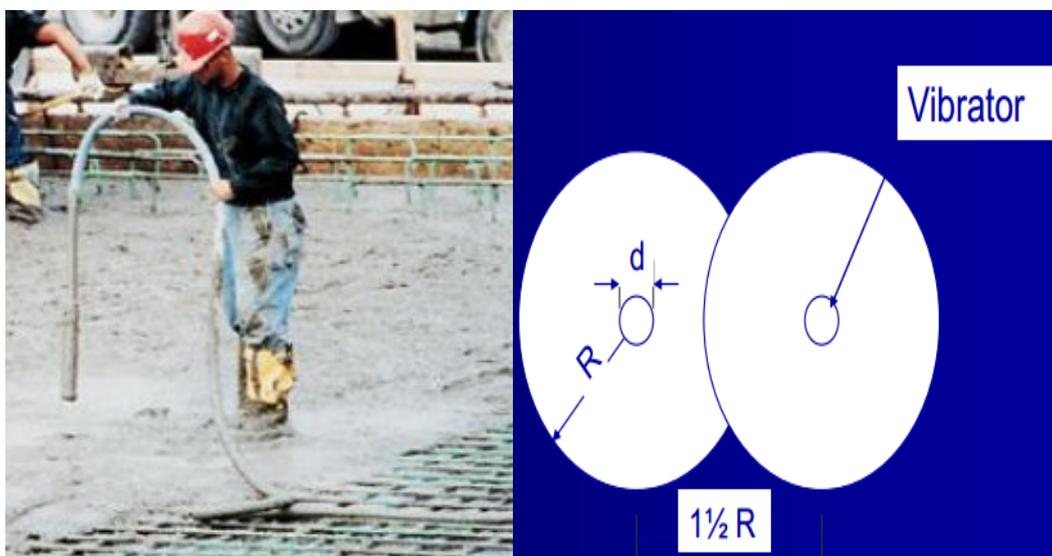
### II.11. Vibration du béton

Le processus de compactage du béton consiste essentiellement en l'élimination de l'air emprisonné. Ceci peut être réalisé en :

- Tassement ou rodage du béton
- Utilisation de vibrateurs

**Types de vibrateurs :** Vibrateurs internes. - Vibrateurs externes, - Tables vibrantes, Autres Vibrateurs (vibrateur de surface, rouleau vibrant).

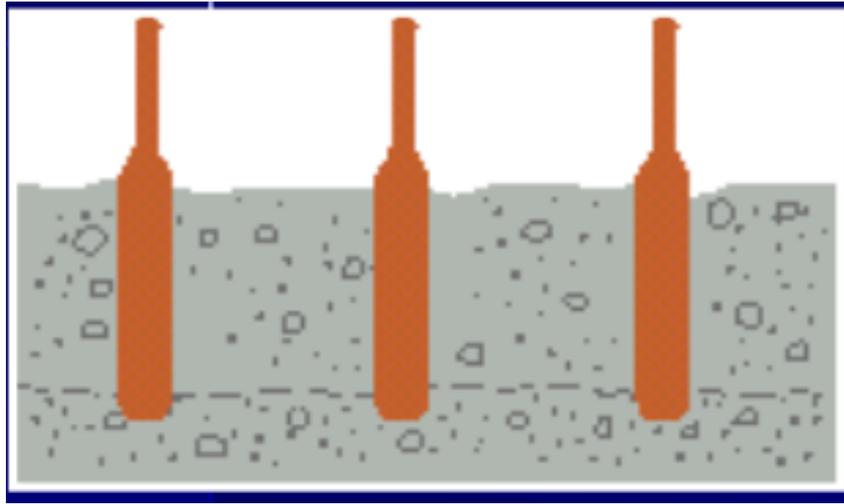
1.1. **Vibrateur interne :** le poker est immergé en béton pour le compacter. Le poker s'enlève facilement d'un point à un autre.



*Figure II. 11: Vibrateur interne, (Rayon d'action)[33]*

- ❖ **Vibration systématique**
- ✓ **CORRECT**

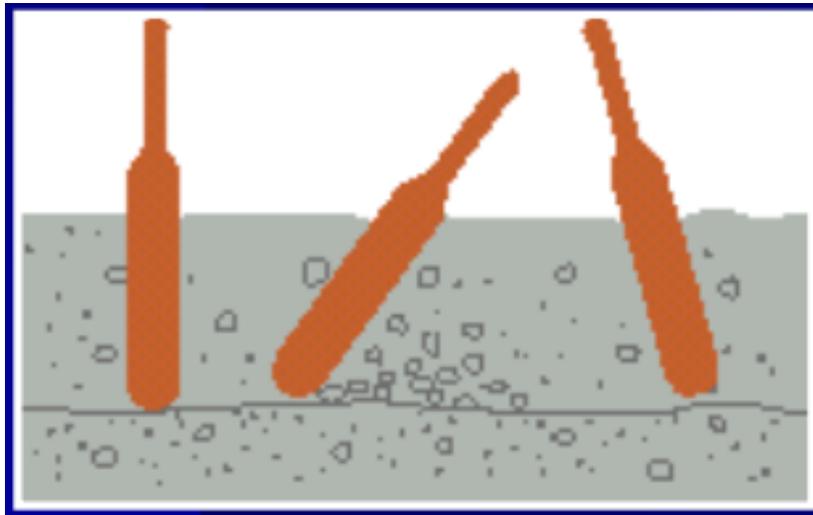
Pénétration verticale de quelques centimètres dans l'ascenseur précédent (qui ne devrait pas être rigide) d'intervalles réguliers systématiques consolidation.



*Figure II. 12: vibration correcte [33]*

✓ **INCORRECT**

Pénétration aléatoire du vibreur sous tous les angles et espacements sans profondeur suffisante n'assurera pas la combinaison intime des deux couches.



*Figure II. 13: vibration incorrecte [33]*

- Pour aider à éliminer l'air emprisonné, la tête du vibreur doit être rapidement plongée dans le mélange et lentement déplacé de haut en bas.
- L'achèvement réel de la vibration est jugée par l'aspect de la surface de béton qui doit être ni rugueux ni contenir un excès de pâte de ciment.

1.2. **Vibrateurs externes** : vibrateurs externes pince directement sur le coffrage nécessitant formes solides et rigides.

- Forme des vibrateurs
  - Tables vibrantes (Lab)
  - Vibrateurs de surface
- Chapes vibrantes
  - Vibrateurs à plaques
  - Rouleau vibrant chapes
  - Flotteurs à main ou truelles vibrants
- Les vibrateurs externes sont fermement fixés au coffrage afin que le coffrage et le béton soient soumis à des vibrations.
  - Un travail considérable est nécessaire pour faire vibrer les formes.
  - Les formulaires doivent être suffisamment solides et liés pour éviter déformation et fuite du coulis.
  - Table vibrante : utilisé pour les petits des quantités de béton (laboratoire et certains préfabriqués éléments).[31]

## II.12. Béton prêt à l'emploi

Le béton prêt à l'emploi est mélangé dans l'usine centrale puis transporté sur le site. Le béton prêt à l'emploi est particulièrement utile sur les sites encombrés ou dans la construction de routes où peu d'espace pour une usine de mélange et pour de vastes stocks d'agrégats est disponible. En outre, l'utilisation de béton prêt à l'emploi est avantageuse lorsque seules de petites quantités de béton sont nécessaires ou lorsque le béton n'est placé qu'à intervalles.

### II.12.1. Avantages du béton prêt à l'emploi :

- Il est réalisé dans de meilleures conditions de contrôle que celles qui sont normalement possibles sur tous les chantiers de construction sauf les grands. Le contrôle doit être imposé mais, depuis la centrale de mélange fonctionne dans des conditions proches de l'usine, un contrôle très étroit de toutes les opérations de la production de béton frais est possible.
- Un bon entretien pendant le transport du béton est également assuré par l'utilisation d'un agitateur camions, mais la mise en place et le compactage restent, bien entendu, la responsabilité du personnel sur le chantier.

### II.12.2. Principales catégories de béton prêt à l'emploi :

Il existe deux principales catégories de béton prêt à l'emploi :

1. **Béton mélangé central** : le mélange se fait dans une usine centrale et le béton mélangé est puis transporté, généralement dans un camion agitateur qui tourne lentement pour éviter ségrégation et rigidifiassions excessive du mélange.
2. **Béton mélangé au transit ou au camion** : les matériaux sont mis en lots dans une usine centrale mais sont mélangés dans un camion malaxeur soit en transit vers le site, soit juste avant le béton est déchargé.[31]

❖ **Remarque:**

Le principal problème dans la production de béton prêt à l'emploi est de maintenir l'ouvrabilité du mélange jusqu'au moment de la mise en place. Le béton se raidit avec le temps et le raidissement peut-être également aggravé par un mélange prolongé et par une température élevée.

## **II.13. Temps chaud**

### **II.13.1. Définition du temps chaud**

Le temps chaud peut être défini comme toute période de forte température à laquelle des précautions particulières doivent être prises pour assurer une manipulation, une mise en place, une finition et un durcissement appropriés béton. Les problèmes de temps chaud sont les plus fréquents rencontrés en été, mais le climat associé des facteurs de vents violents et d'air sec peuvent survenir à tout moment, en particulier dans les climats arides. Les conditions météorologiques chaudes peuvent produire une vitesse rapide d'évaporation de l'humidité du surface du béton et temps de prise accéléré, entre autres problèmes. Une humidité relative généralement élevée a tendance à réduire les effets de la température élevée.

### **II.13.2. Prise en compte par temps chaud**

Il est important que le temps chaud soit pris en compte lorsque la planification de projets concrets en raison des effets potentiels sur le béton frais et récemment mis en place. Seules les températures élevées provoquer une augmentation de la demande en eau, qui à son tour augmentera rapport eau-ciment et rendement potentiel plus faible. Plus haute les températures ont tendance à accélérer la perte d'affaissement et peuvent causer perte d'air entraîné. La température a également un effet majeur sur le temps de prise du béton; béton placé sous haut les températures se fixeront plus rapidement et peuvent donc nécessiter plus finition rapide.

### **II.13.3. Les effets de la température**

Les effets de la température élevée de l'air, du rayonnement solaire, et une faible humidité relative peut être plus prononcée avec l'augmentation de la vitesse du vent (tableau II.1.). Les problèmes potentiels du bétonnage par temps chaud peuvent avoir lieu à tout moment de l'année climats chauds tropicaux ou arides, et se produisent généralement pendant la saison estivale dans d'autres climats. Fissuration précoce due au retrait thermique est généralement plus sévère au printemps et tomber. C'est parce que le différentiel de température pour chaque 24h période est plus longue pendant ces périodes de l'année. De précaution les mesures requises lors d'une journée venteuse et ensoleillée seront plus strictes que celles requises par une journée calme et humide, même si les températures de l'air sont identiques.[31]

Tableau II. 1 : Températures typiques du béton pour diverses humidités relatives potentiellement critique à la fissuration par retrait plastique. [33]

Température du béton F ( c)	température d'air F ( c)	Taux d'évaporation critique			
		0.2 Ib/ft <sup>2</sup> /h 1.0 Kg/m <sup>2</sup> /h	0.15 Ib/ft <sup>2</sup> /h 0.75 Kg/m <sup>2</sup> /h	0.10 Ib/ft <sup>2</sup> /h 0.50 Kg/m <sup>2</sup> /h	0.05 Ib/ft <sup>2</sup> /h 0.25 Kg/m <sup>2</sup> /h
		humidité relative, %			
105 (41)	95 (35)	85	100	100	100
100 (38)	90 (32)	80	95	100	100
95 (35)	85 (29)	75	90	100	100
90 (32)	80 (27)	60	85	100	100
85 (29)	75 (24)	55	80	95	100
80 (27)	70 (21)	35	60	85	100
75 (24)	65 (19)	20	55	80	100

❖ Humidité relative, % dont le taux d'évaporation dépassera les valeurs critiques indiquées, en supposant que la température de l'air est inférieure à 10 F (6 C) que la température du béton et une vitesse du vent constante de 10 mi / h (16 km / h), mesurée à 20 po (0,5 m) au-dessus de la surface d'évaporation.

**Remarque :** Basé sur le nomographe NRMCA-PCA (tableau II.1.), les résultats sont arrondis à 5% près.

#### II.13.4. Problèmes potentiels par temps chaud

1. Problèmes potentiels pour le béton dans le fraîchement mélangé l'état est susceptible d'inclure :
  - Augmentation de la demande en eau ;
  - Augmentation du taux de perte d'affaissement et tendance correspondante à ajouter de l'eau sur le chantier ;
  - Augmentation du taux de réglage, entraînant une plus grande difficulté avec manutention, compactage et finition, et un plus grand risque de joints froids ;
  - Tendance accrue à la fissuration par retrait plastique ;
  - Difficulté accrue à contrôler la teneur en air entraîné.
2. Défauts potentiels du béton dans le l'état peut inclure :
  - Diminution des résistances à 28 jours et plus résultant d'une demande d'eau plus élevée, d'une température du béton plus élevée ou des deux au moment de la mise en place ou pendant la première plusieurs jours ;
  - Tendance accrue au retrait au séchage et à la fissuration thermique différentielle due au refroidissement de l'ensemble structure, ou à partir de différences de température dans la section transversale de l'élément ;
  - Diminution de la durabilité résultant de la fissuration ;
  - • Une plus grande variabilité de l'apparence de la surface, comme le froid joints ou différence de couleur, en raison de différents taux de hydratation ou différents ratios eau-matériaux cimentaires (l / cm);
  - Augmentation du potentiel de corrosion de l'acier d'armature rendre possible l'entrée de solutions corrosives ;
  - Perméabilité accrue en raison d'une teneur élevée en eau, d'un durcissement inadéquat, d'une carbonatation, d'agrégats légers ou de proportions incorrectes de matrice-agrégat. [31]

#### II.13.5. Problèmes potentiels liés à d'autres facteurs

Les autres facteurs à prendre en compte avec les facteurs climatiques peuvent inclure :

- Utilisation de ciments à taux d'hydratation accru ;
- Utilisation de béton à haute résistance à la compression, qui nécessite des teneurs en ciment plus élevées ;

- Conception de sections de béton minces avec en conséquence des pourcentages d'acier plus élevés, ce qui complique la mise en place et la consolidation du béton ;
- Nécessité économique de continuer à travailler dans des Météo ;
- Utilisation de ciment compensateur de retrait. [31]

#### II.14. La relation entre les ressuages et le temps chaud

La relation entre le ressuage et la température est le processus d'évaporation de l'eau, de sorte que le ressuage, comme nous le savions plus tôt, est la remontée de l'eau à la surface. La température accélère le processus d'évaporation du miaulement présent dans le mélange de béton, dont la tâche principale est de compléter les processus d'hydratation du ciment et la formation de produits qui sont responsables de Donner au mélange la capacité de durabilité et de résistance et donc l'eau diminuera et cela signifie que l'incapacité de terminer complètement les réactions et ainsi le mélange de béton devient plein de lacunes et cela affecte négativement la résistance du béton en plus de l'augmentation de la vitesse d'évaporation de l'eau plus que la vitesse de son évaporation à la surface conduit à L'apparition d'un retrait qui entraîne des fissures dans le béton après son durcissement.

##### ❖ Note importante

"La qualité du béton dépend de la température du béton et non de la température climatique dans les climats chauds. Plus la température du béton est élevée, plus la résistance précoce augmente, mais la résistance finale est plus faible."

#### II.15. Les régions arides

##### II.15.1. 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 continentales<sup>1</sup> 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 [35].



*Figure II. 14 : région aride [35]*

### II.15.2. Types de l'aridité

#### P/ETP

D'où

P = précipitation

**ETP** : Evapotranspiration 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 hyperarides, et semi-arides. Sur la superficie totale des terres mondiales, la zone hyperaride 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 hyperarides, arides, semi-arides et sub-humides.**

**II.15.3. Causes 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 accompagnés d'un appauvrissement des sols [36].

**II.15.4. 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).

**II.15.5. 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 :  $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$ .

**II.15.6. 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  $I = \frac{P}{T+10}$  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 [36].

*Tableau II. 2: classification des zones au monde suivant leur Indice d'aridité [36]*

I=0	
Régions hyperarides Déserts absolus	(Atacama) 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 taberans (prés d'Almeria)
I=10	
Régions semi-arides	Sahel Kalahari Chaco
I=20	
Régions semi-humides	
I=35	
Régions humides	
I=55	

## II.16. Les facteurs environnementaux influencés sur le béton frais :

### II.16.1. Températures :

Lorsque le matériau est soumis à des conditions de séchage en même temps que l'hydratation évolue, les déformations plastiques qui en résultant sont une combinaison complexe de mécanismes apparaissant à différentes échelles. Les résultats (déformations plastiques et phénomènes corollaires) sont présentés suivant deux conditions de séchage (avec et sans vent).

### II.16.2. 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 à 15 km/h multiplie par 4 la vitesse d'évaporation . [37]

### II.16.3. 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'humidité est généralement faible dans les zones arides.

 ADRAR comme une zone Aride ou hyperaride [37]:

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<sup>2</sup>).

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 orages violentes 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.

### **II.17. La relation entre les ressuages et les régions arides**

La relation entre le ressuage et la région aride est la température est le processus d'évaporation de l'eau, de sorte que le ressuage, comme nous le savions plus tôt, est la remontée de l'eau à la surface. La température accélère le processus d'évaporation du mûissement présent dans le mélange de béton, dont la tâche principale est de compléter les processus d'hydratation du ciment et la formation de produits qui sont responsables de Donner au mélange la capacité de durabilité et de résistance et donc l'eau diminuera et cela signifie que l'incapacité de terminer complètement les réactions et ainsi le mélange de béton devient plein de lacunes et cela affecte négativement la résistance du béton en plus de l'augmentation de la vitesse d'évaporation de l'eau plus que la vitesse de son évaporation à la surface conduit à L'apparition d'un retrait qui entraîne des fissures dans le béton après son durcissement.

### **II.18. Conclusion**

En comprenant les facteurs qui influencent le ressuage et sa relation avec la température élevée du béton, peuvent être facilement contrôlés en prenant des mesures préventives afin de ne pas l'entraver construction en béton ou influence sur sa durabilité et sa durabilité.

**CHAPITRE III :**

**INFUENCE DU RESSUAGE SUR LE**

**BETON FRAIS DANS UNE REGION**

**ARIDE**

### III.1 Introduction :

L'effet du ressuage sur les propriétés du béton coulé dans les régions chaudes, comme la région Adrar, qui est connue pour sa température élevée, notamment en été, et les solutions qu'il faut prendre pour la réduire.

Le ressuage dans le béton, telle que nous la connaissions auparavant, est la formation d'une couche d'eau à la surface du béton nouvellement coulé après son compactage et son nivellement.

### III.2. Opérations de bétons

Il comprend le mélange, le transport, la mise en place, le pressage et le surfaçage finition. Ensuite, le traitement du béton posé commence 6 à 10 heures après le coulage(Pose) Les premiers jours de raideur sont importants. [38]

### III.3. Propriétés du béton

On sait que le béton est cette structure qui consiste en un mélange d'eau et de gravier de différentes tailles, ainsi que du ciment en plus d'autres composants qui représentent la touche de créativité de l'ingénieur, appelés additifs. Les matériaux sont entre eux jusqu'à la fin de sa durée de vie en plusieurs étapes et plusieurs étapes parmi elles :

#### III.3.1. Béton frais

C'est le béton qui commence à partir du moment de l'ajout d'eau aux composants du béton sec jusqu'à l'apparition du temps de prise initial. Cette étape se caractérise par la capacité à mélanger, transporter et couler

#### 1. Propriétés du béton frais :

##### 1) Propriétés fondamentales du béton frais :

- La résistance potentielle et la durabilité du béton pour un rapport de mélange donné

Cela dépend en grande partie du degré de sa compression.

- Les 48 premières heures sont très importantes pour la performance du béton

Bâtiment.

- Contrôle le comportement à longue portée, affectant  $f_c$  (force absolue),  $E_c$ (Module d'élasticité), fluage et ténacité.

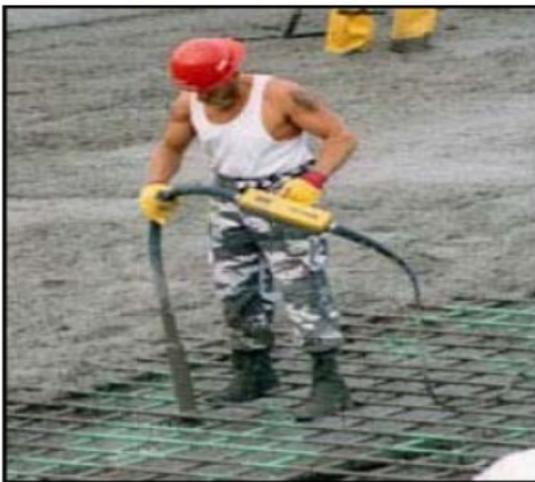
## 2) Principales propriétés du béton frais

Lors du malaxage, du transport, la mise en place et le compactage sont :

- **Liquidité ou cohérence** : la capacité de la gérer et de s'y diriger Couler le béton et autour de toute armature, à l'aide d'un pilonnage équipement.
- **Capacité intégrée** : l'air emprisonné pendant le mélange et la manipulation doit être facile ils sont éliminés par des équipements sous pression, tels que des vibrateurs.
- **Stabilité ou cohésion** : le béton frais doit rester homogène uniforme. La pâte de ciment n'est pas séparée de l'agrégat (en particulier le plus gros).

### III.3.1.1.1. Ouvrabilité

**III.3.1.1.1.1. Définition** : L'ouvrabilité est la caractéristique du béton frais, qui montre la facilité avec laquelle le mélange de béton peut être coulé et manipulé, ainsi que son degré d'homogénéité et de résistance à la séparation granulaire.[33]



*Figure III. 1:Pression du béton [33]*

*Figure III. 2 : Finition béton [33]*

#### III.3.1.1.1.2: Facteurs affectant l'ouvrabilité

- a) Teneur en eau
- b) Mélanger les proportions
- c) Volume agrégé
- d) La forme de l'agrégat
- e) Texture de surface agrégée
- f) Classification agrégée
- g) Utilisation d'additifs

a. Teneur en eau ou rapport eau / ciment

Plus de pourcentage d'eau de ciment sera opérabilité béton. Depuis, en ajoutant simplement de l'eau entre les particules augmentation de la lubrification.

Une teneur en eau plus élevée entraîne une fluidité de plus en plus élevée opérabilité. L'augmentation de la teneur en eau provoque également des ressues. Cela peut également être un autre effet de l'augmentation de la teneur en eau. La suspension de ciment s'infiltre à travers les séparateurs de moules.

Plus d'eau peut être ajoutée, tant qu'elle est plus élevée la quantité de ciment est également ajoutée pour maintenir le rapport eau / ciment constant, de sorte que la résistance reste la même.[39]

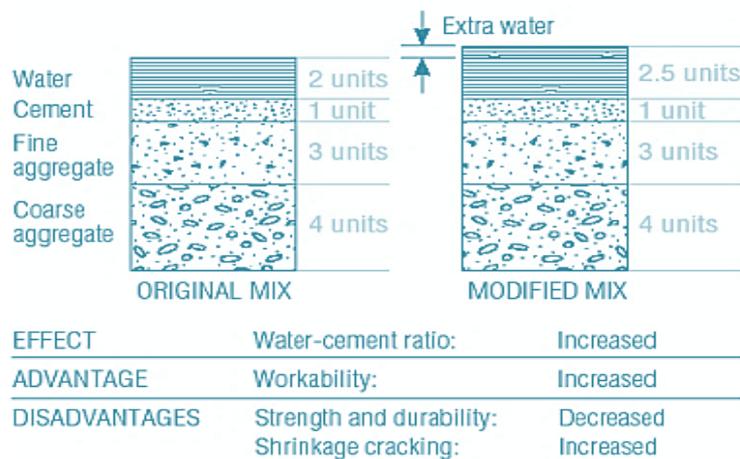


Figure III. 3: Les effets de l'augmentation de l'hydratation contenue [39]

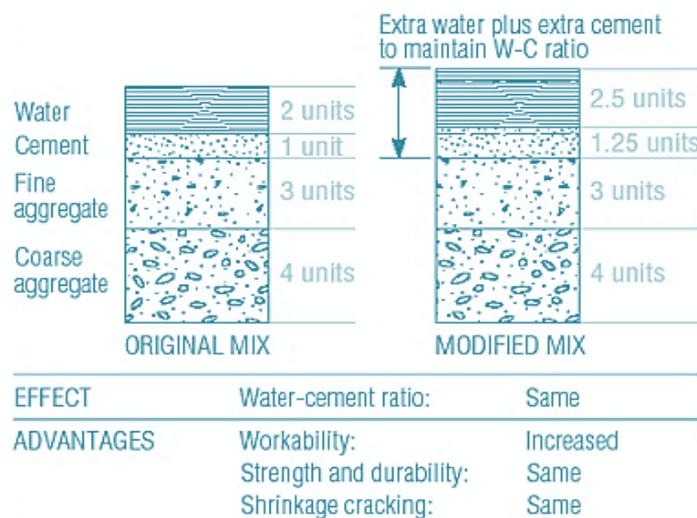


Figure III. 4: L'augmentation de l'eau a éclaté contenu du ciment [39]

**b. Mélanger les proportions**

Plus le rapport agrégat / ciment est élevé, moins la quantité de pâte est disponible pour assurer la lubrification, par unité de surface d'agrégat, limitant ainsi le mouvement des agrégats.

Par contre, dans le cas d'un béton riche avec une rapport agrégat / ciment, plus de mélange est disponible pour faire un mélange cohésif et gras pour une meilleure maniabilité.

**c. Taille des agrégats et texture**

De surface Plus il y a d'agrégats, moins il y a de surface, donc moins d'eau est nécessaire pour humidifier la surface et moins de matrice ou de pâte est nécessaire pour lubrifier la surface afin de réduire le frottement interne.

Plus grand volume d'agrégat - moins d'eau est nécessaire pour le lubrifier, de l'eau supplémentaire est disponible pour le travail.

Les agrégats poreux nécessitent plus d'eau que les agrégats non absorbants pour atteindre le même degré d'ouvrabilité.

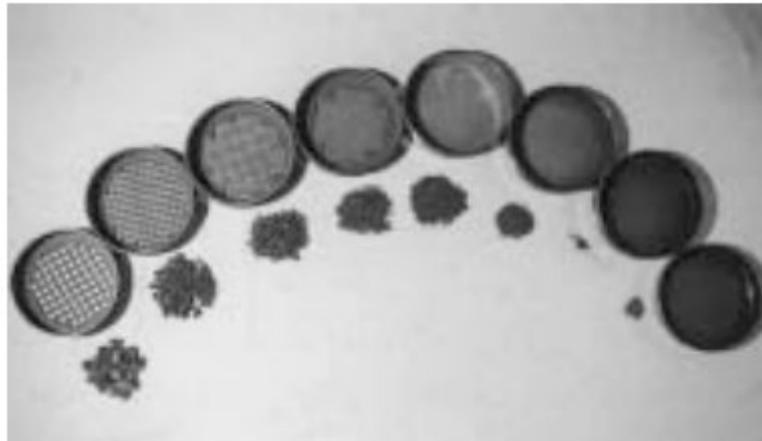


Figure III. 5: *Gamme typique d'agrégats* [39]

**d. La forme de l'agrégat**

L'agrégat angulaire, allongé ou instable rend le béton rigide par rapport aux agrégats arrondis ou de forme cubique.

La contribution à l'amélioration de l'opérabilité de l'agrégat rond vient du fait que pour un volume ou un poids spécifié, il a moins de surface et moins de vides qu'un coin ou instable total.

Non seulement cela, étant de forme ronde, la résistance au frottement est aussi fortement. Cela explique pourquoi le sable et le gravier de rivière offrent plus de maniabilité que le béton sable concassé et agrégats.

#### e. Classification agrégée

Un assemblage bien évalué est celui qui a le moins de vides dans une taille donnée et une opérabilité accrue.

D'autres facteurs sont constants, lorsque les vides totaux sont moindres, un excès de mélange est disponible pour donner un meilleur effet lubrifiant.

À mesure que la quantité de mastic augmente, le mélange devient collant et les graisses, qui empêchent la séparation des molécules. [39]

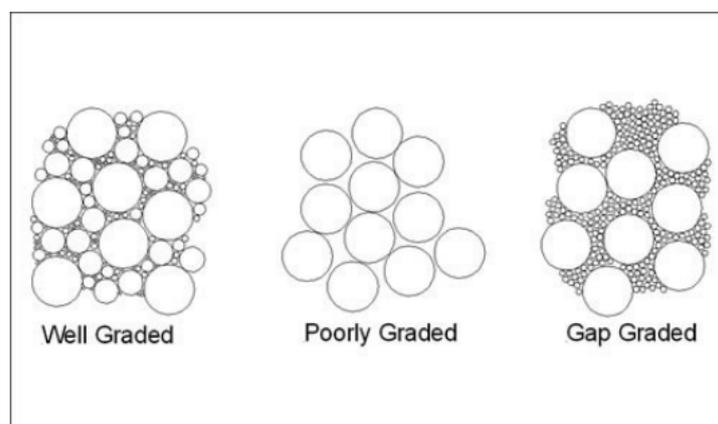


Figure III. 6: Séparation des particules [39]

#### f. Utilisation d'additifs

- Des additifs chimiques peuvent être utilisés pour augmenter la maniabilité.
- L'utilisation d'un agent de piégeage d'air produit des bulles d'air qui agissent à leur tour une sorte de boule entre les particules et augmente la mobilité, l'opérabilité et réduit les ressuges et l'isolation.
- En outre, il est préférable d'utiliser des matériaux pouzzolanique fins effet lubrifiant et plus de maniabilité.

#### III.3.1.1.1.3: Conditions climatiques

- Si la température est élevée, l'évaporation augmente et donc l'aptitude au travail diminue.

- Si le vent se déplace à plus de vitesse, le taux d'évaporation est l'augmentation réduit également la quantité d'eau et à la fin opérabilité réduite.

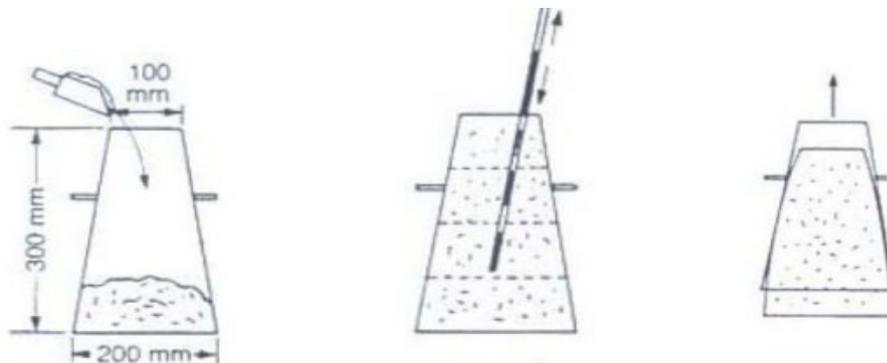
#### III.3.1.1.4: Mesure d'opérabilité

Il a été mentionné précédemment que l'ouvrabilité du béton est une propriété complexe.

- 1) Test d'affaissement
- 2) Test du facteur de compactage
- 3) Test de débit Test du Consistomètre « Vee Bee ».

##### a) Test d'affaissement

- Le test d'affaissement est la méthode de mesure la plus couramment utilisée consistance du béton qui peut être utilisé en laboratoire ou sur le chantier.
- Ce n'est pas une méthode appropriée pour le béton très humide ou très sec.
- Informations supplémentaires sur l'ouvrabilité et la qualité du béton peut être obtenu en observant la manière dont le béton s'effondre.
- La qualité du béton peut également être évaluée plus en détail en effectuant quelques taraudages ou coups en plaçant la tige sur la plaque de base.
- La déformation montre les caractéristiques du béton avec respect de la tendance à la ségrégation.



*Remplissez le béton dans le tronc d'un cône d'acier en trois couches*      *Taper à la main du béton dans chaque couche. Mouvement vers le bas du béton.*      *Soulevez le cône. Définir l'affaissement comme*

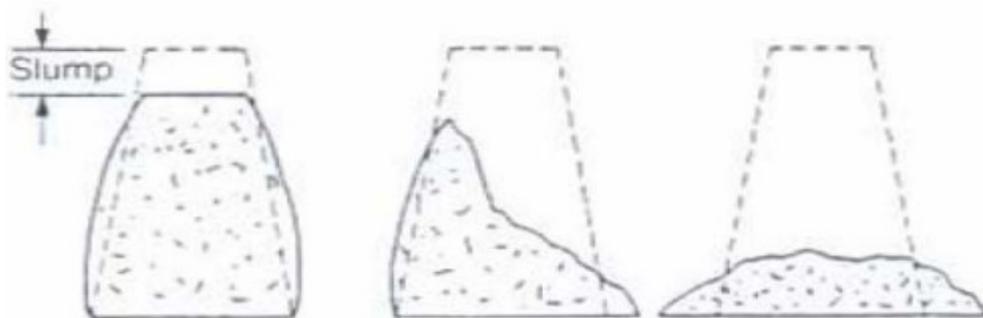
**Figure III. 7: remplissage du moule.[38]**



Soulever le cône

Dégonflé l'affaissement en tant que mouvement des cendrant du béton

Figure III. 8: Test d'affaissement - test le plus simple et le plus grossier [38]



Ture

Tondre

Effondrer

mesure d'affaissement mélanges ayant tendance affaissements supérieur valide 0-175mm à se séparer - répéter le test à 175 mm de béton auto nivelant

Figure III. 9: Test d'affaissement (ture, tondre, effondrer) [38]

#### b) Test du facteur de compactage

- il est plus précis et sensible que l'essai d'affaissement et est particulièrement utile pour les mélanges de béton de très faible ouvrabilité, comme on l'utilise normalement lorsque le béton doit être compacté par vibration.
- Le test du facteur de compactage a été développé à la route laboratoire de recherche U.K.
- Ce test fonctionne sur le principe de la détermination du degré de compactage réalisé par une quantité standard de travail effectué par permettant au béton de tomber d'une hauteur standard.

- Le degré de compactage, appelé facteur de compactage est mesuré par le rapport de densité, c'est-à-dire le rapport de la densité réellement atteinte en le test de densité du même béton entièrement compacté. [38]

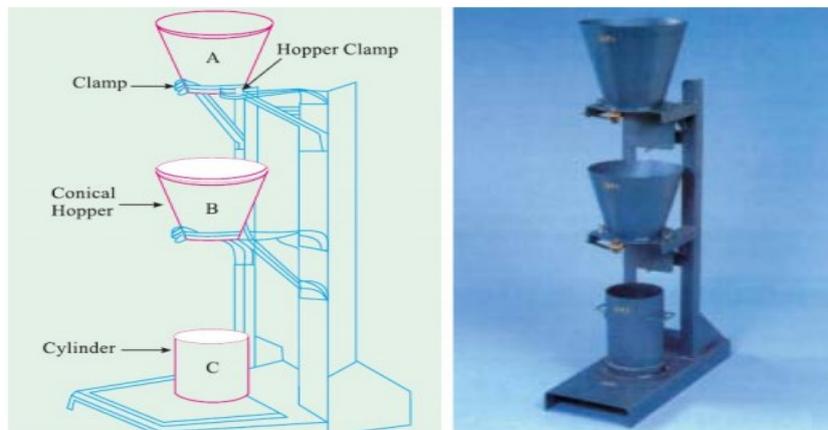


Figure III. 10: Appareil à facteur de compactage [38]

### c) Test de débit

- Il s'agit d'un test de laboratoire, qui donne une indication de la qualité du béton en ce qui concerne la consistance, la cohésion et la propension à la ségrégation.
- Le plateau de table est nettoyé de tout matériau granuleux et est humidifié. Le moule est maintenu au centre de la table, fermement tenu et est rempli en deux couches.
- Chaque couche est rodée 25 fois avec une tige de bourrage de 1,6 cm diamètre et 61 cm de long arrondi à l'extrémité inférieure de bourrage.
- Le moule est soulevé verticalement vers le haut et le béton se dresse seul sans support.
- La table est ensuite soulevée et abaissée de 12,5 mm 15 fois environ 15 secondes. Le diamètre du béton étalé est mesuré dans environ 6 directions aux 5 mm près et l'étalement moyen est noté.

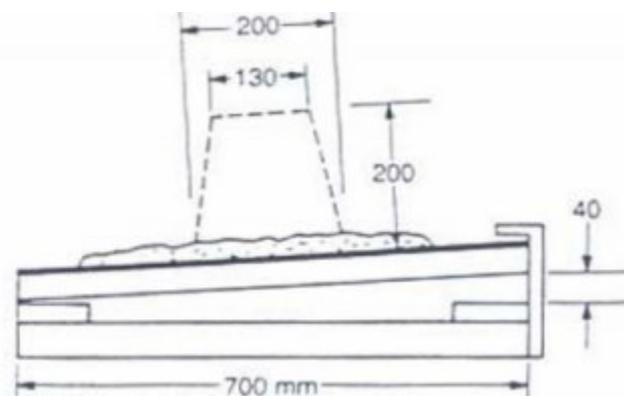


Figure III. 11: Test de débit [38]

**d) Test du Consistomètre Vee Bee**

- C'est un bon test de laboratoire pour mesurer indirectement la maniabilité du béton.
- Ce test consiste en une table vibrante, un pot en métal, un cône en tôle, une tige de fer standard.
- Le temps nécessaire pour que la forme du béton passe de l'affaissement de la forme du cône à la forme cylindrique en quelques secondes est connu comme degré Vee Bee.
- Cette méthode est très appropriée pour le béton très sec donc la valeur d'affaissement ne peut pas être mesurée par le test d'affaissement, mais la vibration est trop forte pour le béton avec un affaissement plus important à environ 50 mm.

**III.3.1.1.2:Ségrégation**

- La ségrégation peut être définie comme la séparation du constituant matériau de béton.
- Un bon béton est celui dans lequel tous les ingrédients sont correctement réparti pour faire un mélange homogène.
- Il existe des différences considérables dans les tailles et les gravités des ingrédients constitutifs du béton.
- Par conséquent, il est naturel que les matériaux aient tendance à tomber en morceaux.
- Mélange mal dosé où il n'y a pas suffisamment de matrice pour lier et contenir les agrégats. Béton mal mélangé avec une teneur en eau excessive.
- Chute de béton de hauteurs comme dans le cas de la mise en place béton dans le bétonnage de poteaux.
- Lorsque le béton est déchargé d'un malaxeur mal conçu ou d'un malaxeur dont les pales sont usées.
- Transport du béton par bandes transporteuses, brouette, longue le transport à distance par dumper, la longue levée par benne et le palan sont les d'autres situations favorisant la ségrégation du béton.

**III.3.1.1.3:Phénomène ressuage :**

C'est la formation d'une couche d'eau à la surface du béton nouvellement coulé après le compactage et le nivellement.

**III.3.1.1.3.1:Facteurs affectant et provoquant des ressuges :**

Compactage excessif (conduit à une chute de composants lourds (granulats) vers le bas et à la remontée de la pâte de ciment (cimentier) vers le haut

**III.3.1.1.3.2: Traiter le phénomène du ressuage :**

Utiliser une quantité appropriée d'eau de gâchage (ne pas utiliser de mélanges très humides)  
Utilisation d'une quantité appropriée de matériaux souples (mélanges avec un petit pourcentage de matériaux fins) Utilisez un plastifiant pour réduire l'eau de gâchage.

**III.3.1.1.3.3: Dommages au processus de ressuage :**

Le confinement de la couche supérieure d'un pourcentage d'eau élevé entraîne la présence de vides, affaiblissant ainsi la résistance du béton.

Au fur et à mesure que l'eau monte, les particules de ciment sont tirées vers le haut et, à mesure que l'eau s'évapore, une couche fragile se forme.

Les couches d'eau sous la surface des gros gravats et du fer, ce qui conduit à la présence de vides, affaiblissant ainsi la cohésion entre le mélange et le fer.

**III.4. Couler le béton par temps chaud [40]****III.4.1. Définition du temps chaud**

Pour les besoins de cette fiche technique, il fait chaud toute combinaison de:

- Température ambiante élevée.
- Humidité relative faible.
- vitesse du vent élevée.

AS 13791 définit un maximum de 35 ° C délai de livraison de la température du béton.

Cependant, lorsque la température de l'air dépasse 30 ° C, il est généralement recommandé de prendre des précautions Surtout s'il y a aussi des vents secs et chauds.

C'est d'abord pour garantir l'acceptabilité concrète température au point de livraison, et deuxièmement à éviter le retrait du plastique et les problèmes de fissuration le béton durcit prématurément la figure 1 peut être utilisée pour estimer la probabilité la fissuration par retrait plastique se produit, et donc la nécessité de prendre les précautions appropriées. C'est nomographe est utilisé pour combiner les effets de l'air température, humidité relative et température du béton et la vitesse du vent pour estimer le débit de l'eau il s'évaporer de la

surface du béton. K une règle générale si le taux d'évaporation est supérieur plus de 1 kg d'eau par mètre carré de béton par heure (1 kg / m<sup>2</sup>/ H), puis précautions séchage précoce et fissuration par retrait plastique doit être pris. Alternativement, cela pourrait être le taux d'évaporation calculé à partir de l'équation suivante [réf00000]:

$$E = 5 ([Tc + 18]^{2.5} - r [Ta + 18]^{2.5}) (V + 4) \times 10^{-6}$$

Où

E = taux d'évaporation, kg / m<sup>2</sup> / h

r = humidité relative / 100

Ta = température de l'air, ° C

Tc = température du béton (surface de l'eau), ° C

V = vitesse du vent, km / h.

- ❖ **Groupes de températures élevées, cela peut entraîner des vents faibles et de l'humidité conditions qui entraînent des problèmes avec mise en place et finition du béton.**

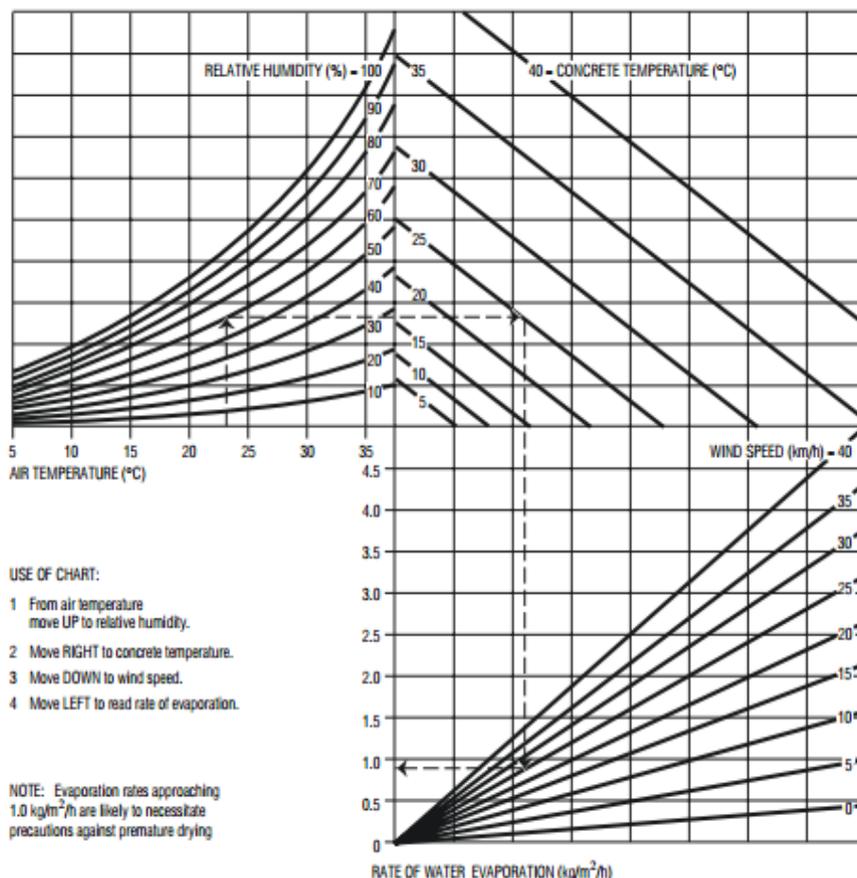


Figure III. 12: Influence du béton, de la température de l'air, de l'humidité relative et de la vitesse du vent sur le taux L'humidité de surface s'évapore du béton (après ACI 305) [40]

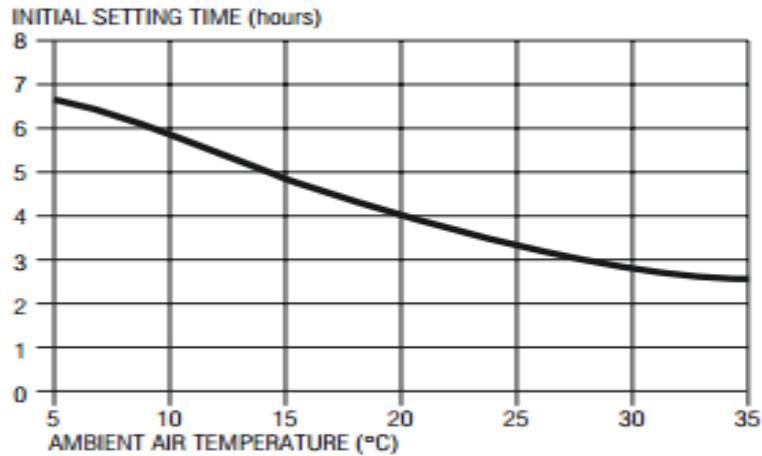


Figure III. 13: Influence de la température de l'air sur le réglage temps de béton fabriqué avec du ciment de type GP [40]

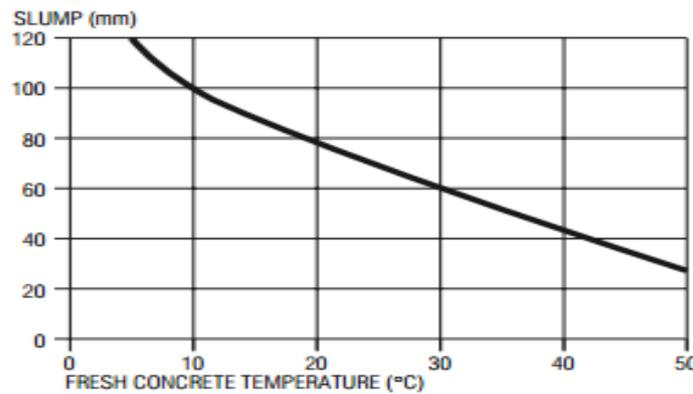


Figure III. 14: Diminution de l'ouvrabilité du béton frais (tel que mesuré par affaissement), fait avec de l'eau constante contenu, à mesure que la température augmente [40]

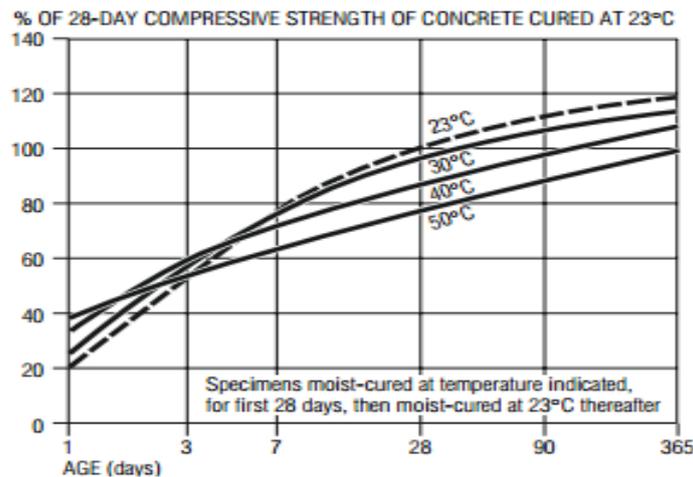


Figure III. 15: Effet des températures de durcissement élevées sur résistance à la compression du béton [40]

### III.4.2. Effets des conditions météorologiques chaudes

La plupart des problèmes associés au réglage le béton par temps chaud est lié augmentez le taux de mouillage du ciment en températures et taux d'évaporation accru l'humidité du béton frais.

Propriétés du béton susceptibles d'être affectées inclure les conditions météorologiques chaudes :

- **Régler le temps** en fonction de la température du béton il augmente, le temps de prise, et donc le temps placer, compacter et finir le béton coupez la figure 2.
- **Opérabilité et stagnation** des températures plus élevées réduire l'opérabilité (ou le relâchement) du béton plus rapide au fil du temps Figure 3. Ajouter plus d'eau pour améliorer la maniabilité le mélange réduit et augmente la résistance perméabilité, et affecte finalement durabilité du béton.
- **Résistance à la pression** : forte demande en eau et la surchauffe du béton peut entraîner diminution de la force de 28 jours. Si plus d'eau est ajoutée au mélange de béton à des températures supérieures à en maintenant ou en restaurant l'ouvrabilité, la proportion de ciment avec de l'eau sera augmentée, ce qui perte de résistance potentielle et de durabilité. Cela peut également augmenter le retrait au séchage béton dur. Là où l'eau n'est pas ajout et réduction du temps de configuration et de la maniabilité Cela augmente la probabilité d'une pression insuffisante (Lui-même a une énorme influence sur la force), alors formation de joints froids et de mauvaises finitions.
- **Température du béton** : conditions météorologiques chaudes peut augmenter la température du béton en raison de la température de l'eau. En grandes sections activer les gradients thermiques à travers le composant provoque une fissuration thermique. Les tests en laboratoire montrent qui résiste à des températures nettement plus élevées l'effet sur l'acquisition de la résistance à la compression figure 4. Alors que le raidissement augmente les températures du béton peuvent augmenter dans le rythme de gagner en force plus tôt, pour une période plus longue gamme, le béton à basse température obtenez la force ultime la plus élevée.
- **Fissuration thermique** : le béton présent un risque de fissuration thermique lors de la première pose, et la chaleur de l'eau augmente la température intérieure de béton. Changements rapides de la température de la surface extérieure du béton, comme des dalles de béton, des murs ou des trottoirs par une journée chaude suivie d'une nuit

froide, conduire à des gradients thermiques chaud / chaud surface intérieure et extérieure plus fraîche. L'intérieur plus chaud ne constitue pas une contrainte sur l'extérieur le plus froid qu'il souhaite contracter. En fonction de la température différentielle, le béton peut se fissurer. Les éléments en béton volumineux ou plus épais sont plus vulnérables en raison de l'effet isolant que le béton procure à l'intérieur de l'élément.

- **L'apparence de la surface** est affaiblie avec une augmentation du taux d'évaporation, la surface du béton se dessèche et durcit. Dans le cas de travaux à plat, cela peut conduire à un achèvement anticipé surface, piégeant la quantité d'eau qui s'écoule dans le mélange. La couche de surface compactée (à partir de la finition) peut provoquer la remontée de l'eau de prélèvement emprisonnée sous la surface, entraînant suppression de la couche de surface et au-delà de l'écaillage. En outre, les différences de couleur sur la surface peuvent résulter de taux différents d'effets de mouillage et de refroidissement.
- **Fissure de retrait en plastique** par temps chaud les conditions accélèrent la perte d'humidité de la surface. Si le taux d'évaporation est supérieur au taux de saignement (le taux d'hydratation monter à la surface), le séchage de la surface se produira, ce qui conduit à un retrait du béton. Lorsque les contraintes de retrait dépassent la capacité de traction du béton, des fissures se produisent. Le potentiel de fissuration du plastique par retrait, donc plus les conditions sont chaudes, plus l'évaporation augmente ou le béton a un faible taux de ressuage. Rétrécissement plastique Les fissures peuvent être très profondes, comme le béton plastique a peu de capacité à résister aux pressions de retrait, et les fissures continuent de s'élargir et de se multiplier jusqu'à ce que les pressions de retrait soient éliminées. (NB rarement, les fissures de retrait en plastique prolongent les bords libres, comme le retrait sans restriction de le béton est possible à ces endroits.)[40]

#### III.4.3. Minimiser les effets des conditions météorologiques chaudes [40]

Le contrôle de la température du béton AS 1379 nécessite des températures du béton à un point la livraison est comprise entre 5 ° C et 35 ° C. Pour les températures ambiantes élevées, des précautions sont requises de la part du fournisseur pour s'assurer que la température du béton au point de livraison se situe dans la plage autorisée. Il existe un certain nombre d'options pour contrôler la température du béton, y compris l'ajustement de la température des

composants et / ou le refroidissement du mélange de béton. Sensibilité la température du mélange de béton normal à ses composants peut être prouvée par la formule suivante :

$$T = 0,1 T_c + 0,6 T_a + 0,3 T_w$$

Où

T = température du béton

T<sub>c</sub> = température du ciment

T<sub>a</sub> = température de l'agrégat

T<sub>w</sub> = température de l'eau

Parce que les granulats constituent la majeure partie du béton, ils ont également les températures les plus élevées. Capacité, ils ont la plus grande influence sur la température du béton fraîchement mélangé. Malheureusement, la température de l'agrégat est également la plus difficile à contrôler. Certains avantages peuvent être obtenus en protégeant les stocks du soleil et / ou en les maintenant hydratés avec des arroseurs. Le stockage dans des boîtes (peintes en blanc) aidera également. Le mélange d'eau offre le plus de possibilités pour abaisser la température, en particulier en y ajoutant de la glace pilée, comme la chaleur latente de la glace beaucoup plus élevée que l'eau.

La température du ciment ne contribue généralement pas de manière significative à la température du béton fraîchement mélangé en raison de ses faibles propriétés thermiques et de sa masse relativement faible dans le mélange. De l'azote liquide est injecté dans le béton pendant le processus, et peut également être utilisé. L'énergie thermique potentielle lors de l'évaporation en gaz refroidit considérablement le béton sans aucune nocivité connue. Il est à noter que ce procédé n'est généralement économique que dans les grands projets impliquant la construction de grands éléments en béton.

Additifs Divers types de produits chimiques peuvent être des additifs utiles par temps chaud. Des réducteurs d'eau (plastifiants) peuvent être utilisés pour réduire la teneur en eau ou pour faciliter la maniabilité. Cela permet un placement et une consolidation rapides avec un béton pratique. Effets sur la résistance et la durabilité. Les ralentisseurs peuvent gagner du temps la pose et la finition fonctionnent à plat. Avec séchage rapide de surface, il faut faire preuve de prudence lors de l'utilisation de retardateurs d'application, car la surface peut sembler prête pour la finition, mais le béton en dessous peut également rester en plastique à cause de

l'amortisseur, ce qui entraîne un " épongeage " sentez-vous sous les pieds. Cela pourrait affecter l'uniformité de la finition de surface.

**Type de ciment** Le choix d'un type de ciment spécifique peut offrir des avantages supplémentaires. L'utilisation d'un ciment à mouillage plus lent (comme le type LH) avec un taux de développement de chaleur plus faible peut fournir du temps supplémentaire pour la pose et la finition, réduire la température du béton et le risque de fissuration thermique lorsque le béton refroidit.

**Teneur en ciment** L'augmentation de la température d'hydratation du ciment dans le béton spécifié est proportionnelle à sa teneur en ciment le contenu doit donc être limité à ce qui est nécessaire pour fournir résistance et durabilité.

#### **III.4.4. Précautions par temps chaud [40]**

**Général :** Les problèmes surviennent généralement lorsque le personnel du site n'est pas conscient de l'impact du temps changement des conditions et / ou des conditions météorologiques pendant le coulage et / ou la finition du béton. Les réponses impromptues aux changements inattendus ne sont pas recommandées car les dommages pouvant résulter d'effets chauds incontrôlables Les conditions météorologiques peuvent ne jamais être complètement assouplies.

La première option pour tenir compte des conditions météorologiques chaudes et nocives est de reporter ou non le coulage du béton. Il vaut souvent mieux attendre que risquer des réparations coûteuses (ou même des remplacements) pour un travail défectueux et une insatisfaction Clients demandant une compensation. Si travailler pour allez-y, une bonne planification grâce à une sélection minutieuse le matériel pour les procédures de travail par temps chaud est essentiel si l'on veut réduire les risques associés.

**Planification :** réussie, bien gérée, par temps chaud le projet est le résultat d'une planification minutieuse et minutieuse. La planification des conditions météorologiques chaudes est essentielle en raison des impacts potentiels sur le béton frais et récemment posé. Pour le béton plastique, cela inclut une demande accrue en eau le risque de fissuration par retrait du plastique, une plus grande perte d'affaissement, une prise plus rapide et des difficultés à contrôler le contenu de l'air ambiant ; Le durcissement du béton comprend une résistance et une durabilité réduites et un retrait à sec accru. Bien qu'un concepteur ou un prescripteur puisse avoir le contrôle de certains des éléments de la liste suivante, il n'est pas toujours

possible de prévoir quand et dans quelles conditions météorologiques les travaux seront exécutés. Ainsi les constructeurs et les sous-traitants doivent être conscients / attentifs à toutes les possibilités.

- Là où des conditions météorologiques chaudes sont probables soumettez un problème, consultez un fournisseur de béton au plus vite.
- Il dispose d'équipements et de main-d'œuvre de rechange à tous les stades.
- Utilisez la plus grande taille grossière globale et la quantité compatible avec la fonction. Cela aide également à réduire la tendance du béton à se fissurer.
- Pour déterminer l'affaissement du béton, tenez compte des effets du temps chaud sur la capacité de poser et de finir le béton.
- Programme de coffrage pour les portions froides de la journée ou même spécifier les heures de placement de nuit si possible.
- Spécifiez le débit maximal acceptable de la température du béton afin que le fournisseur puisse planifier le refroidissement des matériaux au besoin.
- Évitez d'être en retard à toutes les étapes.
- Planifiez tôt les chantiers de pauses de construction en pensant aux urgences par temps chaud.
- Tenez compte de l'espacement des joints de retrait (contrôle) à des intervalles légèrement plus petits, couler le béton à des températures plus basses.
- Utilisez des stores pare-soleil ou des brise-vent.
- Retard dans la construction de panneaux intérieurs sur les murs et le plafond.
- Faites attention au taux de béton placement. Soyez prêt à faire pendre du béton la ressource est immédiatement disponible pour tout changement d'horaire, qui peut devenir nécessaire au fur et à mesure que le poste postule.
- Entretenir le registre d'évaporation (aliphatique alcool) sur place lorsque les circonstances l'exigent.

**Production de béton :** La responsabilité du fournisseur de béton est de fabriquer et de livrer du béton conformément à la norme AS 1379. Les méthodes suivantes peuvent être utilisées par le fournisseur aide au coulage du béton par temps chaud :

- stocks d'ombrage, pulvérisation d'agrégats à l'avant temps de refroidissement par évaporation ou refroidissement par d'autres moyens.
- Peignez le mélangeur et les boîtes de rangement en blanc pour réduire l'absorption de la chaleur du soleil.

- Utilisez de la glace dans le mélange d'eau ou refroidissez-la béton avec azote liquide.

**La livraison et le déchargement** peuvent retarder la livraison annuler le mélange des meilleures pratiques. Béton le fournisseur doit établir et maintenir un bon calendrier sans retard pour la livraison du béton à l'endroit souhaité sur le chantier.

- Réduire le temps de transit et éviter les retards inutiles.
- Évitez le mélange prolongé. Camions malaxeurs Transit il doit être égoutté dès que possible après avoir ajouté l'eau au mélange.
- Pour les projets plus importants, envisagez de regrouper et de mélange de matériaux à l'aide de l'usine de chantier.
- L'eau ne doit pas être ajoutée au béton de pré mélange sur le chantier à moins qu'elle ne fasse partie de la quantité initialement requise pour le rapport eau / ciment maximal spécifié et récession spécifié.

**Positionnement et finition** Pour une pose et une finition réussie, il est nécessaire de créer un environnement dans lequel les ouvriers et l'équipement peuvent bien fonctionner et le béton peut convenir. Protégé contre le réchauffement et / ou le séchage rapide.

- Planifiez le stage à un bon moment de la journée, comme tôt le matin ou l'après-midi. Dans certains emplois, le coulage du béton la nuit (si autorisé) peut être plus avantageux.
- Il a toutes formes, équipements et personnels prêt à recevoir et traiter le béton, surtout la première livraison.
- Utilisez des parasols et / ou des brise-vent. Maintenez tous les équipements en contact avec le refroidissement du béton (chutes, convoyeurs, pompe lignes, tremblements, renforts et chariots). Protégez l'équipement de la lumière directe du soleil aidera. S'il ne peut pas être maintenu refroidi en continu, vaporisez-le en le refroidissant avec de l'eau si nécessaire.
- Pour les dalles sans pare-vapeur, humidifier la sous-couche avant la pose du béton.
- Utilisez de l'eau froide pour hydrater les formes latérales dalles ou murs.
- Utiliser un thermomètre pour surveiller la température à laquelle le béton est livré et demander des ajustements d'usine si nécessaire.
- Attendez-vous à ce que le béton soit installé plus rapidement et à un temps de finition plus court. Assurez-vous que les panneaux ont un « minimum » de l'avant à dans lequel de nouveaux lots de béton sont ajoutés.

- Effectuez toutes les opérations rapidement, mais ne le faites pas les panneaux finissent prématurément, par exemple lors de la purge l'eau reste en surface.

**Contrôle de l'évaporation :** Protégez la surface des dalles de béton à tous les stades contre l'évaporation excessive et le séchage précoce en utilisant un inhibiteur d'évaporation tel que l'alcool aliphatique. Les alcools aliphatiques sont appliqués sur une surface de béton fraîchement posée, où ils forment un film chimique qui réduit le taux d'évaporation de l'eau de la surface du béton. En contrôlant le séchage prématuré de la couche superficielle du béton, la tendance au retrait du béton et l'apparition de fissures de retrait plastique sont réduites ou éliminées. Les avantages de l'utilisation d'alcools aliphatiques sur la surface du béton peuvent se manifester de plusieurs manières, comme indiqué ci-dessous. Ces avantages généralement réalisés sans aucun effet sur le mouillage du ciment et / ou le timing du béton.

- Il améliore l'opérabilité de la surface et augmente ainsi la productivité et la main-d'œuvre du projet.
- Il améliore la finition de surface, et donc la durabilité, et la résistance à l'usure résistance à la pénétration d'eau et de polluants.
- Aide à éliminer les pratiques néfastes de « lingette humide » ou de vaporiser sur de l'eau sèche taches lors du grattage du béton, contribuant ainsi à éviter les problèmes de poussière de surface.
- Réduit considérablement le pelage de la surface.
- Le pelage de la surface peut causer des problèmes de fissuration, en particulier avec les finitions scellées au béton.
- Réduit le risque de finition prématurée de la surface - en permettant au béton régler correctement. Une couche de surface sèche peut sembler indiquer que le béton s'est tassé, mais cela peut conduire à un effet de « béton mousse », car le béton en dessous est encore plastique. Cela peut entraîner un pelage et une finition de surface inégale.
- Élimine efficacement le séchage différentiel de la surface.

Les alcools aliphatiques ont une couverture moyenne de 60 à 80  $m^2$  par litre. Parce que le taux de dilution varie en fonction du produit spécifique, le tarif de l'application doit toujours être compatible selon les spécifications du fabricant. Dans des conditions météorologiques défavorables ou sévères, ou dans des situations dans lequel la surface fonctionne (ou la couverture est autrement cassée), aliphatique vous devrez peut-être réappliquer l'alcool pour maintenir une couverture efficace (c'est-à-dire après avoir pagayé, peigné et autre surface flottante). Dans des conditions extrêmes, 5 à 6 applications ou plus peuvent être nécessaires

pour éviter un séchage excessif surface Au fur et à mesure que le béton se solidifie et que l'eau s'écoule, elle se dissipe. La plupart des alcools aliphatiques contiennent une « teinture d'emballage » L'aide à la surveillance de la couverture. Ne contient pas de colorant impact sur la résistance ou la couleur du béton.

**Le traitement et la protection** sont essentiels pour tous les surfaces sont constamment humidifiées en durcissant le béton, car le séchage, bien que par intermittence, peut entraîner un retrait à sec et / ou une fissuration de type craquelage sur la surface du béton.

- Le traitement doit commencer immédiatement après cela la dalle a été spécialement finie important le premier jour après placement, et dans des conditions chaudes ou venteuses.
- Les traitements comprennent des étangs avec de l'eau, l'utilisation de nattes humides ou de coton, pulvérisation continue, recouverte de feuilles de plastique ou pulvérisée sur les composés de traitement.
- Lors du retrait des coffrages, le traitement doit être appliqué aux surfaces nouvellement exposées.
- Certaines méthodes de traitement de l'eau sont utiles par temps chaud, l'eau aide également à refroidir le béton en durcissant et en gagnant en résistance. Il faut cependant faire attention, car la surface doit être suffisamment solide avant le traitement de l'eau sans risque d'endommagement de la surface. C'est possible la surface est vulnérable au dessèchement et aux fissures potentielles entre les finitions fin et début du traitement.
- Notez que l'alcool aliphatique n'est pas traité composés et ne doit pas être identifié ou utilisé comme un substitut pour eux. Aliphatique l'alcool est utilisé entre la première lettre opérations de nivellement et de finition finale, et ce devrait être le traitement approprié pour le béton à condition que la finition finale soit terminée. Alors que les alcools aliphatiques compatible avec la plupart des composés de procédé, cela doit être vérifié si les produits achetés auprès de différents fabricants.

### **III.5. Procédures de bétonnage en climat chaud [42]**

#### **III.5.1. Refroidissement des composants**

La quantité de chaleur contenue dans un corps ou une masse de matériau est le produit de sa masse, chaleur et température. Les différents ingrédients d'une composition de béton

sont présents dans différentes masses et ils ont une grande différence de chaleur spécifique. La température du le béton frais peut être approximé à:

$$T = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_a W_{wa}}{0.22 (W_a W_c) + W_w + W_{wa}}$$

Où:

T: la température du béton frais,

$T_a, T_c, T_w$  : La température des granulés, du ciment et de l'eau de gâchage respectivement,  $W_a, W_c, W_w$  : Poids des agrégats, du ciment, de l'eau de gâchage et de l'eau libre sur granulés en  $kg / m^3$  respectivement.

Le refroidissement des granulés avec de l'eau froide naturellement disponible est souvent le moyen le moins coûteux réduire la température du béton ; Et en utilisant de l'eau refroidie artificiellement pour mélanger le béton et les granulés de refroidissement peuvent parfois fournir autant ou plus de refroidissement que glace pilée utilisée pour mélanger l'eau.

Sur les grands chantiers de construction, il peut être nécessaire d'installer deux silos à ciment afin que le délai entre la livraison et l'utilisation soit prolongé pour réduire la température du ciment. En ordre pour réduire la température du ciment. Le revêtement du silo doit, quoi qu'il arrive, être peint en blanc pour minimiser la température due aux rayons solaires. [46]

### III.5.2. Production et livraison

Des réductions de température peuvent être obtenues en peignant la centrale à béton et les camions de mélange en blanc. À titre d'exemple, le béton dans un corps blanc propre peut être environ 1,5 ° C plus froid que le béton dans un corps rouge basé sur un délai de livraison d'une heure. La période entre le mélange et la livraison doit être réduite au minimum. L'expédition du Les camions des centrales de malaxage doivent être soigneusement coordonnés avec la vitesse à laquelle le béton est placé pour éviter un arrêt prolongé sur le chantier avant le déchargement des camions. Extrêmement bas les températures peuvent être atteintes d'azote, mais le procédé est coûteux. [46]

### III.5.3. Placement

La planification du transport, de la mise en place, des vibrations et de la finition du béton doit viser à la vitesse la plus rapide possible. Il peut être considérablement avantageux de bétonner la nuit où les composants sont probablement à leur température la plus basse. La température des moules, des armatures et du béton coulé précédent peut être réduite en l'ombrageant avant l'opération de bétonnage. Le béton frais doit être protégé par des brise-vent en particulier par temps chaud, climats arides. Le béton fraîchement posé doit également être protégé des rayons directs du soleil.

#### **III.5.4. Guérir**

##### **III.5.4.1. Guérison initiale**

La période de durcissement initiale est définie dans ACI 308 R comme la période entre le placement du béton et l'application de la cure finale. Le moment approprié pour l'application du durcissement final correspond approximativement à l'heure de début de prise.

Le durcissement initial est obtenu grâce à l'utilisation de réducteurs d'évaporation qui sont des produits relativement nouveaux spécialement conçus pour une évaporation excessive. Conditions (ils réduisent l'évaporation jusqu'à 80% à l'ombre par temps venteux et environ 40% de la lumière directe du soleil), sont généralement basés sur l'alcool une recherche récente propose un retardateur d'évaporation à base de silicone. La procédure consiste à appliquer des réducteurs d'évaporation (juste après la finition) en quantité et fréquence afin que le béton ne perde pas des quantités critiques d'eau par évaporation. Utiliser un équipement similaire à celui utilisé pour appliquer les produits de cure. La pratique relativement courante consiste à appliquer une partie ou du produit de durcissement très tôt après la mise en place pour servir d'agent réducteur évaporait efficace.

##### **III.5.4.2. Traitement final [46]**

La période de durcissement final est définie comme l'intervalle de temps entre l'application de la cure initiale et la fin de la cure programmée. Les méthodes de durcissement final peuvent être classées en trois types :

###### **III.5.4.2.1. Méthode de traitement du produit**

La méthode du produit de durcissement est normalement la méthode la plus économique pour durcir de grandes surfaces parce que les coûts de main-d'œuvre relativement bas. Une fois l'application accomplie de manière satisfaisante, cela nécessite peu ou pas d'attention supplémentaire. Le côté négatif de l'utilisation du produit de cure méthodes sont les questions

relativement complexes de choix et de spécification de conformité fréquemment requis et les compétences requises pour une application correcte.

Les caractéristiques des produits de durcissement sont couvertes par les normes ASTM C 309 et ASTM C1315. Les critères de sélection des produits de séchage comprennent : la rétention d'eau, les colorants, le temps de séchage, le type et la quantité de solides, les composés organiques volatils (COV), la compatibilité avec les revêtements. Chacun de ces critères est discuté ci-dessous.

La rétention d'eau est la principale propriété des produits de cure. Il est mesuré selon ASTM C 156, qui mesure la perte d'eau après une période fixe (généralement 72 heures) d'exposition à des conditions de séchage standard. La limite de rétention d'eau normalisée (ASTM C309) est une perte d'humidité de 0,55 kg / m<sup>2</sup> (maximum). ACI 305 R recommande de réduire la limite à 0,39 kg / m<sup>2</sup> pour le bétonnage par temps chaud.

Le temps de séchage normalisé dans ASTM C 150 est de 4 heures selon le laboratoire prescrit conditions de séchage. Les conditions de laboratoire représentent un taux d'évaporation d'environ 0,43 kg / m<sup>2</sup> / h. L'équation empirique suivante est utile pour estimer le séchage requis temps dans des conditions de séchage.

$$\text{Temps de séchage} = ER \cdot 0,67$$

**ER:** le taux d'évaporation (en kg / m<sup>2</sup> / h) estimé à l'aide du nomographe ICA 308. Le colorant blanc reflète la lumière du soleil et aide à contrôler la température par temps chaud. En plus de ces propriétés fonctionnelles, le colorant est un indicateur très fort de la quantité et uniformité de l'application.

Les agents de durcissement donnent de bons résultats s'ils sont appliqués après le temps de prise. Les guides recommandent l'application après la disparition de la brillance de surface du béton, cette pratique peut conduire à de mauvaises performances. L'application du produit de durcissement de cette manière ralentit ou arrête l'évaporation de l'eau de purge, qui s'accumule sous la membrane ou dilue le produit de durcissement. Dans les deux cas, la membrane sera endommagée et cette performance peut être réduite pendant la période de durcissement final. Dans certains cas, ce dommage est visible sous forme de fissures ou de déchirures dans la membrane.

Il n'y a pas de méthode pour vérifier l'uniformité du produit de cure non coloré, mais deux les approches sont potentiellement pratiques pour les produits de séchage de couleur blanche. La

vérification visuelle est la pratique la plus simple. Le contrôleur recherche des surfaces moins blanchâtres. Les produits de cure de coloration blanchâtre conforme à la norme ASTM C 309 et appliquée à un taux égal à  $5 \text{ m}^2 / \text{L}$ , avoir un aspect très blanchâtre. Toute trace de gris indique un sous-dosage grave. Des réflectomètres portables sont commercialisés pour évaluer la qualité de la peinture. Ces appareils sont efficaces pour mesurer l'application du produit colorant blanchâtre.

#### **III.5.4.2.2. Méthode de séchage à l'eau [46]**

Le procédé de durcissement à l'eau comprend l'immersion, la vaporisation et la toile de jute ou autre absorbant humide matériaux. La méthode de durcissement à l'eau est généralement considérée comme la seule cure efficace méthode pour éviter la fissuration par séchage interne des bétons à faibles rapports  $E / C$  (qui devient critique lorsque  $E / C$  est inférieur à 0,4).

ASTM C 94 contient des conditions sur l'eau de gâchage et l'eau de durcissement. Les conditions sur la toile de jute sont plus compliquées.

La buée peut être appliquée à tout moment après la mise en place tant qu'elle n'est pas aussi lourde pour éviter ruissellement. L'arrosage ne peut être toléré avant l'heure de prise en raison du danger de lavage les fines de ciment. Les matériaux absorbants ne doivent normalement pas être appliqués avant le début de la prise temps en raison du risque d'endommager physiquement la surface.

Les matériaux absorbant l'eau peuvent être recouverts d'une feuille de plastique pour éliminer l'évaporation et pour réduire la quantité d'eau nécessaire pour un durcissement efficace. La toile de jute peut être imprégnée d'un côté d'une couche imperméable.

Les conditions météorologiques extrêmement chaudes peuvent être un problème lors de l'utilisation de la méthode de séchage à l'eau. Des recherches en laboratoire ont montré qu'un béton exposé à un taux d'évaporation supérieur à  $1,4 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{h}$  peut développer un gradient de refroidissement au-dessus d'une profondeur de 50 millimètres au-dessus de  $13^\circ \text{C}$ . Couvrir les matériaux absorbants humides avec une couche de plastique empêchera considérablement l'évaporation refroidissement.

Le conseil typique est que tout béton est inspecté au moins une fois par jour ou plus souvent si les conditions le permettent, et si le béton trouvé est sec, la situation est corrigée et un jour supplémentaire est ajouté à la cure requise.

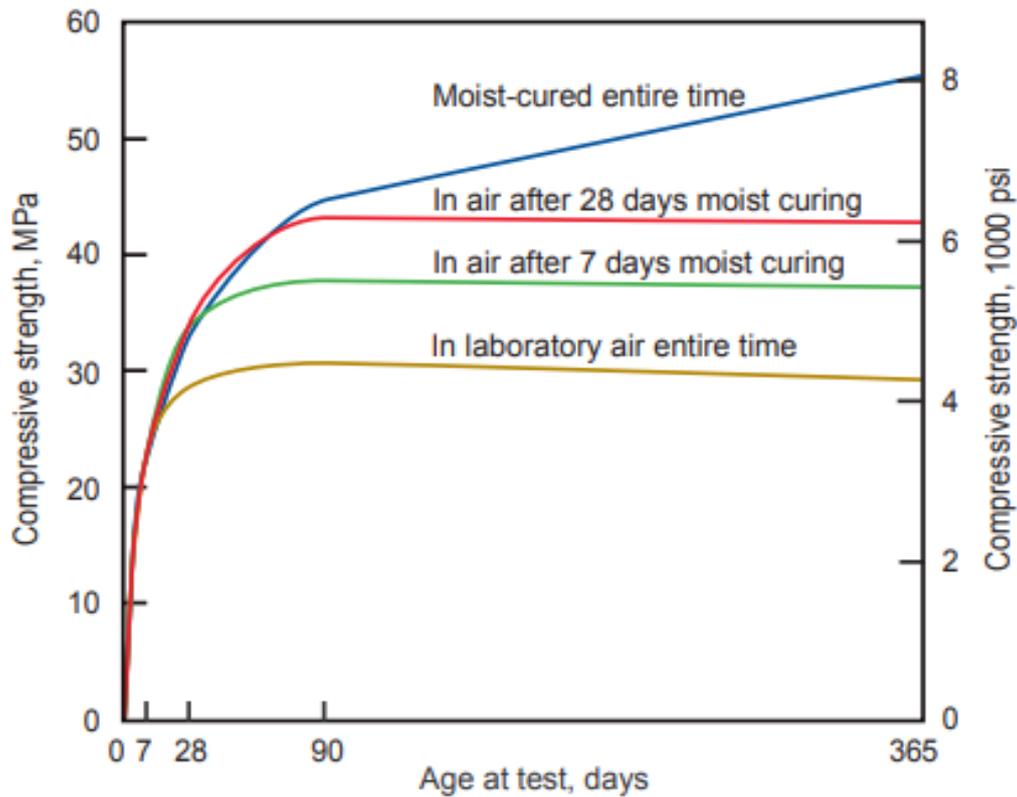


Figure III. 16: Effet du temps de séchage humide sur le gain de résistance béton [46]

#### III.5.4.2.3. Durcissement avec couvercle en feuille de plastique

Cette méthode est simple et peu conforme aux normes. Cette méthode est probablement peu pratique pour de grandes surfaces et / ou des conditions venteuses, mais peut être très pratique pour les petites surfaces. Certains clients n'autorisent pas l'utilisation d'un couvercle en plastique directement contre la surface du béton en raison de la coloration irrégulière qui se développe parfois.

ASTM C 171 décrit les spécifications de la couverture en feuille de plastique et contient exigences relativement simples. Une attention particulière doit être portée au chevauchement des feuilles (50 mm).

Les feuilles simples de polyéthylène fonctionnent bien pour la conservation de l'eau, mais l'utilisation de ce type de matériau peut entraîner une coloration non homogène de la surface du béton. Pour cette raison, certains organismes ne permettent pas le séchage avec des feuilles de plastique. Plastique laminé des draps / jute sont également fabriqués pour éviter ce problème. Des couvertures de couleur blanche sont disponibles, qui aident à contrôler la température en réfléchissant la lumière du soleil.

Les feuilles de plastique doivent être appliquées après l'heure de début de la prise. Comme dans la cure d'eau méthode, l'inspection visuelle quotidienne est la méthode normale de vérification. Si des zones sèches sont trouvées, la situation est corrigée et un jour supplémentaire est ajouté à la cure requise.

### **III.7.Conclusion**

Nous concluons que le ressuage affecte les propriétés du béton dans les régions chaudes avec la température élevée du béton, ce qui agit sur l'évaporation de l'eau, car la chaleur a un effet important sur le coulage du béton, et il n'est pas préférable de couler du béton dans les climats chauds, en raison de la capacité des températures élevées à évaporer l'eau dans le mélange de béton et dont la tâche principale est d'achever les processus d'hydratation du ciment et la formation de produits responsables de donner au mélange la capacité de durabilité et de résistivité et donc l'eau diminuera, ce qui signifie que les réactions ne peuvent pas être complétées complètement et que le mélange de béton devient donc plein de lacunes et cela se reflète négativement sur la résistance.

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

Dans cette recherche, nous avons traité un problème rencontré souvent dans le béton sur les chantiers de construction, en particulier lors du coulage du béton. Nous avons cherché à travers la recherche à connaître l'effet du ressuage sur les propriétés du béton coulé dans les régions chaudes précisément les régions arides. Des additifs peuvent être utilisés dans le béton pour augmenter l'opérabilité ou retarder le temps de doute initial, à condition que cela soit fait avec l'approbation de l'ingénieur.

Le principal intérêt qu'on peut prêter au ressuage est qu'il assure une bonne cure humide de la pièce de béton. Cette protection de la surface permet ainsi, d'éviter toute perturbation de l'hydratation locale du béton par dessiccation précoce, dont la tâche est d'hydrater le ciment et de créer les produits, ce qui conduit à l'incapacité de terminer les réactions et à l'apparition de retrait et de lacunes, ce qui se reflète négativement sur la résistance du béton.

La température exerce une évaporation rapide de l'eau du béton ressuée, qui influe sur les propriétés du béton et en conséquence sur son comportement, et non seulement la température qui affecte le béton dans son état frais, mais tous les autres facteurs climatiques, qui caractérise les régions arides, par un excès du ressuage produise une dégradation du béton après son durcissement. Outre les facteurs jouent un rôle négatif dépend de la main d'œuvre et les conditions de la préparation du béton sur chantier comme (vibration, coffrage...etc).

En fin, malgré toutes les mesures et moyens objectifs pour la sécurité du béton, la lutte contre le phénomène nécessite la coopération des ingénieurs et du personnel de construction, et le phénomène est toujours possible, notamment dans les zones chaudes, et pour cette raison il doit être surveillé.

### **Recommandations**

Les pays en développement sont généralement les régions les plus chaudes du monde, et l'industrie du béton se développer très rapidement, en raison du besoin de plus d'infrastructures et de bâtiments, cela conduit à bétonnage climatique, comprendre l'effet négatif du climat chaud sur le béton frais et durci et les procédures de climat chaud sont

primordiales pour réaliser du béton durable, pour des recommandations peuvent être formulées :

- Les problèmes les plus importants du bétonnage en climat chaud pour le béton frais sont le retrait plastique, l'évaporation excessive et la rigidité précoce.
- Les problèmes les plus importants du bétonnage en climat chaud pour le béton durci sont chute de résistance à long terme, corrosion des barres d'armature et durabilité réduite.
- Estimation et maîtrise des conditions climatiques sur chantier est primordiale.
- Lorsque le taux d'évaporation est critique, utilisez les procédures de bétonnage en climat chaud.
- Gardez au frais les composants de béton possibles.
- Peindre avec tout l'équipement pour réduire ses températures.
- Placer le béton à la période la plus fraîche de la journée.
- Utiliser le durcissement initial en utilisant un retardateur d'évaporation ou utiliser un produit de cure.
- Utiliser une méthode de durcissement final adéquate selon les caractéristiques de l'élément.
- Si un manque de guérison est observé, ajouter un autre jour à la période de guérison.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

*Références Bibliographiques*

- [1] :Madame MAKHLOUF Née CHERGUI NADIA, « Caractéristiques en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibre en copeaux ». Mémoire de Magister, [2] :Université mouloud Mammeri TIZI-OUZOU ,2010.
- Raymond Dupain. (2009) « Granulats, sols, ciments et béton : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » 4éd
- [3] : Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton
- [4] : Technologie du béton, Edition 1998, Groupement Belge du Béton
- [5] : ABC du ciment et du béton, FEBELCEM.
- [6] :cours technologie du béton .pdf
- [7] : HAFIDI, F .SAFOUNI, F. FARDJI, « Endommagement des structures en béton arme dû au retrait par temps chaud ». Mémoire de licence, Université Africain d'ADRAR ,2013.
- [8] :R.Dapain, Granulats, sols, ciments, et béton ‘’édition castiella, 2000france; P 86-88.
- [9] : Baron . J , Olivier .J.P et. Weiss .JC , 1996 : Chapitre IA : les ciments courants , les bétons Bases et données pour leur formulation , sons la direction de Jacques . BARON , Jean-Pierre OLIVIER , Ed Eyrolles .
- [10] :[http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/32774/C%26T\\_1992\\_26\\_58.pdf](http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/32774/C%26T_1992_26_58.pdf?sequence=1) ?sequence=1, 12/02/202. A 02 :14.
- [11] DREUX. G 1979 : « Nouveau guide du béton. »
- [12] GABRYZIA. F: Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007
- [13] ADAMM.N : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000
- [14] VENANT.M : « Ciment et bétons. » 2ème édition. 1973
- [15] Groupe Eyrolles : « Cône d’Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [16] EN-12350-6 : masse volumique du béton frais.
- [17] EN-12390-3 : résistance à la compression des éprouvettes.
- [18] EN-12390-5 : résistance à la flexion sur éprouvettes
- [19] HACHEMI , N ; BOUSSA , A « Influence des différents granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton ». Mémoire de Master , Université Boumerdse 2017.

- [20] <https://www.infociments.fr/sites/default/files/article/fichier/CT-G11.pdf> 15/08/2020.
- [21] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-eneralites/materielmateriaux/ beton/standard> 15/08/2020.
- [22] <http://doc.lerm.fr/wp-content/uploads/2013/08/retrait-carde.pdf> p 85,1/12/2019 à 20 :18.
- [23] : Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT «La durabilité des bétons» Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.
- [24] : Kedjour Naser-Eddine "Propriété et pathologie du béton" PUBLIE PAR OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERCITAIRES 1993 269P.
- [25] J.C. Sprague: Evaluating fines in concrete on a bleeding test basis, Journal of the American Concrete Institute, 33 (5), pp.29-40, 1936.
- [26] G. Giaccio, and A. Giovambattista: Bleeding: evaluation of its effects on concrete behavior, Material and Structure, Vol.112, pp.265-271 1986.
- [27] M. Kanda, and H. Yoshida: Water-cement distribution on concrete column section after cast, Cement Concrete, No.342, pp.27-32, 1975(in Japanese).
- [28] Y. Kasai, and I. Matsui: Studies on concrete strength of structure in Japan, Proceedings of RILEM Symposium: Quality Control of Concrete Structures (Stockholm, Sweden), Vol.1, p.94, 1969.
- [29] Z. Li: Bleeding model of fresh concrete in still state, Journal of Structural and construction Engineering, Transactions of Architectural Institute of Japan(AIJ), Vol.77, No.679, pp.1357-1366, 2012.9
- [30] T. Soshiroda, et al.: Homogeneity of flowing concrete, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.3, pp.41-44, 1981.
- [31] Sans auteur, Rechercher sous le titre (whatisconcrete ) , sans date, page de01 à 111 .
- [32] Powers T.C., The Bleeding of Portland Cement Paste, Mortar and Concrete, RX002, Portland Cement Association, Skokie,IL, July 1939.
- [33] Sans auteur, Rechercher sous le titre (Concretetechnology) , sans date, page 87 .
- [34] Sitiradziah Abdullah, Ahmad Shayan and Riadh Al-Mahaidi, “Assessing the Mechanical Properties Of Concrete Due To Alkali Silica Reaction”, International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET), Volume 4, Issue 1, 2013. PP: 190 - 204, ISSN Print: 0976 – 6308, ISSN Online: 0976 – 6316.
- [35] :<http://www.fao.org/docrep/t0122f/t0122f03.htm>
- [36] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/Aridit%C3%A9>
- [37] : :[https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrar\\_\(Alg%C3%A9rie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Adrar_(Alg%C3%A9rie))mercredi 25 mai 2016 a 17h.

- [38] : Sans auteur, Rechercher sous le titre (Chapter 9: FreshConcrete)
- [39] : Fresh Concrete: Workability, Lecture No. 10
- [40] : Sans auteur, Rechercher sous le titre (HOT-WEATHER Concreting ) , date Novembre 2004 , page de 01 à 07 .
- [41] : AS 1379 Manufacture and supply of concrete Standards Australia 1997.
- [42] : Bloem, D., 1954, "Effect of Curing Conditions on Compressive Strengths of Concrete Cylinders," Publication No.53, National Ready Mixed Concrete Association, Dec., 15 pp.
- [43] : Aitcine P., Shipping J., Byung G. K., Pierre C., Nkinama B., et Petrov N. L'interaction ciment /superplastifiant cas des PNS, Bulletin LCPC N°/ 223, juillet/  
Août (2001).
- [44] : William A. Cordon & Derle Thorpe. Controle of rapid drying of fresh concrete by evaporation controle, Journal of the American Concrete Institute, August, pp. 977-985 (1965)
- [45] : Bella Nabil, Asroun Aissa and Bella Ilham Aguida, The Use of a New Type of Evaporation Retardant Based on Silicone in Hot Climate Concreting, XIII-ICCC-International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid, Spain, 3-8 July, (2011).
- [46] : Bella Nabil, Asroun Aissa and Bella Ilham Aguida, Use of a New Approach (Design of Experiments Method) to Study Different Procedures to Avoid Plastic Shrinkage Cracking of Concrete in Hot Climates, Journal of Advanced Concrete Technology, 9(2) 149-157 (2011).
- [47] : <https://www.civilengineeringforum.me/reduce-bleeding-concrete/>
- [48] : <http://doc.lerm.fr/wp-content/uploads/2013/08/retrait-carde.pdf>