

Département Géosciences
LST : Géosciences Appliquées



Cours de G618

Géomatériaux

Prof. Khaoula QARQORI

AU : 2020-2021

Table des matières

Chapitre I : Introduction sur les Géomatériaux	4
1) Définition :.....	4
2) Classification Générale :	4
2-1- Roches ignées :.....	4
2-2- Roches sédimentaires :	4
2-3- Roches métamorphiques :	4
Chapitre II : Les propriétés des Géomatériaux	5
1) Rappel sur les propriétés générales	5
2) Roches ignées :.....	5
2-1- Le granit :	5
2-2- Le porphyre :.....	5
2-3 : Le basalte :.....	5
3) Roches sédimentaires :.....	6
3-1- Le calcaire :.....	6
3-2- Le schiste (ou shale) :.....	6
3-3- Le grès :	6
4) Roches métamorphiques :.....	7
4-1- Quartzite : formé par cristallisation de grès :	7
4-2- Marbre : formé par cristallisation de calcaire :.....	7
Chapitre III : Caractérisation et prospection des géomatériaux pour le génie civil.....	8
1) Granulats	8
1-1- définition.....	8
1-2- utilisation	8
1-3- Classification des granulats.....	8
1-4- Extraction	9
1-5- Traitement :	9
2) Ciment	9
2-1- Définitions.....	9
2-2- Fabrication du ciment	10
2-3- Propriétés physico-mécaniques du ciment.....	10
2-4- Les différents ciments.....	11
3) Chaux.....	11
3-1- Généralités	11

3-2- Synthèse de la chaux :	12
3-3- Réactions chimiques de la synthèse de la chaux aérienne :	12
4) Béton/Mortier	13

Chapitre I : Introduction sur les Géomatériaux

1) Définition :

Les matériaux de construction trouvent leur origine dans le sol, en premier lieu les pierres qui sont depuis les temps les plus anciens sont des éléments de construction résultent du refroidissement progressif de la masse de la terre passant dans sa première phase de formation de l'état gazeux à l'état liquide (le magma) puis, au contact de l'atmosphère, à l'état solide (l'écorce terrestre).

D'autres pierres naturelles résultent de celles-ci par désagrégation, sédimentation et altération. Les pierres naturelles possèdent des formes et dimensions très variées.

2) Classification Générale :

Les roches se classent en trois grandes familles suivant leur origine :

2-1- Roches ignées :

Les roches ignées ou éruptives résultent des refroidissements du magma injecté dans les fissures de l'écorce terrestre. Certaines de ces intrusions sont restées en profondeur, d'autres ont crevé la surface pour former des volcans. Suivant leur composition et leur vitesse de refroidissement, ces roches ont donné lieu aux principaux types de texture.

* Texture granitique (granite) :	Ce type de roche se présente sous forme de gros cristaux dus à leur vitesse de refroidissement extrêmement lente.
* Texture porphyrique (porphyre) :	La vitesse de refroidissement est moins lente que celle des granits, ce porphyre est présenté par de gros cristaux entourés d'une pâte microcristalline.
* Texture vitreuse (laves et ponces) :	Sont obtenues par une vitesse de refroidissement très rapide, de ce fait la cristallisation n'a pas pu se faire.

2-2- Roches sédimentaires :

Ces roches proviennent principalement de la destruction mécanique des roches ignées et du dépôt d'organismes tant animaux que végétaux au fond de la mer.

Exemple : Le calcaire, le schiste.

2-3- Roches métamorphiques :

Ont pour origine des roches préexistantes (éruptives ou sédimentaires) transformées par un phénomène interne forte pression ou température élevée.

Exemple : Granite ----- Gneiss,
Calcaire ----- Marbre,
Grès ----- Quartzite,
Argile ----- Ardoise.

Chapitre II : Les propriétés des Géomatériaux

1) Rappel sur les propriétés générales

L'utilisation des roches doit répondre aux exigences suivantes :

- * Homogénéité de constitution
- * Résistance à la compression
- * Résistance à l'attaque des agents atmosphériques
- * Résistance à l'absorption de l'eau
- * Ouvrabilité c-à-d les pierres doivent se laisser travailler facilement.

2) Roches ignées :

2-1- Le granit :

- * Caractéristiques :
 - Grande résistance à la compression
 - Très lourd (poids spécifique entre 2,64 et 3,05 kg/dm³).
 - Très bonne résistance aux agents atmosphériques.
 - Se laisse difficilement travailler.
 - Existe en de nombreuses couleurs (gris, bleu, noir, rouge, verdâtre).
 - Utilisation : Généralement utilisé pour les parements de façades, les escaliers et les perrons.

2-2- Le porphyre :

- * Caractéristiques :
 - Compact et dur avec des petits et grands cristaux dispersés.
 - Résiste à l'usure et aux agents atmosphériques.
 - Difficile à travailler.
 - Plus lourd que le granit.
 - Couleur généralement grisâtre.
- * Utilisation : convient très bien comme pierraille pour béton et aussi comme pierre à paver.

2-3 : Le basalte :

- * Caractéristiques :
 - Très dur et très compact.
 - Résistant aux agents atmosphériques.
 - Très difficile à travailler.
 - Poids spécifique de 2,88 à 3 kg/dm³.
 - De couleur variante de gris sombre au bleu-noir.
- * Utilisation :

Pratiquement pas utilisé dans la construction à cause de sa grande dureté ; convient pour des travaux hydraulique (murs de quai, brise-lames).

Cependant, le basalte de lave est moins dur, scié en plaques et utilisé pour les marches d'escalier.

3) Roches sédimentaires :

3-1- Le calcaire :

Principalement constitué de carbonate de calcium et partagé en deux sortes principales :

- Pierres blanches.
- Pierres bleues.

a- Pierres blanches :

- * Caractéristiques :
 - Calcaire très sableux (de 15 à 40% de sable).
 - Bonne résistance à la compression.
 - Altération rapide de la couleur.
 - Résistance assez faible aux agents atmosphériques.
 - Absorption d'eau de 2 à 30% en poids.

- * Utilisation : Moellons et parements.

b- Pierre bleues : existent en plusieurs sortes.

- * Caractéristiques :
 - Résistance à la compression allant de 1200 à 1700 kg/cm².
 - Absorption d'eau de 0,3 à 1,5%.
 - Résistance à l'usure (devient lisse à l'usure).
 - Section de rupture lisse avec des cristaux brillants.
 - Peut être facilement travaillé.
- * Utilisation : Pour les travaux de façade, soubassements, plinthes, seuils de portes et de fenêtres, encadrements et appuis de fenêtre.

3-2- Le schiste (ou shale) :

Présenté en feuilles parallèles dû aux dépôts successifs des lames d'argile.

- * Caractéristiques :
 - Très dur et compact.
 - Doux au toucher.
 - Résistant aux agents atmosphériques.
 - Existe en de nombreuses couleurs : gris, bleu-noir, vert, violet, rouge-brun.
 - A structure stratifiée.

Utilisation : Moellons bruts de construction, les déchets de schiste servent à la fabrication de briques et de blocs de construction.

3-3- Le grès :

- * Caractéristiques :
 - Absorption d'eau : de 4 à 5 % en poids.
 - Résistant aux agents atmosphériques.

- Résistance moyenne à la compression.
- * Utilisation : maçonnerie extérieure, pavage.

4) Roches métamorphiques :

4-1- Quartzite : formé par cristallisation de grès :

- * Caractéristiques :
 - Très dur.
 - Surface rugueuse et résistante à l'usure.
 - Stable aux influences atmosphériques.
 - Couleur variante du gris au bleu clair.
- * Utilisation : beaucoup utilisé pour des sols et des escaliers, aussi pour parements de façade sous forme de dalle ou de bandes.

4-2- Marbre : formé par cristallisation de calcaire :

- * Caractéristiques :
 - Peut être poli
 - Dureté et résistante aux agents atmosphériques.
 - Changement de couleur peut se produire sous l'influence de l'atmosphère et de lumière.
- * Utilisation : principalement pour les travaux d'intérieur tels les parements d'escalier et de sol, appuis de fenêtre, lambris, ...

Chapitre III : Caractérisation et prospection des géomatériaux pour le génie civil

1) Granulats

1-1- définition

Les granulats sont des roches qui ont été naturellement cassées et roulées -dans le lit des cours d'eau- ou mécaniquement concassées. Ce sont des matériaux inertes, de formes et de dimensions quelconques, appelées aussi par des agrégats.

Ils se présentent généralement selon deux types :

a. Granulats traditionnels :

Dont il faut distinguer trois catégories :

- Le granulat dit "Roulé", obtenu par criblage (tamisage) et lavage des matériaux alluvionnaires, généralement de forme arrondie.
- Le granulat dit "Concassé" obtenu par concassage de roches éruptives ou sédimentaires, généralement de forme plus ou moins anguleuse.
- Le granulat dit "Mixte" comporte à la fois des éléments roulés et concassés.

b. Granulats non traditionnels :

Ils sont d'origines diverses et destinés à des emplois bien particuliers.

Les granulats légers sont des matériaux naturels ou artificiels de faible masse volumique apparente (en général 1000 kg/m^3), utilisés dans la fabrication des bétons légers : il faut citer :

- Granulats naturels d'origine volcanique tels : la pouzzolane.
- Granulats artificiels sont des produits industriels tels : cendres volantes frittées...
- Granulats artificiels fabriqués spécialement : argile et schiste expansés, polystyrène expansé, verre expansé, etc.

1-2- utilisation

Les granulats servent, avec les liants, à la composition des mortiers et bétons

1-3- Classification des granulats

Le classement des granulats s'effectue en les passant à travers des tamis à mailles carrées dont les dimensions sont exprimées en mm.

Un granulat est dit granulat du type **d** quand il est $\geq 0,5 \text{ mm}$.

Le terme "granulat **d/D**" est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de **d** pour les petits à **D** pour les grands.

L'appellation d/D doit satisfaire aux conditions indiquées dans le tableau suivant dont les dimensions des grains correspondent à la classification de l'AFNOR norme NFP18304.

- Refus sur le tamis de maille $D \leq 15 \%$ si $D > 1,56 d$
- Tamisât sous et le tamis de maille $d < 20 \%$ si $D \leq 1,56 d$
- Refus sur le tamis de maille $1,56 D = 0$

- Tamisât sous le tamis de maille 0,63 d < 3 % si $D > 5$ mm et 0,63 d \leq 5 % si $D \leq 5$ mm.
- Si $d < 0,5$ mm, le granulat est dit O/D.

Avec

- d : l'ouverture de maille du tamis par laquelle l'agrégat ne passe pas.
- D : l'ouverture de maille du tamis par laquelle l'agrégat passe.

1-4- Extraction

La pierre naturelle extraite de carrières, cette extraction peut se faire par tirage d'explosifs, par sciage au fil hélicoïdal.

c. Tirage d'explosifs :

De nombreux trous profonds et étroits sont forés dans la roche. Au fond de ces trous, on dispose l'explosif, relié par des fils ou par des mèches à un déclencheur, pour la mise à feu. Ce procédé ne convient qu'à l'extraction des moellons à utiliser bruts ou tout-venant, et destinés :

- à la construction de maçonneries grossières :
- à l'enrochement.
- au concassage et à la fabrication des ciments.

En effet, ce procédé déforce la texture de la pierre.

d. Extraction au fil hélicoïdal :

Il s'agit d'un fil d'acier qui scie la roche, un jet d'eau entraînant du sable rugueux est envoyé dans le trait du scie, c'est en fait le sable qui scie la roche et non le fil.

e. Extraction aux coins d'acier :

On creuse d'abord des trous suivant la ligne de séparation que l'on a choisie, puis on enfonce des coins en acier au moyen d'un marteau d'une vingtaine de kilos.

1-5- Traitement :

Les grands blocs extraits sont ensuite débités par clivage ou par sciage à l'aide des scies groupées sur un même châssis (armure) ou de la scie à disque (le disque est recouvert de poussière de diamant). La pierre naturelle peut alors être taillée en fonction de sa nature et de son emploi.

La surface de la pierre peut également être ravalée, égrisée, adoucie, polie mate ou polie brillante.

2) Ciment

2-1- Définitions

Le ciment est un liant hydraulique c'est-à-dire : il est capable de faire prise, de durcir et de développer des résistances à l'air comme dans l'eau.

Le béton est un Géomatériaux composite, composé essentiellement de ciment + eau + granulats.

Une Pâte = Ciment + Eau.

Un mortier = Ciment + Eau + Sable.

Un Béton = Ciment + Eau + Sable + Gravier.

2-2- Fabrication du ciment

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80 % + 20 % respectivement.

Le ciment est fabriqué (*par voie sèche*) selon le processus suivant (*fig. 1*):

- Extraction de matière première de la carrière ;
- Concassage primaire de la matière première ;
- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite ;
- Broyage de la matière concassée.
- Dosage et homogénéisation de la farine crue (*matière broyée*) ;
- Phase de préchauffage de la farine crue (*et précalcination*) à **850° C**, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de **1450° C**. le produit sortant du four s'appelle le **clinker**;
- Broyage du mélange : clinker + gypse ($\approx 5\%$) + ajouts éventuels.
- Le produit fini (*ciment*) est prêt alors pour être expédié en sacs en vrac.



Figure 1- Méthode de fabrication de ciment par voie sèche.

Remarque : Les ajouts minéraux dans le ciment ont pour but d'améliorer les propriétés physico-mécaniques du ciment, et ça résistance aux agressions chimiques.

2-3- Propriétés physico-mécaniques du ciment.

a. La prise

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par

moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il fait prise.

b. Le durcissement

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

c. La finesse de mouture (*surface spécifique de Blaine*)

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm²/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm²/g.

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible et plus le retrait est important.

d. La résistance à la compression

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa.

Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le sable utilisé est un sable appelé: "sable normalisé".

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.

2-4- Les différents ciments

Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales (voir la norme (en)EN-197-1-2000) pour plus de détails :

- Ciment Portland (noté CEM I)
- Ciment Portland composé (noté CEM II)
- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III)
- Ciments pouzzolaniques (noté CEM IV)
- Ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V)
- *Ciment blanc (différent des précédents par sa composition chimique et la méthode de fabrication).*

3) Chaux

3-1- Généralités

La chaux est un « matériau naturel » qui entre dans un grand nombre d'utilisations, depuis des applications artisanales jusqu'à des processus industriels très évolués, notamment, dans la stabilisation des routes et des chemins, dans la modification des caractéristiques physiques du sol. Elle est utilisée aussi en agriculture, en servant à diminuer le pourcentage d'eau contenu dans un sol humide (chaux vive) et à flocculer les argiles du sol provoquant

ainsi une réaction physico-chimique et à permettre le passage d'une structure plastique à une composition stable, grumeleuse (chaux vive ou chaux éteinte).

Elle agit pour solubiliser la silice et l'alumine contenues dans l'argile et former un silicate et aluminat de calcium. La chaux intervient dans la composition d'un liant hydraulique qui agglomère les composants du sol et en augmente la dureté.

3-2- Synthèse de la chaux :

Les principales étapes de la synthèse de la chaux sont sur la *Figure* . La matière première est du carbonate de calcium (calcaire), solide ionique dont l'écriture statistique est CaCO_3 (et l'écriture ionique est $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, constitué du cation monoatomique calcium Ca^{2+} et de l'anion polyatomique carbonate CO_3^{2-}). Le calcaire est extrait du gisement, concassé et broyé puis chauffé à 900°C (four à chaux) pour obtenir, après broyage, la chaux vive.

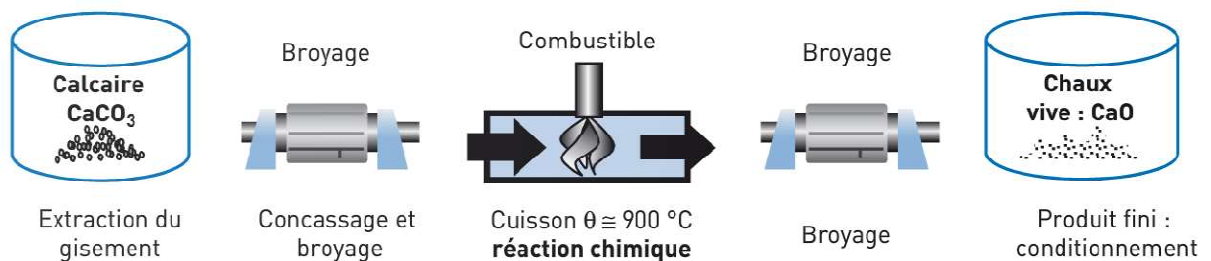


Figure 2: Synthèse de la chaux

La chaux vive (solide ionique d'écriture statistique CaO et d'écriture ionique $\text{Ca}^{2+} + \text{O}^{2-}$) peut être éteinte par adjonction d'eau (*Figure*). On obtient alors de l'hydroxyde de calcium, solide ionique d'écriture statistique $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et d'écriture ionique $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$. L'ion hydroxyde OH^- est un anion polyatomique, responsable de la basicité d'une solution aqueuse (la chaux peut servir à rendre la terre moins acide et plus fertile - terre granitique - grâce à son caractère basique).

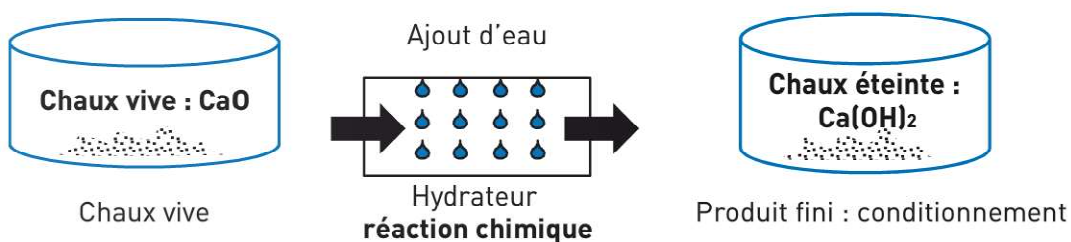
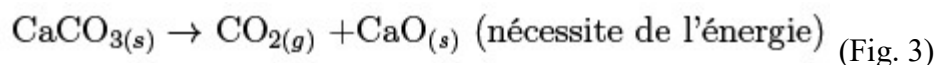


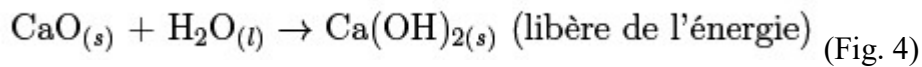
Figure 3: De la chaux vive à la chaux éteinte

3-3- Réactions chimiques de la synthèse de la chaux aérienne :

La chaux vive, qui correspond à de l'oxyde de calcium CaO est obtenue par calcination (chauffage) du carbonate de calcium CaCO_3 , au cours de cette réaction, il y a dégagement de dioxyde de carbone CO_2 , c'est la décarbonatation (Fig. 3).



La réaction entre la chaux vive CaO et l'eau H₂O s'appelle la réaction d'extinction de la chaux, elle amène à la formation de la chaux éteinte qui correspond à l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂ (Fig. 4):

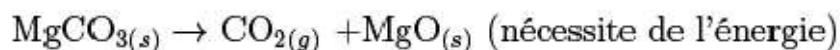


Il existe également les chaux magnésiennes et dolomitiques. Dans ce cas l'oxyde de magnésium MgO, encore appelé "magnésie", utilisée par les gymnastes et les grimpeurs pour ne pas glisser, remplace en partie l'oxyde de calcium CaO :

Pourcentage massique MgO	< 5%	5 à 34 %	34 à 41,6 %
Dénomination	Chaux calciques	Chaux magnésiennes	Chaux dolomitiques

Pour les chaux magnésiennes ou dolomitiques, les composés du magnésium suivent les mêmes réactions que les composés du calcium. Les réactions chimiques correspondantes sont obtenues en substituant l'élément calcium par l'élément magnésium (situé juste au-dessus, dans la même colonne du tableau périodique, donnant un ion magnésium Mg²⁺, qui prend la place de l'ion calcium Ca²⁺).

— Production d'oxyde de magnésium MgO appelé magnésie (passage au four) :



— Extinction de la magnésie :

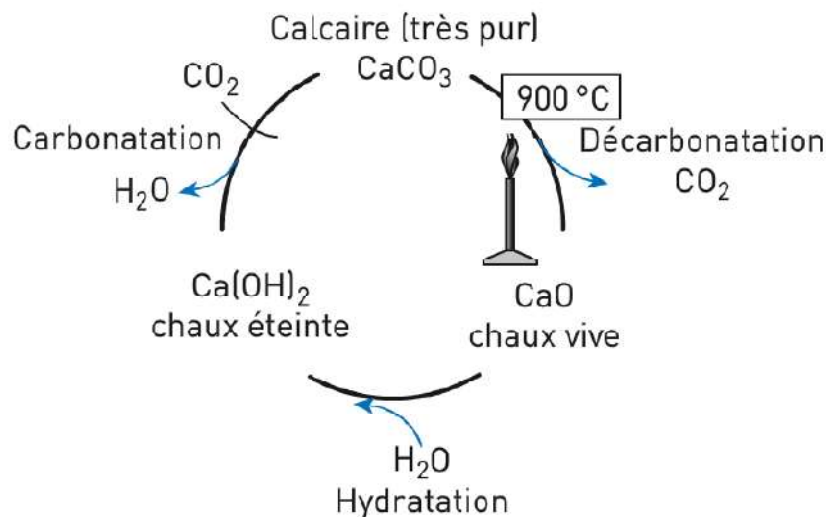


Figure 1: Cycle de la chaux aérienne

4) Béton/Mortier

Un béton est un mélange de ciment, de granulats et d'eau. Dans un mortier, le sable assure le rôle des granulats. Sous l'effet du contact avec l'eau, le ciment s'hydrate et durcit

pendant la phase que l'on appelle la "prise". Une fois que les réactions d'hydratation sont suffisamment avancées, il y a durcissement du béton, ou du mortier. Ces derniers gardent leurs propriétés mécaniques, même s'ils sont en contact avec l'eau : ruissellement, immersion...

Le rapport masse d'eau utilisée m_{eau} sur masse de ciment utilisée m_{ciment} est déterminant sur les caractéristiques mécaniques du béton, sur sa porosité et son retrait :

	bétons houtes performances	bétons courants	à éviter
$m_{\text{eau}}/m_{\text{ciment}}$	0,3	0,5	> 0,6

Pour éviter une prise trop rapide du ciment, on ajoute au clinker du gypse. Le gypse contient du sulfate de calcium CaSO_4 ($\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$) qui joue le rôle de retardateur, permettant ainsi une régularisation de la prise. Sans apport de gypse, les aluminates de calcium réagissent très rapidement, ce qui empêche la réaction des silicates de calcium.

- Les silicates de calcium, sous l'effet de l'hydratation constituent la "colle" du ciment.
- L'hydroxyde de calcium libéré donne au béton son caractère basique.

La meilleure contribution aux propriétés mécaniques d'un béton est due à l'hydratation des silicates tricalciques. Il constitue ainsi l'ingrédient le plus intéressant. L'augmentation de sa proportion massique dans un clinker a permis de développer des bétons plus performants.

Les classes les plus connues du Béton: en fonction de la nature du ciment, du dosage et des ajouts :

- Béton
- Béton armé
- Bétons pour dallage
- Bétons caverneux