

Référence : 01/35/CSIAU/2024

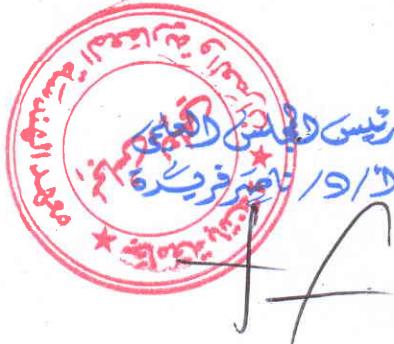
Batna le : 01/12/2024

EXTRAIT DU PROCES VERBAL DE LA TREnte CINQUIÈME REUNION ORDINAIRE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU 10/08/2021

Après examen des rapports d'expertise du polycopié de cours présenté par l'enseignant **HANAFI Abdelhakim** « maître de conférences A » dont l'intitulé est : « **matériaux de Construction** » destiné aux étudiants de la 1^{ière} année Licence **L1/COP**

Le conseil scientifique émis un avis favorable pour le polycopié.

La présidente du C.S.I
Pr Naceur Farida





République algérienne démocratique et populaire

Université Batna 1



Institut d'architecture et d'urbanisation

Département d'architecture et d'urbanisation

Ref :

Polycopié de cours

Intitulé de la matière : **matériaux de construction**

Licence 1^{ère} année / conduite opérationnelle de projets (COP)

Semestre 1

Établi par l'enseignant : **Hanafi Abdelhakim**

Année universitaire : 2022-2023



Introduction

Le polycopié pédagogique entre nos mains est destiné aux étudiants de la première année licence Conduite Opérationnelle de Projets (C.O.P / Semestre I)

Le programme du cours relatif à la matière matériaux de constructions, est destiné aux étudiants de la première année licence Conduite Opérationnelle de Projets (C.O.P / Semestre I)

Les matériaux de constructions sont tous les matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : « bâtiment », « travaux publics » ou « travaux d’hydraulique ».

Les matériaux utilisés dans la construction est vaste. On note : le bois, le verre, l’acier, les matières plastiques et les matériaux issus de la transformation de produits de carrières (gravier). On a aussi de l’argile, les briques, les tuiles, les carrelages, les éléments sanitaires ... etc.

Public cible

Cette matière est destinée aux étudiants de la première année licence Conduite Opérationnelle de Projets (C.O.P / Semestre I)

Prérequis

Les étudiants de la première année licence Conduite Opérationnelle de Projets (C.O.P / Semestre I) doivent :

- Avoir l’esprit technique.
- Avoir l’intention sur le domaine de la construction.
- Avoir une culture générale sur les chantiers de construction.

Objectif de la matière

Le contenu a pour but de fournir des informations détaillées des différents matériaux de constructions pour permettre d’effectuer des choix de construction en fonction de leurs propriétés dans les conditions de cohérence, de sécurité, de durabilité et du coût.

Aussi prendre conscience de la diversité des matériaux et de leurs usages en bâtiment.

Le contenu de la matière : Connaitre les matériaux de réalisation et leurs utilisations :

Description de la matière d'enseignement

Objectif général du la matière d'enseignement :

Ce cours a pour but de fournir des informations détaillées des différant matériaux de construction pour permettre d'effectuer des choix de construction en fonction de leurs propriétés, dans les conditions de cohérence, de sécurité, de durabilité et de coût. Aussi prendre conosciences de la diversité des matériaux et de leur usage en bâtiment.

Objectifs d'apprentissage :

L'étudiant doit connaître les matériaux de réalisation, leurs utilisations.

Contenu de la matière d'enseignement

Les liants, ciment ; plâtre ; gypse

Le béton, le béton armé, le béton précontraint, le béton léger,

Les granulats,

Les adjuvants,

- Les liants : le ciment, le plâtre, le gypse.
- Le béton, le béton armé, le béton précontraint, le béton léger.
- Les granulats.
- Les adjuvants

Mode d'évaluation :

100% Contrôle continu

Sommaire

Désignation	Page
Introduction générale	02
Sommaire	04
Généralités sur les matériaux de construction.	05
I.2. Classification scientifique	05
I.3. Matériaux de base et produits	05
I.4. Classification pratique	05

Chapitre I : Les liants	06
Cours Les liants minéraux	07
Définition	08
Classification des liants	08
Usage et l'utilisation du goudron et du bitume	09
Liants aériens	09
Fabrication de la chaux aérienne	10
Propriétés principales	12
Cours : Le plâtre	14
Définition du plâtre	15
Différents types de produits (plâtre)	15
Le gypse	15
Cours : Le ciment	17

Le ciment portland	18
Classification des ciments	21
Types de ciments et leur composition	22
Types de ciments et leurs utilisations	25
Finesse de mouture	28
Avantage des ajouts cimentaires	29

Chapitre II : Mortier et béton	32
Cours Le mortier de ciment	33
I. Le mortier de ciment	34
II.1. Types de mortier	34
II.2. Mortier de ciment	35
II.3. Mise en œuvre du mortier de ciment	35
II.3.3. Dosage du mortier de ciment	36
II.4. Fonction des mortiers	36
II.5. Propriétés des mortiers	36
II.6. L'utilisation des mortiers	37
II.7. La mise en œuvre du mortier de ciment	38
Bibliographie	38
Cours : Le Béton	40
I. Le béton	41
I.1. Qualités demandées pour un bon béton	41
I.2. Pour avoir de bon Béton	41
I.3. Masse volumique	41

I.4. Résistance du béton à la compression	42
I.5. Conditions supplémentaires pour avoir un bon béton	42
L'utilisation Du béton armé aux différents éléments (structure)	45
Bibliographie	46
Cours : Le béton armé	48
I. Le béton armé	49
I.1. Avantages du béton armé	50
I.2. Inconvénients du béton armé	51
I.3. Conditions supplémentaires pour avoir un bon béton	51
I.3. Différent types d'acières	51
Bibliographie	53
Cours : Le Béton léger	55
I. Le Béton léger	56
I.1. Caractéristique du béton léger	56
I.2. Types de béton léger	56
I.3. Les bétons cellulaires	56
I.3.1. L'utilisation du béton cellulaire	57
I.4. Avantages du béton cellulaire	58
I.5. Les inconvénients du béton cellulaire	58
II. Les bétons sans fines / caverneux	59
II.1. Le béton se compose de	59
II.2. L'utilisation des bétons sans fines / caverneux	59
III. Les bétons de granulats légers	60

III.1. Avantages du béton à granulats légers	60
III.2. Inconvénients du béton à granulats légers	61
III.3. L'utilisation du béton à granulats légers	61
Bibliographie	62
Cours : Le Béton précontraint	64
I. Le Béton précontraint	65
I.1. Définition	65
I.2. Principe (technique) du béton précontraint	65
I.3. Première solution	66
I.4. Seconde solution	67
I.5. Avantages du béton précontraint	68
I.6. Inconvénients du béton précontraint	68
II. Mode De Précontrainte	69
III.1. Précontrainte par pré-tension	70
III.2. Précontrainte par post-tension	71
III.3. Les étapes de la méthode de précontrainte par pré-tension	71
III.4. Les étapes de la méthode de précontrainte par post-tension	72
III.5. Usage de précontrainte par post-tension	72
Bibliographie	73

Chapitre III : Les granulats	75
Cours : Les granulats	76
I. Cours : Les granulats	77
I.1. Les granulats	77
I.2. Granulats naturelles	77
I.2.1. Granulats artificiels	78
I.2.2. Granulats recyclés	78
I.3. Forme des granulats	78
II. Classification des granulats selon la grosseur	79
III. Critères pour un bon choix des granulats	79
IV. Production des granulats	82
IV.1 Récapitulation de la production des granulats	84
V. Résistance mécanique des granulats	85
V.2. L'Essai Deval	88
Bibliographie	89

Chapitre VI : Les adjuvants	91
Cours : Les adjuvants	92
I. Cours : Les adjuvants	93
I.1. Les adjuvants	93
I.2. Rappel sur le béton	93
I.4. Recommandations relatives à la qualité du béton	95
II. Les adjuvants	95
II.1. Type des adjuvants	95
II.1.1 D'autres types des adjuvants	96
Bibliographie	97

I. Généralités sur les matériaux de construction.

I.1. Définition

Les matériaux de construction sont tous les matériaux utilisés pour la réalisation des constructions, ouvrages en béton armé ou en constructions métallique, en plus utilisés dans le domaine de travaux publics : les routes, les ponts, les aérodromes ... etc.).



Figure : différents exemples des ouvrages. Source : archives auteur.

I.2. Classification scientifique

- Métaux, alliages et l'acier
- Polymères
- Céramiques

I.3. Matériaux de base et produits

- Matériaux de base ou matière première : Argiles, pierres, bois, calcaire, métaux.
- Matériaux : ciment (calcaire + argile), alliages, béton ... etc.

I.4. Classification pratique

- Les matériaux de résistance : Pierres, Terres cuites, Bois, Béton, Métaux, etc.
- Les matériaux de protection : Sont les matériaux qui ont la propriété d'enrober et de protéger les matériaux de construction principaux contre les actions extérieures, tels que : Enduits, Peintures, Bitumes, etc.

Chapitre I : Les liants

Cours Les liants minéraux

I. Cours Les Liants Minéraux

I.1. Définition

Les liants minéraux sont des matériaux moulus (مطحونة) d'une façon très fine (دقيقة جدا). Malaxés à l'eau (مخلطة و لاسقة), ils donnent une pâte collante (عجينة رابطة) qui durcit (تتصلب) graduellement (تدريجيا) pour devenir une pierre artificielle (صخرة اصطناعية).

Les liants minéraux sont mélangés avec l'eau et les granulats : sable, gravillon, gravier, pour devenir une pâte de ciment ou mortier ou bien un béton.

I.2. Classification des liants

Suivant leur composition, les liants sont classés en deux types :

- Les liants organiques.
- et les liants minéraux.

I.3. Les liants minéraux : obtenus par traitement à haute température de matière minérale, et ils font prise en présence d'eau.

I.4. Les liants organiques : sont synthétisés (صناعية) par des organismes vivants, comme les liants hydrocarbonés : bitumes, goudrons ; les résines et surtout les polymères ; les huiles sont employées pour leur pouvoir siccatif (مادة مجففة) tel que l'huile de lin, ...etc.



Figure : relative au type de Goudron et du bitume. Source : archives auteur.



Figure : relative à l'utilisation de la Résine. Source : archives auteur.

I.5. usage et l'utilisation du goudron et du bitume



Figure : l'utilisation du : (a) goudron et du (b) bitume. Source : archives auteur.

II. Liants aériens

Qui ne durcissent et ne peuvent conserver leurs propriétés mécaniques qu'à l'air, par exemple : la chaux et le plâtre.

II.1. Liants hydrauliques

Qui durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques à l'air mais et dans l'eau, par exemple : la chaux hydraulique et ciment Portland,

II.2. Chaux grasse / Liant aérien

Depuis des millénaires, elle a été l'un des premiers liants utilisés avec le plâtre et le bitume, Les égyptiens, les mayas et les chinois ont construit des édifices avec des mortiers à base de chaux.

Après au moyen âge la chaux a été la plus utilisée jusqu'au milieu du 19^{eme} siècle, comme mélange avec des tuiles ou des briques pilées,

La chaux et obtenue par cuisson de roches calcaires (CaCO_3) ou dolomitiques (association de CaCO_3 et MgCO_3) suivie d'une extinction à l'eau, et son durcissement se fait lentement à l'air, ce qui lui donne son appellation la chaux aérienne.



Figure : relative à l'utilisation et l'usage de la chaux et du liant aérien. Source : archives auteur.

III. Fabrication de la chaux aérienne

III.1. Extraction

En début le calcaire est extrait des carrières par l'utilisation d'explosifs (tirs de mine) pour faciliter l'extraction de la roche. Les blocs obtenus sont de la roche acheminés vers les ateliers de préparation, où débute leur transformation : concassage (تفقيت), criblage (غربلة) et calibrage (معاييرة).



Figure : relative à l'opération de l'Extraction. Source : archives auteur.

III.2. Concassage, criblage (tamisage) et calibrage

On commence par le concassage, puis cribler les blocs, pour avoir un calibre de pierre compatible avec le type de four utilisé.

Les fours verticaux acceptent un calibre de 20 à 140 mm, contre 5 à 40 mm pour les fours rotatifs.



Figure : relative à l'opération de Concassage, criblage (tamisage) et calibrage. Source : archives auteur.

III.3. Cuisson ou calcination

Le four vertical se présente généralement sous la forme d'un cylindre en acier d'un diamètre de 2m et Hauteur de 8m, chemisé intérieurement avec un matériau réfractaire (مقاوم للحرارة)، résistant à l'abrasion (مقاوم لعملية النحت) et à la corrosion (مقاوم للصدأ).



Figure : relative à l'opération de cuisson ou calcination. Source : archives auteur.

III.4. Extinction

La méthode de l'extinction spontanée : est obtenue en soumettant la chaux vive à l'action lente et continue de l'air.

- Par arrosage manuel : consiste à apporter la juste quantité d'eau nécessaire à l'extinction (10 à 15%).
- Par immersion : comporte le trempage de blocs dans l'eau, puis l'égouttage et enfin le stockage pour laisser se poursuivre l'extinction.

III.4.1. Propriétés principales « d'après Docteur Toufik BOUBEKEUR, Polycopié de:
MATERIAUX DE CONSTRUCTION 01, 2017 »

III.4.2. Physiques

- Le refus au tamis de 800μ est nul et le refus au tamis de 80μ doit être inférieur à 10%.
- La finesse globale doit se situer dans l'intervalle de 8.000 à 20.000 cm²/g.
- La masse volumique apparente varie de 500 à 700 kg/m³ et la masse volumique absolue varie de 2200 à 2500 kg/m³.
- La chaux vive est très avide d'eau, elle s'éteint en s'hydratant avec un fort dégagement de chaleur (absorbe pour 1kg de chaux, 3 litres d'eau). Cette propriété est utilisée pour assécher et traiter les sols très imprégnés d'eau.
- La résistance réfractaire de la chaux aérienne varie entre 1800 à 2000 °C.
- La chaux aérienne prend lentement. Le temps de début de prise est de 600 minutes (10 heures).
- Les chaux aériennes trouvent leurs applications dans le bâtiment dans la préparation de mortiers et de badigeons.

III.4.3. Chimiques

- la teneur en chaux libre et magnésie (CaO et MgO) doit être supérieure à 80%.
- La teneur en oxyde de carbone (CO) doit rester inférieure à 5%.

III.4.4. Utilisation dans le bâtiment

III.4.5. Comme enduits

Elle doit répondre à deux fonctions : protection et esthétique. la propriété d'être imperméable à l'eau tout en étant perméable à l'air et elle assure la respiration du mur.

III.4.6. Comme mortiers de pose et de jointement

Elle a forte liaison de pose est plus importante que sa résistance à la compression. Les mortiers de chaux constituent de très bons mortiers de jointement de maçonneries en pierres tendres, en béton cellulaire ou en briques.



Figure : relative à l'utilisation du mortier de pose et de jointement. Source : archives auteur.

Bibliographie

- S. ARNAUD (DLL), "Matériaux béton Fabrication en centrale BPE Mise en oeuvre". 19-20 janvier 2011.19.
- Ezziane K., "Etude des modifications physico-mécaniques apportées par les ajouts minéraux aux bétons", Thèse de Doctorat d'Etat, UST Oran (Algérie), 2006.172p.
- Dreux G., Festa J., Nouveau guide du béton et ses constituants, Edition Eyrolles, France, 2002, 409p.
- T.BOUBEKEUR, "Evaluation des performances des ciments portland au calcaire", thèse de Magister, Université de Chlef, 2009, 107 p.
- Neville A.M., Propriétés des bétons. Quatrième édition. Edition française par CRIB, Editions Eyrolles, 2000.
- R. LANCHON. Cours de laboratoire 2. "GRANULATS BTEONS SOLS". 1988.
- François de LARRARD. CONSTRUIRE EN BETON. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.2002.

Cours : Le plâtre

I. Définition du plâtre

Le plâtre est un des plus vieux matériaux de construction utilisé par l'homme avec la chaux et la terre cuite. Les premiers signes d'emploi de plâtre remontent à environ 9000 ans.

Généralement, le plâtre est connu comme un matériau de confection pour les constructions et le gypse constitue la matière première du plâtre.

C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation intérieur, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu.

I.1. Différents types de produits (plâtre)

- ❖ Plâtre de Moulage
- ❖ Plâtre de Construction
- ❖ Plâtre Extra Fin.

I.2. Le gypse

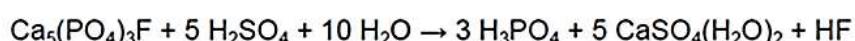
Considéré comme le matériau de base de la fabrication industrielle des plâtres.

Le gypse est un sulfate de calcium di-hydraté de formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

Il existe deux grandes catégories de gypses :

- les gypses naturels
- et les gypses synthétiques (source : KOUASMIA slimane, 2019)

1) **La fabrication de l'acide phosphorique (phosphogypse) :** par attaque du phosphate naturel.



2) **La fabrication d'autres acides minéraux :** (acide borique, brogypse, acide fluorhydrique, fluor Gypse) ou organique, organo-Gypse (acide citrique, tartrique, etc...)



3) **La fabrication de l'oxyde de titane (TiO_2) :** conduit également à une production de Gypse appelé titan gypse.

4) **La désulfuration des gaz et fumées :** l'oxydation de l'anhydride sulfureux SO_2 (anhydride sulfurique) puis sa réaction avec de la chaux.

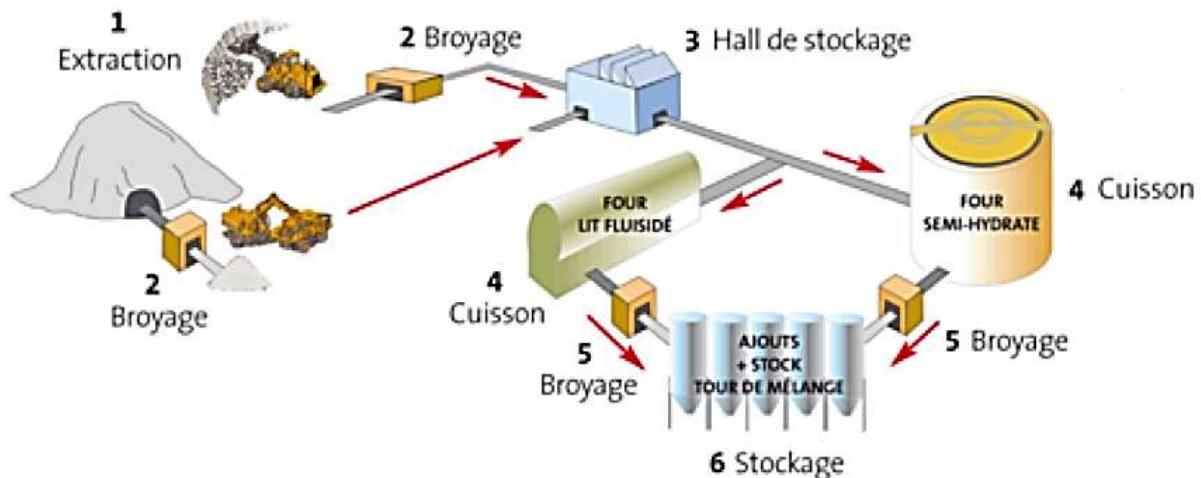


Figure : Schéma relatif à la fabrication du plâtre. Source : archives de l'auteur.

Bibliographie

- F Teaoka, J Takahashi: Dimensional changes and pressure of dental stones set in silicone rubber Impressions. Dent Mater 2000 ; 16 : drite145-149.
- P. Marteau « Memento roches et minéraux industriels –Gypse et anhydrite-» rapport BRGM R37772, Orléans cedex 2- France, 06/1993.
- l'école polytechnique, 08/12/2006. Hamouda Jaffel « Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du plâtre » Thèse de doctorat.
- Frederic Charpentier, Michel Fontaine, Jean Fouin, Virginie Stelmach « le plâtre matériau noble » Rapport de concours de la Diren –ile-de –France, 2000, N° 138.
- E. Karmazin, « Cinétique et mécanisme d'hydratation des sulfates de calcium semi hydratés –Etude par calorimétrie en régime isotherme », Thèse, INSA. Université de Lyon I, 1978.
- A. L. Lavoisier « Extrait de deux mémoires sur le gypse lus à l'académie royale des sciences» Mémoires de Lavoisier, [http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765, pah\\$ge.106-125](http://www.lavoisier.cnrs.fr/vol.3,1765, pah$ge.106-125).
- W. Michaelis, « the hardening process of hydraulic cements, cement & Engineering News, 1907.
- E. Karmazin, « Cinétique et mécanisme d'hydratation des sulfates de calcium semi hydratés –études par calorimétrie en régime isotherme ».
- Secret de fabrication du plâtre – le plâtre industriel – L'entrevues – numéro 23 – page 13.

Cours : Le ciment

I. Le ciment portland

Le mélange de « la chaux » et « d'argile » nous donne « ciment Portland » à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de « la Presqu'île de Portland »

I.1. Fabrication du ciment

Le ciment (Portland) est une poudre minérale qui se durcit sous l'eau, en formant une pâte, cette dernière durcit suivant une réaction et un processus d'hydratation.

Elle passe par les opérations suivantes

- ❖ Extraction et concassage
- ❖ Préparation du cru
- ❖ Cuisson ou calcination
- ❖ Broyage
- ❖ Expéditions



Cimenterie Ain Touda / Batna



Cimenterie de Biskra

Figure : relative cimenteries, Cimenterie Ain Touda / Batna et Cimenterie de Biskra. Source : archives auteur.

I.2. Extraction et concassage

Cette étape consiste à extraire les matières premières : calcaire et argile à partir de carrières naturelles.

Les blocs de roches obtenus sont transportés et broyés en éléments de dimensions maximales de 50 mm

Les matières premières sont échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps.

La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires : oxyde de fer, alumine et silice.



Figure : relative à l'opération de l'Extraction et du concassage de la matière première. Source : archives auteur.

I.3. Préparation de cru

Les grains de calcaire et d'argile sont infiniment mélangés par broyage (طحن) en plus un mélange très fin appelé "cru" (غير جاهز / غير طازج / لا زال).

S'il est nécessaire, il aura des corrections de composition à ce mélange peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion comme l'oxyde de fer.



Figure : relative à l'opération de la préparation du cru. Source : archives auteur.

I.4. Cuisson

Le cru pénètre dans le four où s'achève la décarbonatation et progresse jusqu'à la zone de clinkérisation (1450 °C).

Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile :

- silicates d'alumine
- et d'oxyde de fer

Se combinent avec la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et aluminates de chaux.



Figure : relative à l'opération du Cuisson. Source : archives auteur.

I.5. Broyage

« **Le clinker** » obtenu est transmis des broyeurs où il est finement broyé ensuite mélangé avec 3 à 5% de gypse, qui sert de régulateur de prise.



Figure : relative à un échantillon du clinker. Source : archives auteur.

Comme on peut ajouter d'autres constituants tels que :

Le laitier, la pouzzolane, les cendres volantes et les fillers calcaires pour l'obtention de divers types de ciment.

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O + K ₂ O
%	62 - 67	19 - 25	2 - 9	1 - 5	0 - 3	0 - 1,5

Tableau : relatif à la composition chimique du clinker. Source : archives auteur.

Composition chimique de clinker

II. Classification des ciments

Les normes NA 442 et EN 197-1 définie cinq types de ciments.

- ❖ CEM I : Cement Portland artificiel,
- ❖ CEM II : Cement portland composé,
- ❖ CEM III : Cement de haut fourneau,
- ❖ CEM IV : Cement pouzzolanique,
- ❖ CEM V : Cement au laitier et aux cendres.

II.1. Résistance du ciment à la compression

Valeurs limites de résistance à la compression			
Classe de résistance	Résistances minimales absolues en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
32,5 L	-	10	30
32,5 N	-	14	30
32,5 R	8	-	30
42,5 L	-	14	40
42,5 N	8	-	40
42,5 R	18	-	40
52,5 L	8	-	50
52,5 N	18	-	50
52,5 R	28	-	50

Tableau : relatif à la resistance du ciment. Source :

<https://www.infociments.fr/ciments/caracteristiques-et-emplois-des-ciments>

II.2. Types de ciments et leur composition.

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)	Composition (pourcentage en masse)											
		Constituants principaux						Constituants secondaires					
		Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes	Naturelle	Silicieuse	Cendres volantes	Calcaire	Schiste calciné	T	L	LL
CEM I	Ciment Portland CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au laitier CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
	CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5

Tableau : relatif aux types de ciments et leur composition. Source : Docteur Toufik Boubaker / matériaux de construction 01 /05/2017

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)	Composition (pourcentage en masse)											
		Constituants principaux						Constituants secondaires					
		Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes	Naturelle	Siliceuse	Cendres volantes	Calcique	Schiste calciné	Calcaire	L	LL
CEM II	Ciment Portland aux cendres volantes	K CEM II/A-V CEM II/B-V	80-94 — —	S D —	P Q —	V —	W —	T —	—	—	—	—	0-5
	CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T CEM II/B-T	80-94 —	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
	CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
Ciment Portland composé	CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
	CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	CEM II/A-M CEM II/B-M	80-94 65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20 21-35	0-5 0-5

Tableau (suite) : relatif aux types de ciments et leur composition. Source : Docteur Toufik Boubaker / matériaux de construction 01 /05/2017

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)	Composition (pourcentage en masse)									
		Constituants principaux					Constituants secondaires				
		Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes	Naturelle calcinée	Cendres volantes	Silicieuse	Calcique	Schiste calciné	Calcaire
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—
CEM IV	Ciment pouzzolanique c)	CEM IV/A	65-89	—	—	—	11-35	—	—	—	—
		CEM IV/B	45-64	—	—	—	36-55	—	—	—	—
CEM V	Ciment composé c)	CEM V/A	40-64	18-30	—	—	18-30	—	—	—	—
		CEM V/B	20-38	31-50	—	—	31-50	—	—	—	—

Tableau (suite) : relatif aux types de ciments et leur composition. Source : Docteur Toufik Boubaker / matériaux de construction 01 /05/2017

II.3. Types de ciments et leurs utilisations : source: <https://btp-cours.com/16-different-types-de-ciment/>

Ciment Portland ordinaire	<p><i>Le ciment Portland ordinaire est mélangé à des agrégats et à de l'eau pour faire du béton, qui est un matériau de construction moderne. Il est également utilisé pour faire du mortier pour joindre la maçonnerie et le plâtre afin de donner des murs parfaitement finis.</i></p>
Ciment pouzzolane Portland	<p><i>Le ciment pouzzolane Portland est désormais utilisé en remplacement du CPO. Outre les applications courantes, il est utilisé dans les constructions en béton de masse comme les immeubles de grande hauteur, les structures en béton sous-marines comme les ponts, les piliers, les barrages, etc.</i></p>
Ciment à durcissement rapide	<p><i>Le ciment à durcissement rapide est utilisé lorsqu'il est nécessaire de retirer les coffrages à un stade précoce pour économiser le coût de la construction. Il est également utilisé dans les constructions préfabriquées en béton.</i></p>
Ciment à durcissement extra rapide	<p><i>Le ciment à durcissement extra rapide est utilisé dans le bétonnage par temps froid, pour faire durcir le ciment rapidement. Il est également utilisé dans les situations où les coffrages doivent être retirés précocement.</i></p>

Tableau : relatif aux types de ciments et leurs utilisations / source: <https://btp-cours.com/16-different-types-de-ciment/>

Ciment blanc:	<p><i>Le ciment blanc est obtenu en utilisant des matières premières exemptes d'oxyde de fer dans la fabrication du ciment. La chaux et l'argile de Chine sont utilisées en plus grande quantité dans sa fabrication. Le ciment blanc a toutes les autres propriétés d'un ciment Portland ordinaire. Il est coûteux par rapport au CPO.</i></p> <p><i>Le ciment blanc est utilisé à des fins architecturales, par exemple pour les murs rideaux et les panneaux de façade préfabriqués, etc.</i></p> <p><i>Il est également utilisé dans la fabrication de mastic mural, de coulis à carreaux, de colle à carreaux, etc.</i></p> <p><i>Le ciment blanc est également utilisé pour les enduits extérieurs car il offre une finition lisse et agréable.</i></p>
Ciment coloré	<p><i>Ce type de ciment est largement utilisé pour les travaux de décoration des sols et des plafonds. Le ciment coloré est couramment utilisé pour le jointolement des carreaux. Le ciment est sélectionné de telle sorte que la couleur du joint et la couleur des carreaux correspondent parfaitement à la finition du revêtement de sol.</i></p>
Ciment hydrophobe	<p><i>Le ciment hydrophobe est utilisé dans la construction de barrages, de déversoirs, de constructions sous-marines. Il peut également être utilisé dans des conditions climatiques froides et pluvieuses.</i></p>

Tableau (suite) : relatif aux types de ciments et leurs utilisations / source: <https://btp-cours.com/16-different-types-de-ciment/>

Ciment expansif	<i>Ce type de ciment est de plus en plus utilisé pour la réparation des structures en béton. Le ciment expansif est utilisé pour le scellement des boulons d'ancrage et des conduits en béton précontraint.</i>
Ciment pour puits de pétrole	<i>Le ciment pour puits de pétrole est utilisé dans l'industrie pétrolière pour les travaux de cimentation lors du forage de puits de gaz et de pétrole. Il est également utilisé pour remplir les interstices entre les roches et le tubage en acier des puits de pétrole.</i>
Ciment hydrophobe	<i>Le ciment hydrophobe est utilisé dans la construction de barrages, de déversoirs, de constructions sous-marines. Il peut également être utilisé dans des conditions climatiques froides et pluvieuses.</i>
Ciment de maçonnerie	<i>Le ciment à maçonner est souvent utilisé dans la construction de maçonnerie en briques, en blocs de béton et en pierres ; il sert également à produire du plâtre.</i>
Ciment de maçonnerie	<i>Le ciment à maçonner est souvent utilisé dans la construction de maçonnerie en briques, en blocs de béton et en pierres ; il sert également à produire du plâtre.</i>

Tableau (suite) : relatif aux types de ciments et leurs utilisations / source: <https://btp-cours.com/16-different-types-de-ciment/>

II.4. Finesse de mouture

La vitesse d'hydratation dépend de la finesse des grains de ciment.

La finesse est importante du ciment est exigée pour avoir une hydratation rapide et une résistance élevée à court terme.

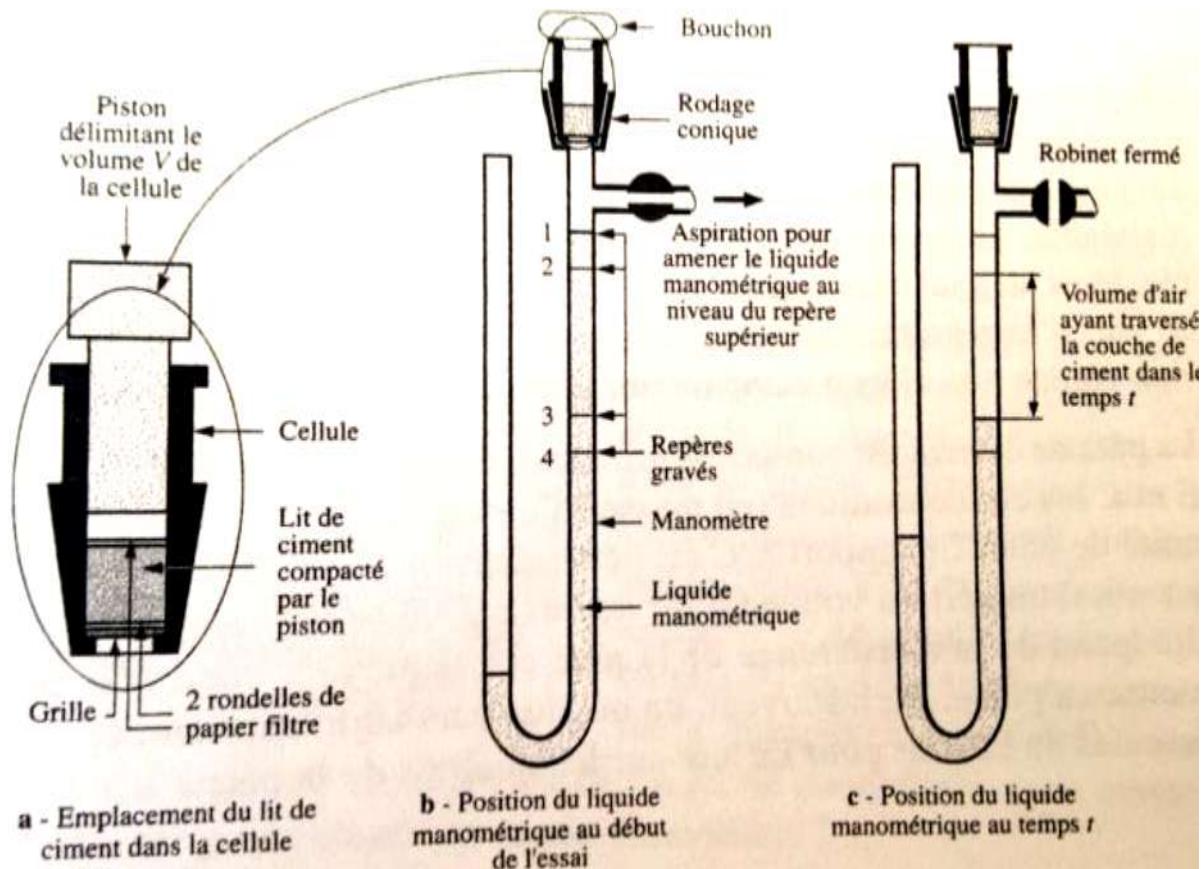


Figure : relative à la Finesse de mouture. Source : archives d'auteur.

La méthode utilisée pour mesurer la surface spécifique du ciment est la méthode de Blaine.

II.5. Ajouts cimentaire

Ce sont des matériaux d'une granulométrie très fine que l'on ajoute au ciment.

Les ajouts donnent des nouvelles caractéristiques au béton,

Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé plus économique,



Figure : relative aux types d'ajouts aux ciments. Source archives d'auteur.

II.6. Avantages des ajouts cimentaires (source : Docteur Toufik BOUBEKEUR; 2017)

II.6.1. Avantages fonctionnels

- ❖ *Amélioration de la maniabilité et la réduction de la demande en eau*
- ❖ *Diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton*
- ❖ *Amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton*

II.6.2. Avantages économiques

- ❖ *Le coût des ajouts minéraux des sous-produits industriels est souvent égal au coût du transport et de la manipulation*
- ❖ *Réduction de la consommation d'énergie, ce qui réduit le prix du ciment*

II.6.3. Avantages écologiques

- ❖ *Diminution de l'émission du CO₂ dégagée par l'industrie cimentaire.*
- ❖ *Elimination des sous-produits de la nature.*

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
- BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ». Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
- « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Chapitre : mortier et béton

Cours : Le mortier de ciment

I. Le mortier de ciment

L'usage et les différentes Utilisations du mortier de ciment, En maçonnerie Et enduit.



Figure : relative à l'utilisation et l'usage de l'enduit en ciment. Source : archives d'auteur.

II.1. Types de mortier

- ❖ Mortier de la chaux : la chaux hydraulique, ce mortier est moins résistant.
- ❖ Mortier bâtard : un mélange de ciment et de la chaux ou du plâtre.
- ❖ Mortier rapide à base de ciment prompt (*ciment prompt : Liant hydraulique naturel, le ciment prompt s'obtient grâce à la cuisson d'un calcaire constitué de 30 % d'argile.*
La température de cuisson doit osciller entre 600 et 1200° pour l'obtention du produit escompté. Le calcaire utilisé est une matière 100 % naturelle. Il est directement issu de la terre. Source : <https://bricoleurpro.ouest-france.fr>)
- ❖ Mortier pour maçonnerie : C'est le mortier utilisé pour construire, c'est lui qui assemble les éléments de maçonneries.
- ❖ Mortier pour enduit : C'est le mortier qui est utilisé en revêtement de murs.
- ❖ Mortier de ciment : ciment artificiel de type portland blanc ou gris, ce mortier est très résistant.

II.2. Mortier de ciment

Il désigne un mélange de liant : le ciment avec ses types ou la chaux + du sable, le tout gâché avec de l'eau + des adjuvants, des colorants comme on peut ajouter d'autres matériaux.

II.3. Mise en œuvre du mortier de ciment : la façon et manière pour un bon gâchage du mortier de ciment

II.3.1. L'utilisation de la bétonnière



Figure : relative à l'utilisation de la bétonnière. Source : archives l'auteur.

II.3.2. Gâchage manuel



Figure : relative au gâchage manuel du mortier. Source : archives l'auteur.

II.3.3. Dosage du mortier de ciment

Détermination du mortier	Dosage En Kg	usages
Mortier maigre	250-350	Maçonnerie de remplissage
Mortier normal	350-400	Toutes maçonneries à l'air et à l'eau douce (rivière) immergés seulement lorsque le mortier a durci
Mortier semi-riché	400-500	Parements, voûtes, enduits aériens
Mortier assez riche	500-600	Travaux à la mer, radiers d'écluse, fondations immergés
Mortier riche	600-800	Rejointoiement
Mortier très riche	800-1000	Spéciaux pour tuyaux centrifugés
Mortier spécialement riche	1000-1200	Enduits à immerger dès le début du durcissement, pierres artificielles, dallages

Tableau : relatif au dosage du mortier du ciment. Source : DERABLA Riad, 2002

II.4. Fonction des mortiers

La fonction essentielle et principale d'un mortier est de liaisonner les éléments de maçonneries (briques, parpaing, pierres ... etc.) de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc.

En plus, les mortiers remplissent les fissures en formant une surface de contact homogène.



Mur en briques



Mur en parpaing.



Mur en pierres

Figure : relative aux différentes utilisations du mortier en ciment. Source : archives l'auteur.

II.5. Propriétés des mortiers : deux grandes propriétés essentielles

❖ Mortier plastique

C'est la propriété la plus importante. On la désigne comme bonne façon à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fissures du mur par exemple.

❖ Mortier durci

On veut dire par ce point, la solidité du liaisonnement entre les éléments: briques, pierre, carrelages ... etc.

II.6. L'utilisation des mortiers

- ❖ Remplisse des joints entre maçonneries: toute construction est réalisée en éléments de maçonnés : blocs de béton, pierres de taille, briques, parpaing ...etc.
- ❖ Enduits : les enduits au mortier sont utilisés pour les travaux neufs.
 - Pour l'esthétique : aspect décoratif, couleur ...etc.
 - Pour protection des murs, de gros œuvres ... etc.
 - Pour l'imperméabilisation des murs ou d'autres éléments.
- ❖ Les chapes: ont pour fonction d'assurer la mise à niveau de dallage et la régularité de sa surface.
- ❖ Scellement : Calage d'équipements industriels, machines lourdes à fort couple ou à fortes vibrations, scellement de portes, fenêtres et éléments de second œuvre, scellement de mobilier urbain, d'éléments de signalisation, travaux de scellement en milieu marin, assemblage d'éléments, scellement de regards de visite sur routes.



Figure : relative aux différentes utilisations du mortier en ciment. Source : *source:* <https://www.infociments.fr/glossaire/scellement>

« Le scellement est une opération de maçonnerie qui consiste à fixer dans un mur, un plafond ou un dallage l'extrémité d'une pièce de bois ou de métal.

Un scellement est réalisé, en général, par le creusement d'une cavité, puis par son regarnissage (التبطين) avec un mortier à prise rapide, du plâtre, du plomb ou du soufre»

source: <https://www.infociments.fr/glossaire/scellement>

II.7. La mise en œuvre du mortier de ciment

Soit par « la projection » ou « l'injection » sa dépond les types de travaux. Pour l'enduit c'est la projection et dans le cas de profonde fissure c'est l'injection.

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.

- BEHIM. M.. «Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment »

Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.

- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.

- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ».Tome 2. Eyrolles 1978.

- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ».

Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.

- Site Web : <http://www.ecotrade.net>

- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>

- « Cimbéton ». Documentation technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.

- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>

- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.

- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Cours : Le Béton

I. Le béton

C'est matériau de construction, un mélange d'un liant hydraulique (ciment avec ses types) + granulats (sable, gravier, gravillon ...etc.) + l'eau + l'adjuvant (*un produit chimique qu'on l'ajoute au mélange du béton pour améliorer une de ses qualité*)



Figure : relative aux différentes utilisations du béton. Source : *source:*

<https://www.infociments.fr/glossaire/scellement>

I.1. Qualités demandées pour un bon béton

- ❖ Une résistance mécanique élevée (25-40 MPa) .
- ❖ Une imperméabilité à l'eau élevée
- ❖ Une absence de réaction chimique avec l'acier.
- ❖ Une bonne mise en œuvre (facile à couler).
- ❖ Une bonne tenue dans le temps,

I.2. Pour avoir de bon Béton on doit jouer sur les paramètres suivants

- ❖ La qualité du ciment, la qualité du granulat ...etc.
- ❖ Le dosage, veut dire la quantité du ciment nécessaire pour un (01) mètre cube de béton.
- ❖ Un bon mélange, veut dire une bonne homogénéité.

I.3. Masse volumique

- ❖ La masse volumique béton à granulats légers = 700 à 1500 kg/m³
- ❖ La masse volumique du béton à granulats normal = 2200 à 2400 kg/m³
- ❖ La masse volumique béton à granulats lourds = 3500 à 4000 kg/m³
- ❖ La masse volumique du béton armé = 2500 kg/m³

I.4. Résistance du béton à la compression

- ❖ L'essai de compression est effectué sur des cylindres en béton / d'un diamètre de 16 cm et d'une hauteur de 32 cm.



Figure : relative aux essais de la résistance du béton. Source archives d'auteur.

I.5. Conditions supplémentaires pour avoir un bon béton

- ❖ L'ouvrabilité : Elle se définit comme la facilité de mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait des coffrages.



Figure : relative au cône : essai de l'ouvrabilité. Source : archives d'auteur.

- ❖ L'ouvrabilité ou la maniabilité est la qualité essentielle du béton frais, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume.
- ❖ Ceci à condition que la formule soit adaptée et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. (<https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/classes-de-consistance-du-beton/>)

Classe	Affaissement en mm	Désignation de la consistance
S1	10 à 40	Ferme
S2	50 à 90	Plastique
S3	100 à 150	Très plastique
S4	160 à 210	Fluide
S5	≥ 220	Très fluide

Tableau : relative aux Conditions supplémentaires pour avoir un bon béton. Source : Archives d'auteur.

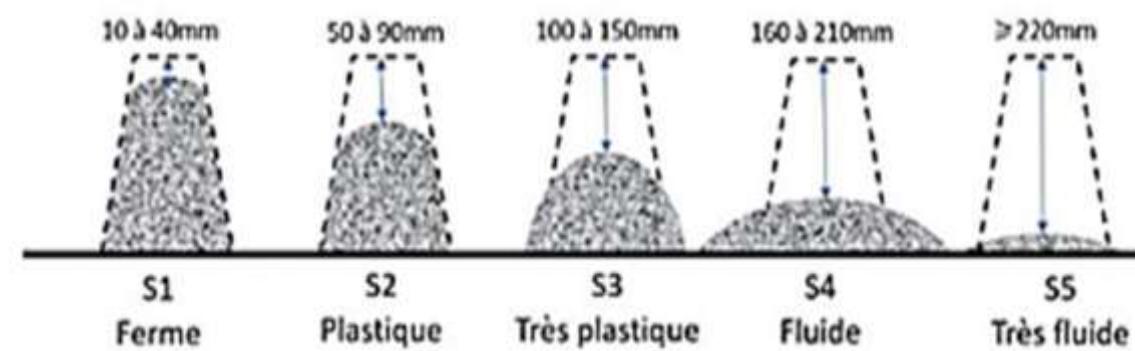


Figure : aux différents types de plastification du béton. Source : Archives d'auteur.

- Mouiller l'intérieur du moule.
- Placer le moule avec l'entonnoir sur un support rigide et horizontal, mais non absorbant.



- A l'aide d'une truelle (Main écope) remplir le moule de béton frais, en trois couches d'à peu près même hauteur, éviter le déplacement du moule en pesant sur les pattes de calage.
- Compacter chaque couche par 25 coups de barre.



- Retirer l'entonnoir, araser le dessus du moule et nettoyer le support autour du moule.
- Retirer le moule verticalement avec précaution en 3 à 5 secondes.



Figure : aux différents types de plastification du béton. Source : Archives d'auteur.

L'utilisation Du béton armé aux différents éléments (structure) De bâtiment

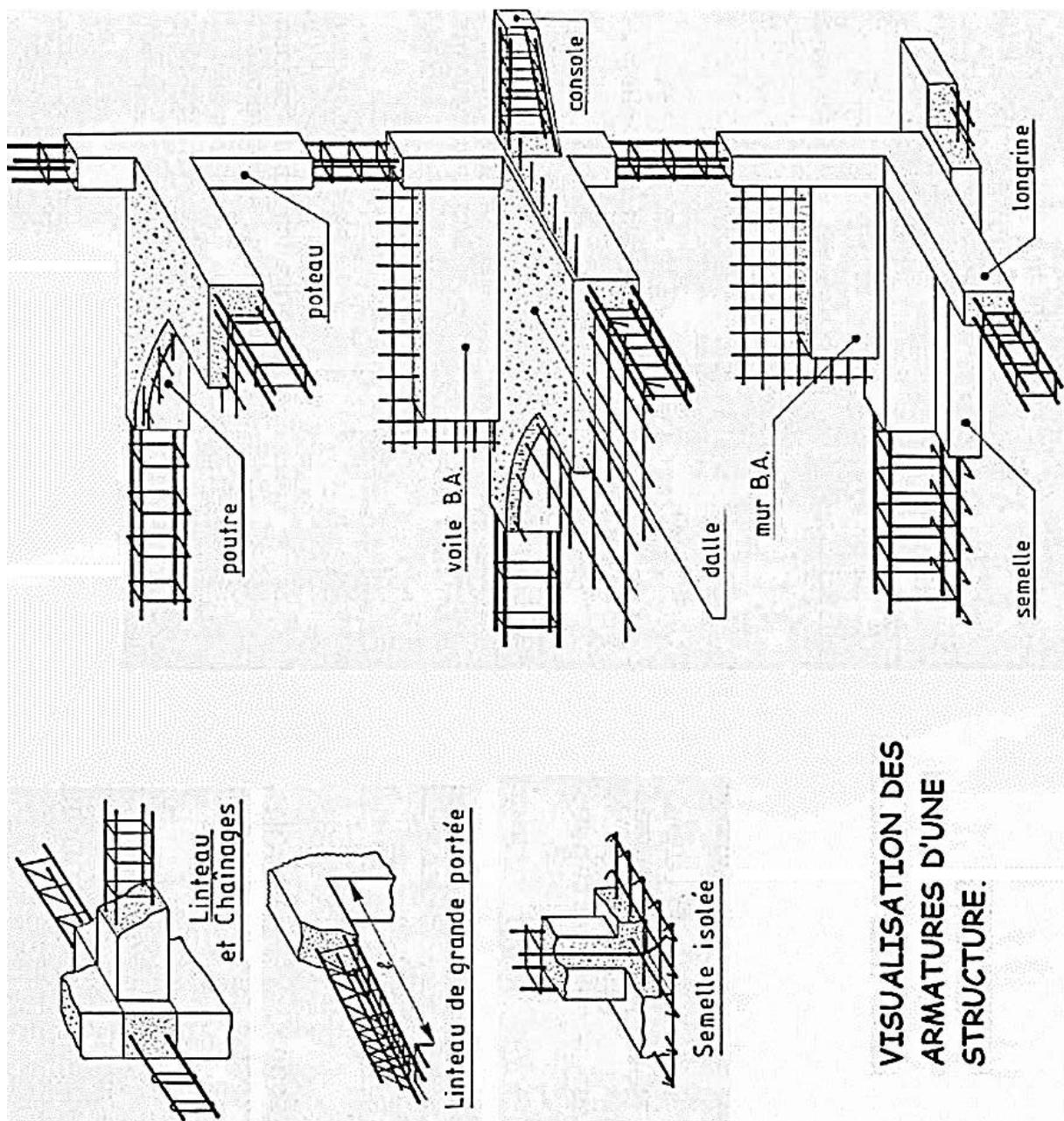


Figure : relative à l'utilisation Du béton armé aux différents éléments (structure) De bâtiment.

Source : archives d'auteur.

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
- BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ». Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
- « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Cours : Le béton armé

I. Le béton armé

Est un élément (matériau de construction) mélangé (composé) par plusieurs matériaux. Il est constitué par la réunion de deux matériaux essentiels, c'est « **le béton** » et « **l'acier** »

Dont il doit être disposé d'une façon économique et la résistance de chacun d'eux on appelle béton : le mélange dans des proportions convenables des éléments suivants :

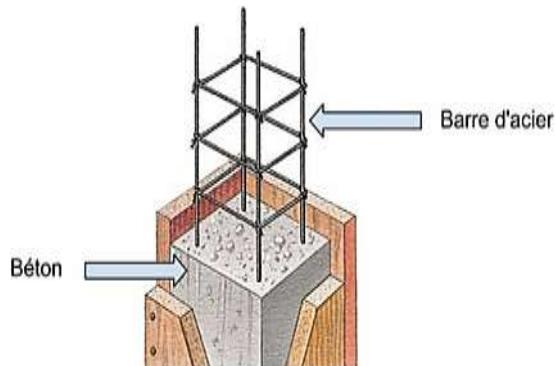


Figure : schéma représentant un poteau en béton armé. Source : Archives d'auteur.

Rappelant que le béton se compose du :

- Liant Hydraulique : ciment avec ses types,
- Agrégats : granulats, le sable, le gravier, le gravillon ...etc.
- L'eau.

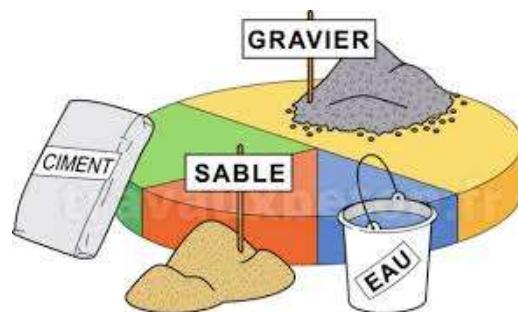


Figure : schéma représentant les composants du béton armé. Source : Archives d'auteur.

On appelle béton armé le matériau obtenu en ajoutant au béton des barres en acier.

Ces barres en acier sont généralement appelées armatures (sachant que le ferraillage c'est l'ensemble de toutes les armatures trouvées dans l'élément en béton armé).

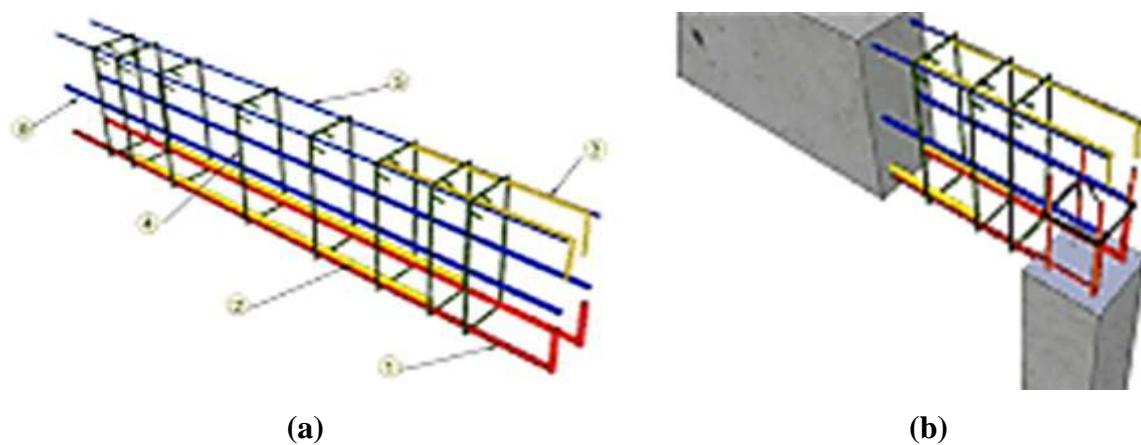


Figure : schéma représentant le ferraillage et l'encrage du béton armé. Source : Archives d'auteur.

Dans l'association des deux composants : **le béton et l'acier**, le béton résiste aux efforts de **compression** et l'acier résiste aux efforts de **traction** et éventuellement aux efforts de compression si le béton ne suffit pas pour prendre tous les efforts de compression qui existent.

- Béton = Compression : Résistance à la compression = 20 MPa à 40MPa
- Béton = Traction : Résistance à la traction = 2 MPa à 4MPa
- Acier = Traction ou compression : 200 MPa à 500 MPa

On dit : **construction en béton armé** si les deux matériaux participent à la résistance de l'ensemble de la structure.

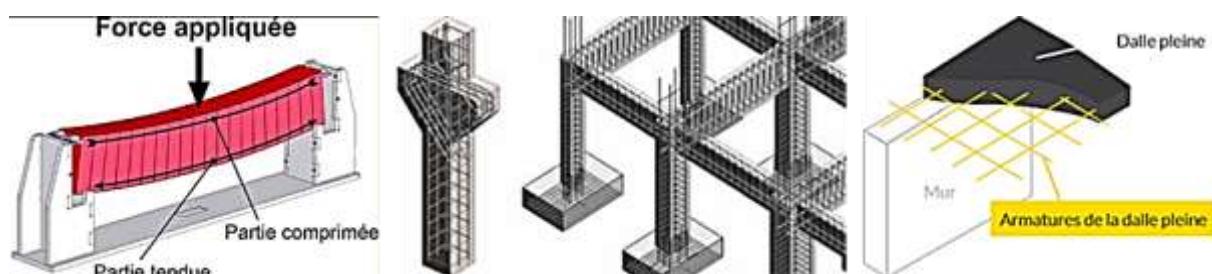


Figure : différents éléments constructifs en béton armé. Source : Archives d'auteur.

I.1. Avantages du béton armé

- ❖ avantage économique : En général le béton est le moins coûteux des matériaux de construction résistant à la compression.
- ❖ Avantage de la souplesse d'utilisation : possibilité de réaliser des formes les plus variées.

- ❖ Avantage dans l'économie d'entretien : sachant que les constructions en béton armé ne nécessitent aucun entretien.
- ❖ Avantage dans la résistance au feu : vu que le béton a une mauvaise conductibilité thermique retarde les effets de la chaleur les construction en béton résiste au feu.
- ❖ Avantage dans la résistance aux efforts accidentels
- ❖ Avantage dans sa durabilité : les constructions en béton armé ont une longévité très longue.

I.2. Inconvénients du béton armé

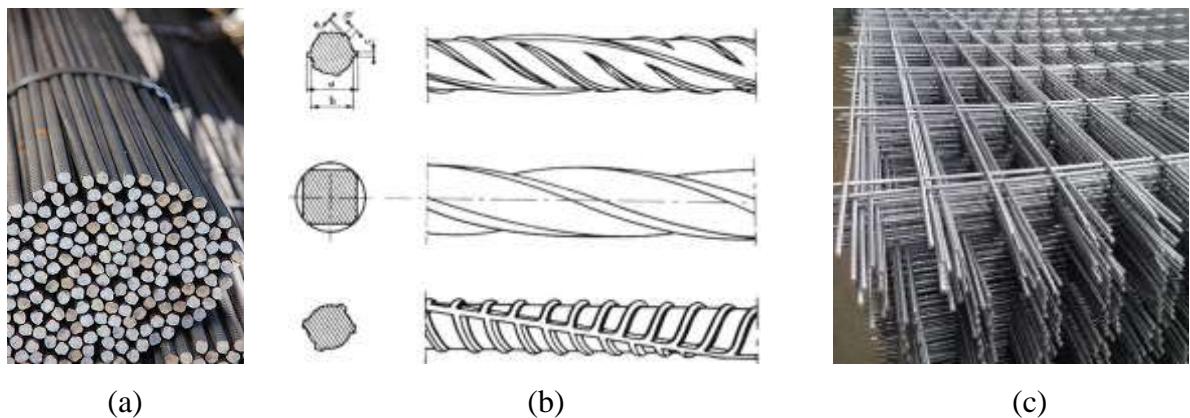
- ❖ Inconvénient du poids : les constructions en Béton armé sont plus lourds que les autres modes de constructions.
- ❖ Inconvénient de l'exécution (la mise en œuvre) :
 - préparation du coffrage.
 - placement des armatures.
 - prendre des précautions pour le protéger contre le gel et l'évaporation de l'eau.
 - contrôle de la qualité du matériau perfectionné lors du gâchage.
- ❖ Brutalité des accidents : les accidents qui surviennent d'un ouvrage en béton armé sont en général soudains ou brutaux, en général ces accidents sont dus à des erreurs de calculs ou de réalisations.
- ❖ Difficulté de rattraper ou de modifier un ouvrage déjà réalisé.

I.3. Conditions supplémentaires pour avoir un bon béton

- ❖ Ouvrabilité : Elle se définit comme la facilité de mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait des coffrages.
- ❖ Acier : c'est l'alliage du fer et du carbone. On distingue des aciers doux, des aciers mi-durs et des aciers durs.
 - Acier doux : % carbone du 0,15 à 0,25 %
 - Acier mi-dur et dur : % carbone du 0,25 à 0,45 %

I.3. Différent types d'acières

- ❖ Acier rond lisse.
- ❖ Acier haute adhérence.
- ❖ Treillis soudés.



(a)

(b)

(c)

Figure : Différent types d'acières, (b) : Acier haute adhérence, (c) : Un treillis soudé. Source : Archives d'auteur.



Figure : Différents travaux de coulage du béton armé. Source : Archives d'auteur.

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
- BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ». Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
- « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Cours : Le Béton léger

I. Le Béton léger

Le béton léger est défini par la commission R.I.L.E.M (<https://www.rilem.net>) des bétons légers tant que des bétons dont la masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m³. les bétons légers sont employés dans les constructions le début du 20^{ème} siècle.

I.1. Caractéristique du béton léger

- ❖ Une faible masse volumique
- ❖ Un excellent rapport poids / résistance
- ❖ Une bonne isolation thermique
- ❖ Une bonne résistance à la chaleur et au feu
- ❖ Une bonne résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction.

I.2. Types de béton léger :

I.3. Les bétons cellulaires

Comme matières premières pour la fabrication du béton cellulaire :

- le sable blanc très pur environ 95% de silice
- la chaux environ 15%
- le ciment environ 20%
- la poudre d'aluminium
- et l'eau

Selon Jacques Sizaire « *En présence d'eau, la chaux réagit avec la silice du sable pour former des silicates de calcium hydrates. Par contre la chaux et le ciment servent de liants. La poudre d'aluminium extrêmement fine, utilisée en très faible quantité (+/- 0,05%), sert de levain, en cours de fabrication, pour faire lever la pâte et créer les cellules* » Le Béton Cellulaire Matériaux d'Avenir; Jacques Sizaire; Edition: Jacques Sizaire Avenue des Crêneaux 18 bte 7 1200 Bruxelles.



Les bulles d'air dans le béton cellulaire représentent de 50 à 85% de son volume.

Figure : représente les bulles d'air dans le béton cellulaire on a 50 à 85% de son volume.

Source : archives l'auteur.

Ce mélange forme des microcellules de béton fermées et séparées par de fines parois pour empêcher les remontées capillaires.

Le béton cellulaire est disponible en bloc ou en carton. Il est ainsi complètement protégé de l'humidité grâce au procédé de microcellules.

- 1 m³ de matières premières permet de produire 5 m³ de matériau de maçonnerie en béton cellulaire.
- Une grande économie de matières premières dans la production du ce béton est l'un des aspects écologiques de ce dernier.
- Et à titre d'information, la surface des cellules dans 1 kg de béton cellulaire est de 20 m².

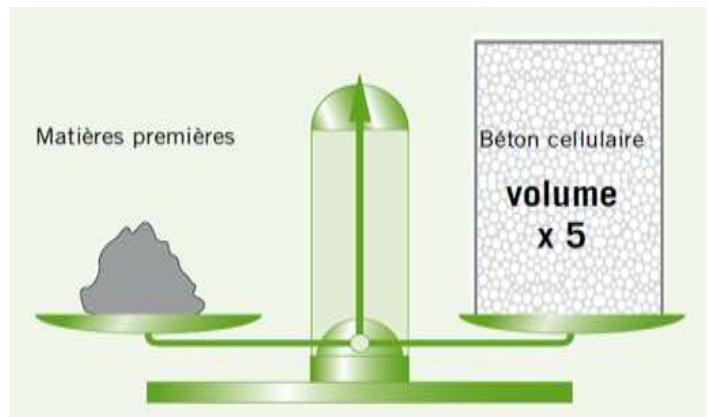


Figure : différents aspects du béton cellulaire et son rapport avec sa matière première. Source : archives l'auteur.

I.3.1. L'utilisation du béton cellulaire

On peut trouver le béton cellulaire sous plusieurs formes qui sont :

- Des panneaux
- Des carreaux
- Des blocs

On peut l'utiliser tant que :

- Dalles de bardage : pose horizontale ou pose verticale
- Dalles de cloison : panneaux
- Dalles de toiture : carreaux
- Dalles de plancher : blocs



Figure : différents types d'utilisation du béton cellulaire. Source : archives d'auteur.

I.4. Avantages du béton cellulaire

- Un matériau très léger de par sa composition.
- Plus léger que les parpaings, un atout pour le chantier de construction.
- Manipulation du béton cellulaire est facile tout au long du processus : fabrication, transport ou mise en œuvre.
- Un excellent isolant phonique,
- Un excellent isolant thermique.
- Le béton cellulaire est non combustible (100 % inflammable)

I.5. Les inconvénients du béton cellulaire

- Par sa légèreté le béton cellulaire est assez fragile et friable.
- Sa pose devient alors très délicate.
- Le béton cellulaire n'est pas respectueux de l'environnement, c'est un matériau polluant et non naturel, qui ne va pas de mise avec l'éco construction, ceci est dû à l'utilisation de poudre d'aluminium dans sa fabrication.
- Le béton cellulaire est mauvais pour la santé, des études tendent à penser que la poudre d'aluminium peut être responsable de cancer.
- Le béton cellulaire est 3 fois plus cher qu'un parpaing classique.

II. Les bétons sans fines / caverneux

Le béton sans fines, le béton caverneux, le béton poreux ou bien le béton drainant toutes ces appellations sont pour le même béton. En revanche c'est un béton qui permet l'infiltration de l'eau de pluie.

Le nom de ce béton provient des vides qu'il contient et qui ressemblent à des cavernes. Ces vides ont une ouverture allant de 10 à 30 mm

II.1. Le béton se compose de

- De ciment
- De granulats grossiers
- et de l'eau

II.2. L'utilisation des bétons sans fines / caverneux

Vu sa grande perméabilité à l'eau, ce béton est utilisé comme matériau pour :

- Pavage des routes
- Revêtement des terrains maticos
- Revêtement des trottoirs



Figure : différents types du béton caverneux. Source : archives l'auteur.

Avantage de ce Béton et le coté de sécurité où pas de risque d'inondation, pas de flaques d'eau en surface, un large choix de couleurs.



Figure : différents types du béton caverneux. Source : archives l'auteur.

III. Les bétons de granulats légers

Le béton de granulat léger est fabriqué comme le béton courant traditionnel, avec des granulats légers artificiels. Ces dernières ont de faible masse volumique tel que :

- l'argile expansée,
- le schiste expansé,
- le laitier expansé,
- la pierre ponce,
- le polystyrène expansé,
- le liège,
- la vermiculite.

Les granulats légers peuvent être fabriqués à partir d'argile et de schiste expansés ont trois composés majoritaires : la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'hématite (Fe_2O_3).

Donc la composition du béton de granulats légers est : le ciment, l'eau, le sable et granulats légers. L'avantage de ce béton est de réduire la masse de la construction.

III.1. Avantages du béton à granulats légers

- Faible poids : le béton léger pèse entre 100 et 1800 kg/m³.
- Isolation thermique : grâce à la faible conductivité thermique.
- Bonne performance acoustique
- Meilleure résistance au feu
- Grande facilité de mise en œuvre et de travail après durcissement : il est possible de scier, percer, clouer ... etc.
- Bonne tenue au gel.

III.2. Inconvénients du béton à granulats légers

- Coût plus élevé vu que les granulats sont spécifiques
- Fabrication plus complexe.
- Résistance plus faible.
- Perméabilité et porosité à l'air élevées.

III.3. L'utilisation du béton à granulats légers

- Structures légères et porteuse
- Remplissage de vides et allègements des structures
- Structures isolantes : mur, plancher, dalle.



Figure : Béton de granulats légers /HIGHPAVE / Aggregate Industries - renforcé de fibres /
Source: www.archiexpo.fr



Figure : Béton léger allégé source: <https://www.ideal-decor.fr/beton-leger/>

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
- BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ». Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
- « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Cours : Le Béton précontraint

I. Le Béton précontraint

I.1. Définition

Le béton précontraint est créé en 1929 par Eugène Freyssinet. Le béton précontraint est un matériau de construction parmi les différents types de béton armé.

Le béton précontraint en lui introduit avant sa mise en service des tensions opposées à celles qu'il devra subir après qu'on le mis en service.

De nos jours, le béton précontraint est utilisé au même titre que le béton ordinaire. Surtout dans les structures des ponts, grandes travées ...etc.

I.2. Principe (technique) du béton précontraint

La technique du béton précontraint est de créer une compression au béton pour lui permettre d'être totalement comprimé sous les sollicitations.

C'est-à-dire une «pré-tension» et une précontrainte par « post-tension » la première définissant une tension appliquée aux armatures de l'élément avant la prise complète du béton et la seconde après la prise complète de ce même béton du même élément. Source: <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-beton-precontraint-10544/>

Sachant que « **le béton** » est un matériau de construction « **hétérogène** » et il possède une très bonne « **résistance** » à la « **compression** », par contre il a une très mauvaise résistance à « **la traction** ».

Comme exemple on prend une poutre pur pouvoir comprendre le principe du béton précontraint.

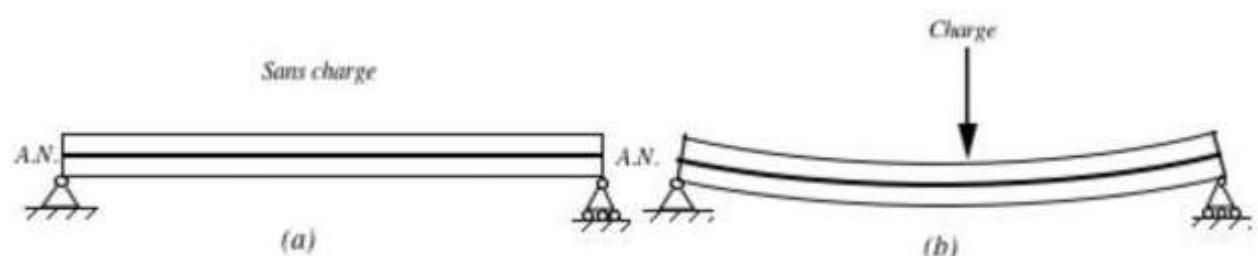


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre). Source : HADJAZI Khamis, 2013

La poutre repose sur deux appuis. Elle est soumise à l'effet de son poids propre et d'une charge d'exploitation. Donc subit des contraintes de flexion qui se traduisent par une zone comprimée en partie supérieure et par une zone tendue en partie inférieure.

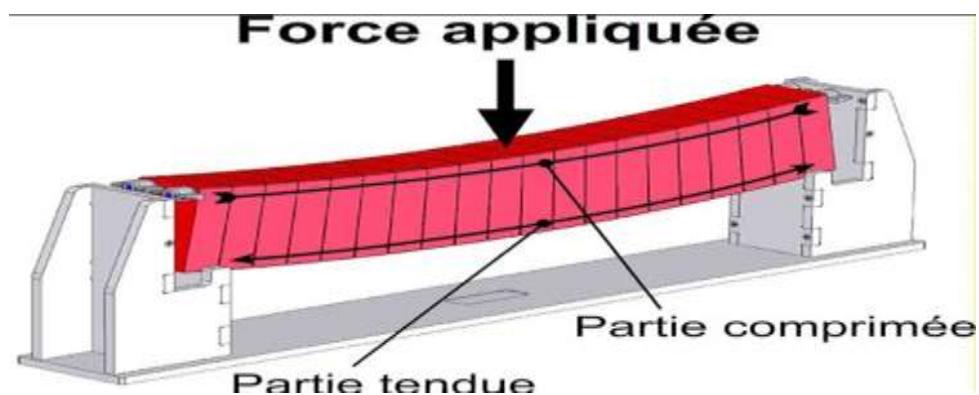


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre). Source : HADJAZI Khamis, 2013

I.3. Première solution

Principe du béton armé : mettre du ferraillage ou bien l'ajout d'une quantité d'armatures pour reprendre les efforts de traction dans le béton.

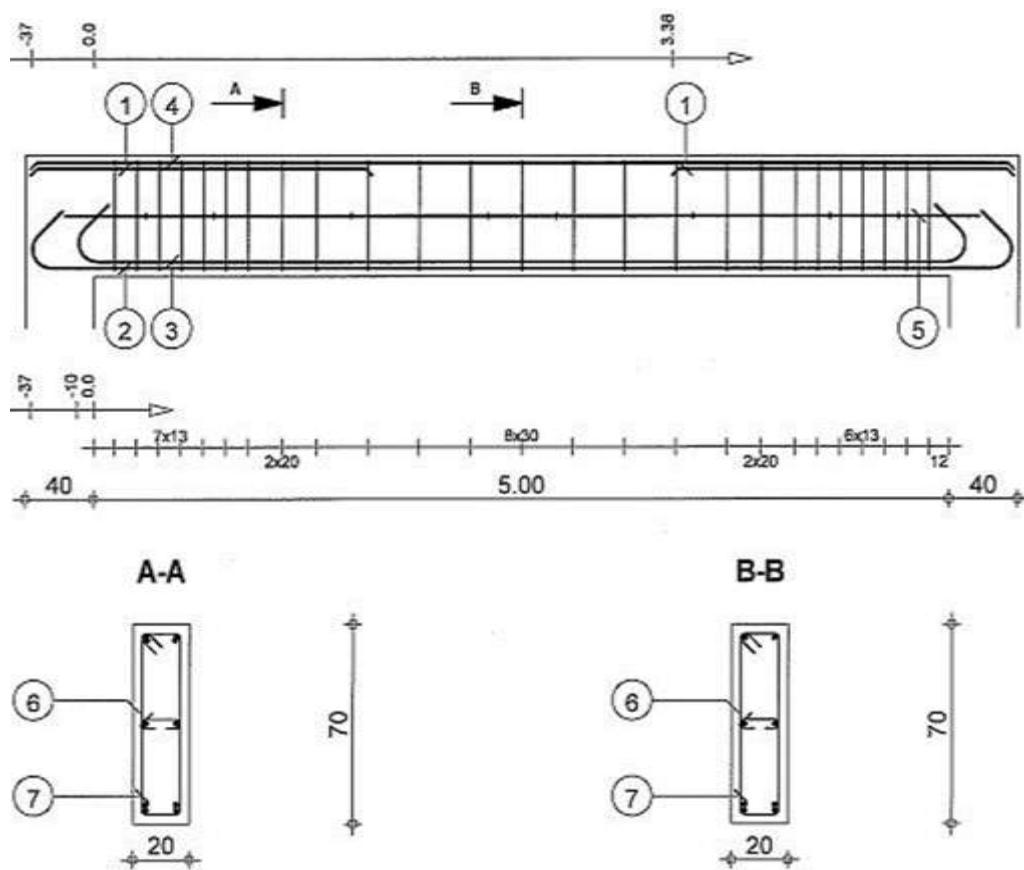


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre). Source : HADJAZI Khamis, 2013

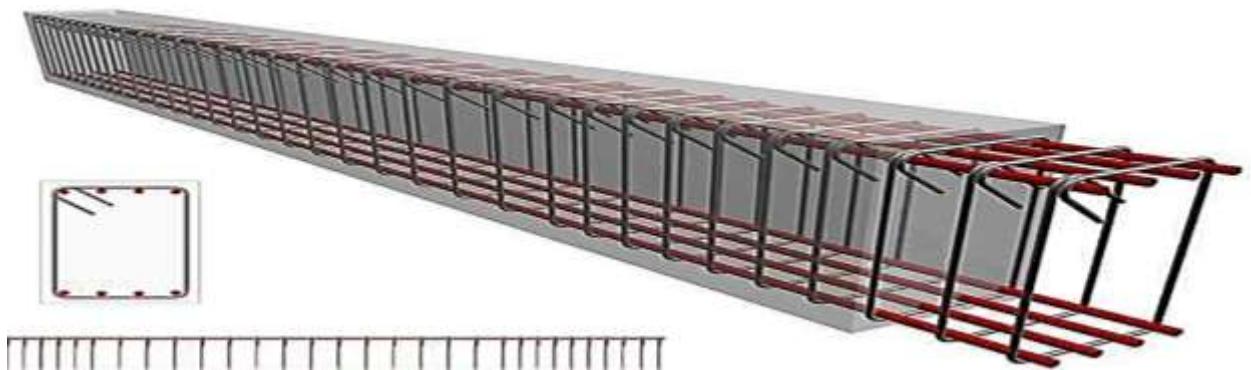


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre). Source : HADJAZI Khamis, 2013

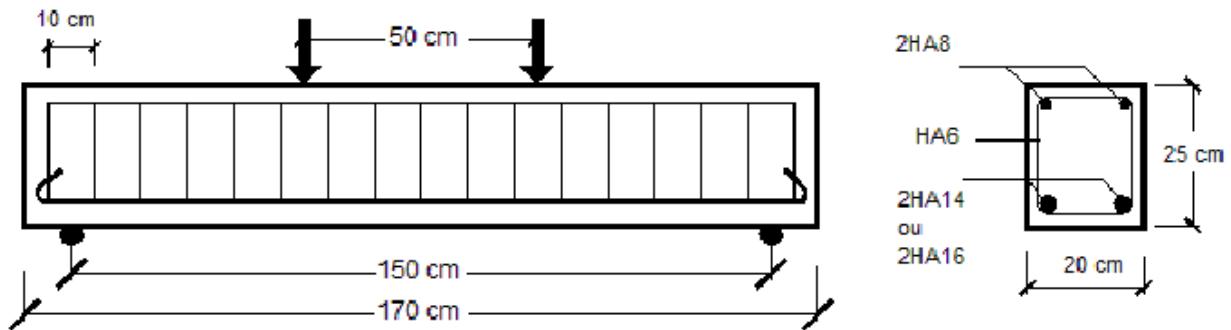


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre). Source : HADJAZI Khamis, 2013

I.4. Seconde solution

Principe du béton précontraint, c'est l'application d'un effort de compression axial qui s'oppose aux contraintes de traction dues aux chargements.

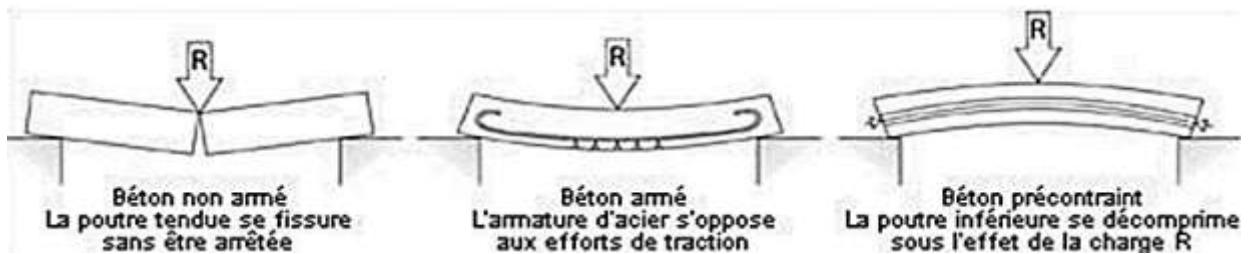


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre) + Béton précontraint. Source : HADJAZI Khamis, 2013

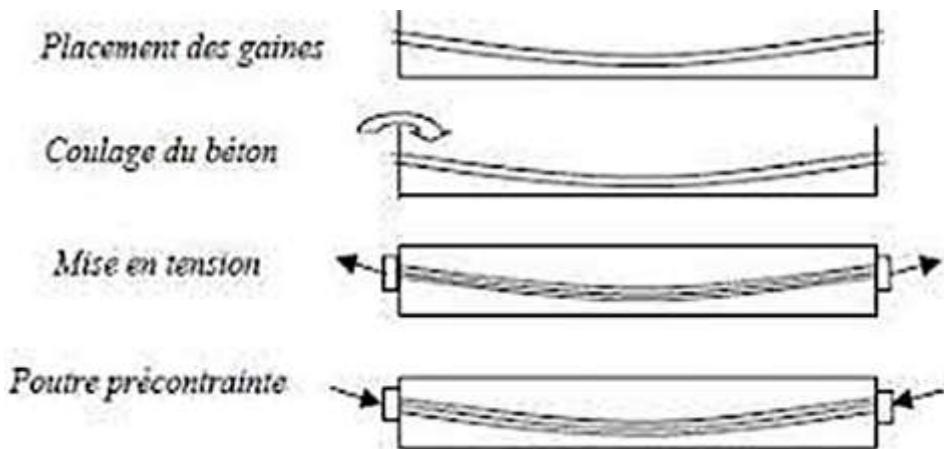


Figure : relatif au principe (technique) du béton armé (poutre) + Béton précontraint. Source : HADJAZI Khamis, 2013

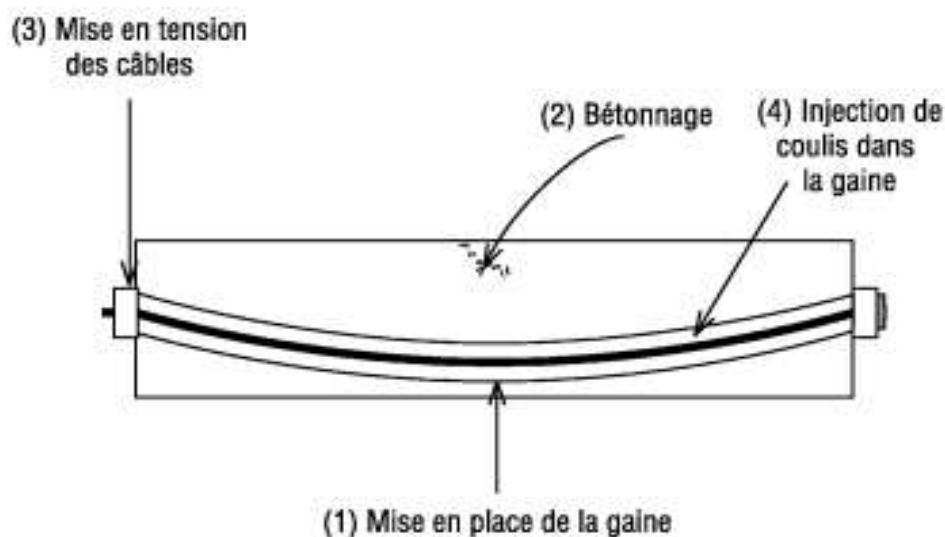


Figure : relatif au principe (technique) du Béton précontraint. Source : HADJAZI Khamis, 2013

I.5. Avantages du béton précontraint (Abdelaziz Yazid, 2005)

- *Une économie dans l'utilisation des matériaux.*
- *Augmentation des portés économiques.*
- *Une réduction des risques de corrosion (مسکن).*

I.6. Inconvénients du béton précontraint (Abdelaziz Yazid, 2005)

- *La nécessité de main d'œuvre qualifié.*
- *Un calcul relativement complexe.*
- *La nécessité de matériaux spécifiques.*
- *La nécessité d'équipements particuliers.*

- Risque de rupture à vide par excès de compression.



Figure : relatif au principe (technique) du Béton précontraint. Source : archives auteur.

II. Mode De Précontrainte

Il existe deux méthodes pour réaliser la précontrainte :

- ❖ Précontrainte par pré-tension
- ❖ Précontrainte par post-tension

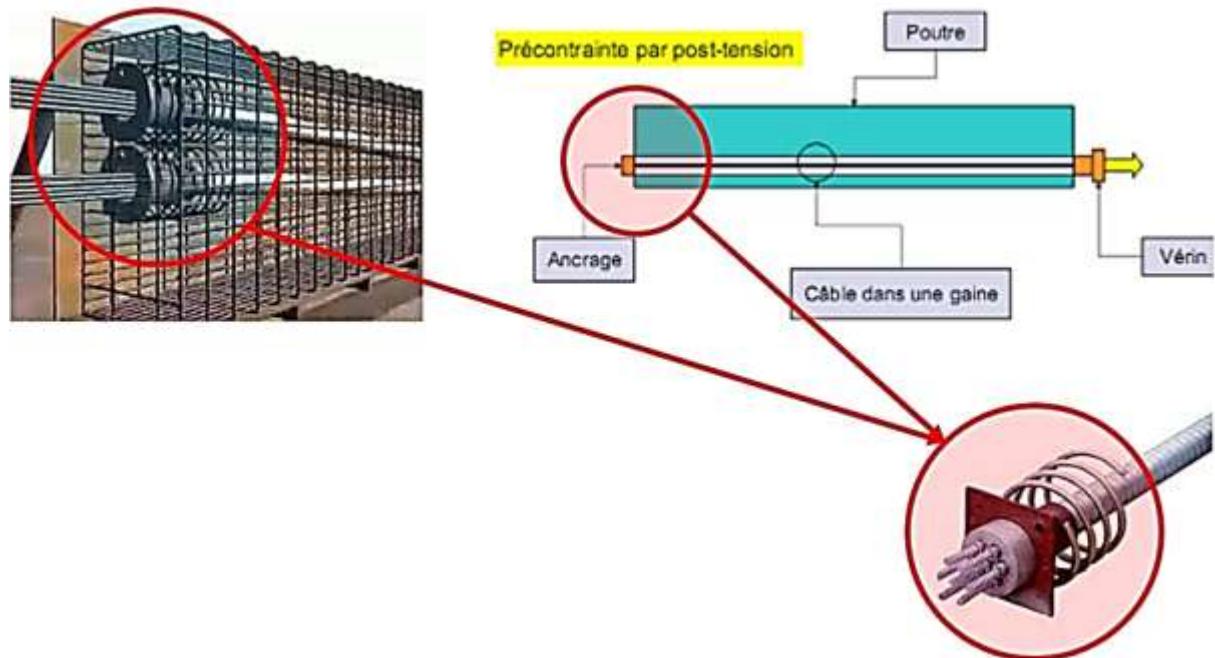


Figure : relatif au principe (technique) du Béton précontraint : Précontrainte par post-tension.

Source : archives auteur.

III.1. Précontrainte par pré-tension

À l'application de cette méthode « *les câbles de précontrainte* » sont tendus avant le coulage du béton relatif à la poutre.

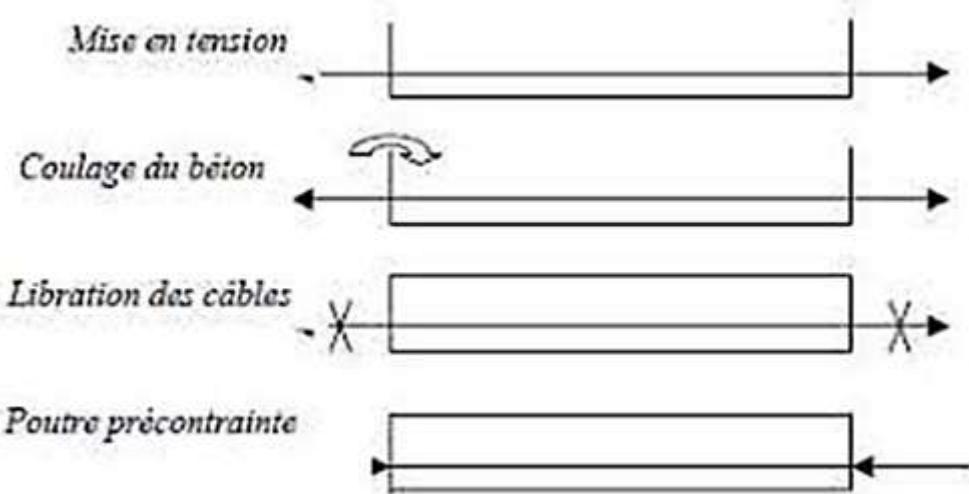


Figure : relatif au principe (technique) du Béton précontraint. Source : archives auteur.

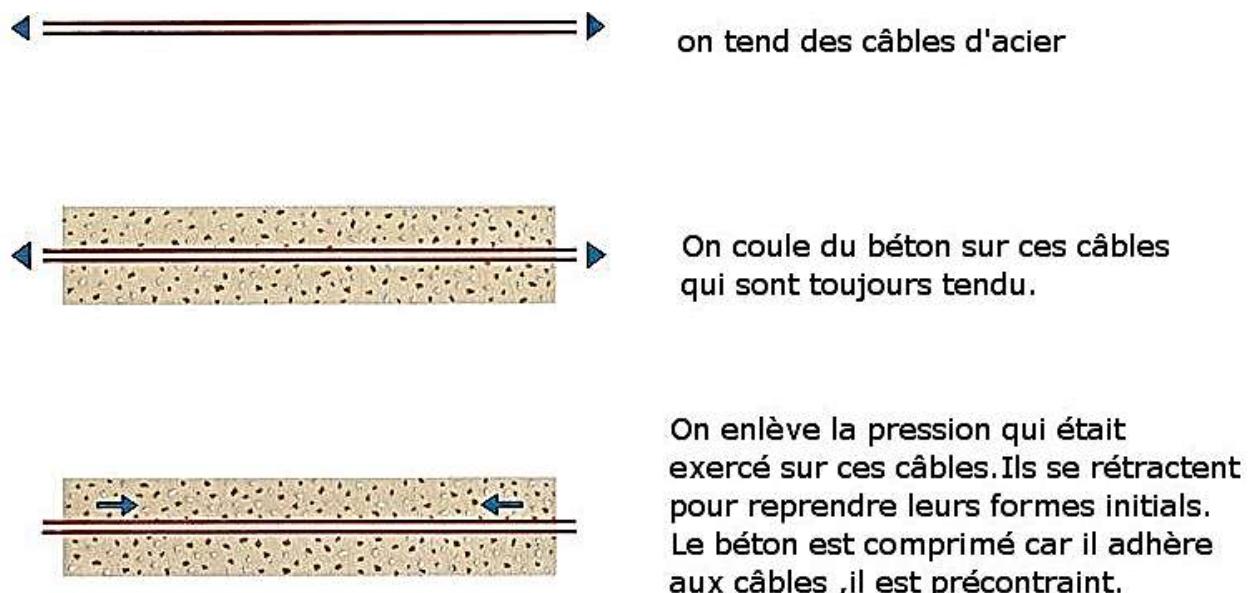


Figure : relatif au principe et au détail du Béton précontraint. Source : archives auteur.

Dans cette méthode, les armatures sont mises en tension avant la prise du béton. Par la suite elles sont relâchées, mettant ainsi le béton en compression par simple effet d'adhérence.

Cette technique ne permet pas d'atteindre des valeurs de précontrainte aussi élevées qu'en post-tension.

III.2. Précontrainte par post-tension

Cette fois on doit mettre les câbles dans des gaines incorporées au Béton. Après le durcissement du béton les câbles sont tendus au moyen de vérins de manière à comprimer l'ouvrage au repos. À la pré-tension l'acier de précontrainte est installé et mise en tension en chantier à la position final de l'élément.

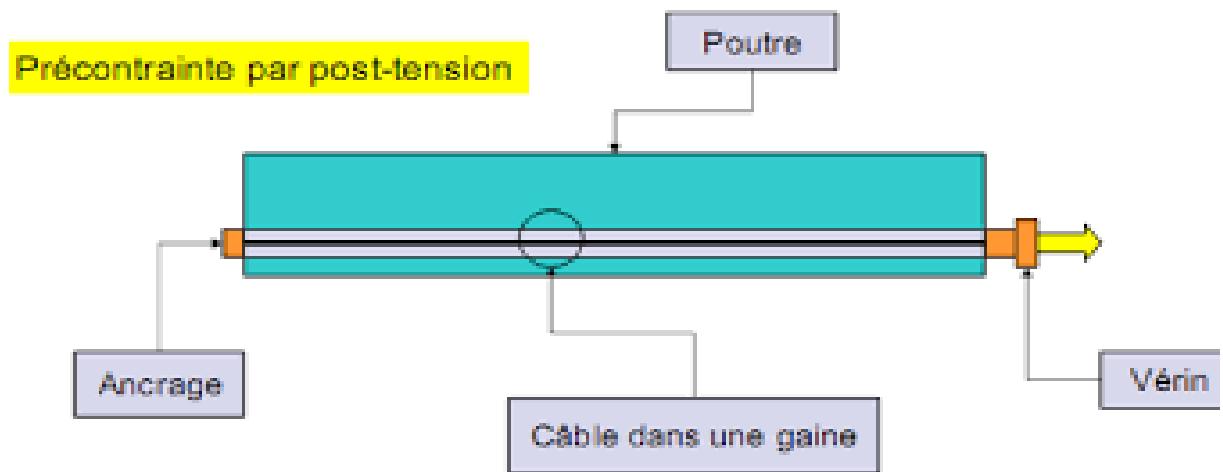


Figure : relatif au principe et au détail du Béton précontraint par post-tension. Source : archives auteur.

III.3. Les étapes de la méthode de précontrainte par pré-tension sont (Abdelaziz Yazid, 2005) :

- *nettoyage des moules*
- *mise en place d'huile de décoffrage sur les moules*
- *déroulement des armatures actives et blocage aux extrémités dans des plaques*
- *mise en place des armatures passives*
- *mise en place des moules dans leur position finale*
- *mise en place des déviateurs éventuels*
- *mise en tension des armatures par des vérins*
- *mise en place du béton par pont-roulant ou grue*
- *lissage de la partie supérieure*

- vibration du béton
- étuvage ou chauffage du béton
- décoffrage
- dé-tension des armatures actives
- découpage des fils situés entre deux éléments préfabriqués
- manutention et stockage

III.4. Les étapes de la méthode de précontrainte par post-tension sont (Abdelaziz Yazid, 2005) :

- Placement des gaines dans le coffrage.
- Coulage du béton
- Le durcissement du béton, la mise en tension des câbles.
- Le blocage se fait par différents systèmes de cales sur une zone de béton fretté.
- L'injection d'un coulis de ciment

III.5. Usage de précontrainte par post-tension



Figure : relatif au principe et au détail du Béton précontraint par post-tension. Source : archives auteur.

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
- NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
- DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
- BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
- GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
- PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
- VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
- BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
- KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
- OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
- BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
- VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
- GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
- ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ». Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
- J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
- « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Chapitre : Les granulats

Cours : Les granulats

I. Cours : Les granulats



Figure : relatif à la carrière des granulats. Source : archives auteur.

I.1. Les granulats

Les granulats se sont les matériaux qui compose le béton avec ses types ou le mortier de ciment avec ses types :

- Le sable
- Les graviers, gravillon ou cailloux.

C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être :

- naturelle
- artificielle
- ou provenant de recyclage

I.2. Granulats naturelles

Issus des roches concassées des gisements, sachant qu'elles ne subissant aucun traitement autre que mécanique. On touche trois catégories de granulats roulés dans la nature :

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.



Figure : relative différents types des granulats. Source : archives auteur.

I.2.1. Granulats artificiels

Proviennent de la transformation thermique des roches, de minéraux, des sous-produits industriels.

- L'argile expansée : également connue sous les termes d'argile cuite de galets.
- Laitier expansé : comme étant un granulat alvéolaire de nature cristalline provenant du refroidissement du laitier à l'air, en présence d'une quantité d'eau limitée,
- Le schiste expansé

I.2.2. Granulats recyclés

Des matériaux proviennent de la démolition des ouvrages existants en béton.

- **Granulats concassés (de carrières) :**

Ils proviennent du concassage de roches dures : calcaires durs, granites, porphyres, basaltes, ...etc.

I.3. Forme des granulats

La forme des granulats doit répondre à la maniabilité des bétons, « la forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère » et « évitant la forme plate ». Puisque la forme des granulats influent sur la facilité de mise en œuvre et le compactage du béton.



Figure : relative aux différents types des granulats. Source : archives auteur.

II. Classification des granulats selon la grosseur

Le granulat se caractérise par sa classe « d/D »; d : c'est la plus petite et D est la plus grande dimension relative aux grains. Selon leurs dimensions:

- « Fines » $< 0.08 \text{ mm}$
- « Sables » $d < 1\text{mm}$ et $0.08 < D < 6.3 \text{ mm}$
- « Gravillons » $d \leq 1\text{mm}$ et $D < 31.5 \text{ mm}$
- « Cailloux » $d \leq 20 \text{ mm}$ et $D < 80 \text{ mm}$
- « Graves » $6.3 \text{ mm} < D < 80 \text{ mm}$

III. Critères pour un bon choix des granulats

Le choix se passe par :

- La composition minéralogique des granulats (التركيبة المعدنية).
- Les caractéristiques géométriques des granulats (الخصائص الهندسية او الشكل).
- Les caractéristiques mécaniques des granulats (الخصائص المقاومة).
- Les caractéristiques physiques des granulats (الخصائص الفزيائية).
- L'état de surface des granulats (حالة اسطح الحبيبات). On parle ici à propos de « la rugosité des grains » (حالة زوايا الحبيبات) et « l'angularité des grains » (الخشونة)

Nature du béton ou de l'ouvrage	Massé volumique du béton	Nature des granulats	
Bétons classiques pour le chantier ou la préfabrication.	2200 à 2400 kg/m ³	Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico-calcaires.	
Bétons apparents, architectoniques.	2200 à 2400 kg/m ³	Les mêmes mais aussi les porphyres, basaltes, granites, diorites, qui offrent une palette très riche d'aspect et de teinte.	
Bétons légers	Pour structures Semi-isolant Semi-porteur Isolants	1500 à 1800 kg/m ³ 1000 à 1500 kg/m ³ 300 à 800 kg/m ³	Argile ou schiste expansé. Laitier expansé. Argile expansée, pouzzolane, ponce.
Bétons lourds		3000 à 5000 kg/m ³	Vermiculite, liège, bois polystyrène expansé, verre expansé.
Bétons réfractaires		2200 à 2500 kg/m ³	Corindon, barytine, magnétite. Corindon, déchets de produits réfractaires, briques silico-aluminéux, laitier, granulats spéciaux.
Bétons ou chapes pour dallages industriels (abrasion importante)	2400 à 3000 kg/m ³	Corindon, carborundum, granulats métalliques.	

Figure : Choix des granulats selon la fonction du béton / source: Responsable : Dr. Ghomari fouad / Préparé par Melle Lechgueur.

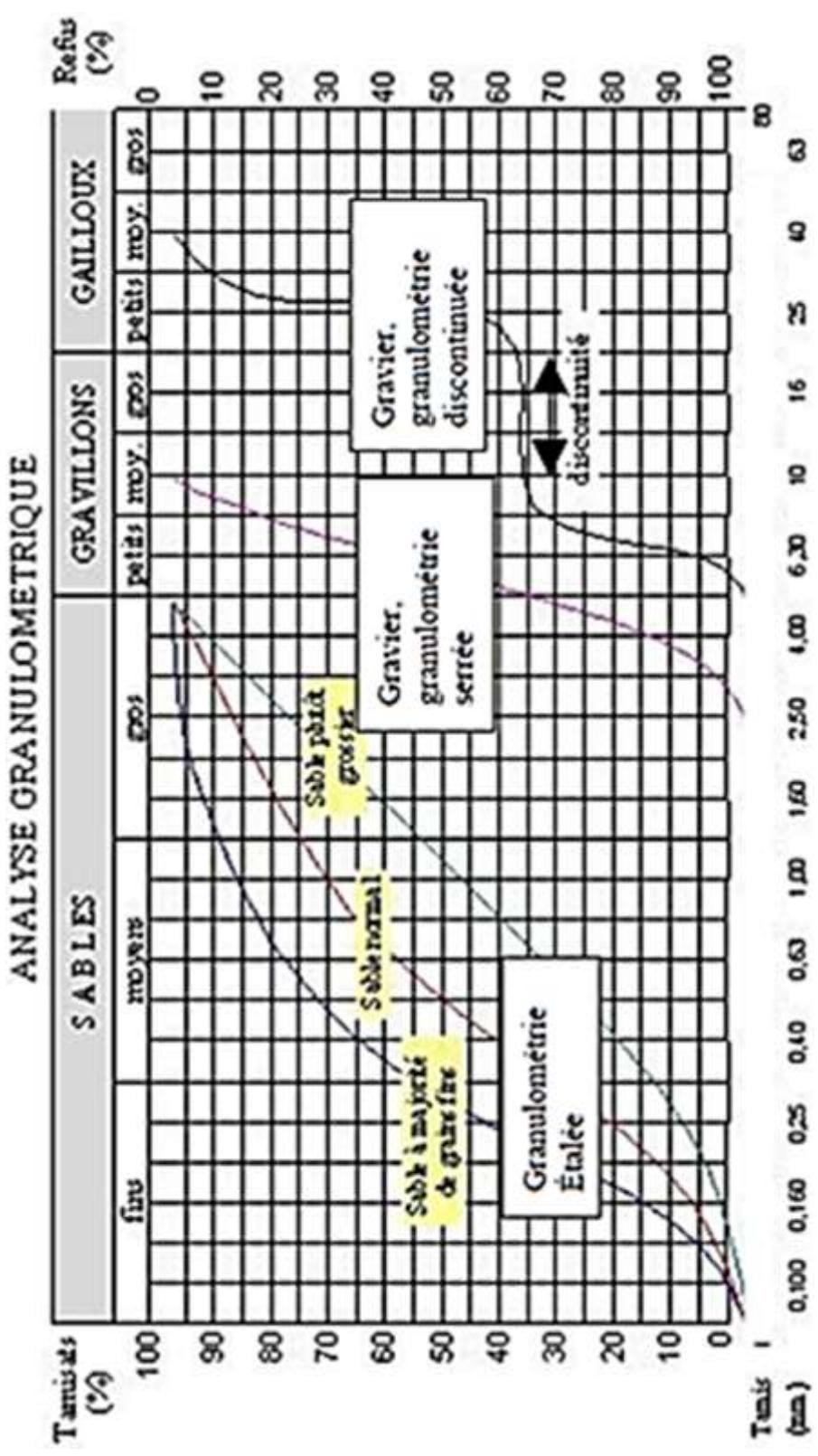


Figure : Quelques propriétés de la granulométrie tirées de courbes granulométriques. Source: Chapitre III : Les granulats site web : https://www.ensh.dz/files/Cours/1011/Mat%C3%A9riaux%20de%20construction/Chapitre_III_1es_Granulats.pdf

IV. Production des granulats

Pour produire les granulats on a cinq étapes :

- découverte et décapage
- l'extraction
- transfert pour traitement
- opérations de traitement
- remise en état pour exploitation

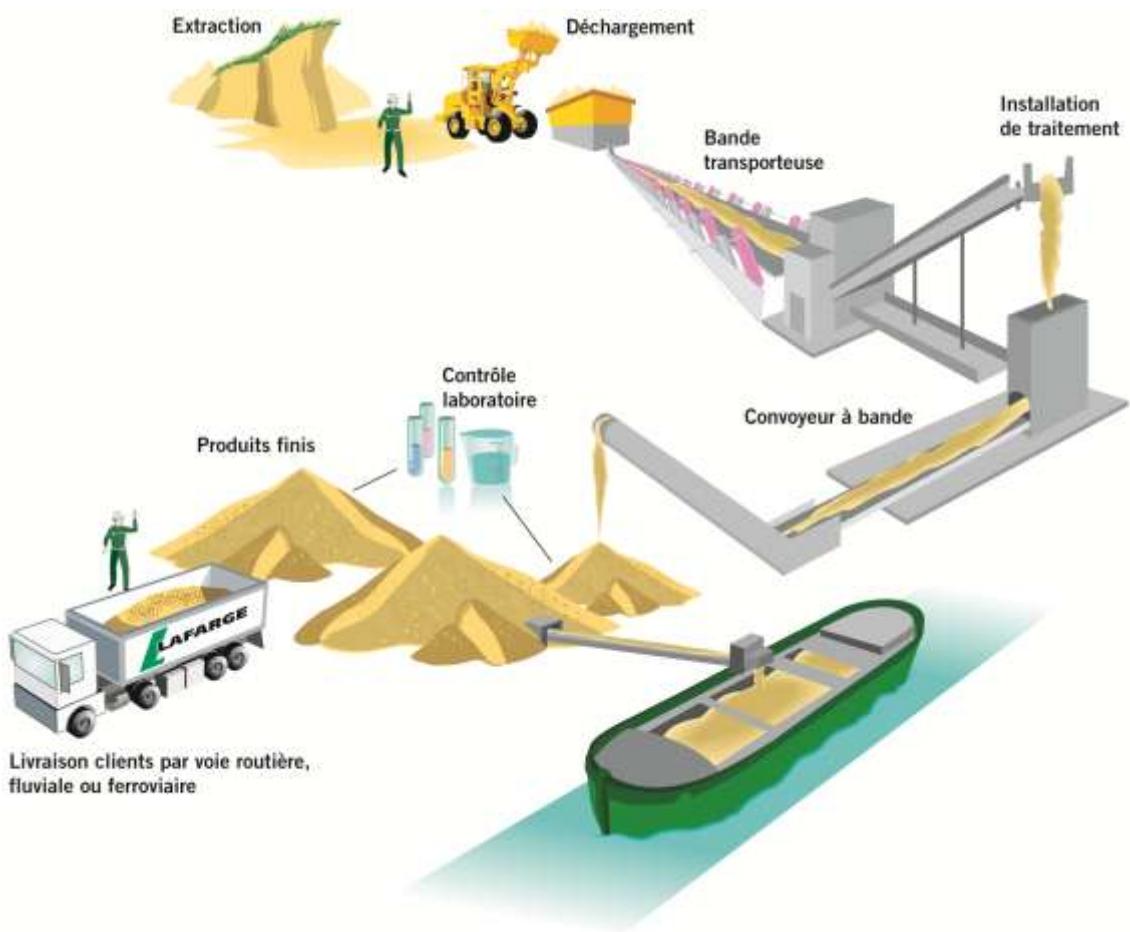


Figure : relative aux différentes étapes de production des granulats. Source : archives auteur.

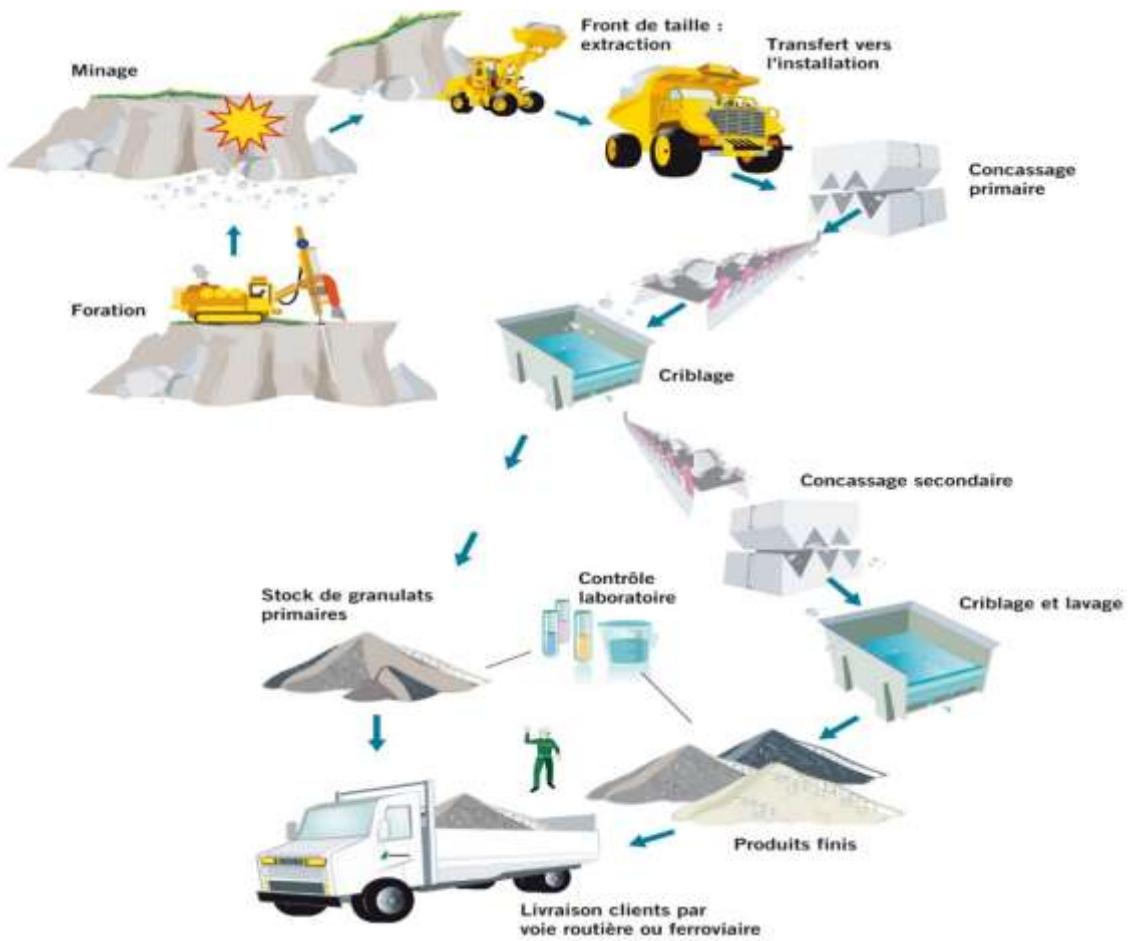


Figure : relative aux différentes étapes de production des granulats. Source : archives auteur.

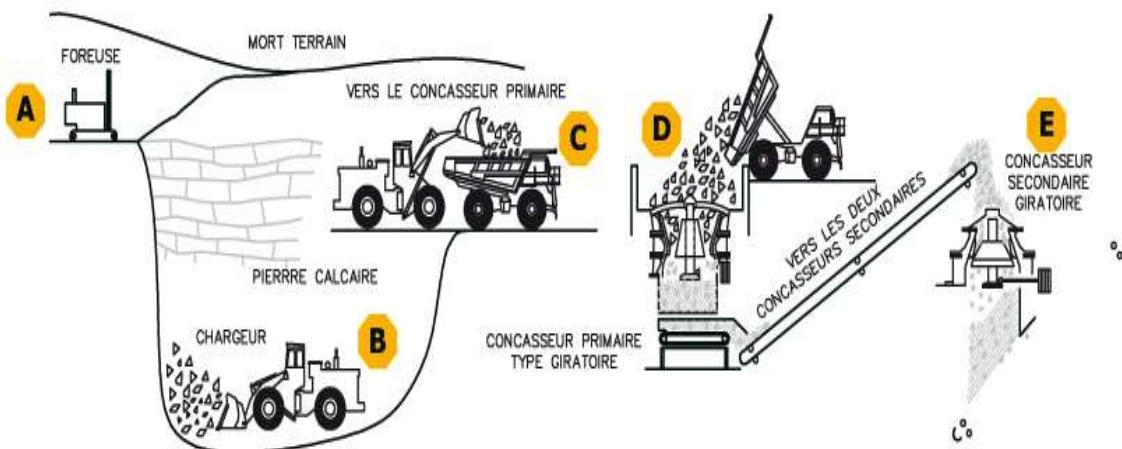


Figure : relative aux différentes étapes de production des granulats. Source : archives auteur.

IV.1 Récapitulation de la production des granulats



Figure : relative au Forage et Dynamitage. Source : archives d'auteur.



Figure : relative au Transport et concassage. Source : archives d'auteur.



Figure : relative au Criblage et mise en stockage. Source : archives d'auteur.

V. Résistance mécanique des granulats

V.1. L'essai Los Angeles

L'essai (N.F. P18.573) permet de mesurer les résistances combinées à « *la fragmentation* » par « *chocs* » et à « *l'usure par frottements* » réciproques des éléments d'un granulat.



Figure : relative à l'appareil Los Angeles. Source : archives l'auteur.



Figure : relative à l'utilisation de l'appareil Los Angeles. Source : archives l'auteur.

Roche d'origine	Dureté deval	Dilatation $\mu\text{m/m }^\circ\text{C}$	propriétés	Difficultés rencontrées	Possibilité d'emploi pour bétons
1-R.éruptives					
Granites	15 à 19	8 à 12	Dures et compactes.	Oui pour la Plupart	
Diorites	16				
Porphyres	16/17				
Basaltes	20		donc bonne résistance au gel		
2- R.métamorphiques					
Quartzites	17 à 20	10	Durs et compacts, inattaquables chimiquement.	Granulats de qualité utilisés pour les parements	
					Oui.
Marbres	15 à 20	10/12	Sensibles au gel.	Uniquement Schistes durs	
Schistes					
gneiss				Oui si stables.	
3- R.sédimentaires					
Calcaires	12 à 15	6 à 8	Bonne adhérence au mortier.	Oui.	
dolomies	10 à 12			Possible après essais préalables.	

Tableau : relative à l'aptitude des principaux granulats à leur emploi selon la roche d'origine /
source: Responsable : Dr. Ghomari fouad / Préparé par Melle Lechgueur.

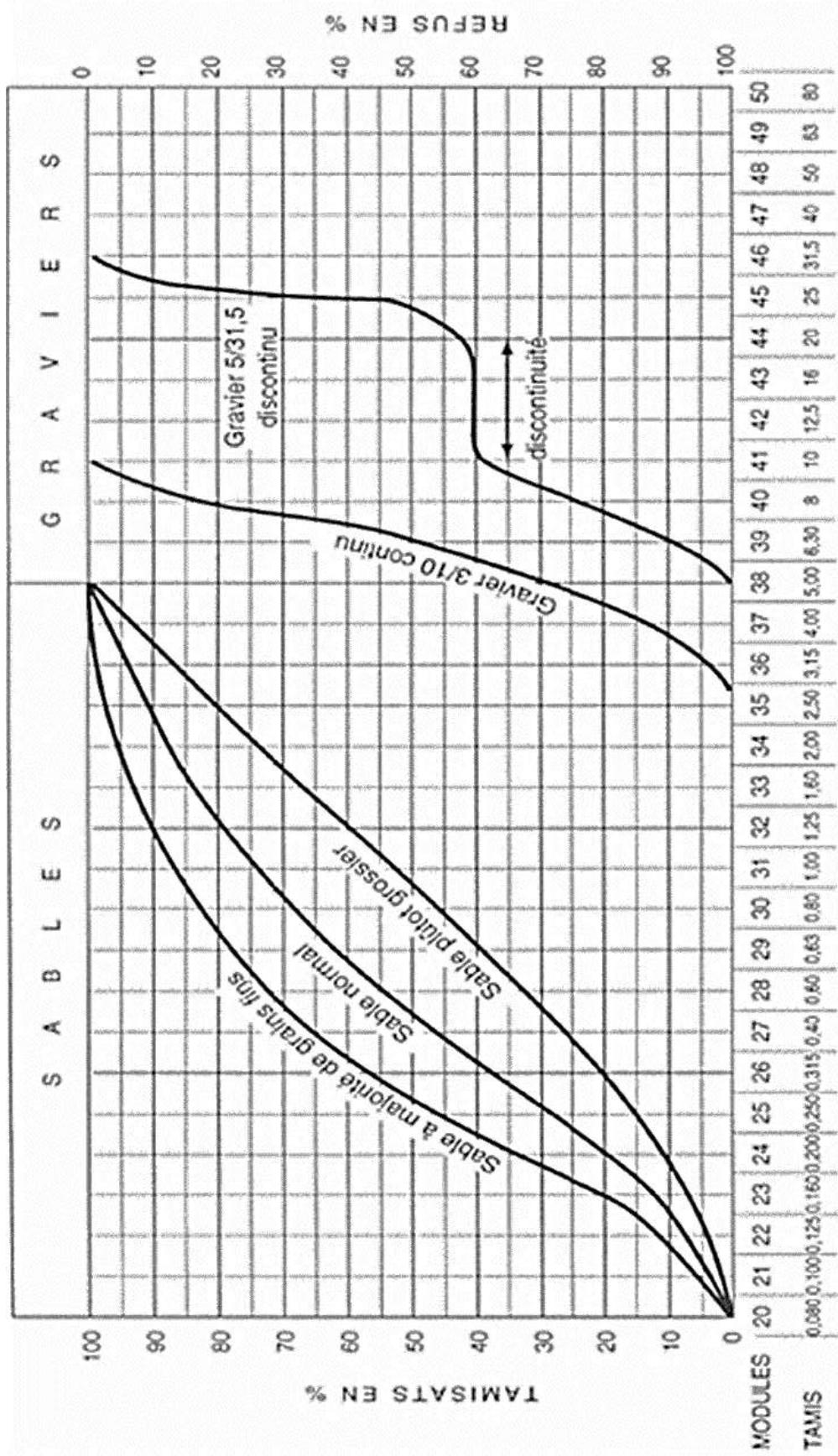


Figure : courbes granulométriques de quelques granulats / source: Responsable : Dr. Ghomari fouad / Préparé par Melle Lechgueur.

V.2. L'Essai Deval : « l'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits dans la machine à cylindres deval par les frottements réciproques et les chocs modérés des éléments d'un échantillon d'essai. la norme décrit la machine deval, le prélèvement d'échantillon et l'exécution de l'essai. annule et remplace le mode opératoire LCPC : essai deval sec et humide DIRR 2373 » source: site web: <https://trid.trb.org/view/1051724>



Figure : relative à l'utilisation de l'appareil Deval. Source : archives l'auteur.

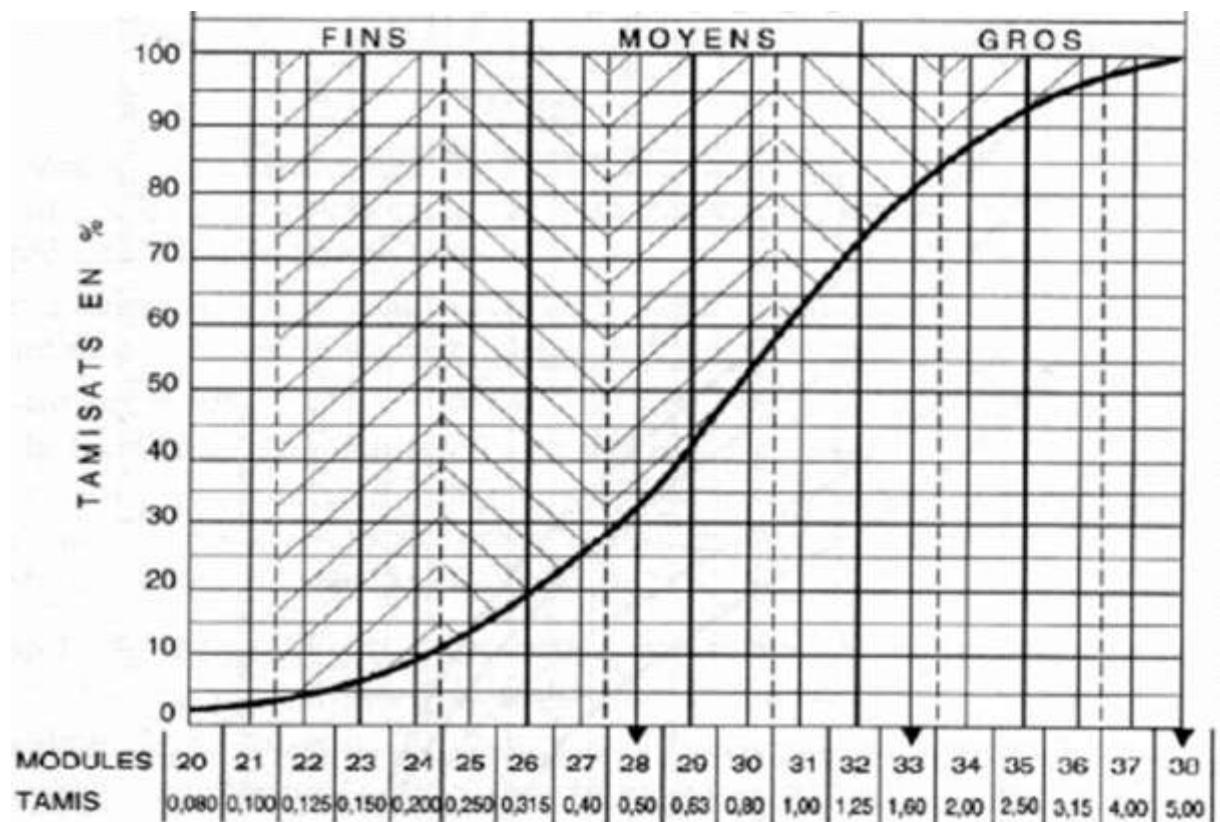


Figure : Module de finesse(sables) / La granularité sur la série des tamis(mm):0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5. / Source : Responsable : Dr. Ghomari fouad / Préparé par Melle Lechgueur.

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
 - NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
 - DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
 - BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
 - GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
 - PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
 - VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
 - BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
 - KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
 - OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
 - BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
 - VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
 - GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
 - ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ».
- Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
 - J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
 - « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.

Chapitre : Les adjuvants

Cours : Les adjuvants

I. Cours : Les adjuvants

I.1. Les adjuvants

L'utilisation des adjuvants est pour améliorer et d'optimiser les caractéristiques des bétons soit en état frais ou en état durcis. Il en résulte des avantages techniques et économiques.

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland vers 1850, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre, déjà connu comme retardateur de prise, est souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante, fruit d'une expérimentation progressive.

Le développement important des adjuvants nécessite la création en 1964, de la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton). Elle a pour mission l'agrément et le contrôle des adjuvants et la mise à jour d'une liste officielle.

En 1968, est créé le SYNAD (Syndicat National des Adjuvants) avec pour vocation de développer et faire connaître les adjuvants. Source: <https://www.infociments.fr/betons/adjuvants>

I.2. Rappel sur le béton

Le béton est un matériau qui se compose en gâchant du granulat (sable, gravier ... etc.) de l'eau et du ciment. Pour améliorer les caractéristiques de ce dernier, on ajoute des adjuvants (moins de 5 % de la masse de ciment).

Dans la situation où le béton est frais, il doit présenter la qualité de consistance. Et en état où le béton est durci, il doit pour sa part atteindre les caractéristiques de résistances exigées par les normes.

I.3. Un mètre cube de béton frais contient

- 1700 kg de granulat (sable et de gravier: de 75 à 85%)
- 300 à 350 kg de ciment (de 10 à 15%)
- 140 à 170 litres d'eau (de 5 à 10%)



Figure : le béton en cours de coulage. Source : archives d'auteur.

Le dosage du béton pour 1m3

Le dosage du béton pour 1m3 n'est pas défini spécifiquement. Cependant, les approximations de volume donnent ceci:

Béton en volume

Pour la fondation ou terrasse	Béton pour la pose de poteaux
• Ciment: 1	• Ciment: 1
• Sable: 2,5	• Sable: 2
• Gravier: 3,5	• Gravier: 3
• Eau: 0,5	• Eau: 0,5

Calcul du dosage béton 1m3

Béton pour fondation ou terrasse	Béton pour la pose de poteaux
• Ciment: 350 kg	• Ciment: 350 kg
• Sable: entre 800 kg et 850 kg	• Sable: entre 675 kg et 725 kg
• Gravier: entre 1150 kg et 1250 kg	• Gravier: entre 1000 kg et 1100 kg
• Eau: 175 L	• Eau: 175 L

Figure : différentes méthodes de dosage du béton. Source : site web :

<https://www.artisanbeton.fr/dosage-beton-1m3.html>

Un m3 de béton pèse 2,5 tonnes.

A titre d'exemple, 1 m3 de béton est composé de 350 kg de ciment, de 700 kg de sable, de 1 200 kg de gravillons et de 150 litres d'eau.

La mise au point de la composition se fait soit à partir d'études graphiques, soit de façon expérimentale. Ces méthodes sont basées sur la recherche d'une compacité maximale du béton.

I.4. Recommandations relatives à la qualité du béton

Pour avoir une bonne qualité du béton il doit avoir :

- Une bonne résistance, cela veut dire moins de porosité, c'est-à-dire, juste la quantité d'eau nécessaire pour la consistance du béton.

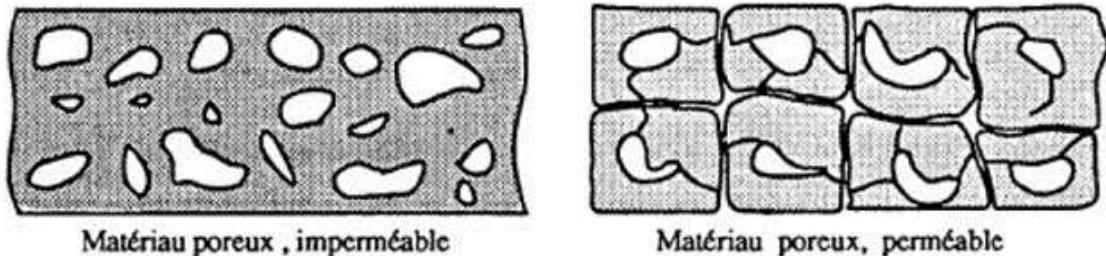


Figure : démonstration d'un échantillon du béton. Source : archives d'auteur.

- Une bonne ouvrabilité sans avoir une quantité d'eau en plus.
- Une bonne mise en œuvre.
- Une prise dans le temps idéal.
- Un durcissement dans le temps idéal.
- D'autres avantages selon la demande.

II. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits liquides qu'o les ajoutent en faible quantité au mélange de : ciment, sable, gravier et d'eau lors du gâchage pour optimiser les caractéristiques du béton voulu.

- Amélioration de la durabilité du béton
- Optimisation de l'ouvrabilité du béton

II.1. Type des adjuvants

- Adjuvant plastifiant : réducteur d'eau
- Adjuvant super-plastifiant : haut réducteur
- Adjuvant retardateur de prise
- Adjuvant accélérateur de prise
- Adjuvant accélérateur de durcissement
- Adjuvant hydrofuge de masse

II.1.1 D'autres types des adjuvants (Source: <http://www.guidebeton.com/composition-beton>

- Adjuvant rétenteur d'eau
- Adjuvant entraîneur d'air
- Adjuvant antigel
- Adjuvant inhibiteur de corrosion (تآكل)
- Adjuvant régulateur de viscosité (اللزوجة)
- Adjuvant réducteur de retrait
- Adjuvant réducteur de bullage
- Adjuvant de cure interne
- Adjuvant hydrophobe

Voir la Source: <http://www.guidebeton.com/composition-beton>

- *Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton.*
- *Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton.*
- *Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer (بدون تغيير خصائصه).*
- *Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer (بدون تغيير خصائصه).*
- *Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité.*
- *Super-plastifiant :*
- *Fonction fluidifiant : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance.*
- *Fonction réducteur : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.*
- *Entraîneur d'air : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide.*
- *Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.*
- *Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.*

Bibliographie

- MEZGHICHE. B, CHBILI. R, ATACH. S et MAEKOUF. Z.. « Etude des propriétés physico – mécaniques du béton et du ciment à base de laitier ». Séminaire national de Génie Civil. El'Msila, Novembre 1997.
 - NASRI. A, BELAGRAE. A et ISSAED. A.. « Influence du laitier des hauts fourneaux sur la résistance des mortiers et des bétons ». Séminaire maghrabiène de Génie Civil. Biskra, Novembre 1998. pp. 313 – 322.
 - DAVISON. J. I.. « Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche. Canada,1975. Site Web : <http://www.nrc.ca/irc/cbd-f.html>
 - BRAHMA. A.. « Analyse des variations dimensionnelles spontanées des mortiers d'enduits traités aux liants hydrauliques ». Séminaire international. Ghardaia, mars 1994. pp 77 – 84.
 - GATTECHE. M.N, HOUARI. H.. « Caractérisation et activation des laitiers de haut fourneau d'El Hadjar par le clinker ». Revue de sciences et technologie N0 15. Université Mentouri, Constantine 2001. pp 131 – 135.
 - PAPADAKIS. M, VENUAT. M.. « Industrie de la chaux, du plâtre et du ciment ». Edition Dunod, Paris 1970.
 - VENUAT. M.. « La pratique des bétons et des ciments ». Edition du moniteur, Paris 1976.
 - BOUTT. Y. M, CETCHOV. M. M et TIMACHEV. V. V.. « Technologie chimique des liants minéraux ». Moscou 1980.
 - KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ». Moscou, édition Mir, 1975.
 - OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.
 - BEHIM. M.. « Utilisation du laitier granulé d'El Hadjar pour la fabrication du ciment » Thèse de magister. Université Badji Mokhtar, Annaba 1988.
 - VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981.
 - GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ». Tome 2. Eyrolles 1978.
 - ARABI. N.. « Etude des briques silico – calcaires à base de laitier granulé ».
- Thèse de magister. Université Badji Mokhtar Annaba, 1988.
- Site Web : <http://www.ecotrade.net>
 - J. P. LATTEUR.. « Les ciments belges composition et classification suivant la norme NBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996. Site Web : <http://www.febelcem.be>
 - « Cimbéton ». Documentation technique éditée par le centre d'information sur le ciment et ses applications. Paris, France 1994.

- Dreux. G.. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- « Clauses techniques – ciments – CT 2/1994 (composition et spécifications) ».

Administration des Ponts et Chaussées. Service du laboratoire d'essais des matériaux.

Site Web : <http://www.etat.lu/PCH/public/structureorg/labomater/publications/clauses/ct2.html>

- DREUX. G et FESTA. J.. « Nouveau guide du béton et ses constituants ».

8eme édition. France, Eyrolles 1998.

- OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.

Edition EM, 1978.

- « les mortiers ». <http://www.yahoo.com/search/fr?p=les+mortiers.html>
- TOUTLEMONE. G.. « Notions pour les matériaux de constructions et la pratique des travaux ». 7eme édition. Paris, Eyrolles 1974.
- DUPAIN. R, LANCHON. R et SAINT-ARROMAN. G. C.. « Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de Génie Civil par les essais de laboratoires ». Edition Castella, 1995.
 - HENRY THONIER. «Le béton précontraint aux états limites». Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1992).
 - ROBERT CHAUSSIN. «Béton précontraint ». Technique de l'ingénieur, C2-360, (1992).
 - P. JARTOUX, B. FARGEOT, C. TOURNEUR. «Béton précontraint: Techniques de mise en oeuvre». Technique de l'ingénieur, C2 372 (2000).
 - ABDELAZIZ YAZID. «Béton précontraint: Cours et exercices». Université de Bechar. (2006).
 - CHERAIT YACINE. «Le béton précontraint aux états limites». Direction de la production universitaire de Guelma, DPUG (2004).
 - ANDRE PICARD. «Le béton précontraint: Tome I, Principes fondamentaux et dimensionnement». Edition Chicoutimi, Québec (1983). ISBN 2-89105-102-5
 - «Le Béton précontraint ». Technique de l'ingénieur, TBA 1034, (2005).
 - P. PAILLUSSEAU, A.L. MILLAN, V. Le KHAC, J.P. GILCART. «Ponts à poutres précontraintes par post tension». SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES, SETRA (1996).
 - «Ponts dalles à nervures en Béton précontraint». SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES, SETRA (1992).
 - A. K. SENGUPTA, D. MENON. «Prestressed concrete structures». Indian institue of technology Madras.
 - J. FUENTES. «La précontrainte dans le bâtiment». Eyrolles (1983).

- A. E. NAAMAN. «Prestressed concrete analysis and design». Mac Graw Hill (1983).
- AURELIO MUTTONI. «Conception et dimensionnement de la précontrainte». Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (2012).