

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Responsable: Mr. GHOMARI Fouad

ANNEE UNIVERSITAIRE 2005 - 2006

2.2.2. Ciment : C'est le matériau du 20^e siècle, matériau centenaire. L'écossais Aspdin prit un brevet d'invention en 1824, 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, père d'une longue lignée.

Ainsi, le XX^e 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, où son ancienneté est une marque d'archaïsme alors que les ciments améliorent les performances des liants

Accélérent leur mise en œuvre, tracent la voie d'une modernité que chaque maçon devra inévitablement emprunter.

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.

La production en Algérie s'accroît comme le montre les statistiques suivantes (source : Secrétariat d'état au plan Algérien) :

1977 : 2,2 millions de tonnes, 1982 : 8,0 millions de tonnes

1979: 4,5 millions de tonnes, 1985 : 10,5 millions de tonnes

En France, la production en 1988 se situait à 25 MT.

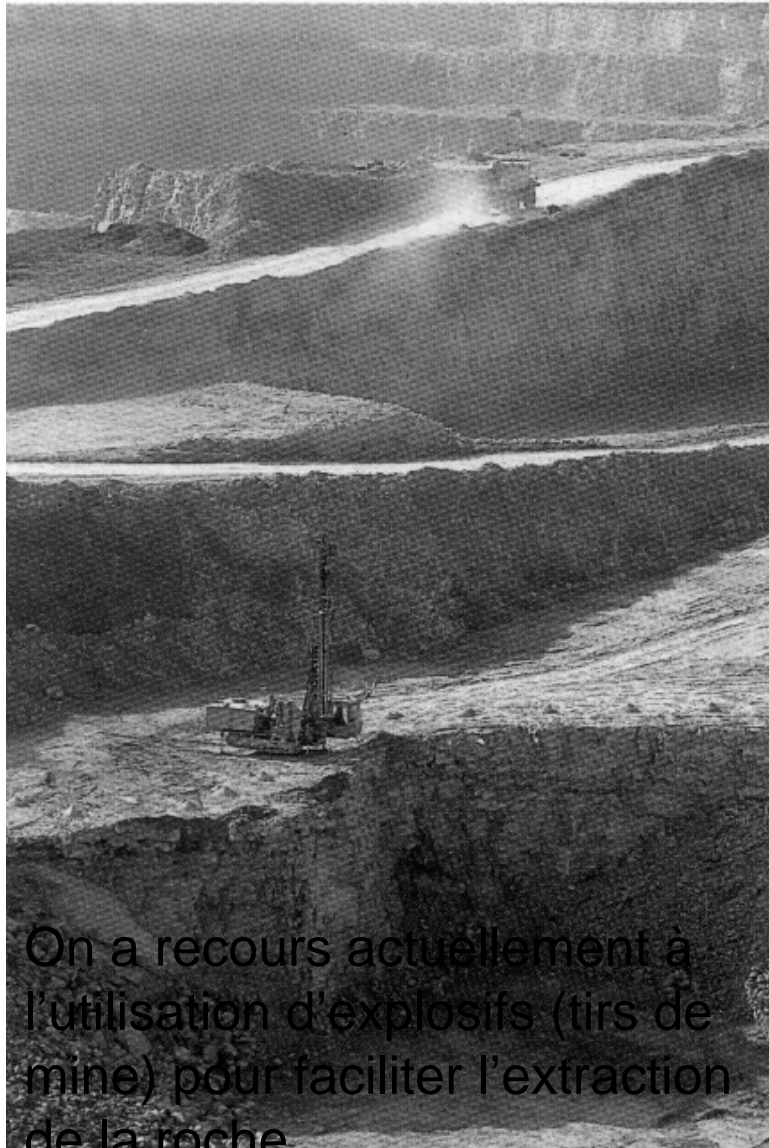


Vue aérienne d'une cimenterie.

Fabrication : le constituant principal du ciment est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion moyenne 80 et 20% .

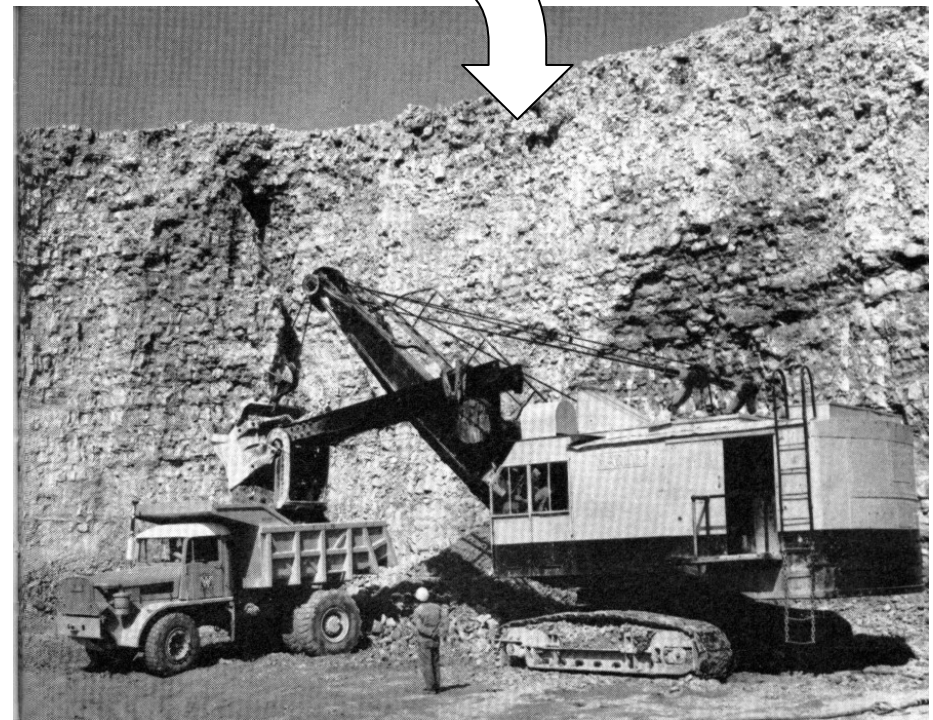
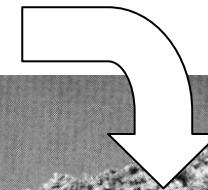
a., Extraction et concassage:

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert.



On a recours actuellement à l'utilisation d'explosifs (tirs de mine) pour faciliter l'extraction de la roche,

Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50 mm. Ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux même de l'extraction,



b., Préparation de la matière première:

Les grains de calcaire et d'argile sont intimement mélangés par broyage et délayage, dans les proportions définies, en un mélange très fin le "cru". A cette occasion, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion: oxyde de fer,...) Le cru est préparé automatiquement sous forme de poudre (voie sèche) ou de pâte (voie semi-humide ou humide), en fonction de la technique de fabrication utilisée.

i., Voie sèche:

La voie sèche est de très loin, la technique la plus utilisée aujourd'hui.

La matière première est préparée sous forme de poudre. La préhomogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment par superposition de multiples couches.



Hall de Préhomogénéisation

A la sortie du hall de préhomogénéisation, le mélange est très finement broyé dans des broyeurs sécheurs, qui éliminent l'humidité résiduelle et permettent d'obtenir une poudre qui présente la finesse requise.

Cette poudre "le cru", est une nouvelle fois homogénéisé par fluidisation, corrigée si nécessaire puis stockée en silo avant l'introduction au four.

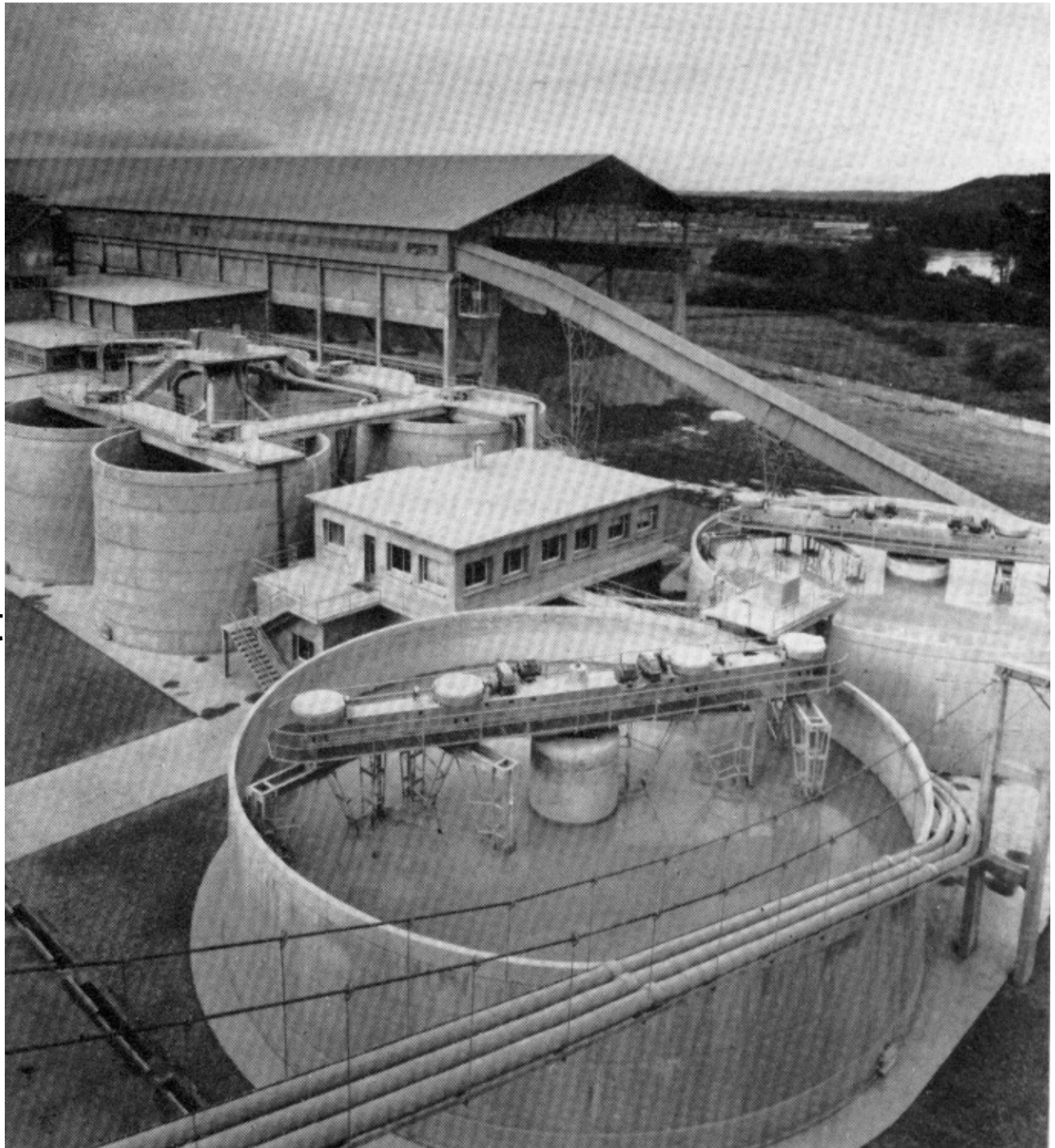
L'homogénéisation et le stockage sont réalisés dans la même tour qui comporte à sa partie supérieure un silo d'homogénéisation dans lequel le cru est brassé par air comprimé, il est ensuite stocké dans le silo à la partie inférieure de la tour.

ii., Autres techniques de préparation de la matière :

Les autres techniques de préparation sont moins employées. Elles consistent à agglomérer la matière sous forme de granules (voie semi-sèche) ou à la transformer en une pâte fluide (voie semi-humide ou humide).

Voie humide :

Les blocs sont déversés dans un bassin de délayage (alimenté d'eau), à l'intérieur duquel tourne une herse qui effrite et divise la matière. La pâte ainsi obtenue qui est encore grossière est ensuite broyée et envoyée dans des bassins de stockage pour y être homogénéisée mécaniquement.



c., Cuisson ou calcination :

Quelque soit la technique élaborée pour la préparation du cru, les installations de cuisson sont similaires et comportent deux parties :

Un échangeur de chaleur comportant 4 à 5 cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure progresse jusqu'à l'entrée du four.

Elle se réchauffe au contact des gaz chauds sortant de ce four et se décarbonate en partie.

Une décarbonatation plus complète peut être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur (précalcination).

La poudre est ainsi portée d'environ 80 à 1000 °C en un temps très court.

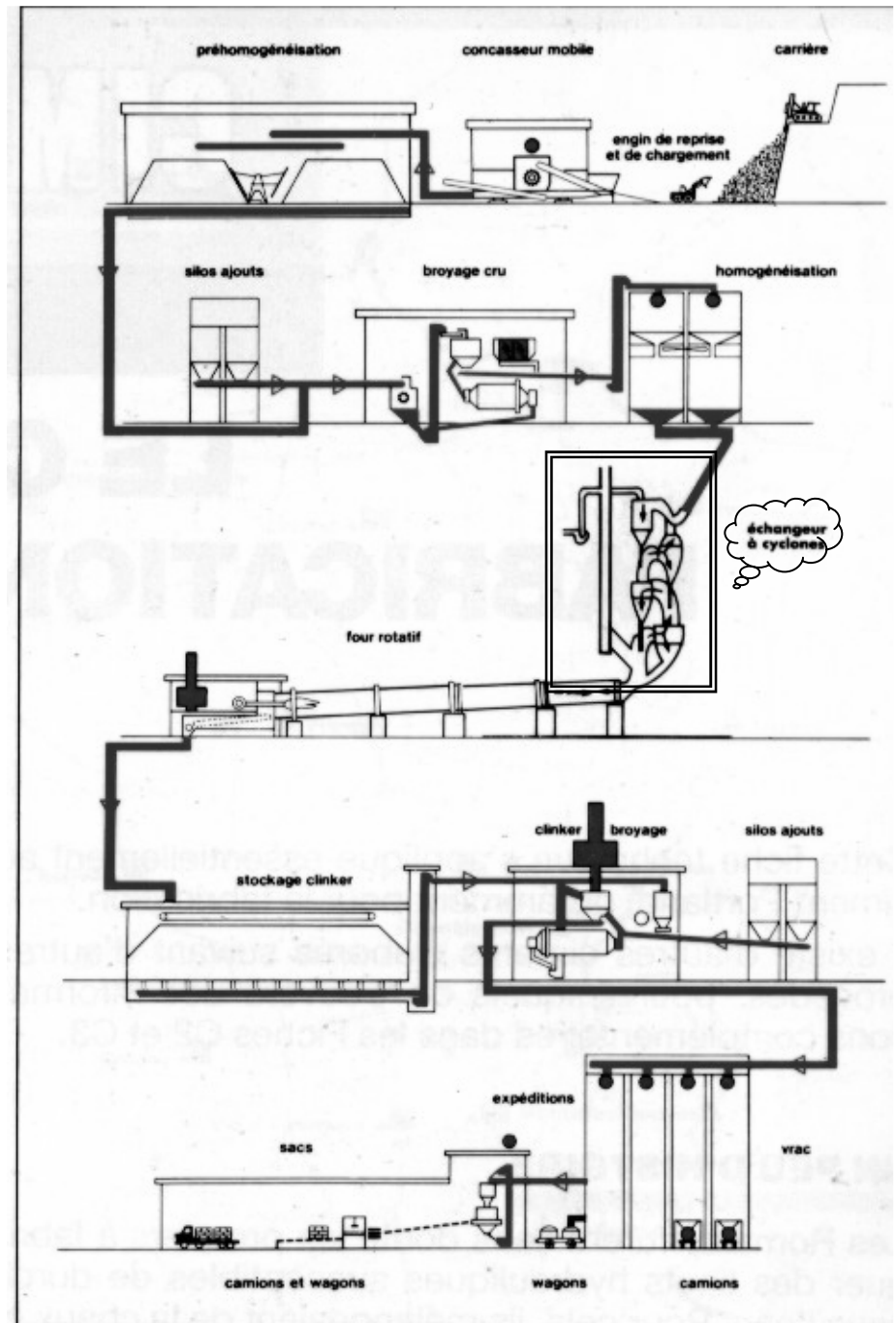


Schéma de fabrication du ciment (voie sèche).

Il s'agit dans la deuxième partie, d'un four horizontal cylindrique en tôle d'acier avec revêtement réfractaire intérieur de 60 à 150 mètres de long et de 4 à 5 mètres de diamètre, légèrement incliné et tournant à environ 1 tour /minute.

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

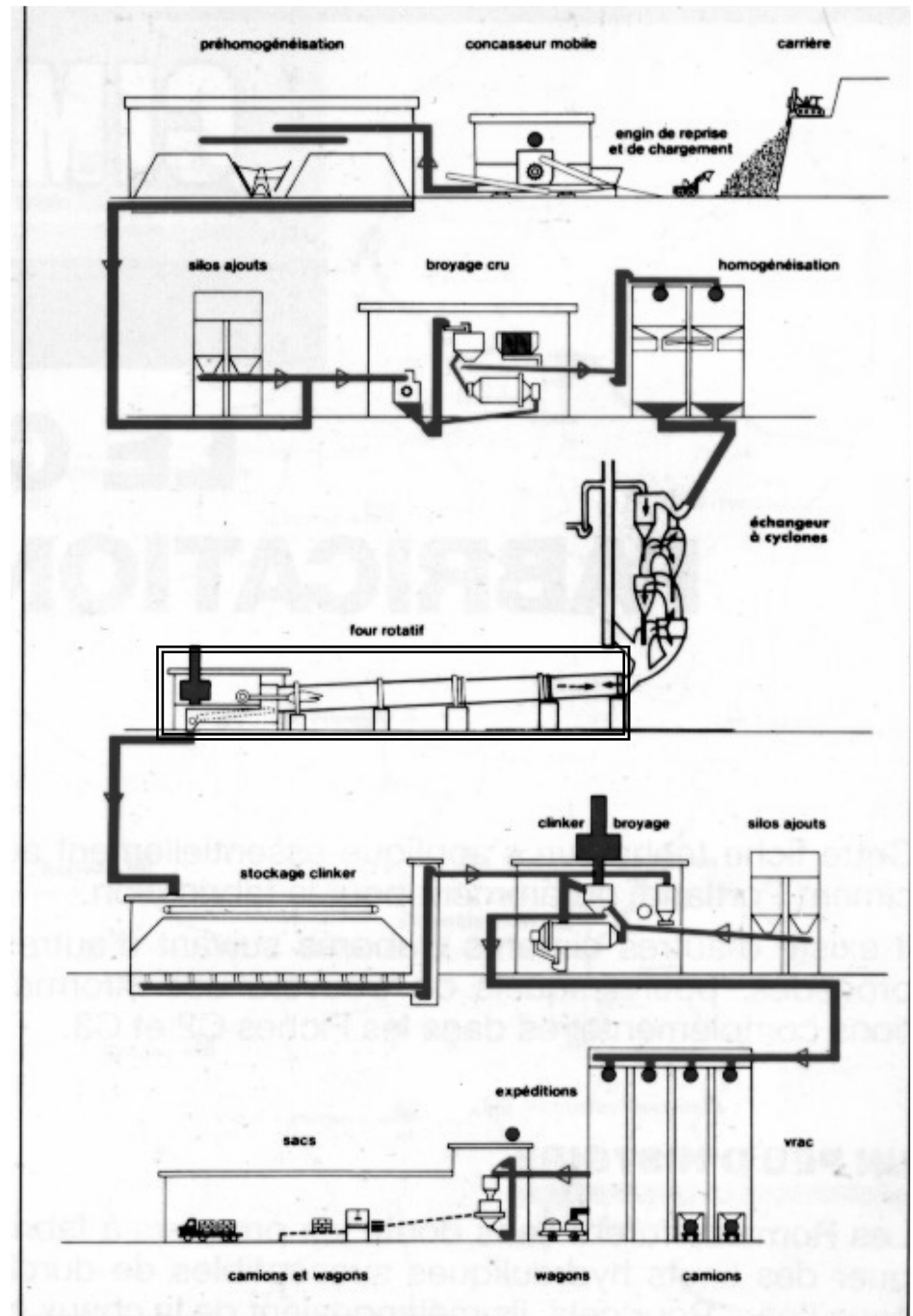
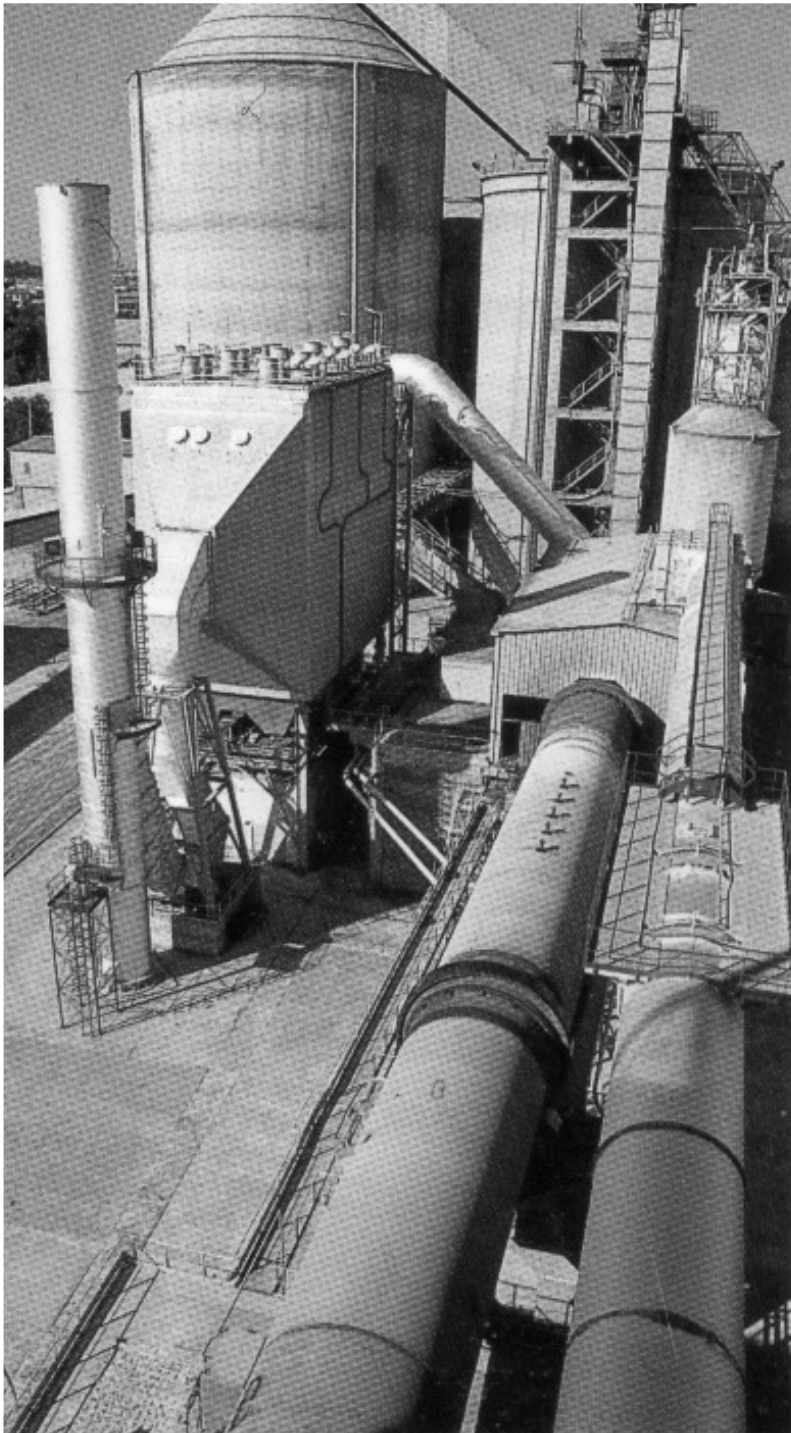
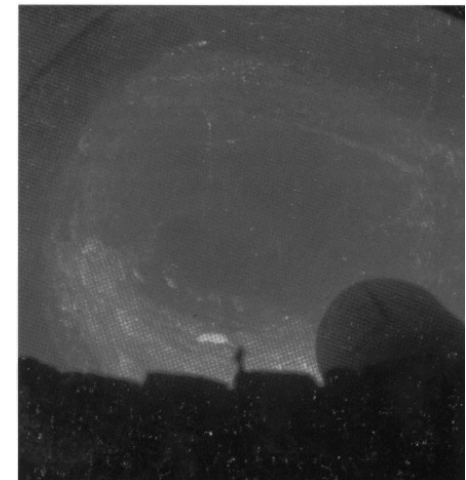


Schéma de fabrication du ciment (voie sèche).

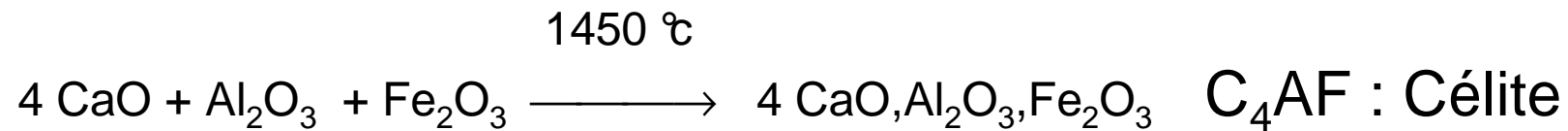
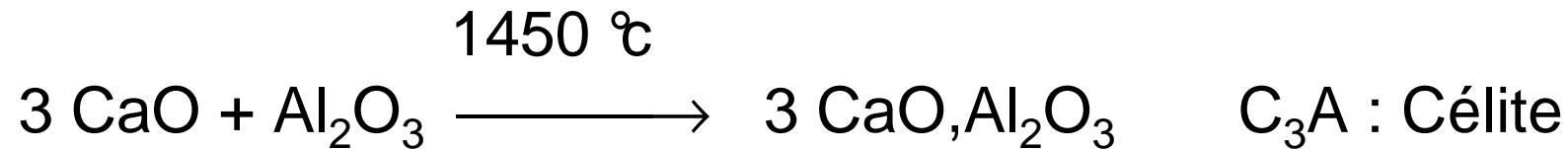
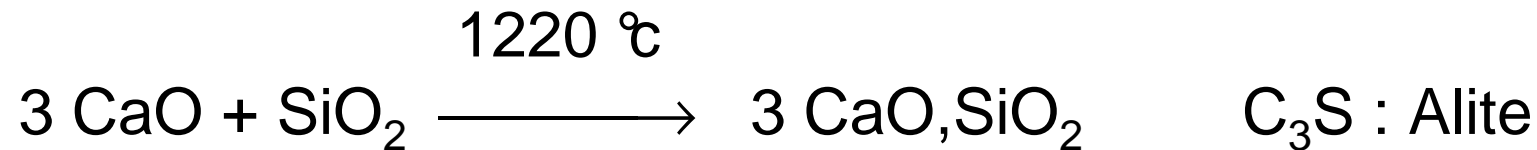
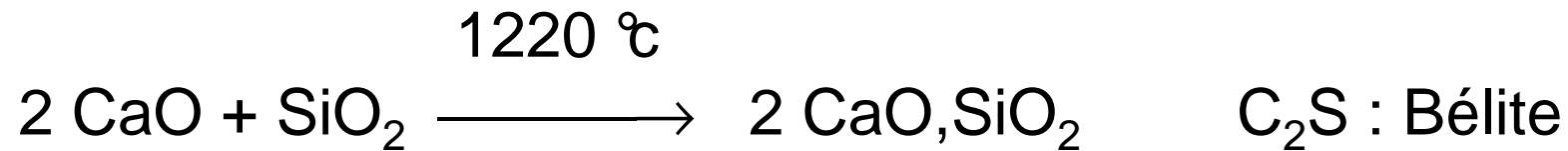
Four Rotatif Horizontal



Intérieur du Four



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.



La cuisson est une opération forte consommatrice d'énergie. La source de chaleur est apportée par une tuyère qui peut brûler différents combustibles : gaz naturel, fuel, charbon, coke de pétrole.

A la sortie du four, le clinker tombe sur des refroidisseurs à grille qui ramènent sa température à 70 °C; ce choc thermique donne naissance à des granules de diamètres variant entre 1 et 10 mm.

d., Broyage:

Il est ensuite véhiculé vers les trémies des broyeurs où il est finement broyé avec 3 à 5% de gypse afin de régulariser la prise.

Dans certains cas, en plus du gypse, on ajoute d'autres constituants tel que le laitier de Haut-fourneau, les pouzzolanes, les cendres volantes ou les fillers pour l'obtention de diverses catégories de ciment.

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites suivantes :

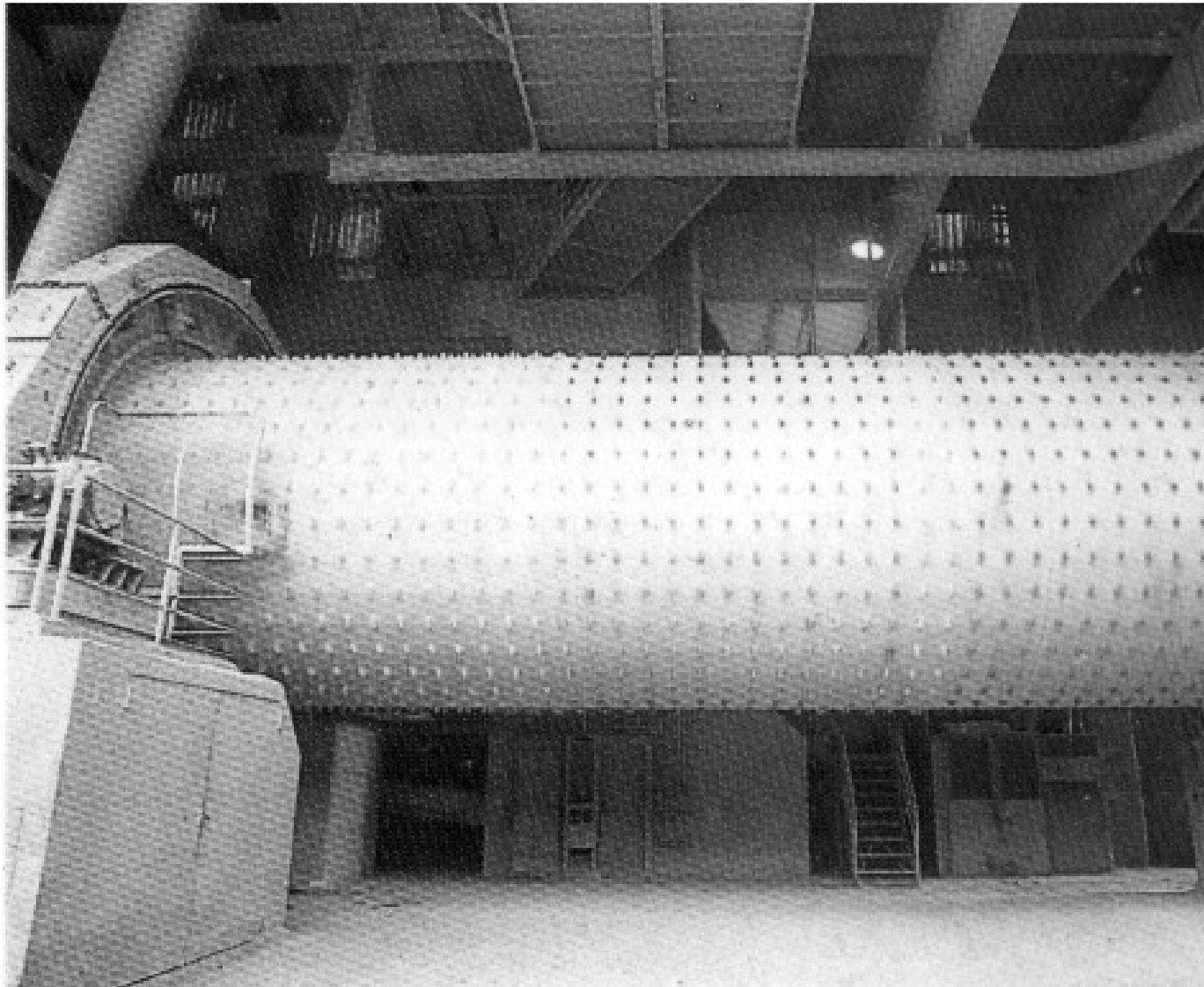
Éléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O + K ₂ O
(%)	62 ÷ 67	19 ÷ 25	2 ÷ 9	1 ÷ 5	0 ÷ 3	0 ÷ 1,5

Industriellement, il existe deux modes de broyage :

Le broyage en circuit ouvert où le clinker traverse trois compartiments contenant des agents broyants de tailles différentes

Le broyage à circuit fermé où le clinker traverse deux compartiments et à la sortie, le produit est envoyé dans un séparateur qui élimine les grains trop gros. Ces derniers sont recyclés.

Chacun des broyeurs, est alimenté par deux ou plusieurs doseurs qui permettent de régler les proportions de clinker, gypse et ajouts.



Les grains de ciment étant récupérés à la sortie du broyeur sont expédiés vers des silos de stockage. Ces silos sont cylindriques et de capacité pouvant aller jusqu'à 10.000 tonnes.

Le ciment qui est produit à un prix unitaire relativement bas, supporte mal, en coût, de longs transports. L'expédition s'effectue selon deux modes :

- Le premier se fait en vrac, par bateaux, trains ou camions où l'extraction se fait sous le silo sur pont bascule par manches télescopiques.
- Le second se fait en sacs palettisés par camions ; l'ensachage est effectué par des ensacheuses à plusieurs becs (jusqu'à 12 becs), qui assurent un débit de 100 tonnes par heure.

Les sacs ainsi remplis sont envoyés vers un atelier de palettisation qui met sur palettes les sacs de ciment.



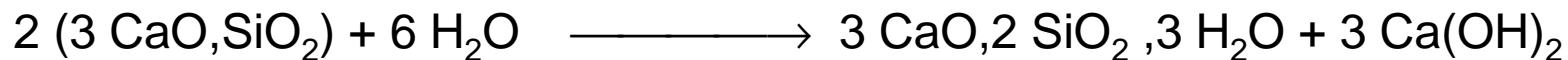
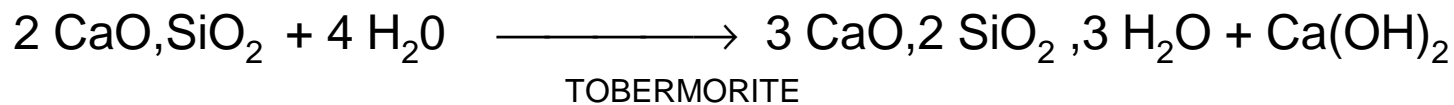
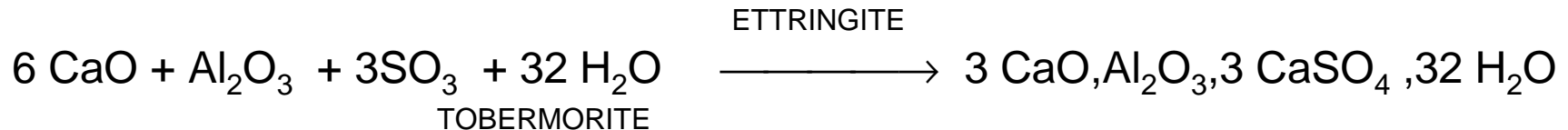
e. Propriétés principales :

Hydratation : les réactions qui se passent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps sont extrêmement complexes.

Le ciment Portland contient 4 principaux constituants :

- le silicate bicalcique (Bélite) : $2 \text{ CaO}, \text{SiO}_2$ ou par abréviation C_2S ,
- le silicate tricalcique (Alite) : $3 \text{ CaO}, \text{SiO}_2$ ou par abréviation C_3S ,
- l'aluminate tricalcique (Célite) : $3 \text{ CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ ou par abréviation C_3A ,
- l'alumino-ferrite tetracalcique (Célite) : $4 \text{ CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou par abréviation C_4AF .

Ces constituants anhydres donnent en présence d'eau, naissance à des silicates et aluminates de calcium hydratés pratiquement insolubles dans l'eau.



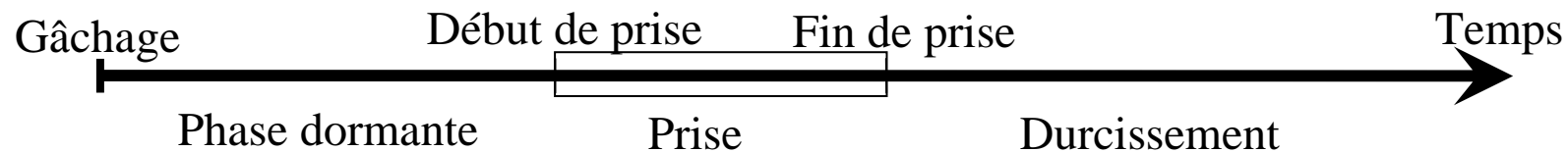
L'hydratation de l'alite est plus rapide que la bélite.

Dès qu'il y a formation de la tobermorite, le début de prise commence. Il se forme un gel micro-cristallin, à l'origine dit phénomène de prise.

C'est le développement et la multiplication de ces micro-cristaux dans le temps qui expliquent l'augmentation des résistances mécaniques.

Le ciment durci est une véritable "roche artificielle" qui évolue dans le temps passant par trois phases :

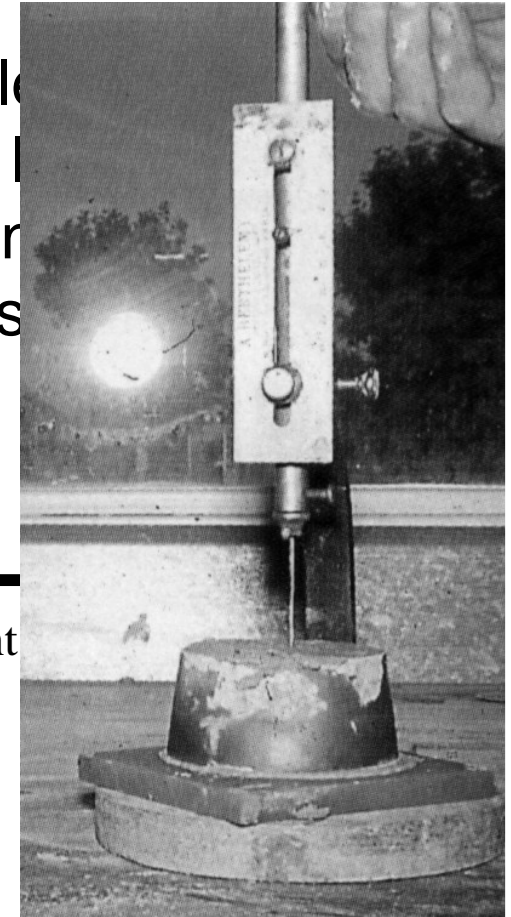
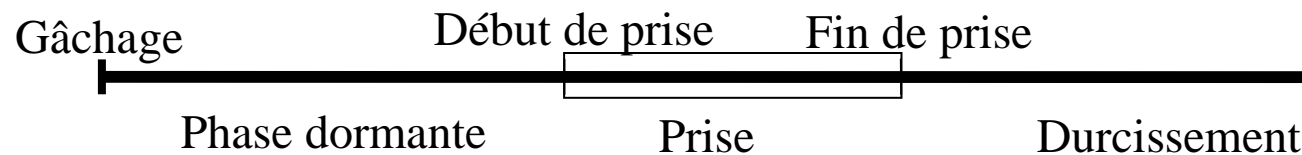
Phase dormante_: où la pâte pure (ciment et eau) reste en apparence inchangée pendant un certain temps (de quelques minutes à quelques heures suivant la nature du ciment). En fait, dès le malaxage, les premières réactions se produisent; mais sont ralenties grâce aux ajouts de gypse.



Début et fin de prise : après une ou deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité : c'est le début de prise, qui est accompagné d'un dégagement de chaleur. La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

Le temps de début de prise est déterminé à l'instant où l'aiguille de Vicat ($S = 1 \text{ mm}^2$, masse = 300 g) ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment. Les ciments de classe 35 et 45 ont un T_{prise} supérieur à 1h30 à $T = 20 \text{ °C}$. En revanche, les ciments de classe 55 et HP ont un T_{prise} supérieur à 1h30 à la même température.

Durcissement : on a l'habitude de considérer le durcissement comme la période qui suit la prise et pendant laquelle l'hydratation du ciment se poursuit. La résistance continue à croître très lentement; mais la résistance conventionnelle est la valeur conventionnelle.



Masse volumique apparente : varie de 800 à 1300 kg/m³ (1kg/l) en moyenne.

Masse volumique absolue : varie de 2900 à 3150 kg/m³ suivant le type de ciment.

Surface spécifique Blaine : est différente d'un ciment à un autre, généralement est comprise entre 2700 et 5000 cm²/g.

Le retrait : la mesure du gonflement dans l'eau et du retrait dans l'air est effectuée sur prisme 4x4x16 cm sur mortier normal. Le retrait limité à 0,8 mm/m pour les ciments CPA et CPJ de classe 45R et 55. Il n'est pas normalisé pour les autres ciments (CLK, CHF, CLC).

L'expansion : se mesure grâce aux aiguilles de Lechâtelier. L'expansion ne doit pas être supérieure à 10 mm sur pâte pure pour tous les ciments.

Résistances mécaniques : elles caractérisent de façon conventionnelle, la résistance du ciment rattachée à une classe de résistance définie par sa valeur minimale. Cette valeur est garantie à 95% de la résistance à la compression à 28 jours. La valeur supérieure est de $(X + 20 \text{ MPa})$; elle est garantie à 90%.

Classe	Sous – classe	Résistance à la compression		
		2 j. lim. Inf.	28 j. lim. Inf.	28 j. lim. Sup.
32,5	R (rapide)	≥ 10	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
		--	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5	R (rapide)	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
		≥ 10	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	R (rapide)	≥ 30	$\geq 52,5$	--
		≥ 20	$\geq 52,5$	--

propriétés	Comparaison entre chaux et ciment		
	CAEB	XHN	CPJ
Mvapp	500-700	700-1000	800-1300
Mvabs	2200-2500	2600-2900	2900-3100
Ssp	8000-20000	3000-8000	2700-5000
i	0-0,1	0,1-0,5	-
R28j	-	30-100	350-650
R. réfractaire	1800-2000°	Jusqu'à 800°	Jusqu'à 400°
Isolation phon.	Bonne	Bonne	Faible
Imperm. à l'eau	Bonne	Très Bonne	Très Bonne
Perm. aux vapeurs	Bonne	Bonne	Faible
Durée de stockage	Sans limite	6 mois	2 ans

f. Différentes catégories des ciments courants et Utilisations :

Le ciment Portland Artificiel (CPA-CEM I) :

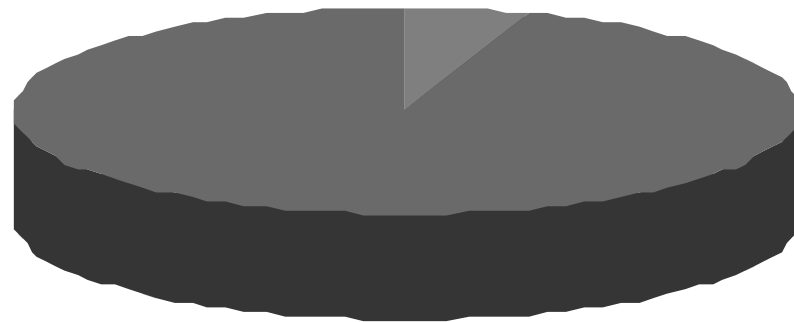
Composition : résulte du broyage du clinker et du sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) pour régulariser la prise, et éventuellement de fillers en faible quantité (<5%). La teneur en clinker est au minimum 95%.

Caractéristiques garanties : Les résistances sont mesurées sur mortier normal; les valeurs minima. garanties sont données comme suit :

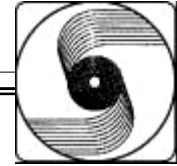
Classe	Résistances minima garanties en MPa	
	2 jours	28 jours
CPA 42,5	10	40
CPA 42,5 R	18	40
CPA 52,5	18	50
CPA 52,5 R	28	50

CPA CEM I

Les Ciments Portlands

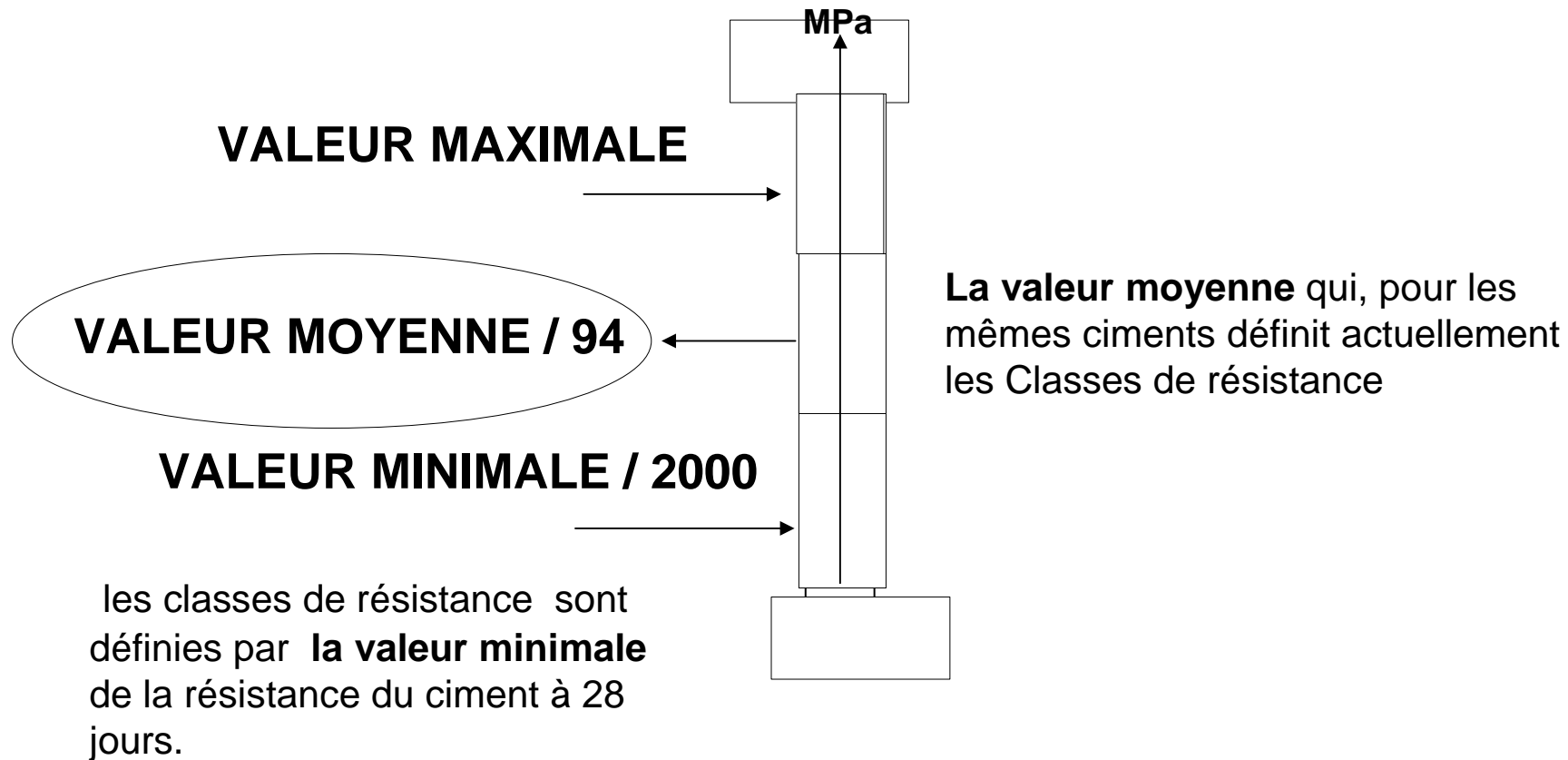


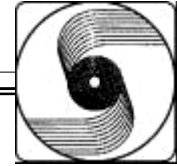
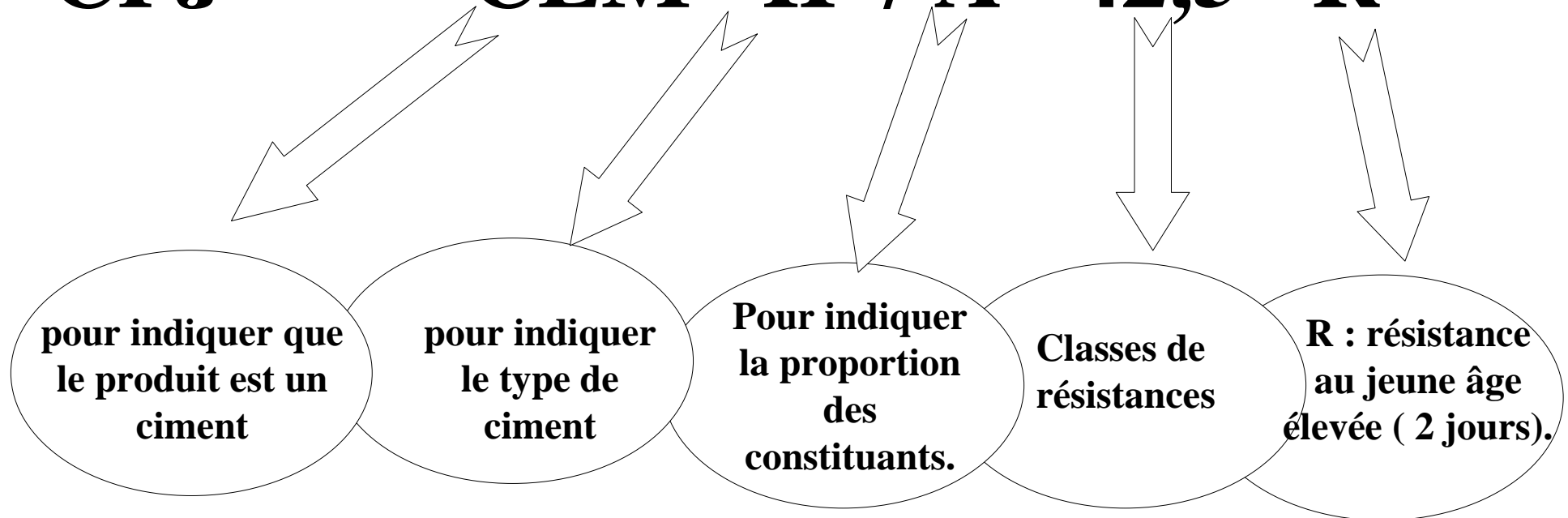
- constituant
secondaire 5 %
- Clinker 95 %

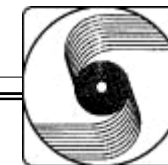


Les classes de résistances (1)

Résistance



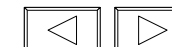
**LES DESIGNATIONS DES CIMENTS****CPJ - CEM II / A 42,5 R**

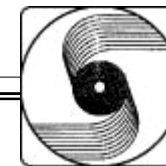


Désignations normalisées

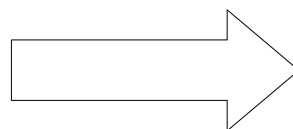
Normes algériennes NA 442

1 9 9 4	2 0 0 0
<p>la désignation se faisait par le sigle caractérisant la catégorie suivi de l'indication du nombre de la classe et le cas échéant de la lettre R.</p> <p style="text-align: center;">Catégorie</p> <p>Exemple</p> <p>CPA HP ou HPR → Résistances aux jeunes ages élevés</p> <p>CPA 55 R → Classe de résistance</p> <p>CPJ 55</p> <p>CHF 45</p> <p>CLK 45</p>	<p>Même principe de désignation. La désignation abrégée correspondante a été conservée et accolée à la désignation européenne.</p> <p>Pour les CEM IV, la désignation ancienne CPZ a été reprise.</p> <p>Exemples</p> <p>CPA-CEM I / 52,5 R → Produit ciment</p> <p>CPJ-CEM II / A 42,5 → Type de ciment</p> <p>CHF-CEM II / A 42,5</p> <p>CHF-CEM II / B 32,5</p> <p>CPZ-CEM IV / A 42,5</p> <p>CLC-CEM V / A 32,5 → % d'ajouts</p>



**EXEMPLE**

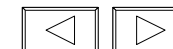
Ancienne désignation

CPJ 45

Nouvelle désignation

CPJ – CEM II/A 32,5
CPJ – CEM II/B 32,5

Il s'agit du même ciment.



Le retrait mesuré à 28 jours sur mortier normal doit être $< 1000\mu\text{m}/\text{m}$. Le temps de prise est $>$ à 1 heure.

les caractéristiques chimiques, qui sont un facteur important de la résistance des bétons à des ambiances agressives, concernant la teneur en anhydride sulfurique (SO_3) $< 3,5\%$, en magnésie (MgO) $< 5\%$ et en ions chlore $< 0,05\%$ pour 52,5R et $< 0,1\%$ pour les autres

Domaines d'emploi principaux :

Les CPA-CEMI 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 (forte réaction exothermique) ou faiblement armé.

La classe "Rapide", convient pour les mêmes travaux où les résistances initiales élevées sont nécessaires; mais permettent un décoffrage rapide, appréciable notamment en préfabrication et lors de bétonnage par temps froid...A contrario, leur emploi est à éviter par temps chaud.

La classe "PM" est choisie pour les travaux en milieu marin (travaux portuaires, digues ou structure en bord de mer).

Pour les travaux en milieu agressif (terrain gypseux, eaux sulfatées), on emploie le ciment résistant aux eaux sulfatées classe "ES".

Les classes "CP1" et "CP2" relatifs aux ciments dont la teneur en ions sulfure est respectivement $< 0,5\%$ et $0,2\%$ et dont la chaleur d'hydratation est faible. Leur emploi préférentiel est destiné aux structures en B.P. soumis au traitement thermique et la réalisation de béton de masse

Le ciment Portland Composé (CPJ – CEM II) :

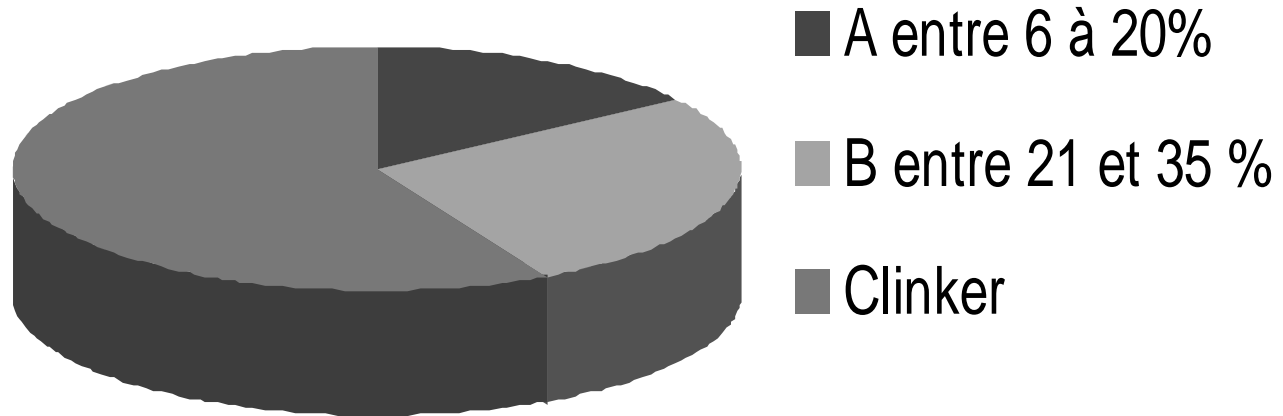
Composition : résulte du mélange de 80 à 94% de clinker pour les classes II/A et de 65 à 79% pour les classes II/B, le reste pouvant être un ou plusieurs constituants tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes ou calcaire dans les proportions de 6 à 20% ou 21 à 35% ainsi qu'éventuellement les fillers à moins de 5%.

Caractéristiques garanties : De même que pour les CPA, des résistances minimales variant avec les classes sont garanties à 2, 7 et 28 jours.

Classe	Résistances minima garanties en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
32,5	—	17,5	30
32,5 R	12		30
42,5	10		40
42,5R	18	—	40
52,5	18	—	50
52,5 R	28	—	50

CPJ CEM II

Les Ciments Portlands



Le retrait mesuré à 28 jours sur mortier normal doit être $< 800 \mu\text{m/m}$ pour les CPJ – CEMII 32,5 et $< 1000 \mu\text{m/m}$ pour les autres.

Le temps de début de prise doit être supérieur à 1h30 pour la classe 32,5 et à 1 heure pour les autres classes de résistance.

Les caractéristiques chimiques, qui sont un facteur important de la résistance des bétons à des ambiances agressives, concernant la teneur en anhydride sulfurique (SO_3) $< 3,5\%$ et en ions chlore $< 0,05\%$ pour 52,5R et $< 0,1\%$ pour les autres classes.

Domaines d'emploi principaux :

Les CPJ - CEMII 32,5 conviennent bien pour les travaux de maçonnerie, les bétons peu sollicités, les travaux routiers et travaux de grande masse. La sous-classe "R" est destinée à la préfabrication avec ou sans traitement thermique.

Les CPJ – CEM II 42,5 et 52,5 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.

Lorsque l'aspect est important (béton apparent, enduits), il convient d'éviter l'emploi de certains CPJ contenant des proportions importantes de constituants susceptibles d'entraîner des variations de teinte trop marquées, notamment les cendres volantes.

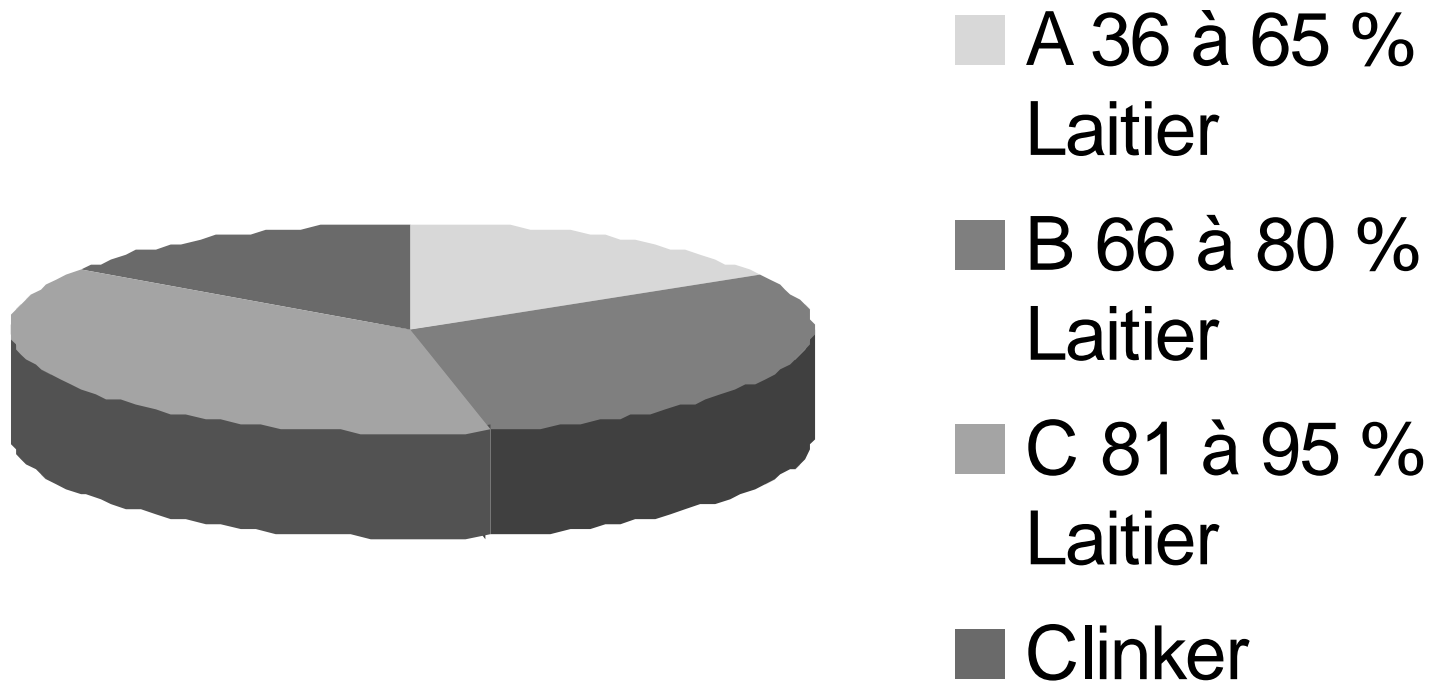
Les ciments de Haut Fourneau CHF et CLK CEMIII :

Composition : deux types de ciments comportent des pourcentages de laitier assez importants; il s'agit du ciment de Haut-fourneau (CHF) et du ciment au laitier au clinker (CLK) :

Type	% clinker	% laitier	% Fillers
CHF- CEM III/A	35 ÷ 64 %	36 ÷ 65 %	0 ÷ 5 %
CHF- CEM III/B	20 ÷ 34 %	66 ÷ 80 %	0 ÷ 5 %
CLK- CEM III/C	5 ÷ 19 %	81 ÷ 95 %	0 ÷ 5 %

Les Ciments Portlands

Ciment de haut fourneau – CHF – CEM III



Caractéristiques garanties : Ces ciments sont représentées dans toutes les classes de résistance uniquement pour la classe A; en revanche les classes B et C ne sont représentées que pour la classe 32,5 et ne présentent pas de sous-classe "R", compte tenu de leur vitesse de durcissement relativement lente.

Classe	Résistances minima garanties en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
32,5	—	17,5	30
42,5 (*)	10	—	40
52,5 (*)	18	—	50

(*) concerne la classe CHF – CEMIII/A uniquement

Le retrait mesuré à 28 jours sur mortier normal doit être $< 800 \mu\text{m/m}$ pour les CPJ – CEMIII 32,5 et $< 1000 \mu\text{m/m}$ pour les autres.

Le temps de début de prise doit être supérieur à 1h30 pour la classe 32,5 et à 1 heure pour les autres classes de résistance.

La teneur en anhydride sulfurique (SO_3) $< 4\%$ pour toutes les classes et en ions chlore $< 0,05\%$ pour 52,5R et $< 0,1\%$ pour les autres classes.

Domaines d'emploi principaux : 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 pour la classe 32,5 et éventuellement 42,5 (52,5 présente une forte chaleur d'hydratation): fondations, piles d'ouvrages d'art, murs de soutènement, barrages.
- les travaux de béton, notamment pour les classes 42,5 et 52,5 à condition de bien protéger le béton après décoffrage,
- en traitement de sol et en préfabrication

Précautions particulières : Les bétons de ciment de laitier, sont sensibles à la dessiccation. Il faut les maintenir humides pendant le durcissement et pour cela, protéger au besoin leurs surfaces à l'aide de produits de cure; par conséquent, ces ciments sont à éviter pour les enduits.

L'aspect rêche du béton ne doit pas inciter à augmenter la teneur en eau.

Le ralentissement de la vitesse d'hydratation par le froid est plus marqué qu'avec le ciment Portland de même classe. A cet effet, l'emploi de ce type de ciment par temps froid est à éviter.

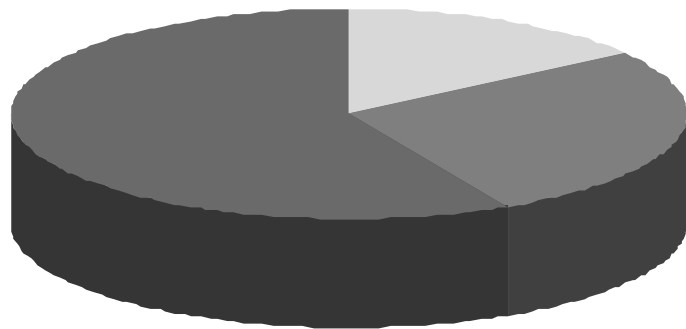
Les ciments pouzzolaniques CPZ – CEM IV/A et B :

Composition : résulte du mélange de 65 à 90% de clinker pour les classes V/A et de 45 à 64% pour les classes V/B, le reste pouvant être un ou plusieurs constituants tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes ou calcaire dans les proportions de 10 à 35% ou 36 à 55% ainsi qu'éventuellement les fillers à moins de 5%.

Type	% clinker	% pouzzolanes	% cendres	% Fillers
CPZ- CEMIV/A	65 ÷ 90 %	10 ÷ 35 %	< 10 %	0 ÷ 5 %
CPZ- CEMIV/B	45 ÷ 64 %	36 ÷ 55 %	< 10 %	0 ÷ 5 %

Les Ciments Portlands

Ciment pouzzolanique – CPZ – CEM IV



■ A entre 10 à 35 % - FS - CV - PZ

■ B entre 36 et 55 % (FS - CV - PZ)

■ Clinker

Caractéristiques garanties : Ces ciments sont représentées dans la classe de résistance 42,5 pour les classes A et B et ne présentent pas de sous-classe "R", compte tenu de leur vitesse de durcissement relativement lente.

Classe	Résistances minima garanties en MPa		
	2 jours	7 jours	28 jours
42,5	10	—	40

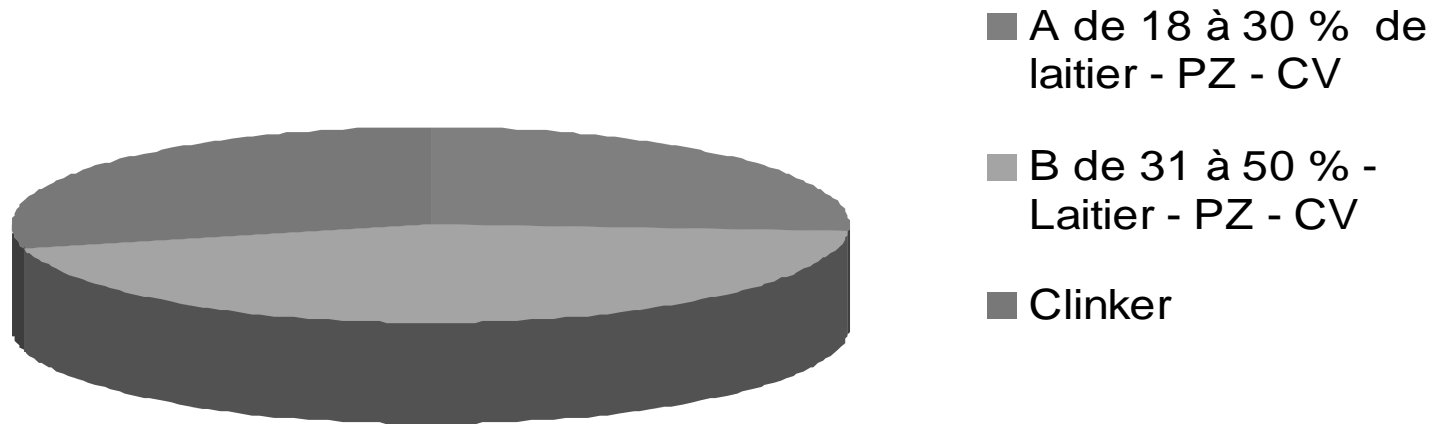
Les ciments de laitier et aux cendres CLC – CEM V/A et B :

Composition : résulte du mélange de 40 à 64% de clinker pour les classes V/A et de 20 à 39% pour les classes V/B, le reste pouvant être un ou plusieurs constituants tels que laitiers, cendres volantes, pouzzolanes ou calcaire dans les proportions de 18 à 30% ou 31 à 50% ainsi qu'éventuellement les fillers à moins de 5%.

Type	% clinker	% laitier	% cendres	% Fillers
CLC- CEM V/A	40 ÷ 64 %	18 ÷ 30 %	18 ÷ 30 %	0 ÷ 5 %
CLC- CEM V/B	20 ÷ 39 %	31 ÷ 50 %	31 ÷ 50 %	0 ÷ 5 %

Les ciments composés – au laitier et aux cendres

CLC CEM V



Caractéristiques garanties : Ces ciments sont représentées dans la classe de résistance 32,5 pour les classes A et B et ne présentent pas de sous-classe "R", compte tenu de leur vitesse de durcissement relativement lente.

Classe	Résistances minima garanties en MPa	
	7 jours	28 jours
32,5	17,5	30

Le retrait mesuré à 28 jours sur mortier normal doit être $< 1000 \mu\text{m}/\text{m}$.

Le temps de début de prise doit être supérieur à 1h30.

La teneur en anhydride sulfurique (SO_3) $< 4\%$ pour toutes les classes et en ions chlore $< 0,05\%$ pour 52,5R et $< 0,1\%$ pour les autres classes.

Ces ciments sont sensibles au froid qui ralentit leurs réactions d'hydratation, d'où une diminution des résistances au jeune âge. Cependant, elles présentent un faible retrait, une faible chaleur d'hydratation, une bonne tenue aux agressions chimiques et une progression importante des résistances au delà de 28 jours.

Donc leur emploi est prévu dans :

- ouvrages massifs, ouvrages de grande masse,
- travaux de fondation,
- milieux acides (eaux pures),
- milieux agressifs (eaux industrielles, eaux séléniteuses),
- Travaux d'injection.

Les ciments à maçonner MC :

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 laitier doit être inférieur à 50% du poids des constituants actifs.

Classe	% clinker	Entraîneur d'air	% SO ₃	% chlorures	% M.O.
CM 5	≥ 25	Exigé	≤ 2	≤ 0,1	≤ 1
CM 12,5	≥ 40	Exigé	≤ 3	≤ 0,1	≤ 1
CM 22,5	≥ 40	Non autorisé	≤ 3	≤ 0,1	≤ 1

Caractéristiques garanties : il existe trois classes de résistance selon la résistance minimum à 28 jours.

Classe	Résistances minima garanties en MPa	
	7 jours	28 jours
CM 5		5
CM 12,5	7	12,5
CM 22,5	10	22,5

Le temps de début de prise doit être supérieur à 1 heure.
L'expansion à chaud ne doit pas dépasser 10 mm.

Domaines d'emploi principaux : 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.).

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

Précautions particulières : 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.

Le ciment prompt naturel CNP:

Composition : est obtenu par cuisson, à température modérée (1000 ÷ 1200 °C) d'un calcaire argileux d'une grande régularité. La mouture est plus fine que celle des ciments Portland.

Caractéristiques : C'est un ciment à prise rapide, à faible retrait et à résistances élevées à très court terme. La résistance du mortier 1/1 à 1 heure est de 6 MPa.

Résist.(MPa)	15'	1 h	3 h	1 j	7 j	28 j	6 m.	1 an
compression	4,0	6,0	8,0	10,0	14,0	19,0	40,0	45,0
flexion	1,4	1,8	2,3	2,5	3,0	3,5	5,0	5,5

Le début de prise commence à env. 2 min. et s'achève pratiquement à 4 min. Le retrait à 28 jours est de l'ordre de 400 $\mu\text{m}/\text{m}$. Le ciment prompt est résistant aux eaux agressives (eaux séléniteuses, eaux pures, eaux acides) et est agréé "prise mer".

Domaines d'emploi principaux : Le ciment prompt s'utilise en mortier avec un dosage généralement de deux volumes de ciment pour un volume de sable et aussi en béton. Dans les cas d'urgence nécessitant une prise immédiate (aveuglements de voie d'eau), il est possible de l'employer en pâte pure.

Parmi les nombreux emplois, on peut citer :

- scellements, bétons projetés, moulages,
- jointoiement de tuyaux
- étanchéité de parois poreuses (bassins, caves, ...)
- enduits de façade (en mélange aux chaux naturelles),
- revêtements et enduits résistants aux eaux agressives (assainissement) et aux déjections (bâtiments pour l'élevage, silos),
- colmatage, travaux souterrains et travaux à la Mer.

Précautions particulières : éviter particulièrement l'excès d'eau.

Le 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.

Caractéristiques garanties : les résistances minimales sur mortier normal sont les suivantes :

Résistance (MPa)	6 h	24 h	28 j
compression	30	50	60
flexion	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 oeuvre par temps froid (jusqu'à 10 °C). C'est également un ciment réfractaire (bon comportement jusqu'à 1300 °C),

Domaines d'emploi principaux : 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).

Précautions particulières : Par temps très froid, il faut protéger le béton jusqu'au déclenchement de la phase de durcissement. Dans tous les cas, le mortier ou le béton de fondu doit être maintenu humide (produit de cure ou protection), pendant toute sa période de durcissement pour éviter sa dessiccation.

Le dosage minimum en ciment fondu est généralement de 400 kg/m³ de béton, le rapport eau/ciment ne doit pas dépasser 0,4.

Les ciments blancs :

Composition et caractéristiques : 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.

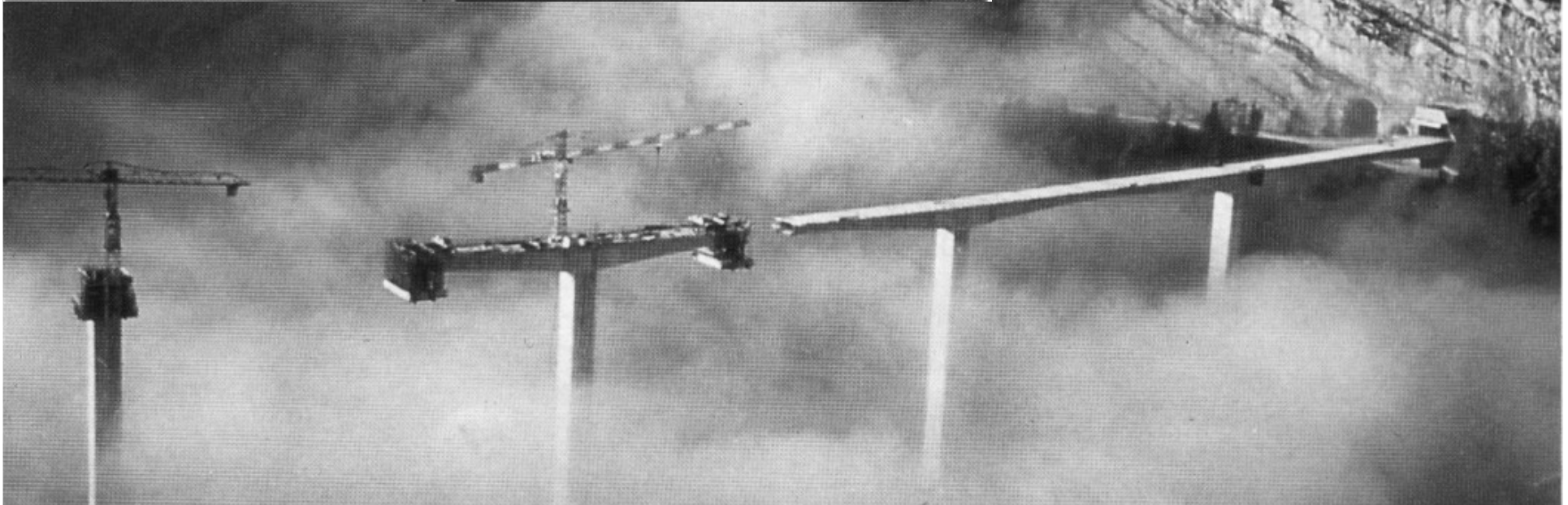
Domaines d'emploi principaux : Grâce à sa blancheur, le ciment blanc permet la mise en valeur des teintes des granulats dans les bétons apparents.

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.

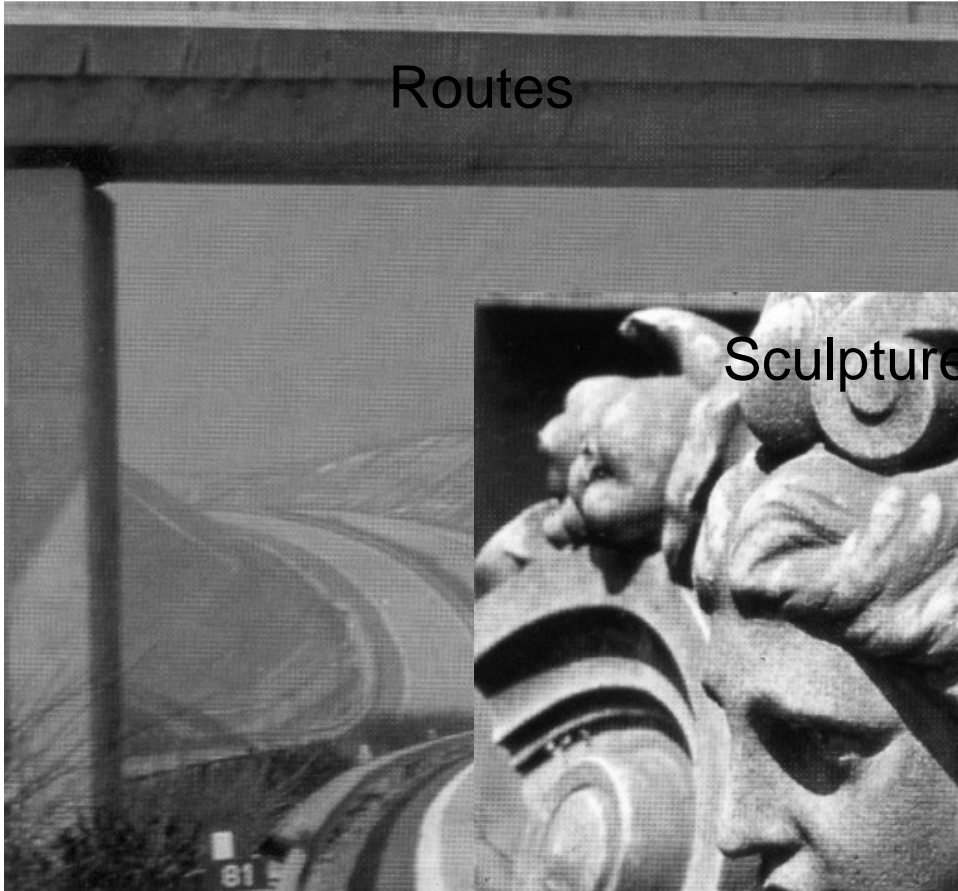
La composition du béton doit être bien étudiée en fonction des granulats et des effets recherchés.



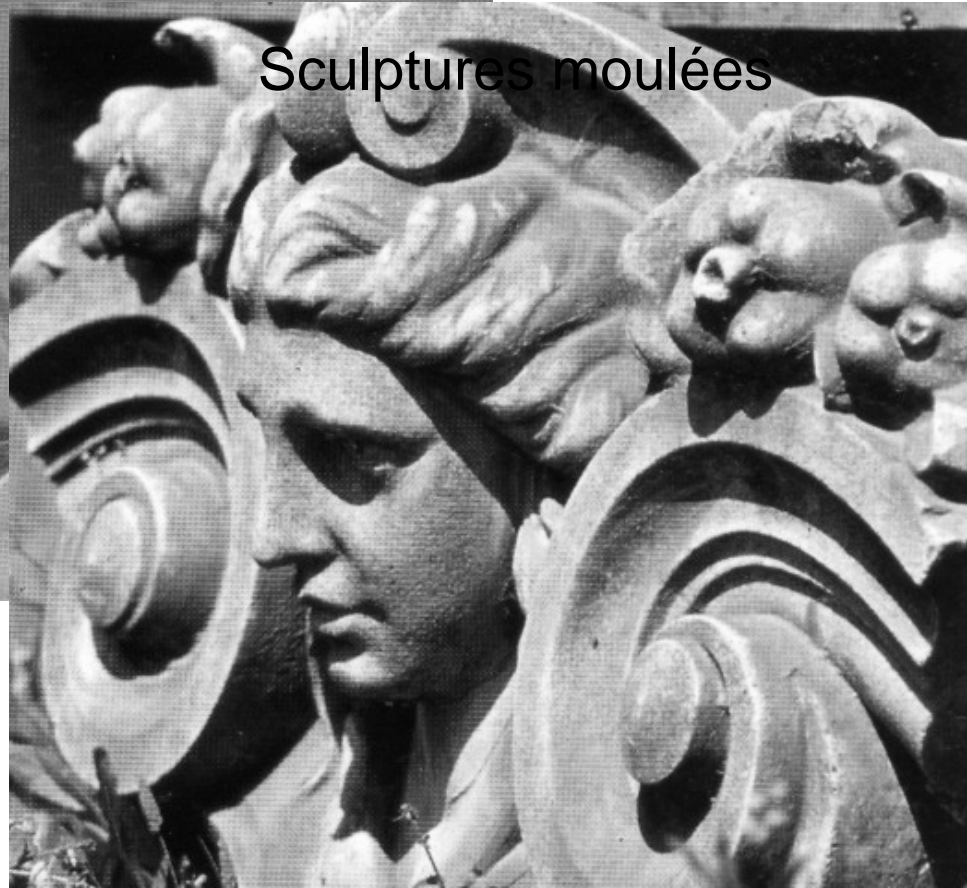
Les bétons fabriqués à partir des ciments appropriés à chaque utilisation se retrouvent dans tous les types d'ouvrages: ponts,



Routes



Sculptures moulées



Barrages

