

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE
CONSTRUCTION

MODULE 1 :
CONSTITUANTS DU BETON

2ème présentation : LES CIMENTS

SOMMAIRE

- **Définitions et historique**
- **Composition**
- **Fabrication du ciment,**
- **Caractéristiques**
- **Différents types de ciments,**
- **Environnement réglementaire et normatif**
- **Situation au Maroc**
- **Ciments et chantiers**

DEFINITION ET HISTORIQUE

➤ **Le ciment est une poudre minérale, dont la propriété est de durcir sous l'eau. De ce fait le ciment Portland est appelé liant hydraulique.**

➤ **Les Romains connaissaient déjà le secret de la production d'un matériau hydraulique dense et durable en mélangeant de la chaux avec des matériaux de l'origine volcanique pour former du silicate de calcium hydraté, très semblable à celui qu'on retrouve dans la pâte du ciment hydratée.**

➤ **Les connaissances des Romains furent perdues et ne furent retrouvées qu'à la fin de 18e siècle.**

DEFINITION ET HISTORIQUE

➤ **1824 : L'écosseais "Aspdin" prit un brevet d'invention, sur la fabrication d'un liant à partir d'un mélange de chaux et d'argile qu'il appela "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. C'est le premier ciment.**

➤ **XXe siècle a ouvert la voie aux ciments artificiels qui prendront progressivement le pas sur les chaux . L'accélération sera plus manifeste à l'issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d'éléments préfabriqués et, n'utilisant plus les chaux. C'est l'époque charnière où la chaux est en passe d'abandon.**

DEFINITION ET HISTORIQUE

➤ **Le développement n'a pu s'effectuer que grâce à l'apparition de matériels nouveaux : fours rotatifs et broyeurs à boulets en particulier.**

Les procédés de fabrication n'ont pas cessé de se perfectionner. Pour produire une tonne de clinker, constituant de base du ciment, il fallait en 1870 : 40 heures, actuellement, il faut environ 3 minutes.

COMPOSITION

Les principaux constituants du ciment Portland sont:

- **Le silicate tricalcique (Alite) (C₃S) 3CaO.SiO₂**
- **Le silicate bicalcique (Bélite) (C₂S) 2CaO.SiO₂**
- **L'aluminate tricalcique (Célite) (C₃A) 3CaO.Al₂O₃**
- **Le ferroaluminate tétracalcique (C₄AF) 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃**

Constituants	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF
(%)	7 - 30	50- 75	0 - 20	0 - 16

HYDRATATION DES CIMENTS

- Les constituants anhydres donnent en présence d'eau naissance à des silicates et aluminates de calcium hydratés
- Formation d'un gel micro-cristalin à l'origine du phénomène de prise : c'est le développement et la multiplication de ces micro-cristaux dans le temps qui expliquent l'augmentation de la résistance mécanique des bétons.
- Dans son évolution, la pâte de ciment passe par trois phases:
 - Phase dormante : c'est la phase où la pâte reste en apparence inchangée pendant un certain temps (de quelques minutes à quelques heures)

HYDRATATION DES CIMENTS

- **Phase de début et fin de prise : Phase caractérisée par l'augmentation brusque de la viscosité de la pâte de ciment. La fin de cette phase correspond à l'obtention d'un matériau rigide (Durée de prise de ciment mesurable au laboratoire).**
- **Phase de durcissement : phase durant laquelle l'hydratation du ciment se poursuit et se caractérise par une augmentation sensible de la résistance mécanique. La valeur caractéristique est celle obtenue à 28 jours.**

FABRICATION DES CIMENTS

➤ le constituant principal du ciment est le clinker. Il est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié constitué en majorité de calcaire (75-80%) et complété par d'autres matériaux (argile, sable, oxyde de fer ...etc.). En effet, le calcaire n'est pas assez impur pour contenir les quantités adéquates d'oxydes, pour assurer une bonne composition de matières crues pour l'alimentation du four. Par conséquent, il est nécessaire d'ajouter au calcaire d'autres matières qui fourniront les quantités d'oxydes manquantes.

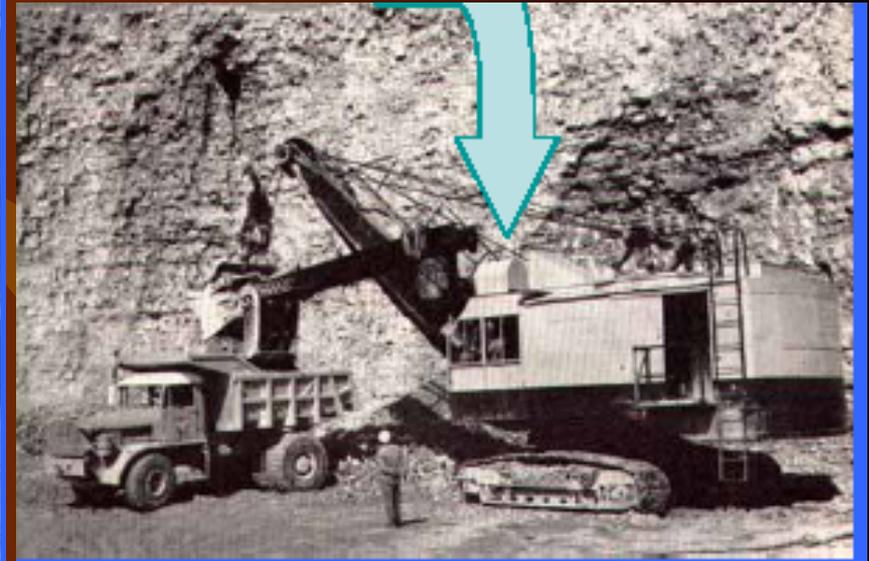
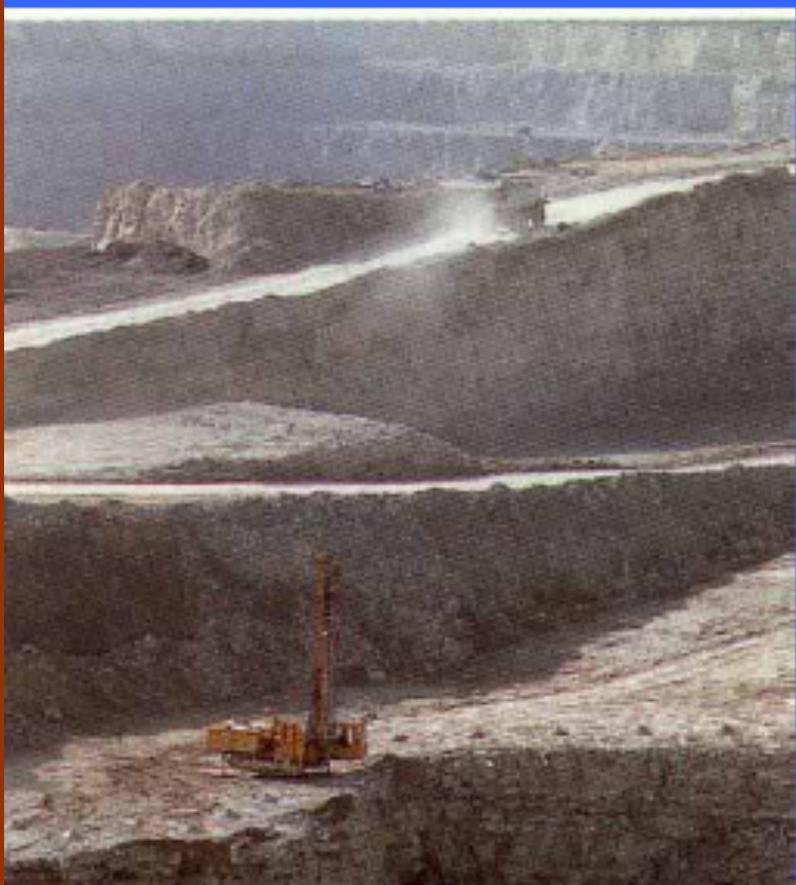
➤ Etude d'optimisation de la composition chimique.

EXTRACTION ET CONCASSAGE

- Les matières premières sont généralement extraites de carrières à ciel ouvert.
- Les éléments sont concassés en éléments de diamètre maximal de 50mm.
- Les grains de calcaire et d'argile sont intimement mélangés par broyage et malaxage complétées par d'autres matériaux conformément aux proportions définies dans l'étude de la matière première.
- Le mélange est préparé automatiquement sous forme de poudre (voie sèche) ou de pâte (voie semi-humide ou humide) en fonction de la technique utilisée.
- La voie sèche est la technique la plus utilisée.

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

EXTRACTION ET CONCASSAGE



PREHOMOGENEISATION

- la préhomogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment par superposition de multiples couches dans des halls de préhomogénéisation.
- A la sortie du hall, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs pour éliminer l'humidité résiduelle et obtenir une poudre appelé (cru) avec la finesse requise.
- Le cru est à nouveau homogénéisé et stockés dans des silos avant l'introduction au four.

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

HALL DE PREHOMOGENEISATION



CUISSON OU CALCINATION

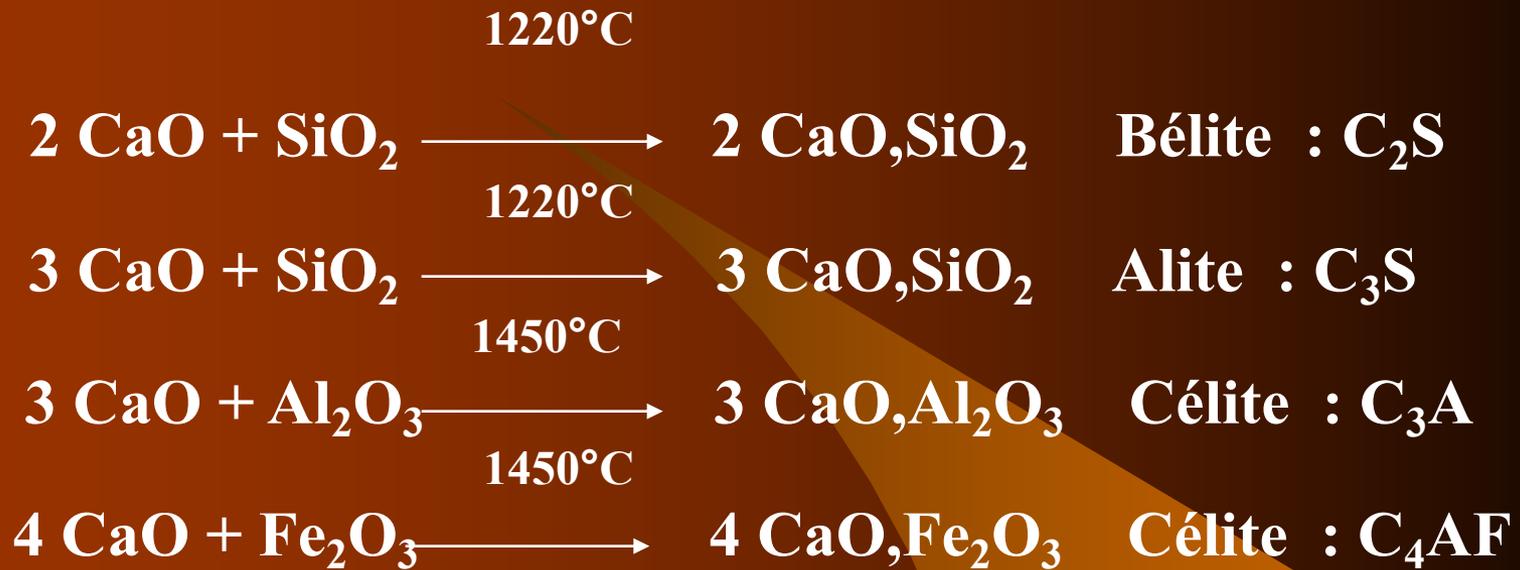
Quelque soit la technique utilisée pour la préparation du cru, la phase de cuisson comporte deux parties :

- **un échangeur de chaleur comportant 4 à 5 cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieur jusqu'à l'entrée du four, elle se réchauffe progressivement en contact avec les gazs sortant du four et se décarbonate en partie.**
- **La poudre est ainsi portée d'environ 50°C à 1000°C en un temps très court.**

CUISSON OU CALCINATION

- Le mélange est ensuite introduit au four rotatif (1450°C). Il s'agit d'un four horizontal cylindrique en tôle d'acier avec revêtement réfractaire de 60 à 150m de longueur et de 4 à 5 m de diamètre. Il tourne à une vitesse de 1 tour/minute
- A ce stage, on atteint la phase de clinkérisation: il y'a formation des principaux composants du clinker.
- En effet, sous l'effet de la chaleur, les constituants d'argile ou d'autres matériaux (silicates d'alumine et d'oxyde de fer) se combinent avec la chaux provenant du calcaire pour donner lieu aux silicates et aluminates de chaux

CUISSON OU CALCINATION



BROYAGE ET STOCKAGE

- A la sortie du four le clinker tombe sur des refroidisseurs à grille qui ramène sa température à 70°C. ce choc thermique donne naissance à des granulats de diamètres variant entre 1 et 10mm.
- Le clinker est acheminé vers les trémies des broyeurs où il est finement broyé avec 3 à 5% de gypse pour régulariser sa prise.
- Dans certains cas, en plus du gypse, on ajoute d'autres constituants tels que : le laitier des hauts fourneaux, les pouzzolanes, les cendres volantes ou les fillers pour l'obtention des différents types de ciment.

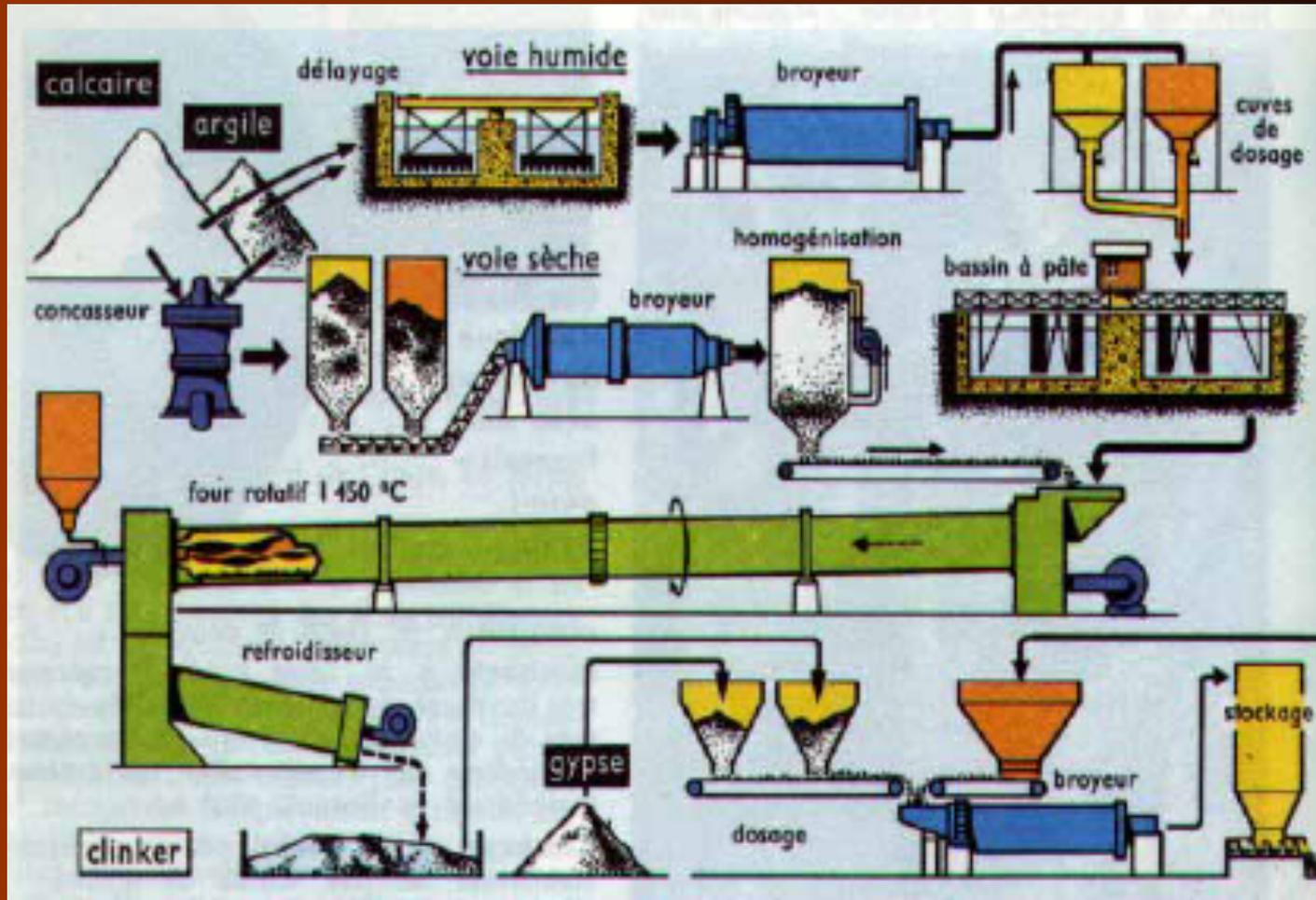
BROYAGE ET STOCKAGE

Le ciment peut être stocké selon deux modes :

- **stockage en vrac en silos, le transport entre usine et le site d'utilisation se fait dans des camions, trains ou par bateau.**
- **Stockage en sacs en palettes, le transport est réalisé généralement par camions.**

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

SCHEMA DES DIFFERENTES PHASES DE PRODUCTION DU CIMENT



CARACTERISTIQUES DES CIMENTS
(NM.10.1.004)

• Caractéristiques mécaniques :

Les résistances sont mesurées sur mortier normal ou pâte normale; les valeurs minimales et maximale exigés sont données comme suit :

Classe	Résistance mécanique garantie (MPa)		
	2 jours	28 jours (Li)	28 jours (Ls)
35	-	22,5	45
45	-	32,5	55
45 R	≥13,5	32,5	55
55	-	42,5	65
55 R	≥20	42,5	65
65	-	52,5	-
65 R	≥30	52,5	-

CARACTERISTIQUES DES CIMENTS
(NM.10.1.004)

• Caractéristiques physiques

Finesse blaine

Paramètre qui caractérise la surface spécifique des grains de ciment (cm^2/g)
Il doit être au moins $2200 \text{ cm}^2/\text{g}$ pour les classes 35 et 45 et de $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$
pour les autres classes.

Temps de début de prise

Il doit être au moins 90 mn pour les classes 35 et 45 et 60mn pour les autres
classes.

Retrait :

$< 800 \mu\text{m}/\text{m}$ pour la classe 35 et 45 et $< 1000 \mu\text{m}/\text{m}$ pour les autres classes

• Caractéristiques Chimiques

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

1- Ciment Portland Artificiel (CPA)

Composition :

résulte du broyage du clinker et du sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) pour régulariser la prise, et éventuellement de fillers en faible quantité (<3%). La teneur en clinker est au minimum 95%.

Domaine d'utilisation :

Les CPA ordinaires conviennent pour des travaux de toute nature; béton armé ou béton précontraint. Par contre, leurs caractéristiques n'en justifient pas l'emploi pour les travaux de maçonnerie courante et les bétons de grande masse ou faiblement armé.

Les CPA "Rapide", conviennent pour les mêmes travaux; mais permettent un décoffrage rapide, appréciable notamment en préfabrication.

Les CPA 65 et 65R conviennent pour les travaux de B.A. et B.P.pour lesquels est recherchée une résistance exceptionnelle.

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

2- Ciment Portland Composé (CPJ)

Composition :

résulte du mélange de clinker en quantité au moins égale à 65% et d'autres constituants tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes ou fillers (un ou plusieurs) dont le total ne dépasse pas 35%.

Domaine d'utilisation :

Les CPJ 35 conviennent bien pour les travaux de maçonnerie et les bétons peu sollicités. Les CPJ 45 et 55 conviennent pour les travaux de toute nature en béton armé ou précontraint.

De façon générale, les CPJ sont bien adaptés pour les travaux massifs exigeant une élévation de température modérée, les routes et le béton manufacturé.

Les sous classe "R" (rapide) sera préférée pour les travaux exigeant de hautes résistances initiales (décoffrage rapide, préfabrication).

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

3- Ciments au laitier

Composition :

Trois types de ciments comportent des pourcentages de laitier assez importants; il s'agit du ciment de laitier au clinker (CLK), du ciment au laitier et aux cendres (CLC), du ciment de Haut-fourneau (CHF).

Type	Clinker	Laitier	Cendres
CLK	< 20%	>80%	-
CLC	20-65%	18-50 %	18-50 %
CHF	20-65%	35-80%	-

Domaine d'utilisation :

Ces ciments sont bien adaptés aux

- travaux hydrauliques, souterrains, fondations et injection,
- travaux en eaux agressives : eau de Mer, eaux séléniteuses, eaux industrielles, eaux pures,
- ouvrages massifs : fondations, piles d'ouvrages d'art, murs de soutènement, barrages.

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

4- Ciment Pouzzolanique

Composition :

Il résulte d'un mélange de clinker et de matériaux pouzzolaniques, ces derniers peuvent être :

- d'origine naturelle (origine volcanique)
- d'origine industrielle (argiles et schistes traités et activés thermiquement).

Type	Clinker	Pouzzolanes
CPZ (A)	65-94	6-35
CPZ (B)	45-64	36-55

Domaine d'utilisation :

Même domaine d'utilisation que les CPA.

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

5- Ciments à maçonner (CM)

Composition :

résultent d'un mélange à proportions variables de constituants de liants hydrauliques (clinker, laitier, pouzzolane,...etc) avec une proportion d'inertes (< 50%). Le ratio de clinker doit être inférieur à 50% du poids des constituants actifs.

Domaine d'utilisation :

Ces ciments dont les résistances sont volontairement limitées par rapport aux ciments classiques, conviennent bien pour la confection de mortiers utilisés dans les travaux de bâtiment (maçonnerie, enduits, crépis, etc.).

Précautions particulières :

Ils peuvent également être employés pour la fabrication ou la reconstitution de pierres artificielles. Composition

Par contre, ces ciments ne conviennent pas pour les bétons à contraintes élevées ou les bétons armés. Aussi, ils ne doivent pas être utilisés en milieux agressifs.

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

6- Ciment Alumineux Fondu

Composition :

résulte de la cuisson jusqu'à fusion d'un mélange de calcaire et de bauxite, suivie d'une mouture sans gypse à une finesse comparable à celle des CPA.

Domaine d'utilisation :

Le ciment fondu est particulièrement adapté aux domaines suivants :

- travaux nécessitant l'obtention, dans un délai très court, de résistances mécaniques élevées (poutres et linteaux pour le bâtiment, sols industriels, etc.),
- sols résistants aux chocs, à la corrosion et aux forts trafics,
- ouvrages en milieux agricoles : canalisations, assainissement,
- fours, cheminées (bétons réfractaires),
- travaux de réparation, scellements (en mélange avec le ciment Portland pour la préparation de mortiers à prise réglable).

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

6- Ciment Alumineux Fondu

Caractéristiques garanties :

les résistances minimales sur mortier normal sont les suivantes :

Résistance	6 h	24 h	28 jours
Compression	30	50	65
Traction	4	5,5	6,5

Début de prise : minimum 1h30.

Le ciment fondu développe des résistances à court terme élevées grâce à un durcissement rapide. Il est très résistant aux milieux agressifs et acides (jusqu'à des pH de l'ordre de 4). Une chaleur d'hydratation élevée, liée à son durcissement rapide, permet au ciment fondu d'être mis en œuvre par temps froid (jusqu'à 10 °C). C'est également un ciment réfractaire (bon comportement jusqu'à 1300 °C),

DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS

7- Ciment Blanc

Composition :

la teinte blanche est obtenue grâce à des matières premières très pures (calcaire et Kaolin) débarrassées de toute trace d'oxyde de fer. Les caractéristiques sont analogues à celles des ciments Portland gris.

Domaine d'utilisation :

Grâce à sa blancheur, le ciment blanc permet la mise en valeur des teintes des granulats dans les bétons apparents.

La pâte peut être elle même colorée à l'aide de pigments minéraux, ce qui fournit des bétons avec une grande variété de teintes tant pour les bétons de structure que pour les bétons architectoniques et les enduits décoratifs.

La composition du béton doit être bien étudiée en fonction des granulats et des effets recherchés.

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

1- Réglementation Française et européenne

- Norme NF P 15-301 : 1994
- Norme de référence EN 197-1 : « Ciment - partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants » avril 2001, composé de trois rubriques :
 - Constituants du ciment,
 - Classe de résistance et spécification mécaniques et physico-chimiques
 - Critères de conformité et procédures de vérification (certification produits)
- Normes pour ciments spéciaux
 - pour travaux à la mer (PM) NF P 15-317
 - pour travaux en haute teneur en sulfate (ES) NF P 15-319
 - à teneur en sulfures limitée (CP) P 15-318

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET
NORMATIF

1- Réglementation Française et européenne

- Les ciments courants sont divisé en 5 types selon leur composition :
 - CEM I : Ciment Portland
 - CEM II : Ciment portland composé
 - CEM III : Ciment de haut Fourneau
 - CEM IV : Ciment pouzzolanique
 - CEM V : Ciment composé

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

depuis 1994		NF P 15-301	à partir de 2001	NF EN 197-1
Ciment Portland	CPA - CEM I	→	Ciment Portland	CEM I
			Ciment Portland au laitier	CEM II / A ou B - S
			Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II / A - D
			Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II / A ou B - P CEM II / A ou B - Q
Ciment Portland composé	CPJ - CEM II / A ou B	→	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II / A ou B - V CEM II / A ou B - W
			Ciment Portland aux schistes calcinés	CEM II / A ou B - T
			Ciment Portland au calcaire	CEM II / A ou B - L CEM II / A ou B - LL
			Ciment Portland composé	CEM II / A ou B - M(*)
Ciment de haut fourneau	CHF - CEM III / A ou B CLK - CEM III / C	→	Ciment de haut fourneau	CEM III / A, B ou C
Ciment pouzzolanique	CPZ - CEM IV / A ou B	→	Ciment pouzzolanique	CEM IV / A ou B(*)
Ciment au laitier et aux cendres	CLC - CEM V / A ou B	→	Ciment composé	CEM V / A ou B(*)

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET
NORMATIF

2- Réglementation Marocaine

- 1985 : Homologation de la Norme Marocaine NM 10.1.004 sur les Liants Hydrauliques.
- 1992 : Homologation de la circulaire relative au droit d 'usage de la marque de conformité aux Normes Marocaines sur les liants hydrauliques.
- Juin 2003 : Nouvelle norme marocaine NM.10.1.004

FORMATION SUR LES BETONS ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

2- Réglementation Marocaine

1985

CPA

Ciment Portland
Artificiel

CPJ

Ciment Portland
Composé

CM

Ciment à maçonner



2003

CPA

Ciment Portland Artificiel

CPJ

Ciment Portland Composé

CM

Ciment à maçonner

CPZ

Ciment pouzzolanique

CHF

Ciment haut fourneaux

CLC/
CLK

Ciment au laitier

ENVIRONNEMENT REGLEMENTAIRE ET
NORMATIF

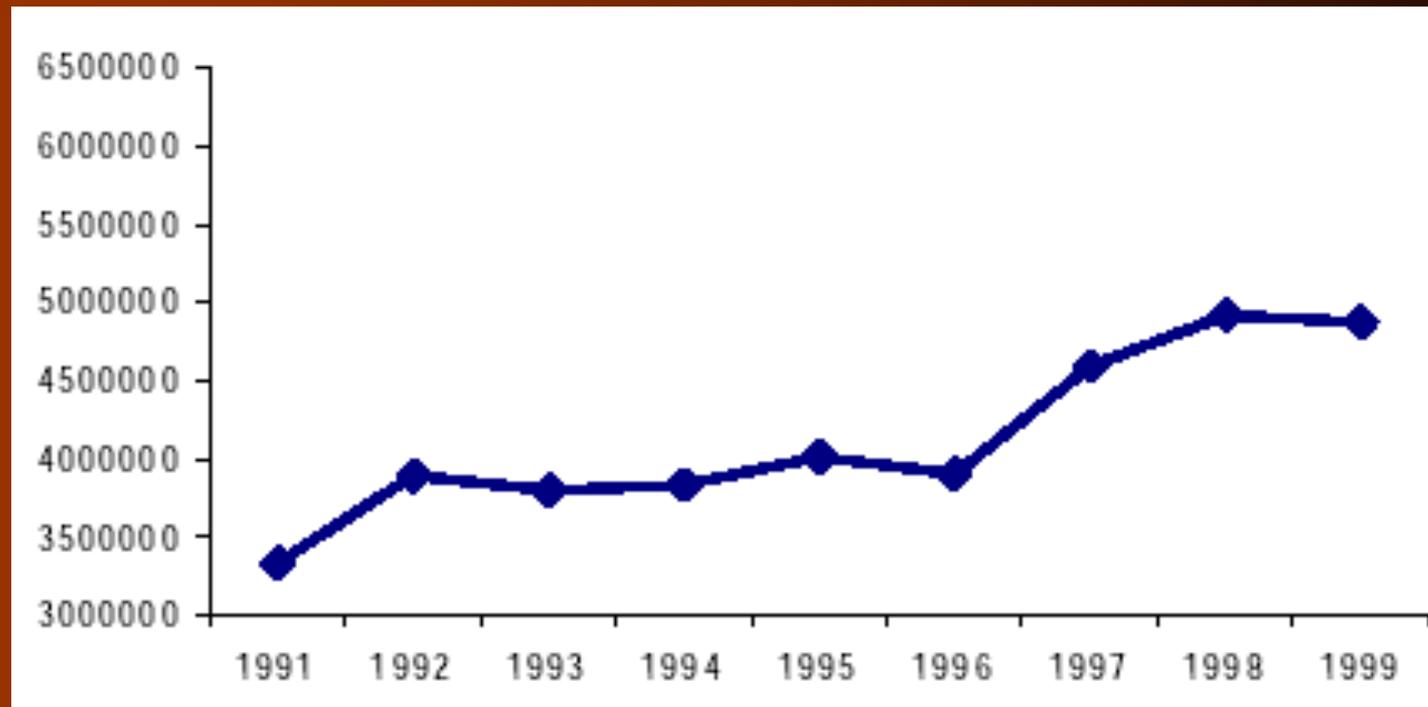
2- Réglementation Marocaine

•Ciments Spéciaux

- Ciments pour travaux à la mer (PM) NM.10.1.157
- Ciment à faible chaleur d 'hydratation initiale et à teneur en sulfures limitée (CP) NM.10.1.158
- Ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES) NM.10.1.159

SITUATION DE LA PRODUCTION DU
CIMENT AU MAROC

Consommation nationale en ciment



- 2002 : 8 486 112 T
- 2003 : 9 277 499 T soit +9,3% / 2002
- 2004 : 9 800 000 T soit +5,6%/2003

SITUATION DE LA PRODUCTION DU
CIMENT AU MAROC

Principaux Producteurs nationaux :

- HOLCIM MAROC
- LAFARGE MAROC,
- CIMENTS DU MAROC
- ASMENT TEMARA

Produits

- CM 25
- CPJ 35
- CPJ 45
- CPA 55
- Ciment Blanc
- Ciments spéciaux

CIMENT ET CHANTIERS

- Prescriptions de base dans les CPS
 - Conformité à la norme NM 10.1.004 (Norme obligatoire)
- Produit certifié NM
- A retenir
 - Les différents types de ciments,
 - Classes de résistances
 - Domaine d'utilisation