

I-1 Ciment

I-1-1 Introduction:

En leur temps, les romains furent les premiers à fabriquer un liant hydraulique capable de faire prise sous l'eau en mélangeant de la chaux à des cendres volcaniques. Bien que connues depuis l'antiquité, les propriétés d'hydraulicité de ce mélange sont restées inexplicables pendant des siècles. Ce n'est qu'en 1817 que Louis Vicat en établit la théorie et révéla les principes de fabrication du ciment artificiel que nous utilisons encore aujourd'hui. En 1824, l'écossais Aspdin augmente la température de cuisson du ciment jusqu'en début de fusion des matériaux de base et donne au ciment le nom de Portland en référence à la pierre de cette région dont les propriétés étaient comparables. [1]

I-1-2 Définition:

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 °C , température de fusion .

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Ce durci ciment est dû à l'hydratation de certain composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [2]



Figure I-1 : Poudre de ciment courant.

I-1-3 Principe de fabrication ciment portland:

La fabrication de ciment se réduit schématiquement (voir figureI-2) aux trois opérations suivantes:

- préparation du cru;
- cuisson;
- broyage et conditionnement. [2]

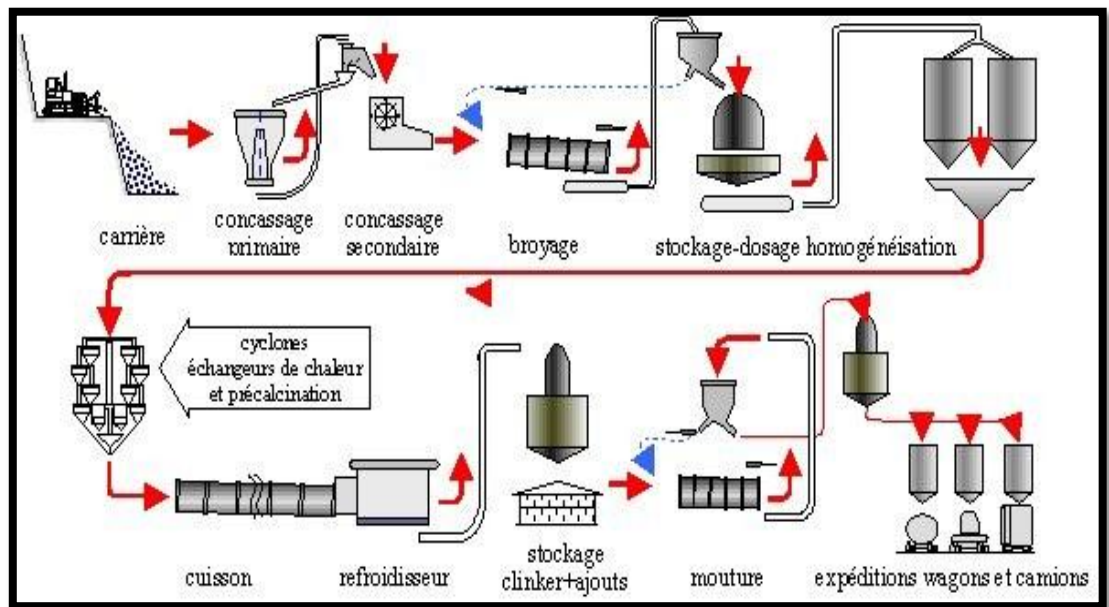


Figure I-2 Fabrication du ciment.

I-1-4 Les Constituants du ciment:

I-1-4-1 Clinker

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clink irisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne...). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [2]

Les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (1-3)).

- Silicate tricalcique (C_3S) : $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Alite);
- Silicate bicalcique (C_2S) : $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Belite);
- Aluminate tricalcique (C_3A) : $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$;
- Ferro aluminate calcique (C_4AF) : $4\text{CaO} .\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Célite).

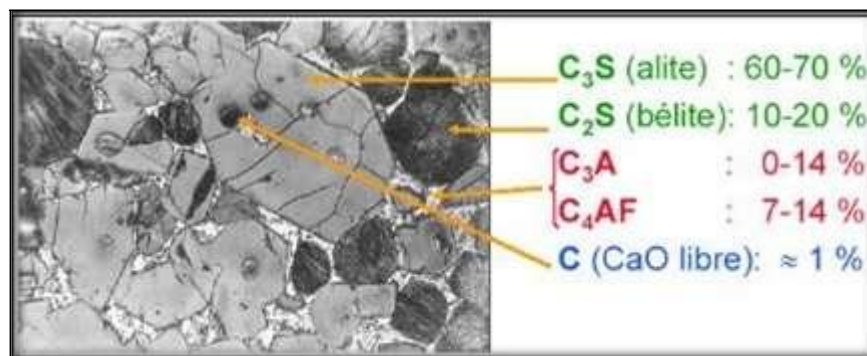


Figure I-3 : Microphotographie d'un clinker.

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (I-1) ci –dessous :

Le Tableau I-1: Composition chimique et minéralogique du clinker [3].

Composants Minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne(%)
C_3S	40-70	60
C_2S	00-30	15
C_3A	02-15	08
C_4AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO_2	18-24	21
Al_2O_3	04-08	06
Fe_2O_3	01-08	03
MgO	< 05	02
K_2O, Na_2O_3	< 02	01
SO_3	< 03	01

I-1-4-2 Le gypse($CaSO_4$) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

I-1-5 Classification des ciments courants:

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (I-2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

Tableau I-2:les différents types de ciment courants [4].

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires-schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A	Ciment portland Composé	80à 94%	-de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0à5%
CPJ-CEMII/B		65 à79%		0à5%
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-Fourneau	35à64%	-35à65% de laitier de haute-fourneau	0à5%
CHF-CEM III/B		20à34%	-66à80% de laitier de haut-fourneau	0 à5%
CLK-CEMIII/C		5à19%	-81 à95% de laitier de haut-fourneau	0à5%
CPZ-CEMIV/A	Ciment Pouzzolanique	65 à90%	-10à35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55% comme ci-dessus	0à5%
CPZ-CEMIV/B		45à64%		0à5%
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40à64%	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5%
CLC-CEM V/B		20à39%		0à5%

I-1-6 Propriétés des ciments :**I-1-6-1 Caractéristique physiques:****I-1-6-1-1 Comportement physico –chimique de la pâte :**

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique est accompagnée d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

I-1-6-1-2 Prise:

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R.

1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I-1-6-1-3 Durcissement:

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles

les résistances mécaniques continuent décroître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances [4].

I-1-6-1-4 Chaleur d'hydratation:

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on s'intéresse à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEMI. [4]

I-1-6-1-5 Finesse de mouture:

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g [4].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du Ciment sont accrus.

I-1-6-1-6 Retrait:

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent : c'est le retrait.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% [4].

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5R.
- 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R. Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont:
- la nature du ciment;
- la finesse de mouture;

- le dosage en ciment, dans le béton;
- le dosage en eau;
- la propreté et nature des granulats.

I-1-6-1-7 Gonflement:

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement.

Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes. [4]

I-1-6-2 Caractéristiques chimiques du ciment:

• Ciments courants:

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau (I-3) .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau I-3 : Caractéristique chimique de ciment courante [4].

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en% de la masse
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Oxyde de magnésium	CPA-CEM I	toutes classes	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO₃ limite supérieure	CPA-CEM I Et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 32,5 R 42,5	$\leq 3,5$
	CPZ – CEM IV et CLC – CEM V CHF-CEM III	42,5 52,5 52,5 R toutes classes	≤ 4
			≤ 4
Chlorures	tous types de ciment (CHF-CEM III/A et B et les CLK-CEM III/C)	52.5 R	$\leq 0,05$
		toutes les autres classes	$\leq 0,10$

I-1-6-3 Caractéristiques mécaniques des ciments courants:

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes:

Tableau I-4: Caractéristique mécanique des ciments courants [4].

Classe de ciments	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32,5		$\geq 32,$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,$	$\geq 32,$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,$	$\geq 42,$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,$	-
52,5R	≥ 30	$\geq 52,$	-

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvent par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent), la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau (I-5) ci-dessous :

Tableau I-5 : résistances garanties des ciments courants [4].

Classe des ciments	Résistances garanties à 2 jours (MPa)	Résistances garanties à 7 jours (MPa)	Résistances garanties à 28 jours (MPa)
32,5		17,5	30
32,5R	12	-	30
42,5	10	-	40
42,5R	18	-	40
52,5	18	-	50
52,5R	28	-	50

I-2 Mortier

I-2-1 Introduction

Les mortiers sont présents dans tous les secteurs d'activité du bâtiment et des Travaux publics.

A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être dédié à :

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits monocouche),
- la pose des carrelages (mortier colles et mortier des joints),
- la préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- les assemblages (élément de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),
- l'isolation et l'étanchéité (système d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- les travaux spéciaux (gunitage, épations d'ouvrage d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages). [5]

I-2-2 Définition :

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être:

- préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- livrés par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers. [5]

I-2-3 Le rôle d'utilisation de mortier:

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels : [5]

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Etre le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection.

I-2-4 Les caractéristiques de mortier :

Elles sont nombreuses .A savoir : [5]

- Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique ;
- Etre imperméable: pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ;
- Adhérer aux matériaux: pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries;
- Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements ou les dislocations des ouvrage;
- Résister aux agents agressifs d'une atmosphère ou d'un sol pollués ;
- Etre ouvrable, afin que l'exécutant puisse le mettre en place dans les meilleures conditions;
- Conserver toutes ses qualités, et notamment la permanence de la résistance.

De quoi dépendront tous ces qualités ?des constituants:

- de leur nature;
- de leur dosage.

I-2-5 Composition

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment, de l'eau, du sable, des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

Les mortiers sont constitués par des mélanges de: [5]

- liant (ciment ou chaux);
- eau;
- sable;
- adjuvants.

I-2-5-1 Les liants:

Généralement, on peut utiliser: [5]

- les ciments normalisés (gris ou blanc);
- les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..);
- les liants à maçonner;
- les chaux hydrauliques naturelles;
- les chaux éteintes.

I-2-5-2 Les sables:

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être:

- naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs;

- spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
 - sable de laitier;
 - sable d'oxydes de fer, de chromite;
 - corindon;
 - sable de briques concassées;
 - liège torréfié;
 - polystyrène expansé;
 - vermiculite, perlite.

Certains sables sont à éviter, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- fins: jusqu'à 1,6 mm;
- moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- gros: jusqu'à 5 mm. [5]

I-2-5-3 Les adjuvants:

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants:

- les plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre. [5]

I-2-5-4 Les ajouts:

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont: [5]

- poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..);
- fibres de différentes natures;

- colorants (naturels ou synthétiques);
- Polymers.

I-2-6 Les différents mortiers

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier: [5]

1- Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

2- Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

3- Les mortiers bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

4- Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables.

5- Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants.

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié;
- mortiers d'imperméabilisation;
- mortier d'isolation thermique;
- mortier de jointoiement;
- mortier de ragréage;
- mortier de scellement, mortier pour chapes;
- mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc...
- mortier de réparation.

I-2-7 Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales des mortiers sont:[5]

- ouvrabilité;
- prise;
- résistances mécaniques;
- retraits et gonflements, etc.

I-3 Conclusion :

Les mortiers et les ciments sont les matériaux les plus utilisés et les plus importants dans le domaine de la construction surtout ces dernières années en Algérie.