



COURS DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

L1- Conduite de Travaux en BTP

Chapitre 2. CIMENT

Responsable de la matière:

Dr. BRIXI Nezha Khedoudja

nezhakhedoudja.brixi@univ-tlemcen.dz

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.

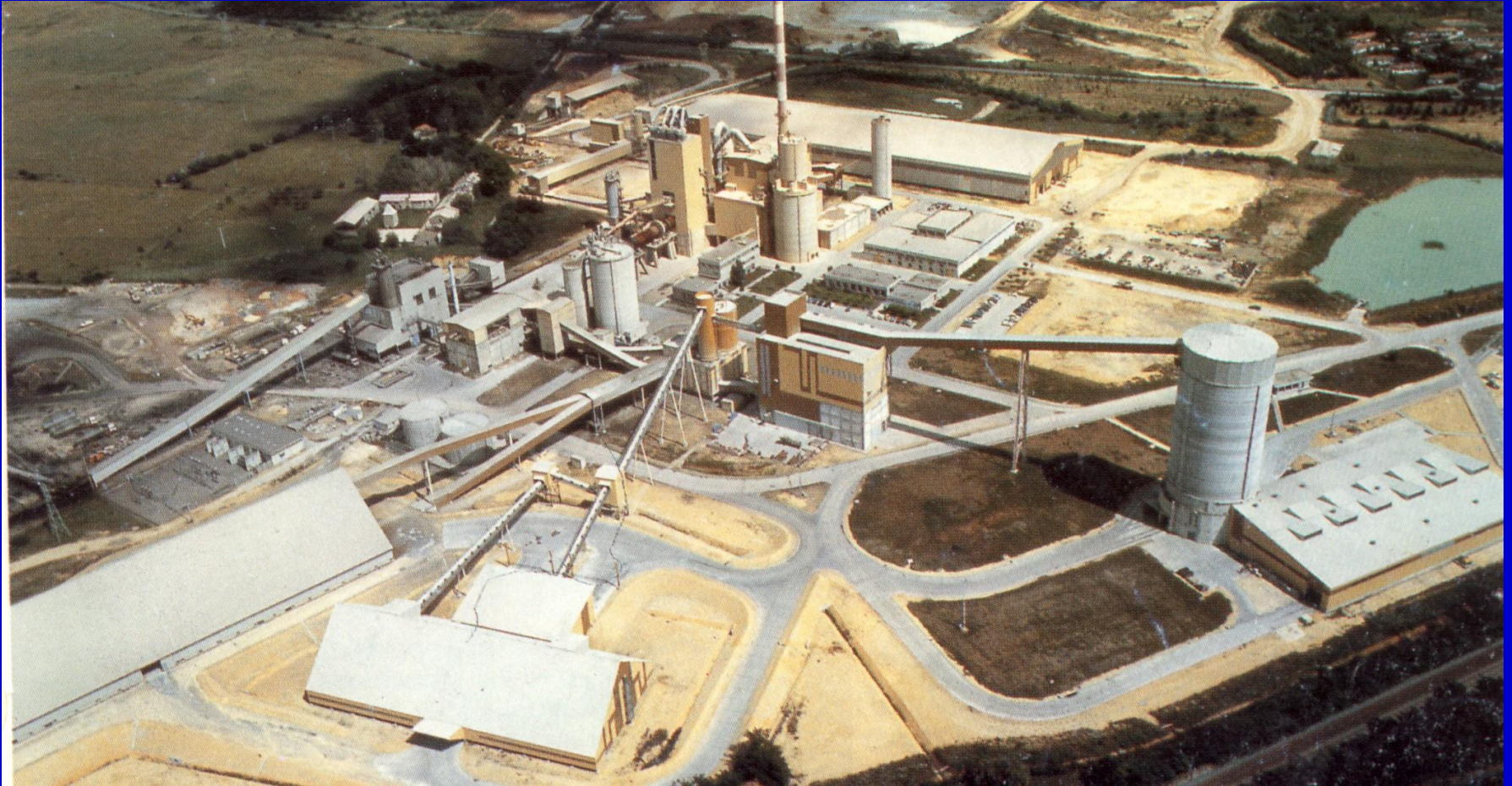
HISTORIQUE

Le ciment est un élément essentiel dans la construction. C'est le plus vieux liant hydraulique connu.

Le mot ciment vient du latin *caementum* qui signifie mortier ou liant des maçonneries. Ce sens d'origine a été conservé en s'appliquant à ce que de nos jours nous appelons les liants hydrauliques, c'est-à-dire capables de durcir au contact de l'eau.

DEFINITION DU CIMENT

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

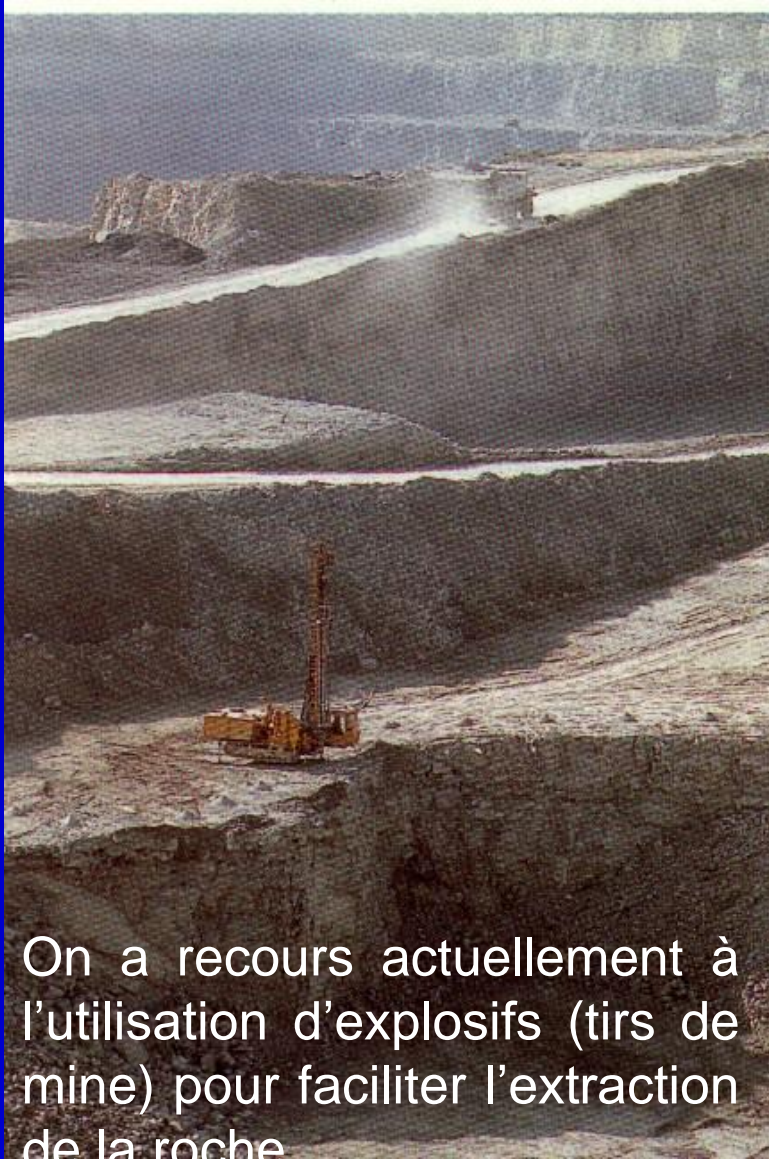


Vue aérienne d'une cimenterie.

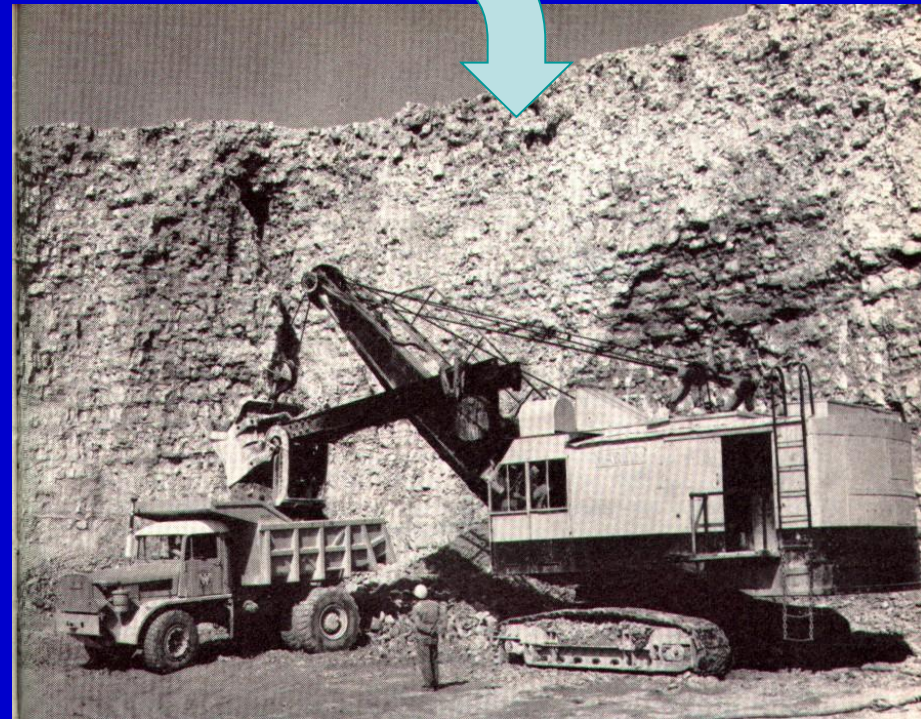
Fabrication : le constituant principal du ciment est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion moyenne 80 et 20% .

a., Extraction et concassage:

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



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:

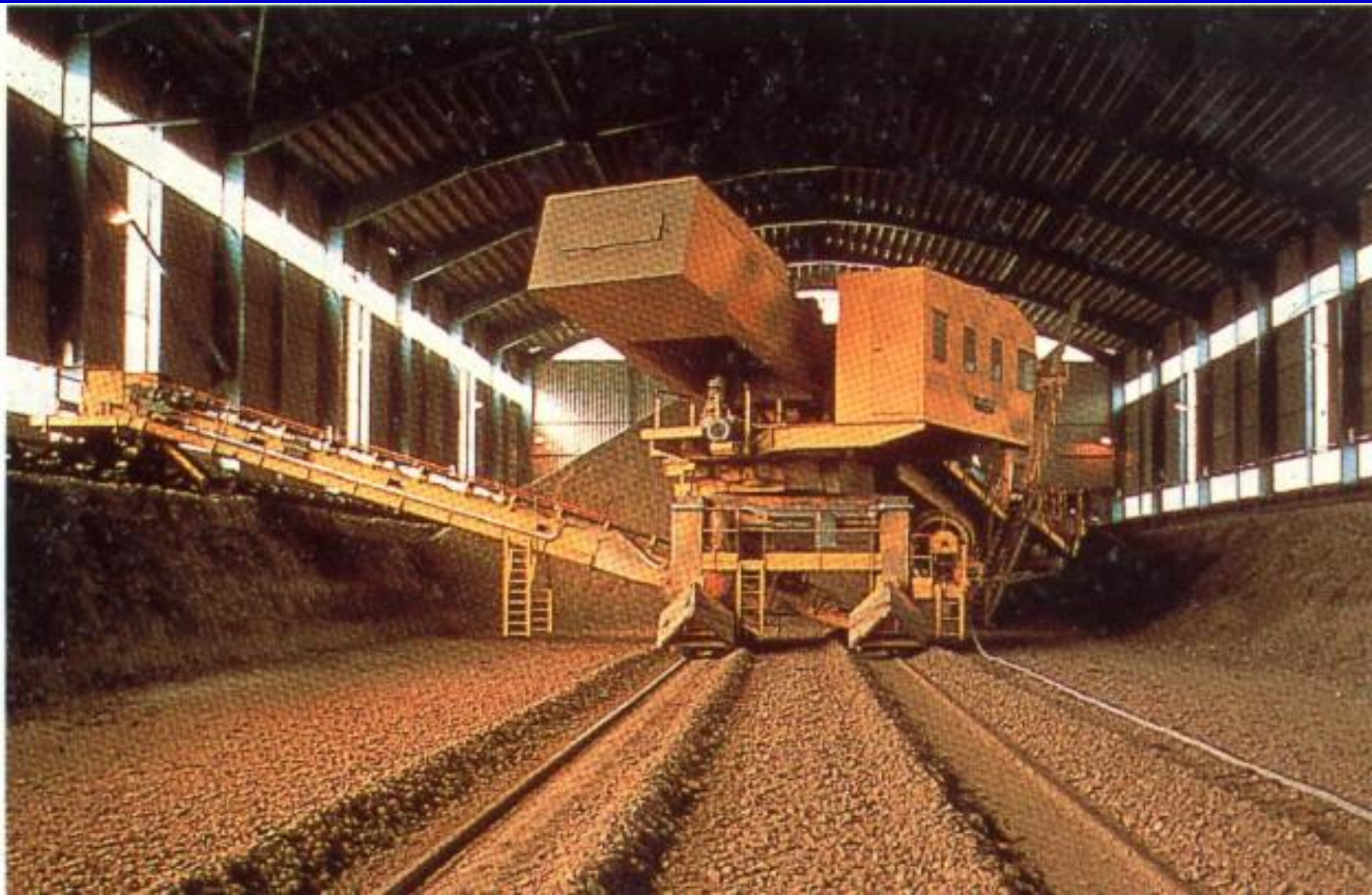
Les grains de calcaire et d'argile sont intimement mélangés par broyage et délayage, dans les proportions définies, en un mélange très fin le "cru". A cette occasion, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion: oxyde de fer,...)

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:

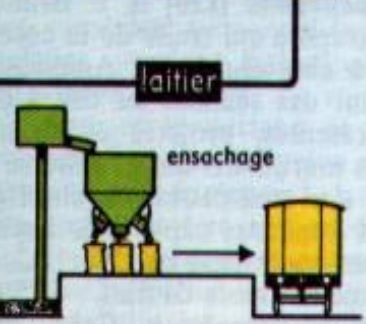
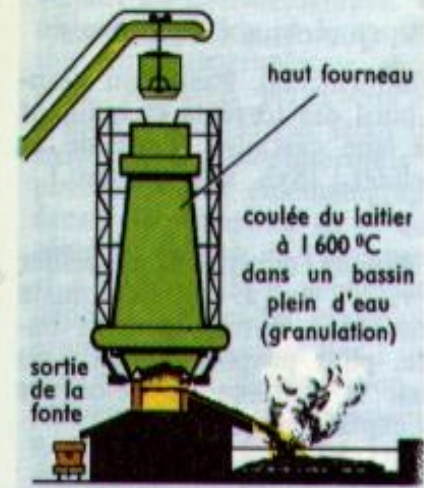
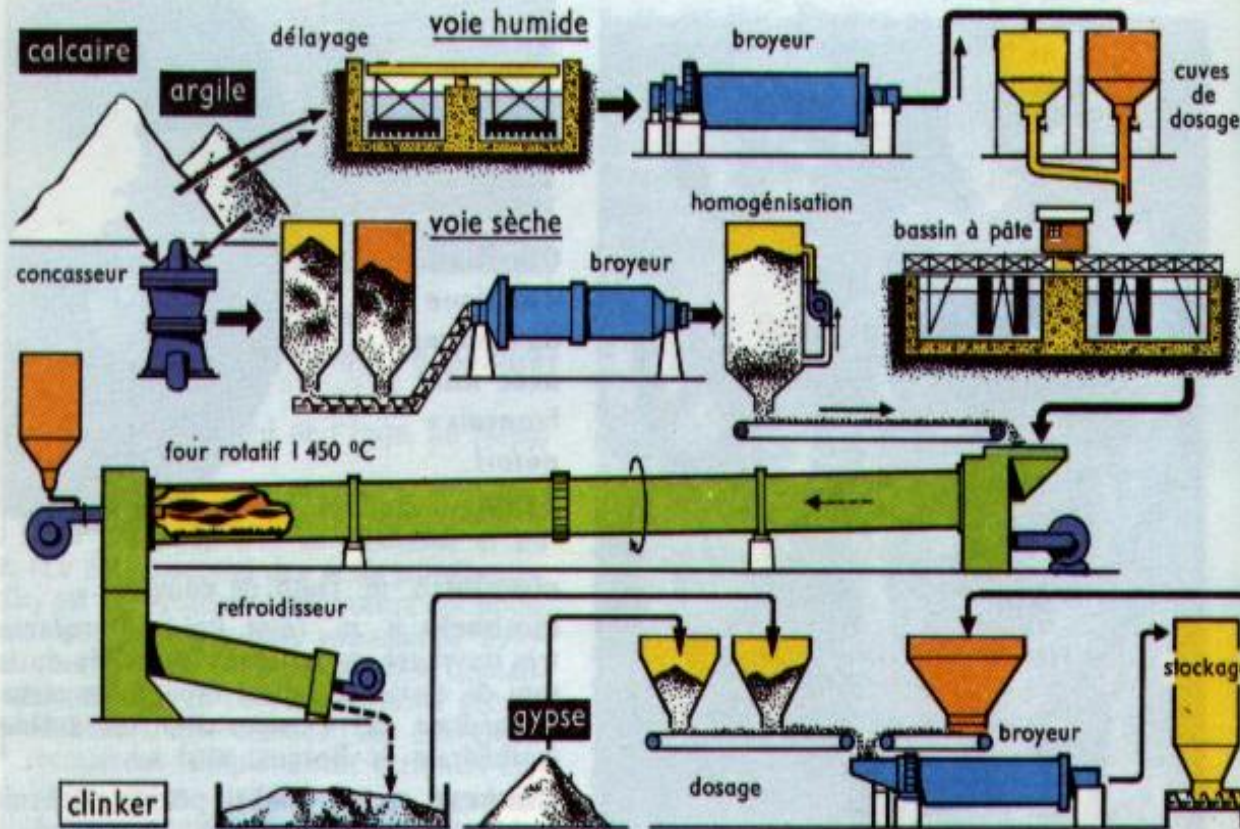
La voie sèche est de très loin, la technique la plus utilisée aujourd'hui.

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.

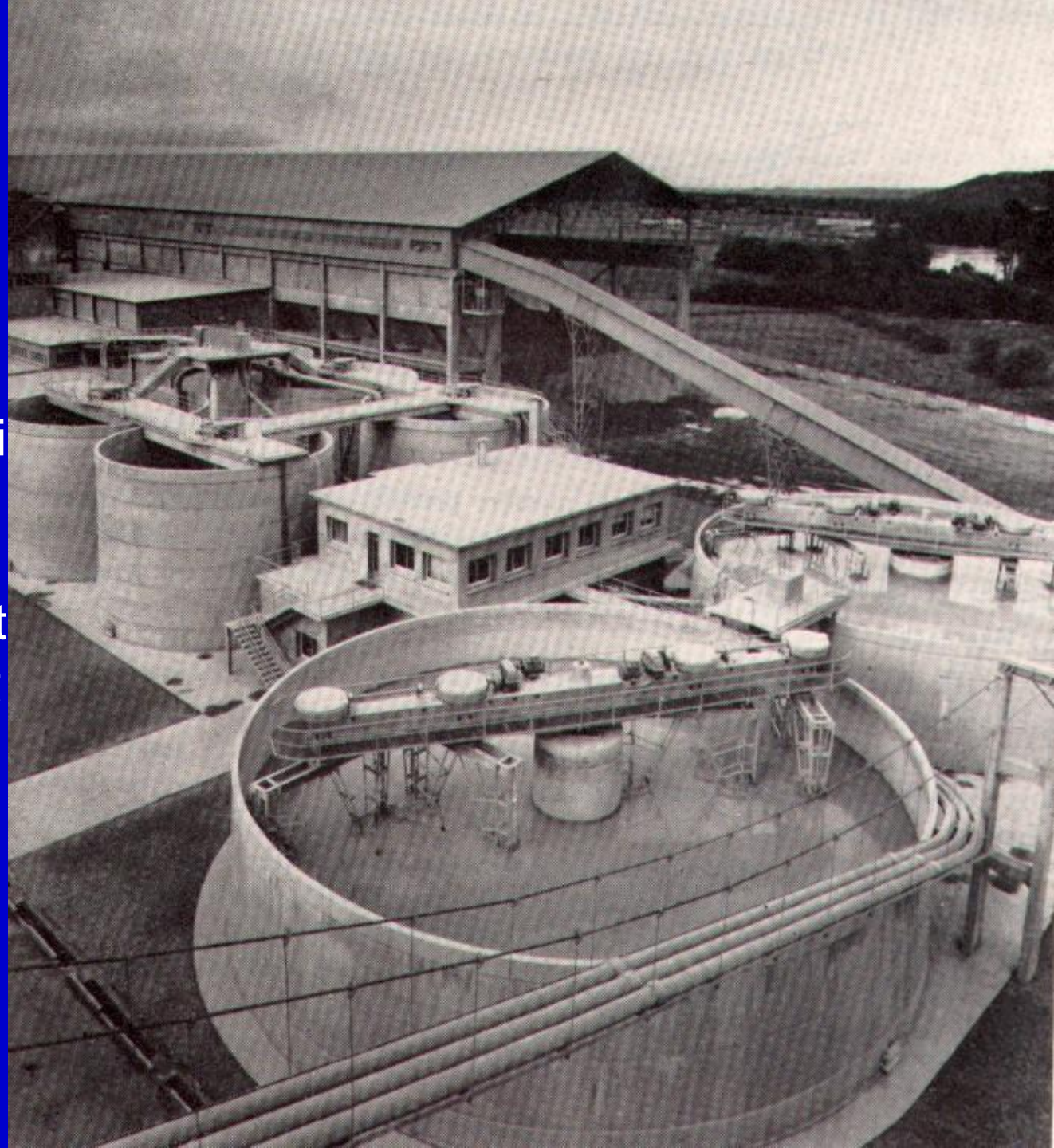
L'homogénéisation et le stockage sont réalisés dans la même tour qui comporte à sa partie supérieure un silo d'homogénéisation dans lequel le cru est brassé par air comprimé, il est ensuite stocké dans le silo à la partie inférieure de la tour.

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.

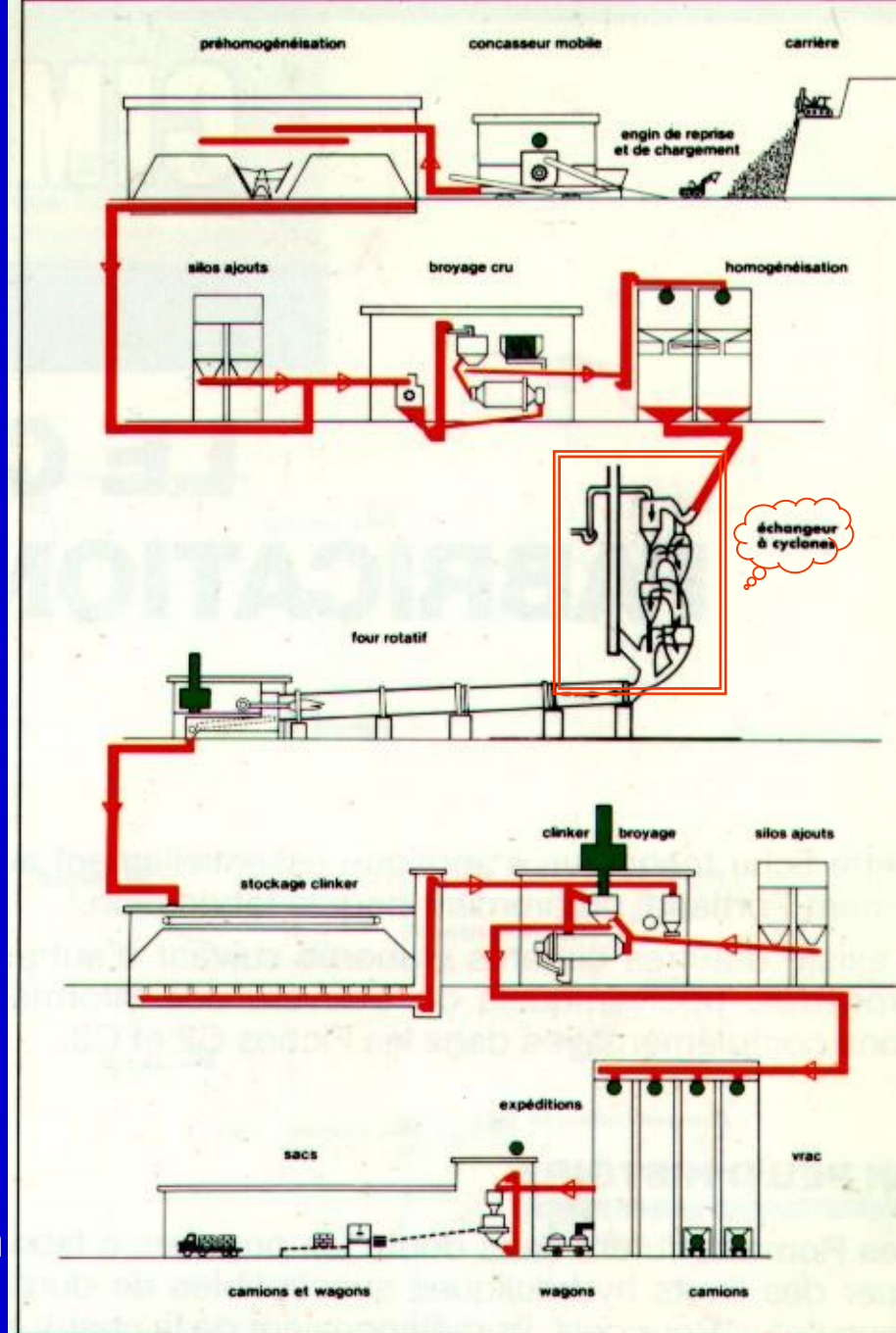


Schéma de fabrication du ciment (voie sèche).

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).

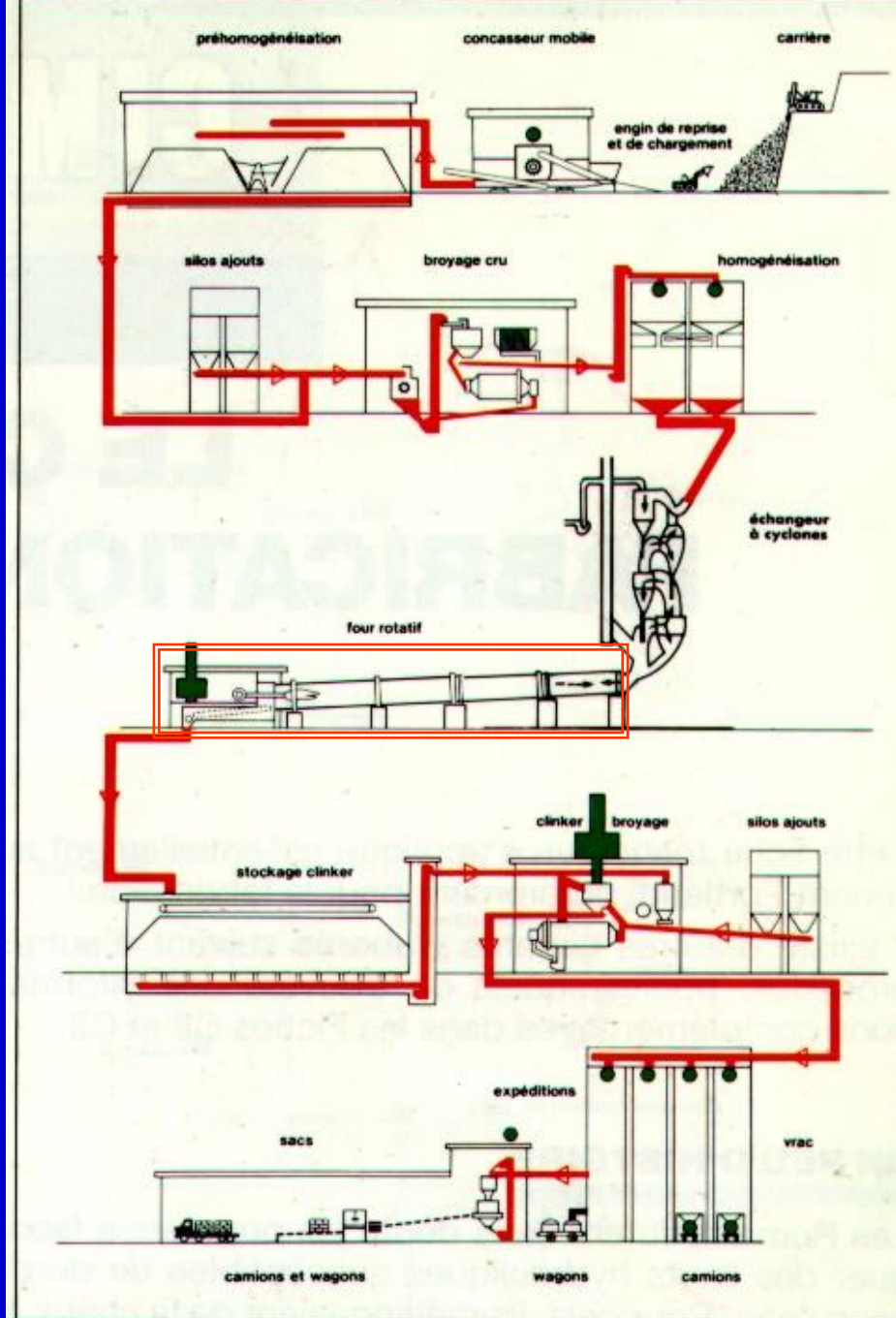
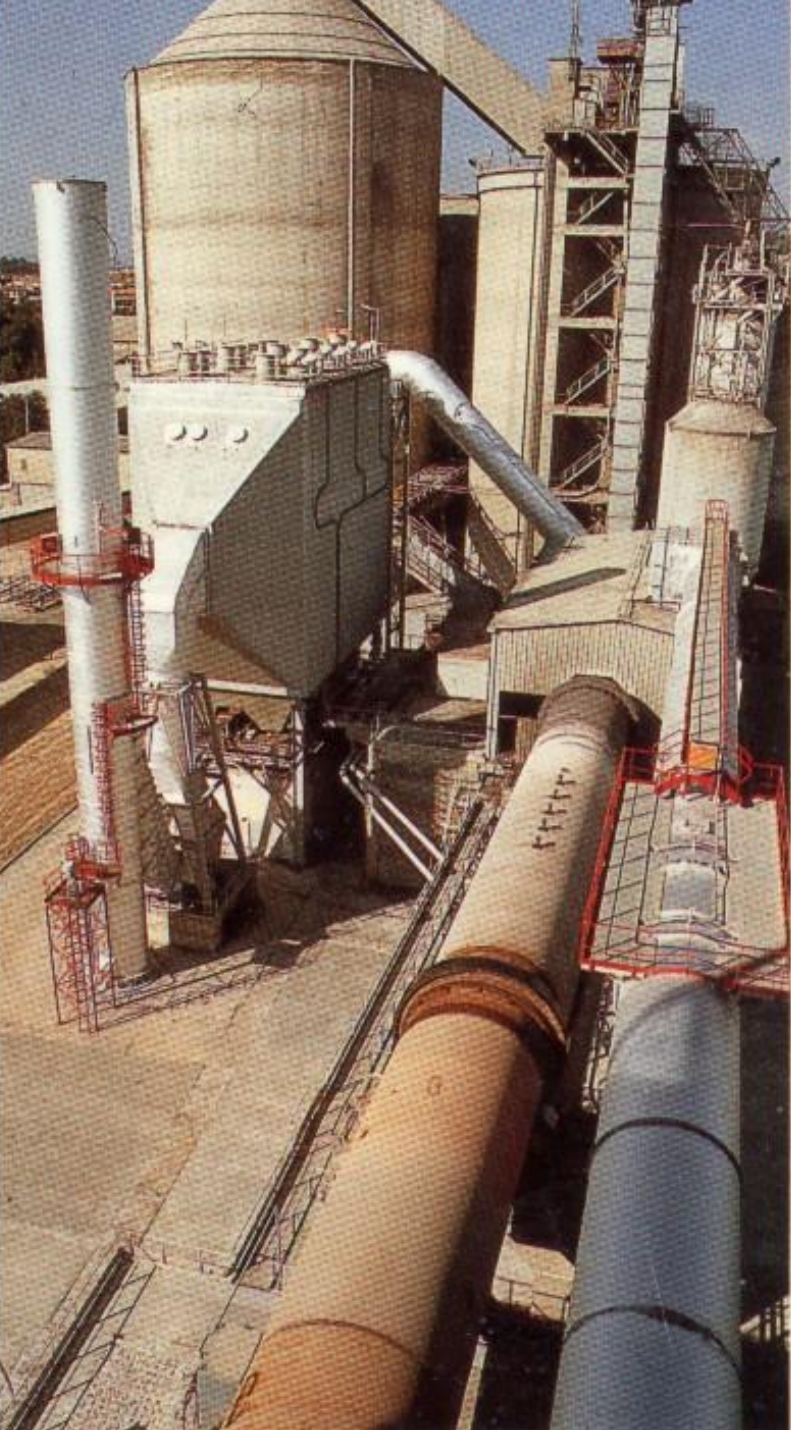


Schéma de fabrication du ciment (voie sèche).

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 :

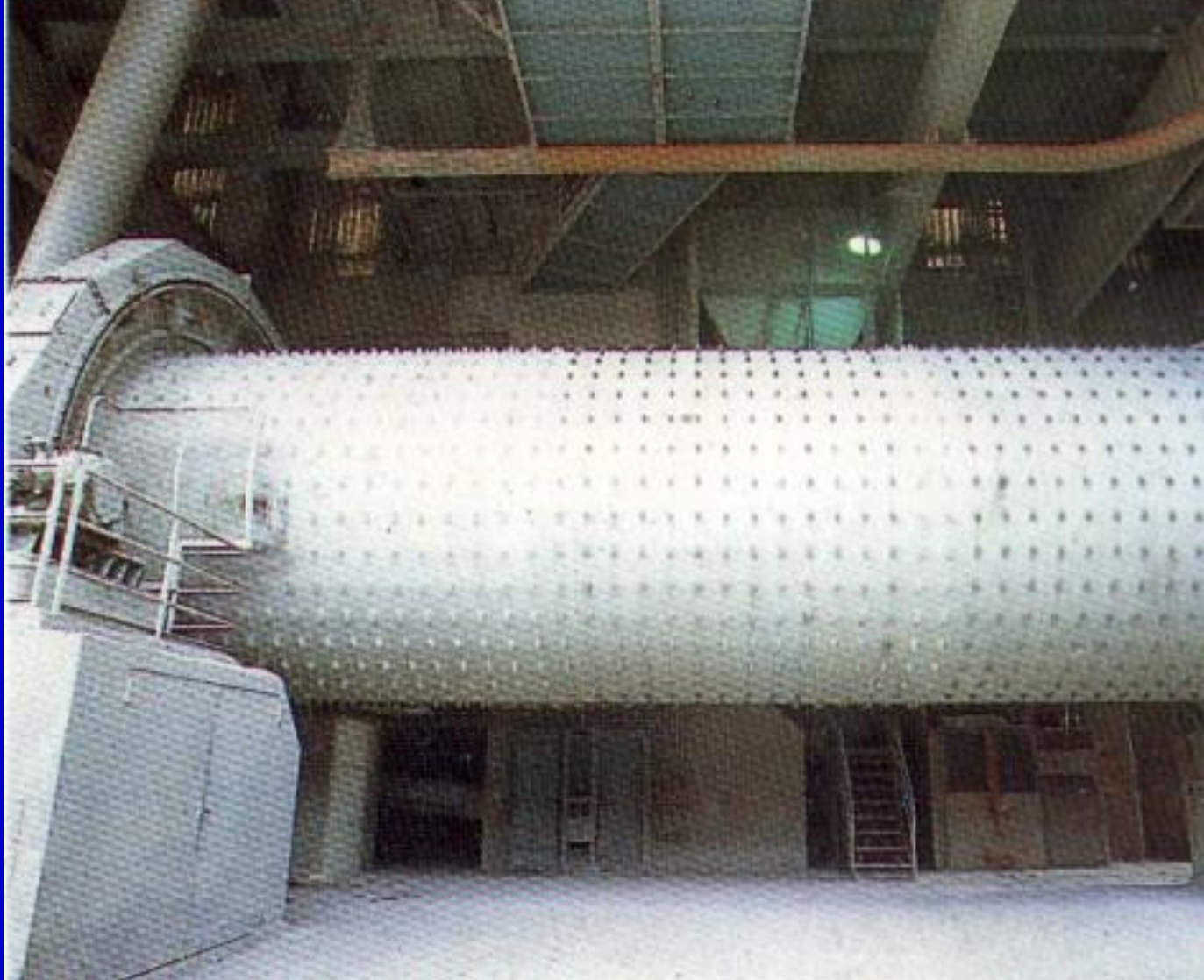
Éléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O + K ₂ O
(%)	62 ÷ 67	19 ÷ 25	2 ÷ 9	1 ÷ 5	0 ÷ 3	0 ÷ 1,5

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.

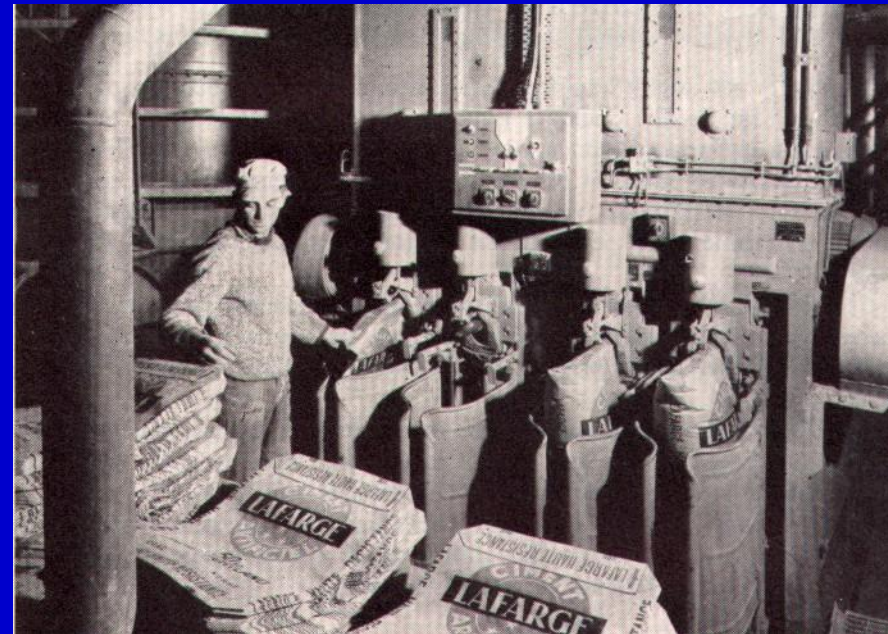


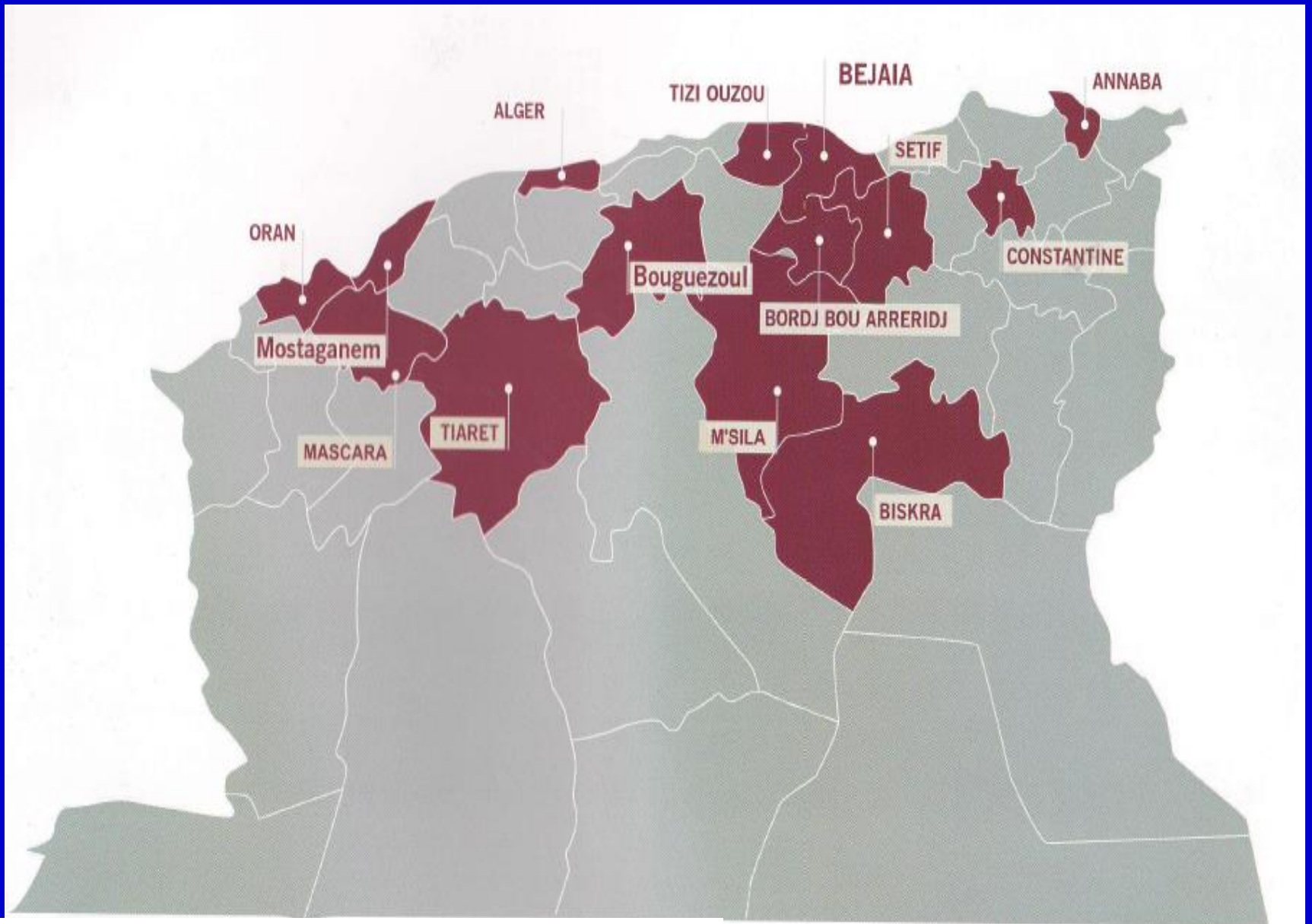
Les grains de ciment étant récupérés à la sortie du broyeur sont expédiés vers des silos de stockage. Ces silos sont cylindriques et de capacité pouvant aller jusqu'à 10.000 tonnes.

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.





Cimenteries Lafarge_Algerie

e. Propriétés principales :

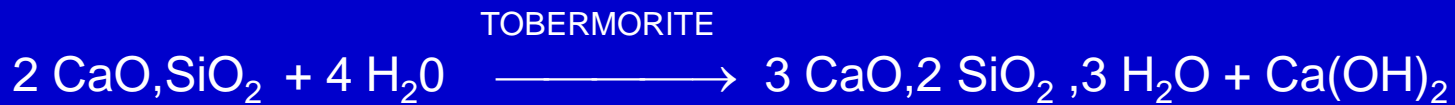
Hydratation : les réactions qui se passent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps sont extrêmement complexes.

Le clinker 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 (Ferrite) : $4 \text{ CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou par abréviation C_4AF .

Constituants	C_2S	C_3S	C_3A	C_4AF
(%)	7 ÷ 30	50 ÷ 75	0 ÷ 20	0 ÷ 16

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 :

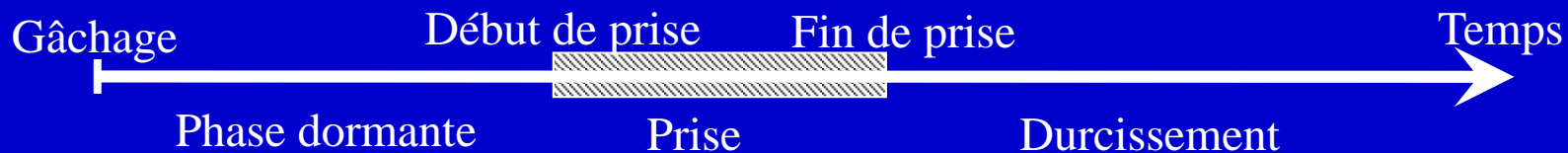
Phase dormante : où la pâte pure (ciment et eau) reste en apparence inchangée pendant un certain temps (de quelques minutes à quelques heures suivant la nature du ciment). En fait, dès le malaxage, les premières réactions se produisent; mais sont ralenties grâce aux ajouts de gypse.



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 ciment 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 mécanique continue à croître très lentement; mais la résistance à 28 jours est la valeur conventionnelle.



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 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	≥ 32,5	≤52,5
		--	≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	R (rapide)	≥20	≥ 42,5	≤ 62,5
		≥ 10	≥ 42,5	≤ 62,5
52,5	R (rapide)	≥ 30	≥ 52,5	--
		≥ 20	≥ 52,5	--

f. Différentes catégories des ciments courants et Utilisations :

Le ciment Portland Artificiel (CPA-CEM I) :

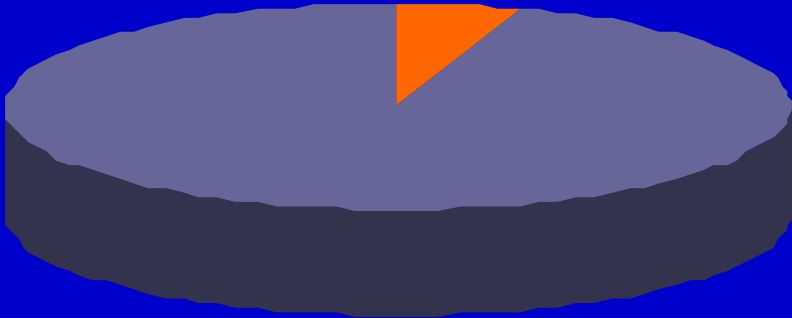
Composition : résulte du broyage du clinker et du sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) pour régulariser la prise, et éventuellement de fillers en faible quantité (<5%). La teneur en clinker est au minimum 95%.

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 DESIGNATIONS DES CIMENTS

CPJ - CEM II / A 42,5 R

pour indiquer que le produit est un ciment

pour indiquer le type de ciment

Pour indiquer la proportion des constituants.

Classes de résistances

R : résistance au jeune âge élevée (2 jours).

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

