

---

## 1<sup>ère</sup> Partie: CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

### II.1. INTRODUCTION :

Dans Ce chapitre on présente les matériaux utilisée pour la confection des éprouvettes de béton ainsi que tous les essais réalisent.

**Ce chapitre a successivement abordé les points suivants:**

- \* Il présente les programmes expérimentaux
- \* Il Donne les paramètres retenus des matériaux
- \* Il regroupe l'ensemble des essais réalisés.

### II.2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX :

#### II.2.1. ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment utilisé dans cette étude est le CRS (M'Sila) , ce ciment a été choisi pour sa capacité de résister aux agressions chimiques et pour le fait que tous les travaux en béton enterré sont faits avec ce ciment.

Le Ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) est constitué de :

- \* 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés Dans Ce ciment.
- \* Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.

#### II.2.1.1. Analyses chimiques du ciment:

Les résultats de l'analyse chimique du ciment utilisé sont représentés dans le tableau

(II.1) Ci-après:

**Tableau II.1** : Résultat des Analyse chimique du ciment CRS (fiche technique)

<b>Perte au feu en (%)</b>	>1.5
<b>Rrésidus insolubles en (%)</b>	>0.7
<b>Teneur en anhydride sulfurique SO<sub>3</sub> en (%)</b>	2.00-1.80
<b>Teneur en magnésie MgO en (%)</b>	1.80-1.60
<b>Teneur en chlorures (%)</b>	0.01-0.03

### II.2.1.2 Propriétés physiques du ciment :

Les résultats des propriétés physiques sont représentés dans le tableau (II.2):

**Tableau II.2** : Résultats des analyses physiques du ciment CRS, (Fiche technique)

<b>Poids spécifique g/cm<sup>3</sup></b>	3.12
<b>Consistance normale de la pate de ciment en (%)</b>	26.50-25.50
<b>Finesse suivant la méthode de Blaine cm<sup>2</sup>/g</b>	3200-3000
<b>Chaleur hydratation j/g</b>	>310
<b>Retrait à 28 jours µm/m</b>	>1000
<b>Eexpansion mm</b>	>5

### II.2.1.3. Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment:

Les essais de composition du ciment ont été effectués au niveau du laboratoire de département de chimie de la cimenterie

La compositions chimique du ciment CRS ainsi que sa composition minéralogique sont données respectivement aux tableaux :

**Tableau II.3 :** Compositions chimique du ciment CRS

Elément	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Mgo	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P.F
%	21.33	3.63	4.31		2.29	1.82	0.56	0.09	64.97

**Tableau II.4:** Compostions minéralogique du ciment CRS

Minéraux ciment	C <sub>3</sub> S (%)	C <sub>2</sub> S (%)	C <sub>3</sub> A (%)	C <sub>4</sub> AF (%)
CRS	60.90	15.23	2.33	13.10

#### II.2.1.4. Caractéristiques physiques des pates de ciment :

##### II.2.1.4.1. Consistance normal (Norme: NF.P15358) [32]:

L essai de consistance permet de déterminer le pourcentage deau requis pour la fabrication d une pate de ciment de consistance normale, la pate est dite de consistance normale lorsque la sonde de 10mm de diamètre de l'appareil de Vicat s enfonce a une profondeur de 1 mm en 30 secondes sous l'effet dune charge totale de 300g, la teneur en eau

est exprimée en pourcentage de masse de ciment.

**Figure II.1 :** Appareil de Vicat.

### II.2.1.5. Essai de prise :

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme NF P15-473[32].

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement d'une aiguille standardisée est communément défini comme étant le temps écoulé à partir de la fabrication de la pâte jusqu'à ce que l'aiguille cesse de s'enfoncer et arrête à une distance de 2.5 cm du moule. La fin de prise correspond au temps où l'aiguille de Vicat ne s'enfonce plus dans la pâte de ciment.

**Tableau II.5:** Début et fin de prise du ciment CRS

<b>Début de prise a froid</b>	179min
<b>Fin de prise a froid</b>	245min

### II.2.2. Les Sables :

Le sable est constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton et du mortier, il est inerte et sert à accroître la compacité du béton.

Les sables en Algérie sont choisis pour des raisons de coût et de disponibilité, et il est bien connu que certains types de sables ne sont pas conformes aux exigences granulométriques puisqu'ils contiennent en général trop ou très peu d'éléments fins.

Les nombreuses utilisations du sable exigent de ce matériau qu'il soit d'une qualité fiable en fonction des destinations qui lui sont destinées. Pour notre étude on a utilisé :

\* Sable alluvionnaire.

#### II.2.2.1 Sable alluvionnaire :

Un sable de construction de **ZAAFRAN (DJELFA)** de granulométrie 0/3. En ce qui suit, on doit présenter quelques résultats d'essais pour les faire

### II.2.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage:

L'analyse granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées de dimensions d'ouvertures décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis.

L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne NF EN 993-1, [33]

En utilisant les tamis préconisés par la norme européenne NF EN 993-[34]

ainsi que les tamis nécessaires à la couverture des dimensions comprises entre :

- 0.08mm et 2D pour les sables
- 0.63 et 2D pour les gravillons-[34]

**Tableau II.6:** résultats de l'analyse granulométrique de sable alluvionnaire

Tams	La masse de tamis	La masse de tamis+granulat refus	La masse de granulat	Le pourcentage de refus	Le pourcentage de refus cumulé	Le pourcentage de tamisat
5	425.6	427.2	1.6	0.16	0.16	99.84
2.5	384.2	490.2	106	10.6	10.76	89.24
1.25	354.2	393	38.8	3.88	14.64	85.36
0.63	334.4	433.7	99.3	9.93	24.57	75.43
0.315	305.7	723.4	417.7	41.77	66.34	33.66
0160	291.4	573.5	282.1	28.21	94.55	5.45
0.08	283.9	324.5	40.6	4.06	98.61	1.39
fond	478.7	492.6	13.9	1.39	100	0

### I.2.2.1.2. Caractéristiques physiques:

Les différentes caractéristiques physiques de sable utilisé sont regroupées dans le tableau

**Tableau II.7:** Caractéristiques physiques du sable

Caractéristiques	Sable utilise
La masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,41
La masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,52
Module de finesse $M_f$	2,57

**Figure II.2 :** Sable alluvionnaire

#### II.2.2.1.2.1. L'essai d'équivalent de sable (la norme NF P 18 -598) [35] :

L'essai d'équivalent de sable utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des Sables entrant dans la composition des bétons ou mortier, elle consiste à séparer les Particules Fines contenues dans le sables.

Une procédure normalisés permet de déterminer un coefficient 'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. L'essai est effectue sur la faction 0/5 mm du matériau à étudier .le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément d fins.

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

- hauteur h1 : sable propre + élément fins.
- hauteur h2 : sable propre seulement. Mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine

ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston).

On déduit l'équivalent de sable qui :

$$ES = H1 / H2 * 100$$



**Figure II.2 :** Essai d'équivalent de sable

#### II.2.2.1.2.1. Résultats d'essai :

Dans le cadre de notre étude, on a réalisé l'essai d'équivalent de sable pour contrôler la propreté, le résultat de l'équivalent de sable est présenté dans le tableau (II-2) suivant :

**Tableau II.7 :** d'équivalent de sable

Echantillons	ES%	Observation
Sable alluvionnaire	73	Propre

### II.2.2. sable de dune finement broyé :

Le choix d'une addition par rapport à une autre est en général après la disponibilité locale à des coûts acceptables fait en fonction de la teneur élevée en silice. La silice présente les avantages suivants : matériau de grande dureté, permet d'obtenir d'excellentes interfaces pâte/granulat est largement disponible. Nous avons utilisé un sable de dune de la région de Biskra après que les grains de silice ont été réduits à la taille voulue.

#### II.2.2.1. Analyse chimique :

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire de la cimenterie d'AIN-TOUTA (Batna), elle est présentée dans le tableau

**Tableau II.8 :** Analyse chimique du sable de dune broyé (%)

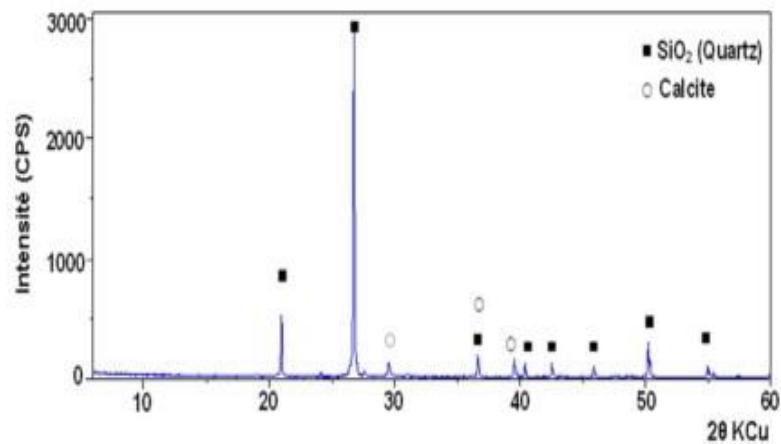
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	LOI
74.61	1.35	0.86	17.3	0.29	0.04	0.47	0.005	5.04

Du point de vue chimique la constatation importante à signaler est la présence d'un fort pourcentage en silice (minuscules grains de quartz) qui est supérieur à 74% et par conséquent le sable de dune Biskra est un sable siliceux.

#### II.2.2.2. Analyse minéralogique par diffraction aux rayons X :

L'analyse par diffraction aux rayons X utilisant la méthode des poudres, trouve son principal emploi dans la détermination des minéraux. Chaque corps cristallin produit en effet un spectre ou diffractogramme X qui rend compte de sa structure interne et de la nature des minéraux. On peut considérer que tout diffractogramme X est une sorte **d'empreinte digitale** spécifique, qui permet de distinguer un minéral d'un autre. À cet effet, nous avons analysé par diffraction aux rayons X le sable de dune broyé, pour mettre en évidence sa nature minéralogique. Les analyses ont été faites au laboratoire de physique- **Université Amar Telidji Laghouat**. La diffraction aux rayons X est effectuée sur sable de dune broyé. Les résultats de l'essai sont représentés sur la figure II.4. Schématisant les différents composants minéralogiques.





**Figure II.4.** Diffractogramme X (sable de dune broyé)

Le diffractogramme X de cet échantillon met en évidence une importante et majoritaire phase de quartz. Cela indique que le sable de dune broyé présente une structure siliceuse cristallisée du type quartz. Cela indique que le sable de dune broyé présente une structure siliceuse cristallisée du type low-quartz (quartz  $\alpha$  (basse température)). Ce qui est en accord avec [1, 2, 3 et 4]

### Propriétés physiques :

- \* Masse volumique apparente = 1300 kg/m<sup>3</sup>
- \* Masse volumique absolue = 2770 kg/m<sup>3</sup>
- \* Équivalent de sable (ES avue) = 80 (sable propre)
- \* Surface spécifique BLAINE SSB = (4500 cm<sup>3</sup>/g)



**Figure II.5:** sable de dune finement broyé

### II.2.3. Eau :

L'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, l'évolution des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion [36]. Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage du béton, à moins qu'elles contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose.

En effet, l'eau potable est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton. L'eau de gâchage utilisée pour la confection de différentes éprouvettes de béton est une eau potable de robinet du Laboratoire de matériaux de génie civil à l'université de Djelfa.

**Tableau II.9 :** Composition chimique de l'eau utilisée en mg/l.

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	PH	Salinité
242	125	31	536	755	14,5	755	124	7,75	2799

### II.2.4. Le gravier :

Deux classes granulaires ont été utilisées dans cette étude pour la confection des éprouvettes de béton, le gravier concassé d'origine basaltique provient de la même station de concassage. La première classe est 3/8) et la deuxième classe est (8 / 15).

Pour éliminer les impuretés, le gravier a été tamisé et lavé plusieurs fois avant emploi



**Figure II.6:** Gravier «3/8»



**Figure II.7:** Gravier «8/15»

### II.2.4.1. Caractéristiques physico-mécaniques :

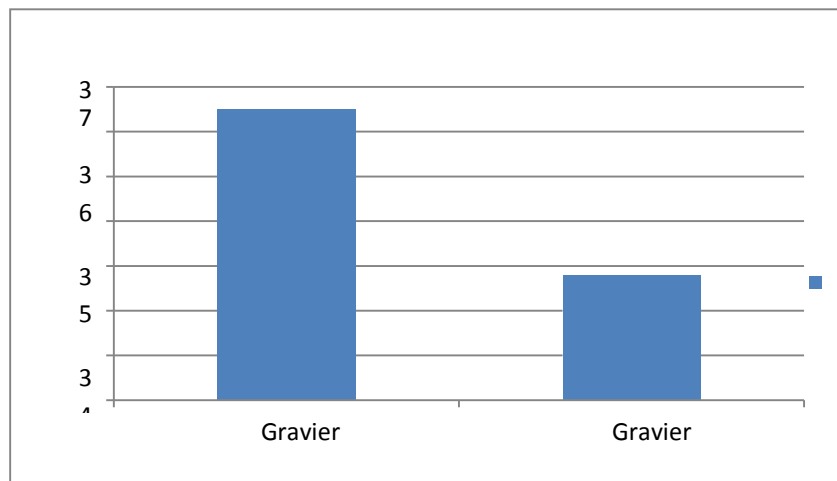
Les résultats des essais physiques et mécaniques sont portés sur le Tableau II.10. suivant :

**Tableau II.10.** Caractéristiques physico-mécaniques des granulats.

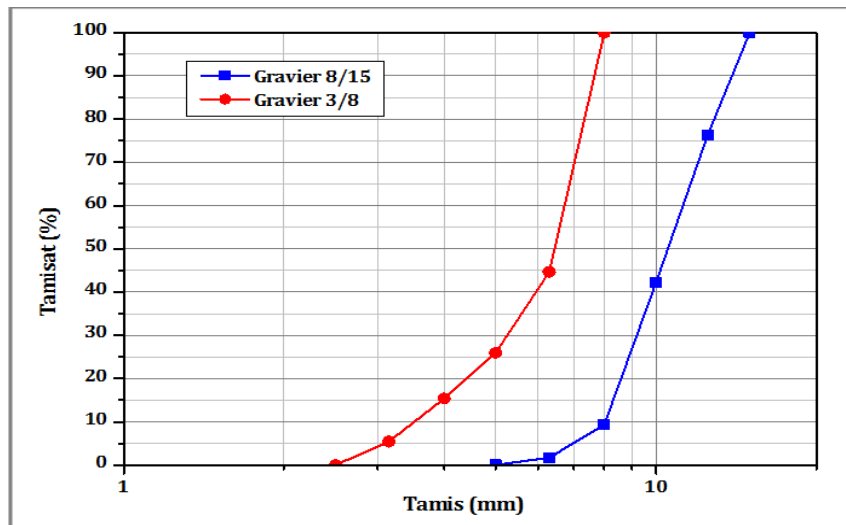
Caractéristiques	Gravier 3/8	Gravier 8/15
La masse volumique apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	1,67	1,66
La masse volumique absolue ( $\text{g/cm}^3$ )	2,66	2,68
Coefficient d'absorption (%)	1,07	0,95

**Tableau II.11 :** coefficient los Angeles LA

Type de gravier	La masse initial	La masse de refus	Coefficient LA
Gravier 3/8	M=5000	1370	36.5
Gravier 8/15	M=5000	1525	32.79



**Figure II.8 :** comparaison de coefficient de dureté entres le Different types de gravies



**Figure II.9:** Courbe granulométrique pour les agrég

## 2<sup>ème</sup> parti : Essai et méthodes expérimentales :

Le but de cette partie est d'exposer les différents essais et méthodes expérimentales selon les différentes normes, on peut regrouper ces essais comme suit :

- \* Essais ouvrabilité
- \* Essais mécanique
- Essais de résistance à la compression
  - \* Essais durabilité

### II.1. méthodes expérimentales :

#### 1. Composition et confection des éprouvettes :

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

Dans notre étude, on a utilisé la méthode de composition de DREUX –GORISSE (37) La composition a été déterminée pour un diamètre maximal des granulats de 16mm. Un affaissement au cône d'Abrams de (60 mm à 90 mm) et une résistance caractéristique de Béton à 28 jours de 30 MPa.

Le dosage en ciment a été fixé à 350 kg/m<sup>3</sup>, et le rapport Eau Sur Ciment (E/C) c'est à varier.

La composition du béton ordinaire obtenue est résumée dans le tableau suivant

Tableau II.12: Composition de béton ordinaire dans un 1m<sup>3</sup>

Matériaux	BT	BS 5%	BS 7.5%	BS 10%
Ciment (g)	350	332.5	323.75	315
Eau	200	200	200	200
Sable du dune (g)	000	17.5	26.25	35
Sable(g)	955	964.5	963	961.5
Gravier 3/8 (g)	220	230	228.1	227.75
Gravier 8/15(g)	636.9	613.5	613	611
E/C	0.57	0.60	0.61	0.63

#### Les notations :

- \* **BO** : Béton ordinaire à base de CRS (100% crs)
- \* **B5**: Béton à base de CRS 95% + SDP 5%
- \* **B 7.5** : Béton à base de CRS 92.5%+ SDP 7.5%
- \* **B10** : Béton à base de CRS 90% + SDP 10%

#### II.2.Préparation du béton :

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est à axe vertical La séquence de malaxage retenue est la suivante:

- ❖ Préparer les moules nécessaires pour les différents essais, vérifier leur nombre et Qu'ils sont bien graissés afin de faciliter par suite le décoffrage.



Figure II.10: Moules Utilisés

- \* Vérifier que tout le matériel est à disposition et que les matériaux sont bien séchés  
Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée.
- \* Peser les matériaux secs, les introduire dans le malaxeur et les prés humidifiés avec 10% de l'eau de gâchage
- \* Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 30 Secondes.
- \* Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage et mélanger pendant 1 minute 30 secondes.
- \* Introduire la partie restante d'eau graduellement et malaxage pendant 2 minutes .



**Figure II.11:** Malaxeur a Béton

- \* Effectuer immédiatement les essais de caractérisation du béton frais



**Figure II.12:** Appareillage de Slump-Test

\*Mettre en place les différents moules destinés aux échantillons correspondants aux essais programmés. Les bétons vibrés ont été mis en place par vibration à l'aide des dispositifs vibratoires traditionnels (principalement aiguille vibrante et table vibrante).



**Figure II.13:** Table vibrante utilisée

## II.2. Conservation des éprouvettes :

Après le coulage, les éprouvettes sont laissées à température ambiante au laboratoire et sont démoulées après 24 heures.



**Figure II.14:** les éprouvettes laissées à  
Température laboratoire



**Figure II.15:** démoulage



\* Introduire éprouvettes prismatique conservées en milieu (eau saturée en chaux).



**Figure II.16:** les éprouvettes à l'intérieur L'eau de chaux

## II.2. Les Essais :

### II.2. 1.Essai a l'état frais :

#### II.2. 1.1.L'essai d'affaissement au cône d'Abrams :

La consistance est une grandeur qui sert à caractériser l'aptitude à la mise en œuvre d'un béton. Sa mesure, s'effectue avec différents dispositifs dont le plus répandu est le cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige en acier pointue de 16 mm de Diamètre à raison de 25 coups par couche.
- Soulever le cône avec précaution et mesurer l'affaissement Plus l'affaissement est Important et plus le béton est mou ou fluide.

Le tableau I.2 montre le type du béton et sa mise en œuvre en fonction de l'affaissement:

**Tableau II.13 :** Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement.

Affaissement (Cm)	Béton	Mise en œuvre
0 à 2	Très ferme	Vibration puissant
3 à 5	Ferme	Bonne vibration
6 à 9	Plastique	Vibration courante
10 à 13	Mou	Piquage
10 à 14	Très mou à liquide	Léger piquage



Figure II.17: cône d'Abrams

## II.2. 2. Essais a l'état durci :

### II.2. 2.1. Essai de compression :

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406 L'essai Consiste à soumettre à l'écrasement par compression axiale une éprouvette cylindrique ou cubique et à déterminer sa résistance à la compression.

La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement des éprouvettes pour Chaque âge.

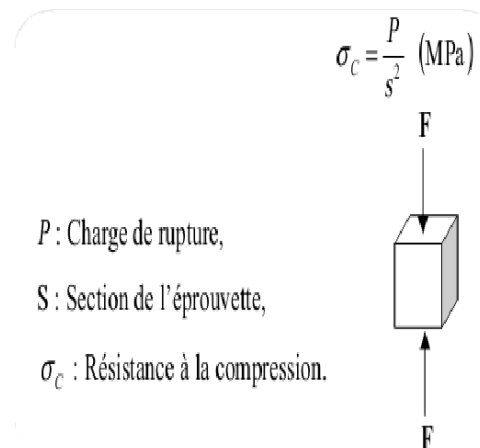


Figure II.18 : Essais de compression

### II.2. 3. Essai de résistance aux acides :

Pour la caractérisation de la résistance chimique, des éprouvettes cubiques de béton 10 x10 x 10 cm<sup>3</sup> sont confectionnées selon la Norme ENV 197-1. Démoulées à 24 heures, les éprouvettes sont conservées dans l'eau à 20° ± 2°C jusqu'au 28<sup>ème</sup> jour. Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer leurs masses avant l'attaque chimique puis elles sont immergées dans solution 5% d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

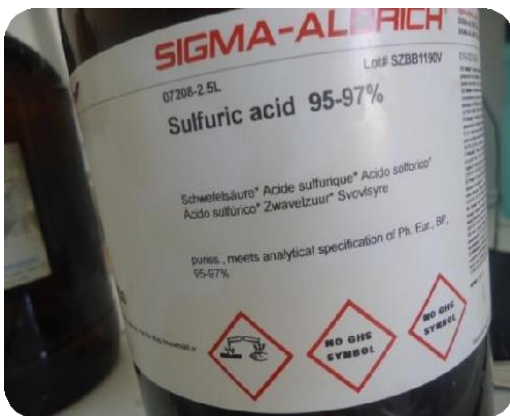


Figure II.19 : sulfuric acide



Figure II.20 : Les éprouvettes

Les éprouvettes sont nettoyées puis laissées sécher pendant 24h. Ensuite on les pèse avec une balance de précision.

Cette opération est effectuée à 7-14 -21- 28-jours après l'immersion dans la solution.

La résistance due aux agressions chimiques des éprouvettes immergées dans ces solutions acides est évaluée selon la Norme ASTM C 267-96.

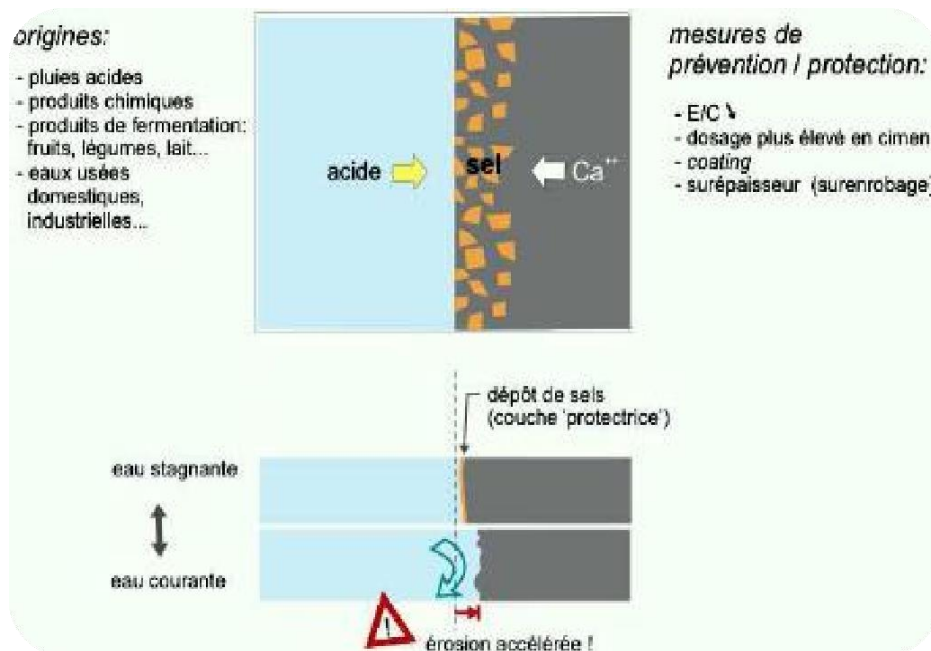


Figure II.19 : L'attaque par les acides.

Le degré de l'attaque est évalué par la formule de perte de masse suivante :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$$

**M<sub>1</sub>** : masse des éprouvettes avant immersion.

**M<sub>2</sub>** : masse des éprouvettes après immersion.

## 2 - Essai de résistance à l'eau sebkha :

L'attaque des matrices cimentaires par l'eau de Sabkha combine des agressions de nature différentes menées par les chlorures, auxquelles s'ajoutent, selon la situation de l'ouvrage, l'agression physico-chimique que subit la matrice. Le phénomène est donc très complexe. Dans le cadre de cette lettre d'information consacrée au chlore, nous n'aborderons que l'action du chlorure de sodium.



**Figure II.22 :** rocher de sel Aïn Maabed )Djelfa)



**Figure II.22:** les éprouvettes immergée dans l'eau de sabkha

Après immergée les éprouvettes dans l'eau de sebkha on observe formation un couche de sel après 28 jours

### **Conclusion :**

Pour tous les essais expérimentaux qui sont cité précédemment sont réalisés selon les normes connues dans le domaine de génie civil Ces essais donnent une idée générale sur les caractéristiques principales

Des matériaux entrant dans la composition des bétons étudiés, et Il permet également nous aussi de commenter les résultats trouvés et de choisir les meilleures interprétations.

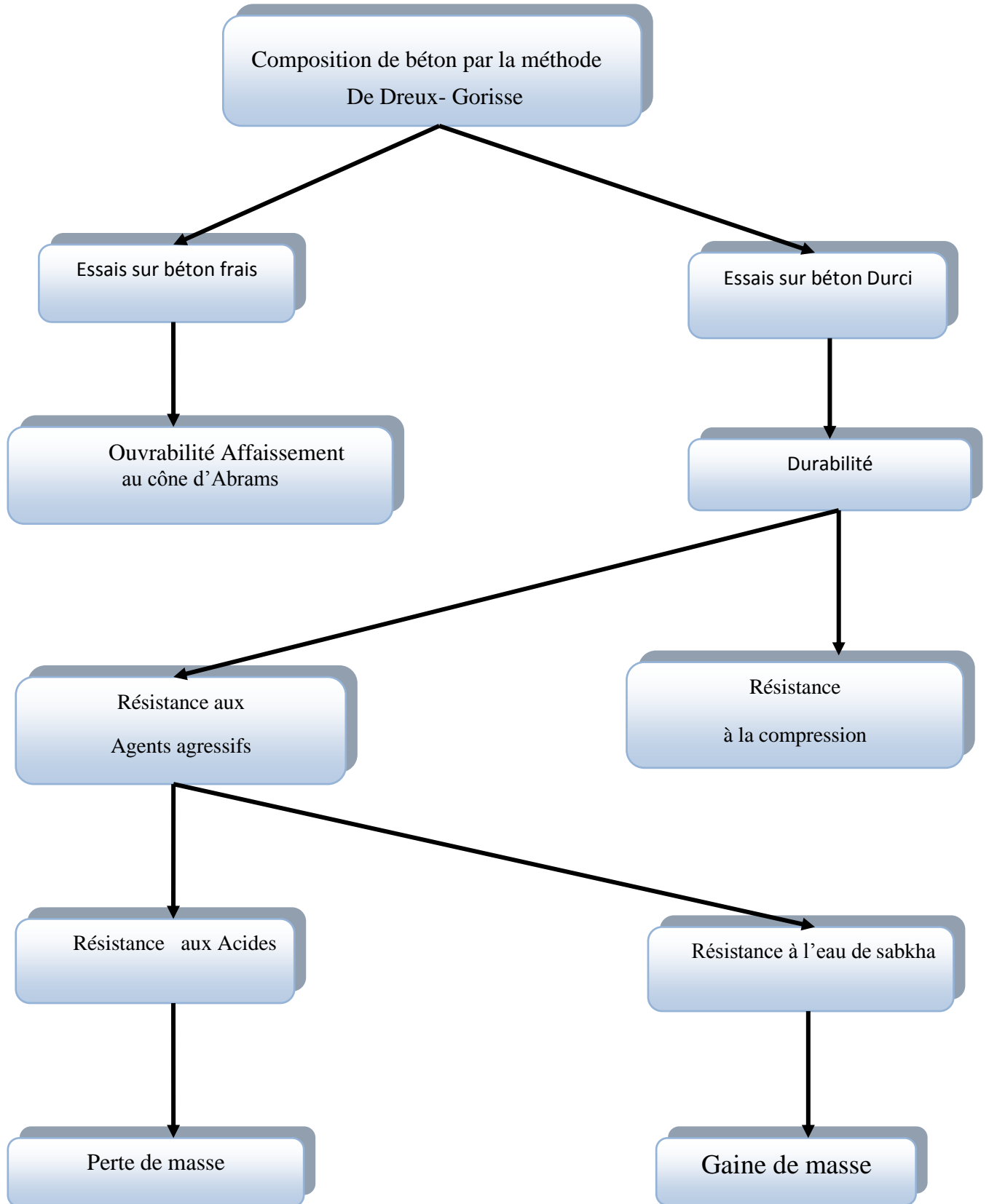


Figure II.22: Organigramme récapitulatif des différents essais réalisés

---

## CHAPITRE III

# Résultats et discussions



























