



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : MATERIAUX

THEME

**Enjeux de la valorisation et de la
diversification des matériaux
locaux de construction dans les
perspectives d'un développement
durable de la région du « Hodna »**

**Dirigé par :
Mr. AMOUR.A**

**Présenté par :
ALI ZEGHLACHE HAMZA**

Promotion : 2016/2017.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je dédie ce travail,

*À ma famille : ma mère mon père et ma femme, mes
petits fils et mes frères et mes sœurs.*

À mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier mon

Promoteur Mr : Amour Ahmed

Pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils

Fructueux qui m'ont facilité la réalisation de ce travail.

Je remercie pareillement l'ensemble des Maîtres de conférences,

les professeurs sur tout le chef département Mr Baali Laid

Je remercie ma famille et tous mes amis

Liste des figures

Liste des figures

1^{er} Partie

Chapitre 01

Figure I-1: pollution de l'aire	3
Figure I-2: désertification	3
Figure I-3 : Montée du niveau des océans	3
Figure I-4: Les trois cercles du développement durable	4
Figure I-5: Les trois piliers du développement durable.....	5
Figure I-6: Les trois composantes de développement durable	6
Figure I-7 : Face à la pauvreté	8
Figure I-8 : Face à la faim	8
Figure I-9: Les inégalités sociales	8
Figure I-10 : Face à l'éducation.....	9
Figure I-11 : Des inégalités devant la santé.....	9
Figure I-12 : La création d'emplois.....	10
Figure I-13: La recherche et l'innovation.....	10
Figure I-14: La formation universitaire et professionnelle.....	10
Figure I-15:La relation entre les trois piliers du développement durable.....	12
Figure I-16 : L'ONU : 8 objectifs pour le millénaire	12
Figure I-17: Conférence [sommet de terre à Rio de Janeiro en 1992]	13
Figure I-18: ONG [Organisation Non Gouvernementale].....	13
Figure I-19: Ressources minérales [l'eau].....	15
Figure I-20: Ressources fossile [pétrole].....	16
Figure I-21: Ressources végétales [les forêts]	16

2^{ème} Partie

Chapitre 02

Figure II-1: Le granit	20
Figure II-2: pierres volcaniques.....	20
Figure II-3: Le calcaire	20
Figure II-4 : Le grès.....	20

Liste des figures

Figure II-5: Les schistes argileux	21
Figure II-6 : Le Quartzite.....	21
Figure II-7 : Le marbre	21
Figure II-8 : La terre	22
Figure II-9 : Types de stabilisants	24
Figure II-10: les méthodes principales pour produire des matériaux en terre cuite	28
Figure II-11: les catégories des liants minéraux	29
Figure II-12: les différentes variétés de ciment	32

Chapitre 03

Figure III-1: La pierre naturelle.....	42
Figure III-2: La terre.....	44
Figure III-3: Le calcaire.....	50
Figure III-4 : La chaux vive.....	50
Figure III-5: Hydratation (Réaction en cours).....	50
Figure III-6 : La chaux éteinte.....	50

3^{ème} Partie

Chapitre 04

Figure IV-1: moule de l'adobe	60
Figure IV-2 : moules multiples.....	61
Figure IV-3: La construction en pisé.....	62
Figure IV-4: Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé	63
Figure IV-5: Construction un mur en pisé.....	64
Figure IV-6: Blocs de Terre Comprimée.....	65
Figure IV-7: Brique de terre compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle.....	65
Figure IV-8: Cycle de production BTC (V.HOUBEN et AL, 1995)	66
Figure IV-9: Blocs pleins	67

Liste des figures

Figure IV-10: Différents produits de blocs de terre comprimée	68
Figure IV-11: Maçonnerie en bloc de terre comprimée	68
Figure IV-12: Murs en bloc de terre comprimée	69
Figure IV-13: L'effet de la chaux: améliorer les performances d'une terre	70

Chapitre 05

Figure V-1: Produit en briques silico-calcaire.....	72
Figure V-2: Mur en brique silico-calcaire	77
Figure V-3: Le béton cellulaire	81
Figure V-4: Facilité de façonnage	83
Figure V-5 : La maçonnerie (murs) en Siporex.....	84
Figure V-6: Plancher en Siporex	84

Chapitre 06

Figure VI-1: La construction en pierres naturelles	86
Figure VI-2: Les principaux appareils de la maçonnerie en pierre. Définitions de la guide technique 6 de la ville de Québec : « La maçonnerie de la pierre »	87
Figure VI-3: Pierre de taille : Eléments secondaires (appuis de fenêtres, linteau,... etc).....	88
Figure V-4: Ardoises pour la couverture de toits	89
Figure VI-5: revêtements de sol : rues de cité L'Aargoub -m'sila-.....	89
Figure VI-6:Mur de soutènement : à côté de « oued k'sob » -m'sila-.....	89

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Sommaire

Liste des figures

ملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale

1^{er} Partie : Le développement durable

Chapitre 01 : Concept du développement durable.

Introduction	3
I-1- Définitions	4
I-1-1- La définition « officielle » du développement durable	4
I-1-2- Le développement durable	5
I-2- l'émergence du concept de développement durable	6
I-3- Les trois composantes ou piliers de développement durable	6
I-4- Les enjeux du développement durable et leurs dimensions par les 3 piliers	7
I-4-1- Dimension environnementale.....	7
I-4-2- Dimension sociale	7
I-4-3- Dimension économique.....	9
I-5- l'importance et l'objectif du développement durable.....	11
I-5-1- Pourquoi le développement durable est-il si important ?.....	11
I-5-2- Quelles sont ses finalités ?	11
I-5-3- L'objectif du développement durable	11
I-6- Les différentes échelles	12
I-7- Le développement durable et la responsabilité sociale	13
I-8- La construction et le développement durable	14
I-8-1- Généralité	14
I-8-2- Le secteur du bâtiment	14
I-8-2-1- Choix des matériaux de construction.....	14

Sommaire

I-8-2-2- L'énergie consommée dans un cycle de vie d'un bâtiment	15
I-8-2-3- La gestion des ressources naturelles	15
I-8-2-4- La gestion des déchets	16
CONCLUSION	18

2^{ème} Partie : Matériaux locaux de construction

Chapitre 02 : Les matériaux de constructions

Introduction	19
II-1- Définition	19
II-2- Citation des différents matériaux de construction	19
II-2-1- La pierre	19
II-2-2- Terre, sol, latérite	21
II-2-3- Stabilisants	22
II-2-4- Produits en terre cuite	27
II-2-5- Les liants	28
II-2-6- Le ciment	31
II-2-7- Le béton	33
II-2-8- Le ferrociment.....	35
II-2-9- Le fibromortier et le microbéton.....	35
II-2-10- Le bambou	36
II-2-11- Le bois.....	36
II-2-12- Les métaux	38
II-2-13- Le verre	38
II-2-14- Les Plastiques	38
II-2-15- Le soufre	39
II-2-16- Les déchets.....	39

Sommaire

Chapitre 03 : Les matériaux locaux de constructions

Introduction	40
III-1- Les matériaux locaux de constructions	40
III-1-1- Définition.....	40
III-1-2- Caractéristique des matériaux locaux de construction	41
III-2- Choix des matériaux de construction appropriés	41
III-3- Recensement des quelques matériaux locaux de construction	41
III-3-1- La pierre	41
III-3-1-1- Généralités.....	42
III-3-1-2- L'extraction.....	42
III-3-1-3- Les avantages	43
III-3-1-4 Les problèmes.....	43
III-3-1-5- Les remèdes.....	43
III-3-2- La terre	44
III-3-2-1- Généralités.....	44
III-3-2-2- Types des essais	44
III-3-2-3- Applications	45
III-3-2-4- Les avantage.....	45
III-3-2-5- Les problèmes	46
III-3-2-6- Les remèdes.....	46
III-3-3- L'argile	47
III-3-3-1- Généralité	47
III-3-3-2- Définition	47
III-3-3-3- Minéralogie des argiles	47
III-3-3-4- L'utilisation des argiles	48
III-3-4- La chaux	48
III-3-4-1- Généralités.....	48
III-3-4-2- Les réactions chimiques	49

Sommaire

III-3-4-3- Extraction	51
III-3-4-4- Matières premières	51
III-3-4-5- Fabrication des chaux hydrauliques naturelles	51
III-3-4-6- Extinction des chaux hydrauliques.....	52
III-3-4-7- Applications	52
III-3-4-8- Les avantages	52
III-3-4-9- Les problèmes	53
III-3-4-10- Les remèdes.....	53
III-3-5- Le plâtre	54
III-3-5-1- Généralité	54
III-3-5-2- Caractéristiques	54
III-3-5-3- Le gypse naturel	55

3^{ème} Partie : Valorisation et diversification des matériaux locaux de construction.

Chapitre 04 : Valorisation et diversification de la terre

Introduction	56
IV-1- La terre	56
IV-1-1- Généralité	56
IV-1-2- Modes de fabrication	57
IV-2- Diversité de la construction en terre	57
IV-2-1- Béton de terre stabilise (BTS)	57
IV-2-1-1- Définition	57
IV-2-1-2- Techniques de fabrication	58
IV-2-1-3- Processus et matériel de production.....	58
IV-2-2- L'adobe	59
IV-2-2-1- Généralité	59
IV-2-2-2- Définition	59

Sommaire

IV-2-2-3- La production	60
IV-2-2-4- Modes de production de l'adobe	60
IV-2-2-5- Les produits.....	61
IV-2-2-6- Les avantages de l'adobe	61
IV-2-3- Le pisé.....	62
IV-2-3-1- Présentation du pisé	62
IV-2-3-2- définition	62
IV-2-3-3- Technique de production.....	63
IV-2-3-4- Les produits (différents types de pisé)	64
IV-2-3-5- Les Avantages de pisé.....	64
IV-2-4- Les blocs de terre comprimée(BTC).....	65
IV-2-4-1- Généralité	65
IV-2-4-2- définition	65
IV-2-4-3- Processus de production des BTC.....	66
IV-2-4-4- Diversités des produits de blocs de terre comprimée.....	67
IV-2-4-5- Les Avantage de bloc de terre comprimée.....	68
IV-3- L'effet d'utilisation de l'argile dans la fabrication des produits en terre	69
IV-4- L'effet de la chaux	69
IV-5- Principes de la stabilisation	70
IV-6- Impacts des matériaux en terre sur les aspects environnementaux.....	70

Chapitre 05 : Valorisation de (chaux - sable siliceux)

Introduction	72
V-1- Brique silico-calcaire	72
V-1-1- Définition.....	72
V-1-2- Les catégories de brique silico-calcaire.....	73
V-1-3- La Fabrication.....	73
V-1-4- Les phénomènes physiques de processus d'autoclave des briques silico-calcaires	74

Sommaire

V-1-5- La fabrication des gros éléments pour la construction préfabriquée	74
V-1-6- Caractéristiques.....	75
V-1-7- Recommandation générales	77
V-1-8- Les avantages des briques silico-calcaires.....	77
V-1-9- Le mortier de maçonnerie en brique silico-calcaire	78
V-2- Mortier bâtard.....	78
V-2-1- Généralité.....	78
V-2-2- Définition du mortier bâtard	78
V-2-3- Définition technique des mortiers.....	78
V-2-3-1- Les mortiers de ciment	79
V-2-3-2- Les mortiers de chaux	79
V-2-4- Caractéristiques de mortier bâtard	80
V-3- Le Siporex	80
V-3-1- Généralité.....	80
V-3-2- La production du Siporex	81
V-3-3- Les propriétés du Siporex	82
V-3-4- L'emploi du siporex.....	84

Chapitre 06 : Diversification et valorisation de la pierre

Introduction	85
VI-1- Généralité.....	85
VI-2- Les formes de pierre	85
VI-3- Exploitation et utilisation des pierres naturelles dans le secteur de la construction.....	85
VI-3-1- Maçonnerie des murs porteurs	85
VI-3-2- Fondation en pierres naturelles	88
VI-3-3- Autres exploitations.....	88

Sommaire

Chapitre 07 : Valorisation des dépôts du barrage de K'SOB – m'slia

VII- Valorisation des argiles gréseuses et vaseuses, dans les matériaux cimentaires (Projet CNEPRU2009)	90
VII-1- Problématique.....	90
VII-2- Introduction	90
VII-3- Conclusion.....	91

Introduction générale

Introduction générale

Le monde actuel prend peu à peu conscience des défis auxquels il se verra confronté dans un futur proche : la finitude des ressources naturelles, le fait que le mode de vie actuel des pays occidentaux et des pays émergents n'est pas généralisable à l'échelle mondiale, et le fait que les systèmes économiques en place ne parviennent toujours pas à subvenir aux besoins élémentaires d'une grande partie de l'humanité. C'est en réponse à ces constats qu'est apparue progressivement une vision d'avenir ayant pour objectif un développement durable. Agir en vue d'un développement durable, c'est fonder une vision du monde sur une éthique de la responsabilité et de la solidarité dans le présent et pour le futur, au niveau local et mondial, en respectant le cadre des droits humains et celui des bases de la vie, afin de parvenir à une forme de développement durable à long terme.

Un développement durable est un processus qui évolue continuellement en fonction des acteurs et des contextes, et non un modèle figé. Il requiert dans tous les cas que les considérations sociales, économiques et écologiques, dans le temps et dans l'espace, soient intégrées simultanément dans les réflexions et les prises de décision. Cela implique un changement structurel à long terme des systèmes socioéconomiques, ainsi que des changements de comportements, notamment individuels.

Le développement durable exprime les enjeux auxquels devront répondre des modes de production et de consommation responsables dans une société respectueuse des individus et de l'environnement. Pour construire des actions et les rendre durable pour le développement de tous, sur notre terre.

Les matériaux de construction sont considérés le grand pilier important dans le secteur de la construction et les perspectives de développement durable. Le choix des matériaux utilisés dans la construction est un facteur principal très important, compte tenu de l'épuisement des ressources naturelles et la consommation rationnelle de l'énergie.

Introduction générale

Ce travail a pour objectif, définir le concept du développement durable et leurs perspectives et dimensions dans le secteur de la construction et du génie civil, par la valorisation et la diversification des matériaux locaux de construction.

Nous avons subdivisé notre travail en sept chapitres étroitement liés :

Dans le premier chapitre, nous avons exposé le concept de développement durable et leurs piliers et dimensions, soit économique, social et environnemental. Et de préciser leur importance dans l'amélioration de la vie de l'individu et de la société, et en particulier la préservation de l'environnement

Dans le deuxième chapitre, nous avons cité et mentionné des divers types de matériaux de construction utilisés dans le domaine du génie civil et de la construction.

Dans le troisième chapitre, nous avons recensé les matériaux locaux de construction.

Dans le quatrième chapitre, destiné les caractéristiques de la terre, et la diversification des différents matériaux qui peuvent être obtenus et fabriqués par la valorisation de la terre.

Dans le cinquième chapitre, porté sur les méthodes de la valorisation de la chaux avec plusieurs autres matériaux comme le sable et le ciment, ainsi que leur valorisation dans la formulation de mortier comme un composant très important

Dans le sixième chapitre, sur la valorisation et la diversification de la pierre naturelle.

Le dernier chapitre s'inscrit dans la valorisation des boues de dragage du barrage K'SOB – Algérie.

Chapitre 01 : Concept du développement durable.

Introduction:

On peut affirmer que l'historique du développement durable a des liens étroits avec le mouvement de protection de l'environnement de la seconde moitié du xxe siècle.

Devant la prévision sombre d'épuisement des ressources naturelles et les conséquences graves du changement climatique global dans ces dernières années. A la fin des années 1981 se multiplient les inquiétudes environnementales.

Pollution de l'aire



Figure I-1: pollution de l'aire.

Désertification



Figure I-2: désertification.

Montée du niveau
des océans



Figure I-3: Montée du niveau des océans.

Un développement durable a pour objectif de répondre aux besoins (élémentaires) de tous les êtres humains, actuels et futurs. Il sert de ligne directrice pour la société et oriente ainsi les réflexions et actions actuelles et futures. Plus de 180 pays se sont engagés à la suivre, en signant un Agenda 21 - plan d'action pour le 21^{ème} siècle.

Quelles sont les dimensions du développement durable ? Pour répondre à cette question, nous avons besoin de définir le concept de développement durable

I-1- Définitions :

I-1-1- La définition « officielle » du développement durable :

La définition « officielle » du développement durable trouve son origine dans le «rapport Brundtland » et a été formalisée en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio. On la réduit souvent à l'énoncé suivant : « le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». [1]

Cette définition est traduite par un schéma désormais « classique » et largement diffusé, constitué de trois cercles qui symbolisent les trois piliers (ou les trois sphères) de l'environnement, de l'économie et du social, (Figure I-4).

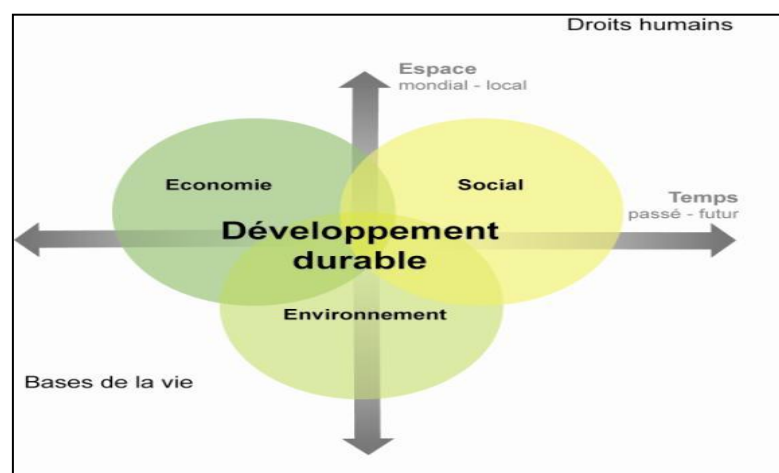


Figure I-4: Les trois cercles du développement durable.

Le développement durable à proprement parler se situant à l'intersection des trois cercles : il est censé être à la fois équitable, viable et vivable.

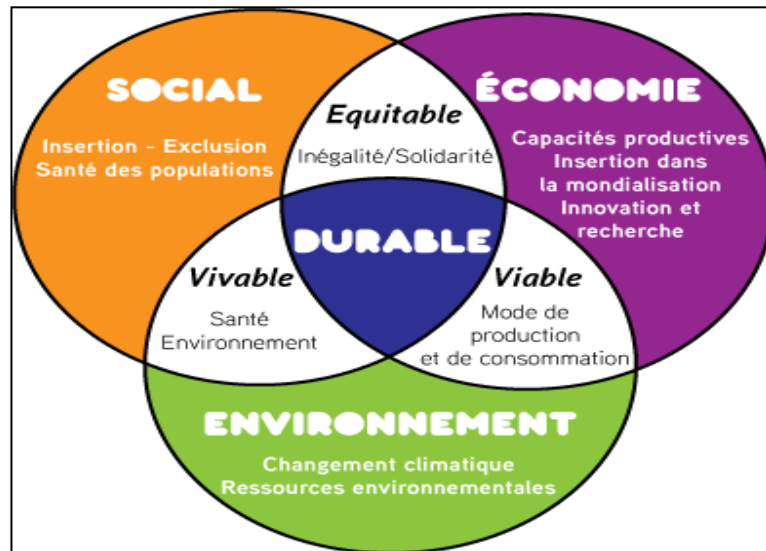


Figure I-5: Les trois piliers du développement durable.

**Le rapport Brundtland:* En 1987, le rapport brundtland, rédigé pour la commission mondiale sur l'environnement et le développement de L'ONU, donne pour la première fois la définition du développement durable.

Cette définition a été popularisée par le sommet de terre à Rio en 1992.

A partir la définition ci-dessus

I-1-2- Le développement durable :

Est un ensemble d'idées, de moyens et de pratiques pour que la terre et ses habitants ne souffrent pas trop de l'activité humaine dans le présent mais également dans le futur. Il vise à améliorer la qualité de vie. Son principe est de continuer à ce que le monde continue à se développer, mais sans porter atteinte à l'environnement. De ce fait, beaucoup de domaines sont concernés : économies d'énergie, pollution, gaspillage, déplacement, faune (les animaux), flore (les plantes).

C'est-à-dire que ce que nous faisons aujourd'hui ne doit pas nuire aux générations de demain.

Exemple : si nous consommons de l'eau potable il ne faut pas oublier que c'est une ressource épuisable !

I-2- L'émergence du concept de développement durable :

La Conférence de Stockholm en 1972 esquisse la notion en déclarant: « La protection et l'amélioration de l'environnement est une question d'importance majeure qui affecte le bien-être des populations et le développement économique dans le monde entier. »[2] Utilisé pour la première fois au début des années 1980 par l'International Union for the Conservation of Nature dans une perspective écologique [3] et par le Programme des Nations Unies pour le Développement dans une perspective sociale, le concept de développement durable est retenu au cours de la décennie suivante comme l'axe fondamental de l'analyse et de la politique de l'ONU en matière de développement et d'environnement. Deux étapes importantes jalonnent cette évolution: la publication du Rapport Brundtland en 1987 et la Conférence de Rio de Janeiro en 1992. Entre Stockholm et Rio.

La recherche d'un développement au service des hommes et respectueux de l'environnement a cessé, à partir de la fin des années 1980, d'être isolée. Cette recherche a reçu un début de reconnaissance et de popularisation de la part des plus hautes instances régissant les relations internationales, ainsi que, dans une tout autre perspective, des dirigeants des principales grandes entreprises multinationales.

I-3- Les trois composantes ou piliers de développement durable :

Le développement durable s'articule sur trois composantes : l'environnement, le social et l'économie.

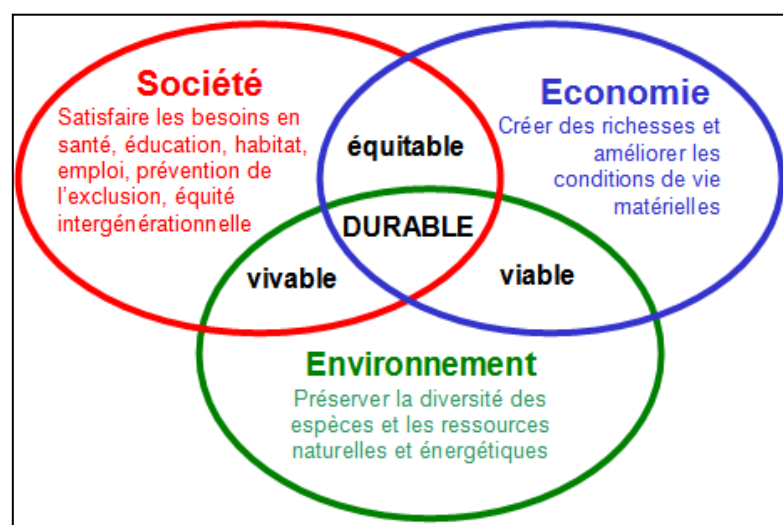


Figure I-6: Les trois composantes de développement durable.

I-4- Les enjeux du développement durable et leurs dimensions par les 3 piliers [4] :

Les dimensions soulevées par le développement durable sont multiples, Qu'elles soient économiques, sociales ou environnementales.

I-4-1- Dimension environnementale :

Préserver, améliorer et valoriser l'environnement et les ressources naturelles sur le long terme, en maintenant les grands équilibres écologiques, en réduisant les risques et en prévenant les impacts environnementaux.



Le constat de rareté et de finitude des ressources naturelles se traduit par la nécessité de protéger ces grands équilibres écologiques pour préserver nos sociétés et la vie sur Terre.

Parmi les principaux enjeux environnementaux, les thématiques suivantes ont été identifiées :

a- Economiser et préserver les ressources naturelles :

- Utiliser de façon optimale et efficace les ressources naturelles.
- Veiller à limiter le gaspillage (énergie, eau, matériaux, alimentation...).
- Privilégier l'utilisation de ressources renouvelables (animales, végétales, minières, énergétiques, etc...) et de matériaux recyclables.

b- Gérer et valoriser les déchets:

- Limiter la consommation aux quantités nécessaires
- Favoriser le tri, le recyclage et la valorisation des déchets
- Intégrer ces problématiques dans sa politique d'achat responsable : analyse du cycle de vie des produits, sélection de produits issus du recyclage...

I-4-2- Dimension social:

Satisfaire les besoins humains et répondre à un objectif d'équité sociale, en favorisant la participation de tous les groupes sociaux sur les questions de santé, logement, consommation, éducation, emploi, culture...etc.

2^{ème} défi

Favoriser la cohésion sociale

Au plan social, il s'agit d'améliorer les conditions de vie des populations.

Parmi les principaux enjeux sociaux, les thématiques suivantes ont été identifiées:

a- Lutter contre:

* *L'exclusion et les discriminations* : c'est-à-dire respecter et protéger les personnes les plus faibles (en situation de handicap, âgées, minoritaires...), donner l'accès aux droits sociaux pour tous. par-ex : La pauvreté, la faim.

La pauvreté



Figure I-7: Face à la pauvreté.

La faim



Figure I-8: Face à la faim.

* *Les inégalités :*

Sociales



Figure I-9: Les inégalités sociales.

Face à l'éducation



Figure I-10: Face à l'éducation.

Face à santé



Figure I-11: Des inégalités devant la santé.

b- Instaurer une politique sociale avancée:

- garantir de bonnes conditions de travail, favoriser la formation, intéresser les salariés...
- Mettre en place une politique d'aide à la réinsertion (professionnelle et/ou personnelle).
- Développer des projets ciblés pour limiter les disparités : égalité Homme – Femme, nivellement des salaires, accessibilité pour tous...

c- Valoriser les territoires:

- Favoriser les produits et savoir-faire locaux.
- Préserver, partager et diffuser le patrimoine local: culturel et naturel, incluant les traditions, langues, mœurs et arts sous toutes leurs formes.

I-4-3- Dimension économique:

Il s'agit de concilier la viabilité d'un projet, d'une organisation (performance économique) avec des principes éthiques, tels que la protection de l'environnement et la préservation du lien social.

Au plan économique, il s'agit de favoriser l'enrichissement des populations, des entreprises, des états...en favorisant:

La création d'emplois



Figure I-12: La création d'emplois.

La recherche et l'innovation

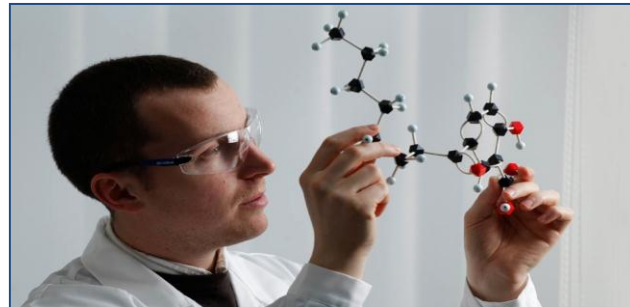


Figure I-13: La recherche et l'innovation

La formation universitaire et professionnelle



Figure I-14: La formation universitaire et professionnelle.

3^{ème} défi

Promouvoir une économie responsable

Développer la croissance et l'efficacité économique, à travers des modes de production et de consommation durables

Les enjeux d'une économie responsable sont nombreux, souvent liés à l'un des deux autres piliers du développement durable, l'environnement et le social, voir aux deux. Voici quelques pistes identifiées :

- Développer des pratiques commerciales innovantes et éthiques pour mieux répartir les bénéfices et les richesses. Ex : le commerce équitable, le microcrédit, le micro-don

- Répartir les richesses et les bénéfices de façon plus juste
- Intégrer le coût social et environnemental dans le prix des produits
- Chercher à développer le tissu économique local

I-5-l'importance et l'objectif du développement durable [4] :

I-5-1- Pourquoi le développement durable est-il si important ? :

- C'est une nouvelle approche de l'intérêt général visant à assurer la pérennité de nos sociétés, de notre écosystème, de notre économie...etc.
- C'est également une opportunité unique de repenser nos modèles. C'est un levier d'innovation !

I-5-2- Quelles sont ses finalités ? :

- La lutte contre le changement climatique et la protection de l'atmosphère.
- La préservation de la biodiversité, des milieux et des ressources.
- La cohésion sociale et la solidarité entre les territoires les générations.
- L'épanouissement de tous les êtres humains.
- Une dynamique de développement suivant des modes de production et de consommation responsables.

Chaque finalité est transversale aux enjeux sociaux, environnementaux et économiques, piliers du développement durable.

I-5-3- L'objectif du développement durable:

L'objectif du développement durable est de concilier ses trois domaines ou thèmes lorsqu'on développe un territoire c'est-à-dire un espace aménagé par les hommes.

Il ne faut pas chercher à avantager un domaine au détriment d'un autre ou oublier l'un par rapport aux autres

Par-exemple : on peut créer des usines créatrices d'emplois mais si elles sont polluantes pour les rivières négliger l'environnement et aussi la santé des hommes donc le pilier social.



Négliger pas



Figure I-15: La relation entre les trois piliers du développement durable.

I-6- Les différentes échelles [4]:

L'action en faveur du développement durable se joue à différentes échelles:

* *A l'échelle mondiale* : L'ONU a fixé 8 objectifs pour le millénaire.

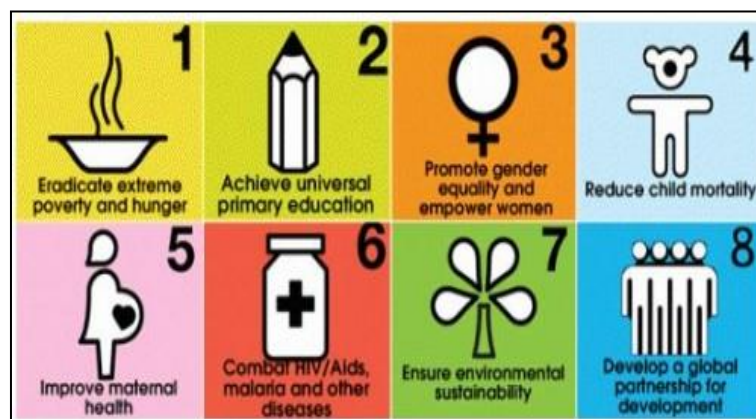


Figure I-16: L'ONU : 8 objectifs pour le millénaire

* *A l'échelle internationale* : se tiennent des conférences telles les sommets de la terre, les conférences pour le climat.



Figure I-17: Conférence [sommet de terre à Rio de Janeiro en 1992].

* *A l'échelle locale* : les autorités et les ONG mettent en place des projets répondant aux besoins des habitants



Figure I-18: ONG [Organisation Non Gouvernementale].

I-7- Le développement durable et la responsabilité sociale [5]:

I-7-1- Qui est concerné ? :

Tous les acteurs du territoire, les ménages, citoyens, les collectivités territoriales, les industriels,...etc. Peuvent tous chacun à son niveau, changer leurs comportements pour faire progresser les grandes principes du développement durable au quotidien, tant dans la sphère privée que professionnelle.

I-7-2- La définition du concept du RSE:

Le concept de RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises) consiste à tenir compte des impacts sociaux et environnementaux des activités de l'entreprise pour intégrer les enjeux du développement durable au sein de l'organisation et dans leurs interactions avec leurs parties prenantes. L'objectif est d'associer, de manière éthique, logique économique, responsabilité sociale et éco-responsabilité.

I-8- La construction et le développement durable :**I-8-1- Généralité :**

Le secteur de la construction constitue un enjeu majeur du développement durable. Cette considération implique une approche globale du bâtiment qui prend en compte, non seulement leur fonctionnement mais aussi toutes les autres phases de leur vie, en plus de la production et la qualité et le transport des matériaux de construction.

Le concept de la qualité environnementale du bâtiment émerge et prend corps peu à peu dans la conception architecturale. Les premiers travaux démontrent que les impacts environnementaux liés aux matériaux de construction deviennent une composante prépondérante de la performance environnementale.

I-8-2- Le secteur du bâtiment:

Le secteur du bâtiment joue un rôle important dans le développement durable. Le choix des matériaux utilisés pour la construction de l'enveloppe a des incidences sur l'épuisement des ressources naturelles, la consommation d'énergie et les émissions polluantes, les déchets de chantier et de démolition. Ainsi, la fabrication et la mise en œuvre des matériaux (ou produits de construction) sont étroitement liées aux questions d'épuisement des ressources naturelles, de consommations d'énergie (pour l'extraction des matières premières, leur transport, leur transformation...etc).

I-8-2-1- Choix des matériaux de construction:

Le concept du développement durable s'applique dans le domaine des matériaux de construction en laissant aux générations à venir des ressources suffisantes pour garder un niveau de vie (économique, social, environnemental) au moins égal au notre. Cela suppose que le choix d'un matériau pour construire soit examiné non seulement au vu de ses performances et de son efficacité, mais aussi de sa disponibilité sur la planète, de son renouvellement, de la proximité de son origine, de l'énergie mise en jeu lors de son élaboration (énergie grise), de sa durée de vie [6].

I-8-2-2- L'énergie consommée dans un cycle de vie d'un bâtiment:

L'énergie consommée dans un cycle de vie d'un bâtiment se compose de trois types principaux suivants :

a- L'énergie de fabrication:

Cette phase se compose des étapes suivantes:

- L'énergie de l'extraction des matières premières.
- L'énergie de transport des matières premières.
- L'énergie de transformations et la production.
- L'énergie de transport les produits finis et leur mise en œuvre in-situ.

b- L'énergie consommée pendant l'utilisation du bâtiment:

L'énergie de chauffage, la ventilation, la climatisation, l'éclairage, ...etc.

c-L'énergie de démolition:

L'énergie de démolition et de traitement des déchets après la démolition.

I-8-2-3- La gestion des ressources naturelles :**I-8-2-3-1- Généralité:**

Les démarches empiriques en termes de « développement durable » focalisent pour l'essentiel leur attention sur les modalités de répartition des quantités de ressources exploitées, la régulation de cette répartition étant censée garantir une exploitation écologiquement, économiquement et socialement durable et équitable des ressources [5].

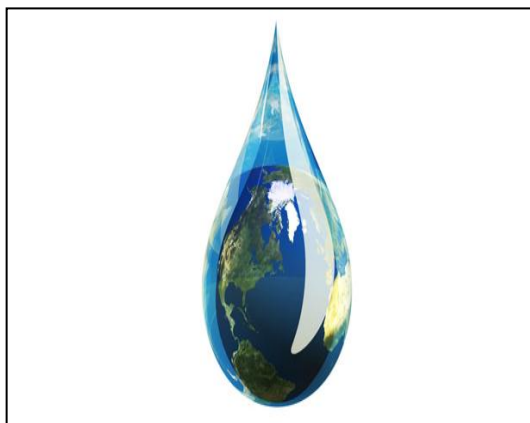


Figure I-19: Ressources minérales [l'eau].



Figure I-20: Ressources fossile [pétrole].



Figure I-21: Ressources végétales [les forêts].

I-8-2-3-2- Les politiques environnementales : [l'agenda 21(chapitre 3-section 2)]

Une politique d'environnement qui, tout en assurant une gestion rationnelle des ressources, vise essentiellement à conserver et à protéger celles-ci doit tenir dûment compte de ceux qui en dépendent pour assurer leur existence. Elle pourrait, s'il en était autrement, aggraver encore la pauvreté et nuire aux chances de succès à long terme de la préservation des ressources et de l'environnement.

I-8-2-4- La gestion des déchets :

I-8-2-4-1- Généralité :

D'un côté, La construction nécessite des volumes de matière très importants. Son impact environnemental est réel, tant au niveau de l'extraction et de l'utilisation de ressources naturelles qu'au niveau des rejets de gaz à effet de serre. D'un autre côté, certains secteurs

industriels ou résidentiels produisent des volumes de déchets importants. Le choix des filières d'élimination de ces déchets subit des contraintes économiques, juridiques et écologiques croissantes.

I-8-2-4-2- Types de déchets : [7]

a- Déchets organiques:

Les déchets organiques, on trouve des sous-produits agricoles et sylvicoles, des détritiques domestiques et des détritiques urbains, les déchets de bois, déchets de charbon, Déchets de papier et déchets textiles....etc .

b- Déchets inorganiques :

Les déchets inorganiques proviennent principalement de processus industriels et de la démolition d'anciennes constructions. Il existe cependant plusieurs exceptions.

***Débris de démolition:** de nombreux débris provenant de la démolition de bâtiments peuvent être recyclés dans de nouvelles constructions. Un démantèlement et une séparation méthodique des divers éléments (parties métalliques, poutres et planches de bois, fendues, portes, carreaux, tuyaux, etc.) contribue à la conservation de ressources limitées. Cette manière de procéder économise d'importantes sommes, ainsi que l'énergie nécessaire à la production de nouveaux éléments.

***Les débris de béton:** peuvent être réutilisés comme agrégat dans la composition de nouveaux bétons.

***Les débris de brique :** les débris de brique finement broyés ont des propriétés pouzzolaniques. Broyés, pour les réduire à un diamètre inférieur à 20 mm, ces débris servent d'agrégat grossier dans la composition de bétons.

***Laitier de haut fourneau :** C'est le matériau en fusion qui flotte au-dessus de la fonte brute dans le haut fourneau.

I-8-2-4-3- Applications des déchets : [7]

- ❖ Agrégat pour le béton: débris de brique et de béton (débris de démolition), verre broyé.
- ❖ Matériaux entrant dans la composition de ciments, ou de substitut au ciment (matériaux pouzzolaniques): laitier de haut fourneau.

I-8-2-4-4- Avantages des déchets : [7]

- ❖ Le recyclage des déchets préserve des ressources rares et coûteuses, mais il permet aussi de réutiliser des matériaux localement disponibles, ce qui réduit les coûts et les transports.
- ❖ Le recyclage des déchets réduit la pollution en valorisant des matériaux dont il est difficile de se débarrasser, ainsi qu'en réduisant les besoins en nouveaux matériaux, dont la production fait appel à des procédés industriels polluants.
- ❖ Le recyclage des déchets économise une quantité considérable de l'énergie nécessaire à la production de nouveaux matériaux.
- ❖ Certains déchets améliorent la qualité de certains matériaux (p. ex. utilisation de matériaux pouzzolaniques artificiels dans le béton).

Conclusion :

On constate à l'usage que les concepts du développement durable se construisent dans une complexité évidente, contraire aux tentatives permanentes de simplification des problèmes. Les analyses de cycles de vie ne sont pas encore « mûres », car les données d'entrée restent entachées d'une incertitude forte. La liste des dimensions à prendre en compte dans ces analyses pour réduire l'empreinte écologique des activités humaines est aujourd'hui certainement loin d'être exhaustive.

Si l'aspect écologique est le plus médiatisé, il ne constitue qu'un des aspects du développement durable.

En fin, le développement durable c'est la terre et le local.

Chapitre 02 : Les matériaux de constructions

Introduction :

La réglementation future dans le contexte du développement durable donne une grande importance pour les matériaux utilisés dans la construction et de l'architecture.

La gamme des matériaux utilisés dans la construction est relativement vaste. Elle inclut principalement le bois, la terre, la pierre, (matériaux traditionnelles); et les matériaux modernes qui obtenus à partir la production industrielle comme le verre, l'acier, l'aluminium, les matières plastiques (isolants notamment). On plus les matériaux issus de la transformation de produits de carrières, qui peuvent être plus ou moins élaborés. On trouve ainsi les dérivés de l'argile, les briques, les tuiles, les carrelages, les éléments sanitaires.

Dans ce chapitre, nous allons citer les différents matériaux de construction dans le secteur de génie civil et le bâtiment.

II-1- Définition:

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : bâtiments et travaux publics (souvent désignés par le sigle BTP).

II-2- Citation des différents matériaux de construction :

II-2-1-La pierre : [7]

II-2-1-1- Généralités:

La pierre naturelle est peut-être le plus vieux, le plus abondant et le plus durable des matériaux de construction «prêt à emploi». Elle se rencontre principalement dans les régions montagneuses. Diverses variétés de pierres naturelles peuvent aussi servir à la production d'autres matériaux de construction.

II-2-1-2- Classifications des pierres:

Les pierres principalement employées dans la construction appartiennent à trois familles géologiques distinctes.

a- Les roches ignées /éruptives:

Généralement cristallines. Elles se forment lors du refroidissement du magma en fusion, expulsé au travers des fissures de la croûte terrestre. Par conséquent, elles ne contiennent ni fossile, ni coquillage Exemples les plus communs: granités et pierres volcaniques.

**Figure II-1: Le granit.****Figure II-2: pierres volcaniques.****b- Les roches sédimentaires :**

Ordinairement stratifiées. Elles proviennent de la décomposition ou de l'altération de roches ignées (suite aux actions conjuguées ou isolées de l'eau, du vent et de la glace) ou d'accumulations de matières organiques. Exemples les plus communs: grès et calcaires.

**Figure II-3: Le calcaire.****Figure II-4: Le grès.**

c- Les roches métamorphiques:

Elles ont pour origines des roches ignées ou sédimentaires, dont la structure a subi des modifications suite à la combinaison de pressions et de températures très élevées. Exemples les plus communs: schistes (ils proviennent de l'argile), quartzites (ils proviennent du grès) et marbres (roches calcaires).

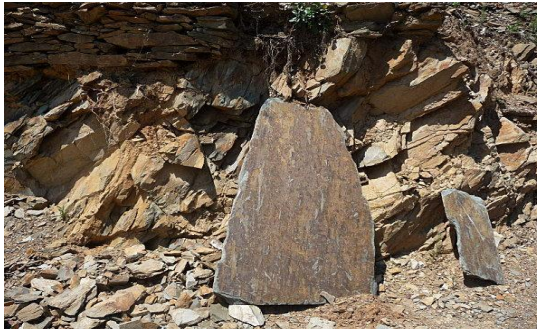


Figure II-5: Les schistes argileux.



Figure II-6: Le Quartzite.



Figure II-7: Le marbre.

II-2-2- Terre, sol, latérite: [7]**II-2-2-1- Généralités:**

Dans la construction, les termes terre et sol se réfèrent au même matériau. Le terme «boue» ou pâte mi molle se rapporte à de la terre humide plastique avec ou sans additif(s). Ce matériau est utilisé pour façonner soit des briques d'adobe, soit directement des murs monolithiques



Figure II-8: La terre.

a- Terre:

La terre est un matériau meuble résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente. Cette transformation est due aux actions plus ou moins simultanées du soleil, du vent de la pluie et du gel, ainsi qu'à des modifications chimiques, ces dernières sont dues à la présence d'organismes vivants (flore et faune) et à la migration de substances chimiques, véhiculées par les eaux de pluie, l'évaporation, les eaux de surface et eaux souterraines.

b- Latérite:

Parmi les divers types de sol rencontrés dans les régions tropicales et subtropicales, les latérites sont particulièrement intéressantes pour la construction. Ce sont des terres fortement altérées, qui contiennent des proportions importantes, mais très variables, d'oxydes d'aluminium et de fer, ainsi que du quartz et d'autres minéraux. Ce type de sol se rencontre fréquemment dans la ceinture tropicale et subtropicale et généralement à faible profondeur, dans des régions de savane ou de savane arborée, soumises à de fortes précipitations. La couleur (de l'ocre au noir, en passant par le rouge, le brun et le violet) dépend fortement de la concentration en oxydes de fer.

II-2-3- Stabilisants: [7]

II-2-3-1- Généralités :

Les terres, qui ne possèdent pas les caractéristiques désirées pour une application particulière, peuvent être améliorées en ajoutant un ou plusieurs stabilisants.

Habituellement, l'effet stabilisant est augmenté lorsque la terre est comprimée. Dans certains cas, le compactage seul suffit à stabiliser la terre, mais sans un stabilisant approprié, l'effet de stabilisation du compactage n'est pas durable. Ceci particulièrement lorsque la terre est fortement exposée à l'eau.

II-2-3-2- Fonctions des stabilisants:

Chaque stabilisant remplit une (ou tout au plus deux) des fonctions suivantes:

- ❖ Augmenter la résistance aux impacts et la résistance à la compression des constructions en terre, ainsi que réduire la tendance au gonflement et au retrait, en liant entre elles les particules de terre.
- ❖ Réduire ou éliminer complètement l'absorption d'eau (causant gonflement, retrait et érosion) en colmatant vides et pores, et en entourant les particules d'argile d'un film imperméable.
- ❖ Réduire la fissuration en donnant une certaine flexibilité, laquelle permet alors, dans une certaine mesure, à la terre de se dilater et de se contracter.
- ❖ Réduire les contractions et dilatations excessives en armant la terre de fibres.

II-2-3-3- Types de stabilisants: (Figure II-9)

Bien des produits peuvent être employés pour la stabilisation de la terre, et beaucoup de recherches sont menées pour trouver le stabilisant le plus approprié à chaque type de terre. Cependant, malgré ces recherches, il n'y a pas de stabilisant «miracle» pouvant être utilisé dans tous les cas. La stabilisation n'est pas une science exacte, de sorte qu'il appartient au constructeur, de faire des blocs d'essai pour tester diverses sortes et dosages de stabilisants.

Le choix du stabilisant le plus approprié dépend principalement du coût et de la disponibilité locale, mais aussi de la façon dont il est perçu socialement.

***Sucs végétaux :**

- Le suc de feuilles de bananier, précipité avec de la chaux, améliore la résistance à l'érosion et ralentit l'absorption d'eau.
- L'ajout du latex de certains arbres (p. ex euphorbe, hévéa) ou de suc concentré de sisal, sous forme de colle organique, permet aussi de réduire la perméabilité de la terre.
- Les huiles et graisses végétales doivent sécher rapidement pour être efficaces et améliorer la résistance à l'eau. Les huiles de noix de coco, de lin et de coton sont des exemples; l'huile de castor est très efficace, mais chère.
- L'huile de kapok peut aussi être efficace. Elle est obtenue par torréfaction des graines de kapok, ensuite moulues en une fine poudre mélangée à de l'eau (10 kg de poudre pour 20 à 25 L d'eau).

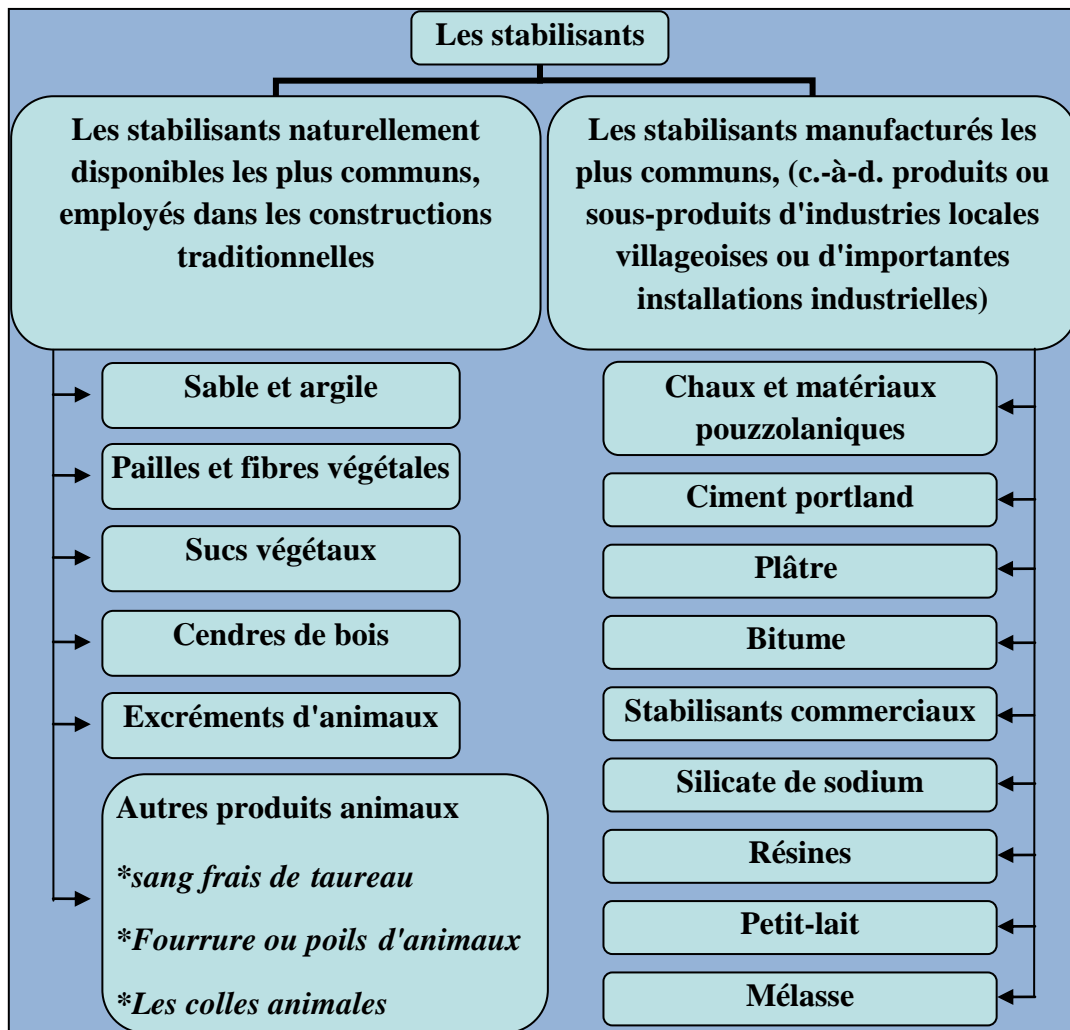


Figure II-9: Types de stabilisants.

* *Cendres de bois:*

- La cendre des bois durs est habituellement riche en carbonate de calcium et a des propriétés stabilisantes. Elle ne convient cependant pas toujours, aux terres argileuses. Certaines cendres peuvent même nuire au comportement de la terre.
- L'addition de 5 à 10 % (en volume) de fines cendres blanches, provenant de la combustion complète de bois durs, semble donner de bons résultats en matière d'amélioration de la résistance à la compression sèche.
- Les cendres n'améliorent pas la résistance à l'eau.

* *Excréments d'animaux:* Ils sont principalement employés pour la stabilisation des enduits.

- La bouse de vache est le stabilisant le plus commun.

- Elle est principalement appréciée pour son effet d'armature (grâce aux particules fibreuses) et son aptitude à repousser les insectes. La résistance à l'eau n'est pas améliorée de façon significative, et la résistance à la compression est réduite.
- Le crottin de chameau ou de cheval est une solution alternative moins répandue.
- L'urine de cheval, remplaçant l'eau de malaxage, élimine efficacement la fissuration et améliore la résistance à l'érosion. L'addition de chaux permet encore d'améliorer les résultats.

Malgré leurs avantages, ces matériaux sont socialement mal acceptés dans la plupart des régions, tandis que dans d'autres régions (principalement rurales en Asie et en Afrique) ce sont des matériaux traditionnels bien acceptés.

*** Bitume:**

- Pour la stabilisation de la terre, le bitume est préalablement dissous (c.-à-d. mélangé avec un solvant tel qu'essence, kérosène ou naphte), ou employé en émulsion (c.-à-d. mélangé à de l'eau)
- Après malaxage de la terre avec du bitume dissous et avant d'utiliser le mélange pour la fabrication de blocs, le mélange doit être étalé en plein air pour permettre au solvant de s'évaporer. Il est préférable de commencer à mélanger le bitume dissous avec une petite quantité de terre, et ensuite d'y mélanger le reste de la quantité de terre à stabiliser.
- Les émulsions de bitume sont habituellement très fluides et se mélangent facilement à de la terre humide. Un mélange excessif doit être évité, car il risque de provoquer la rupture de l'émulsion, ce qui conduirait à diminuer l'efficacité de l'imperméabilisation. Les émulsions doivent être diluées dans l'eau de malaxage.
- Les mélanges destinés à être compactés ne doivent pas être trop humides, La quantité de stabilisant ne doit donc pas être trop importante.

***Les matériaux pouzzolaniques:** Matériaux naturels ou produits par l'homme, ils contiennent de la silice et/ou des oxydes d'aluminium. Isolés, ils n'ont pas de propriétés hydrauliques, mais finement broyés et mélangés à de la chaux, le mélange développe prise et durcissement, tout comme le ciment, à température ambiante et au contact de l'eau. Ces matériaux peuvent remplacer 15 à 40 % de la quantité de ciment portland, sans réduction sensible de la résistance à long terme d'un béton.

*** Stabilisants commerciaux:**

- Il s'agit pour la plupart de substances chimiques produites industriellement, lesquelles ont été initialement développées pour la stabilisation de terres dans la construction routière.
- Ces stabilisants chimiques sont généralement des substances imperméabilisantes, La plupart du temps, elles n'améliorent pas la résistance à la compression de la terre.
- Pour ces stabilisants, les doses requises varient entre 0.01 et 1 % en poids. Le mélange doit donc être très soigné pour obtenir une distribution homogène de ces substances.

*** Silicate de sodium:**

- Le silicate de sodium, aussi appelé «verre soluble», est disponible à faible prix dans beaucoup de régions du monde.
- Il convient particulièrement à la stabilisation de terres à caractère sableux, telles que sables argileux et sables silteux. Il ne convient pas à la stabilisation des terres argileuses.
- Le silicate de sodium imperméabilise et agit aussi comme fongicide.
- Mélangé à la terre, le dosage habituel est de 5%.
- Il est cependant plus indiqué de l'employer pour la stabilisation d'enduits de surface (1 part de silicate de sodium pour 3 parts d'eau propre).
- Une autre pratique consiste à tremper des briques, pendant 1 minute, dans une solution de silicate de sodium, après quoi la solution est appliquée avec une brosse raide, La procédure est répétée une seconde fois et les briques sont alors stockées au sec et dans un endroit protégé, pendant un minimum de 7 jours.
- Une très faible quantité de fluidifiant (substance diminuant la tension superficielle) permet d'obtenir une pénétration plus profonde de la solution.

*** Résines:** Les résines sont soit des extraits végétaux, telles que sèves d'arbre, soit des sous-produits de divers procédés industriels. De nombreux travaux de recherche ont été entrepris sur ces matières et des résultats exceptionnels ont été obtenus avec des stabilisations aux résines.

- **Les principaux avantages sont:** résistance à l'eau (quoique pas dans tous les cas), durcissement rapide et solidification de terres très humides.
- **Les principaux désavantages sont:** coût élevé, technologie de production sophistiquée et besoin de quantités plus importantes que celles des stabilisateurs conventionnels. Les résines sont souvent toxiques et dégradables par des agents biologiques.

* **Petit-lait** : Petit-lait (caséine) est un liquide riche en protéines, qui s'obtient lors de la production du lait caillé, Son utilisation en construction est très limitée dans la plupart des pays en développement, étant donné n valeur nutritive. Cependant, dans les régions où II existe un excédent de production, l'utilisation de ce produit, comme stabilisant de surface pour les constructions en terre, est fort appréciée.

- Le Petit-lait ajouté, à un mortier terre-chaux ou à un lait de chaux, permet de réaliser une protection de surface Imperméable à l'eau, tout en préservant la perméabilité à l'air.
- Pour obtenir une bonne adhésion et éviter des fissures, le lait de chaux doit être appliqué en deux ou trois fines couches, L'emploi de Petit-lait comme couche de fond donne aussi de bons résultats.

* **Mélasse**: Les mélasses sont des sous-produits de l'industrie du sucre.

- La mélasse mélangée à de la terre améliore la résistance à la compression du produit fini et réduit la capillarité de la terre.
- Les mélasses conviennent bien à la stabilisation de terres sablonneuses et limoneuses.
- Dans le cas de terres argileuses, de petites quantités de chaux doivent être ajoutées à la mélasse.
- La proportion de mélasse est normalement d'environ 5 % en poids de la terre.

II-2-4- Produits en terre cuite: [7]

II-2-4-1-Généralités:

La technique de cuisson de l'argile, pour produire des matériaux de construction (briques et tuiles), est vieillie de plus de 4000 ans, Elle se base sur le principe que lors qu'elles sont chauffées entre 860 et 1000°C, les terres argileuses (proportion d'argile comprise entre 20 et 50%) subissent des transformations irréversibles, A ces températures les terres argileuses adoptent une structure céramique vitrifiée (combinaison stable et solide des particules).

Les terres qui convient à la cuisson sont nombreuses ; l'essentiel est qu'elles soient plastiques pour la facilité du moulage. La plasticité dépend de la quantité d'argile présente. Une proportion d'argile trop élevée peut être la cause d'un retrait fort accentué, d'où développement des fissures, ce qui n'est as souhaitable. La qualité des produits en argile cuit

ne dépend pas seulement de la nature et des proportions des autres composants du sol, mais aussi de la nature minérale de l'argile. Pour fabriquer des briques et carreaux de bonne qualité, un contrôle approfondi des terres utilisées est indispensable.

La production de briques cuites a atteint un degré de mécanisation poussée, dans de nombreux pays, mais des productions traditionnelles à petite échelle sont encore très largement répandues dans la plupart des pays en développement. Il existe donc une grande variété de méthodes, mécanisées ou non, pour l'extraction, la préparation, le moulage, le séchage et la cuisson de l'argile, qui ne peuvent qu'être brièvement abordées dans le cadre de cet ouvrage.

II-2-4-2- les méthodes principales pour produire des matériaux en terre cuite:

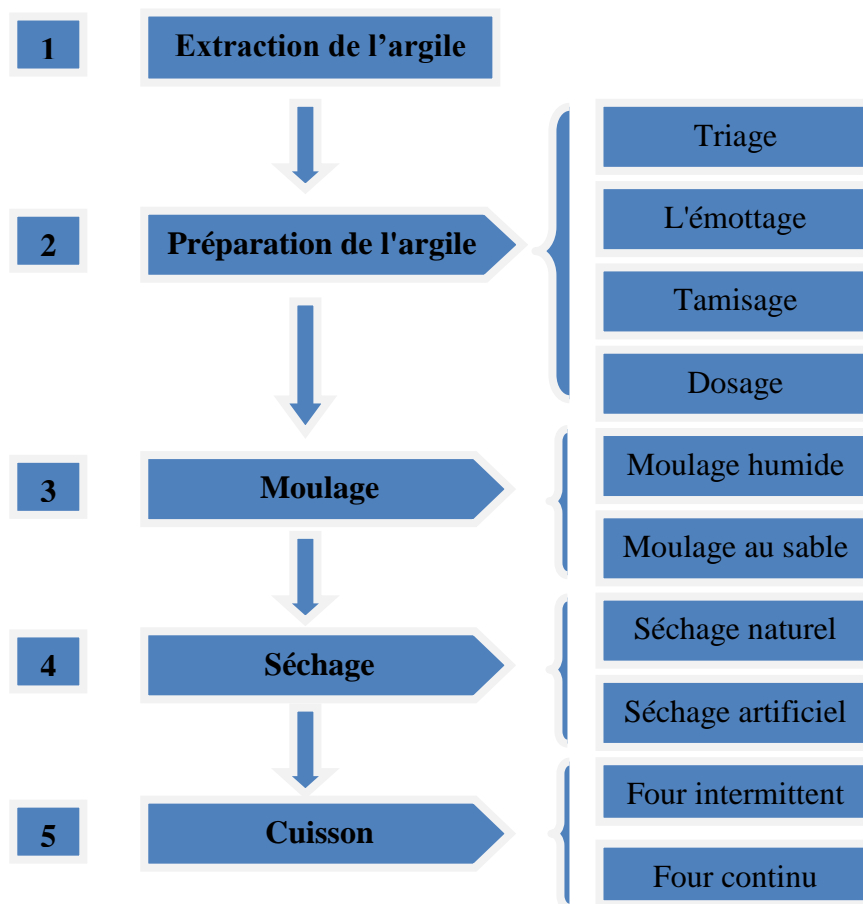


Figure II-10: les méthodes principales pour produire des matériaux en terre cuite.

II-2-5- Les liants : [7]

II-2-5-1- Généralités :

Les liants sont des substances employées pour agglomérer des particules organiques et inorganiques et des fibres, dans le but de produire des éléments résistants, durs et/ou flexibles. Ce résultat découle généralement d'une réaction chimique qui s'opère en présence soit de chaleur, soit d'eau et/ou d'autres substances, soit encore par simple exposition à l'air.

II-2-5-2- Les principaux groupes des liants :

Les liants se répartissent en 4 groupes principaux.

a - Liants minéraux :

Ce groupe se subdivise en 3 catégories:

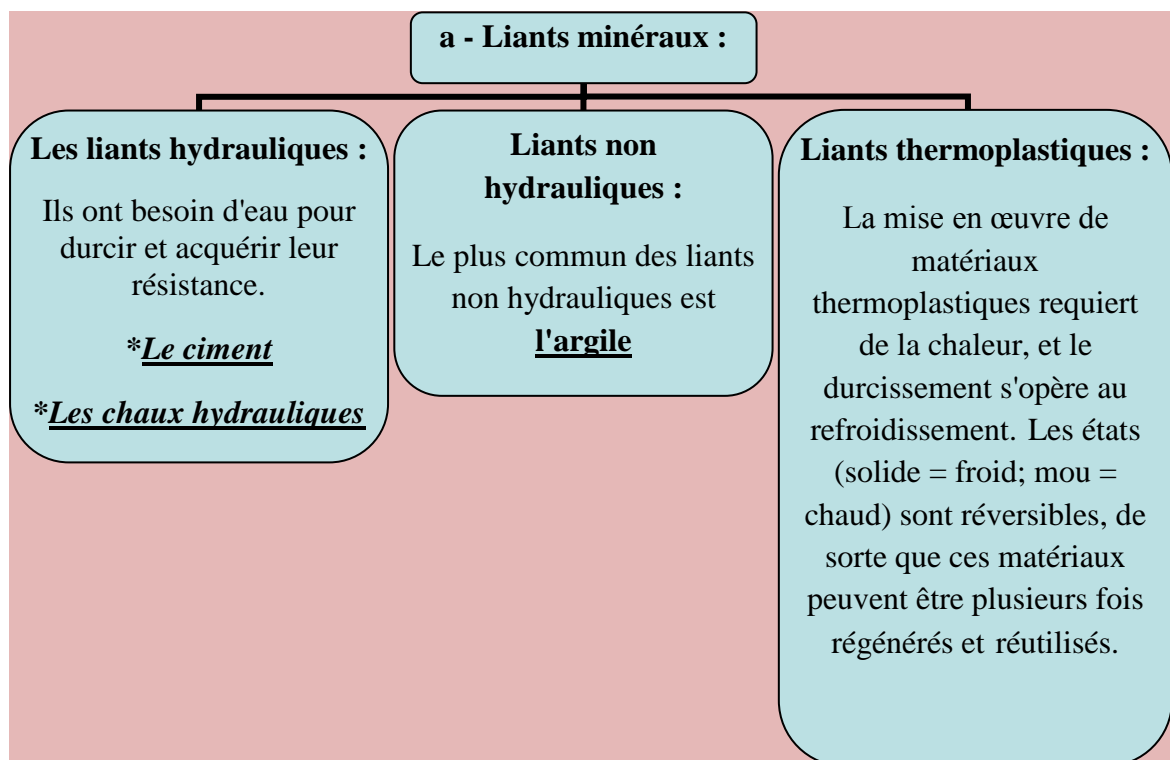


Figure II-11: les catégories des liants minéraux.

b - Liants Bitumineux :

Les bitumes sont des mélanges de plusieurs hydrocarbures (composés de carbone et d'hydrogène) et de quelques autres substances. Il s'agit d'un résidu de la distillation du pétrole brut, Il provient des raffineries de pétrole, ou de gisements naturels (extrait de roches poreuses ou de lacs souterrains, situés à proximités de gisements de pétrole). Les bitumes sont généralement des substances thermoplastiques noires, huileuses, fluorescentes et hautement visqueuses, voire presque solides aux températures normales. Sont appelés bitumes, les composés qui contiennent au moins 40 % d'hydrocarbures lourds.

**Les asphaltes* : sont définis comme étant des mélanges contenant du bitume et une importante proportion de matières minérales inertes (sable, gravier, etc...). Aux USA, le bitume est appelé asphalte, ce qui provoque certaines confusions.

**Le goudron* : est une substance noire et épaisse, produite lors de la distillation destructive (ou carbonisation) de matières organiques, telles que bois ou charbon.

**Le brai* : est le résidu provenant de la distillation du goudron de charbon.

**Les différents usages* : Les produits bitumineux ont de multiples usages Citons entre autres:

- ❖ hydrophobants pour la terre stabilisée, peintures, membranes imperméables, feutres de toiture, produits de colmatage pour joints, matériaux de revêtement de sols (routes, planchers), adhésifs (pour planchers en blocs de bois; feutres et revêtements isolants).
- ❖ Pour être mis en œuvre, le bitume doit être soit chauffé, soit mélangé à des solvants (p. ex. essence, kérosène ou naphte; le produit s'appelle alors cut-back), soit encore mélangé avec de l'eau (le produit s'appelle alors «émulsion de bitume»).

c- Liants naturels :

Plantes et animaux fournissent toute une variété de liants, lesquels peuvent être employés dans leur forme naturelle ou après traitement.

Depuis les temps préhistoriques, les liants naturels jouent un rôle important dans la construction traditionnelle, mais aujourd'hui ils sont moins bien acceptés socialement. Ceci dit, des recherches actuelles attribuent à ces matériaux une importance toujours plus grande, surtout du fait de leur coût abordable et de leur compatibilité avec l'environnement.

d- Liants synthétiques :

Ces liants sont généralement produits par des procédés industriels et sont donc souvent coûteux. Certains liants synthétiques sont toxiques, Ils peuvent être employés comme adjuvants, comme adhésifs ou comme enduits de surface et sont appliqués, soit chauds, soit en émulsion, ou encore avec un solvant.

Les substances synthétiques agglutinant des particules lâches, sont principalement des résines dérivées de matériaux végétaux ou d'huiles minérales.

II-2-6- Le ciment : [7]**II-2-6-1- Généralités :**

De nos jours, il existe une grande variété de ciments. Le plus courant est le ciment portland ordinaire (CPO) et lorsqu'on parle de ciment, habituellement on se réfère à un ciment de ce type. Il s'agit d'une fine poudre grise qui sert à la préparation de mortiers (ciment + sable + eau) ou de bétons (ciment + sable + gravier + eau) résistants et durables.

Le ciment portland a été mis au point au 19^{ème} siècle et est ainsi nommé parce qu'il ressemble à une pierre couramment utilisée en construction, dans la région de Portland en Angleterre. Depuis, il est associé à résistance élevée et durabilité, et il a acquis une réputation prestigieuse.

Le ciment est habituellement produit dans de grandes installations centralisées, qui d'une part nécessitent d'importants capitaux et d'autre part entraînent de longues distances de transport du produit fini jusqu'aux sites d'utilisation. Dans la plupart des pays en développement, les capacités de production sont, de loin, inférieures à la demande. A cause des pertes et détériorations en cours de transport et pendant le stockage, le prix du ciment est généralement élevé et sa disponibilité limitée.

III-2-6-2-Variétés de ciments :

Il existe différentes variétés de ciment qui sont obtenues, soit en modifiant le type et les proportions des matières premières à cuire, soit en mélangeant ou en broyant le ciment portland avec d'autres produits. Quelques variétés courantes: (Figure II-12)

II-2-6-3- Applications :

- Le ciment est utilisé comme liant, en mélange à divers matériaux organiques et inorganiques, p. ex. blocs en terre-ciment ou sable-ciment, panneaux de fibres liées au ciment.
- Principalement employé en mélange avec du sable et du gravier (et des armatures), pour la fabrication du béton (armé).
- Employé avec du sable et du treillis à poulailler (ou avec des fibres) pour la fabrication du ferrociment (ou de bétons de fibres).
- Mortiers et enduits sont composés de ciment et de sable, souvent mélangés à de la chaux pour une meilleure ouvrabilité. Avec du sable très fin, il est utilisé pour lisser.
- Du ciment mélangé avec de l'eau en excès permet de composer de la peinture au ciment.

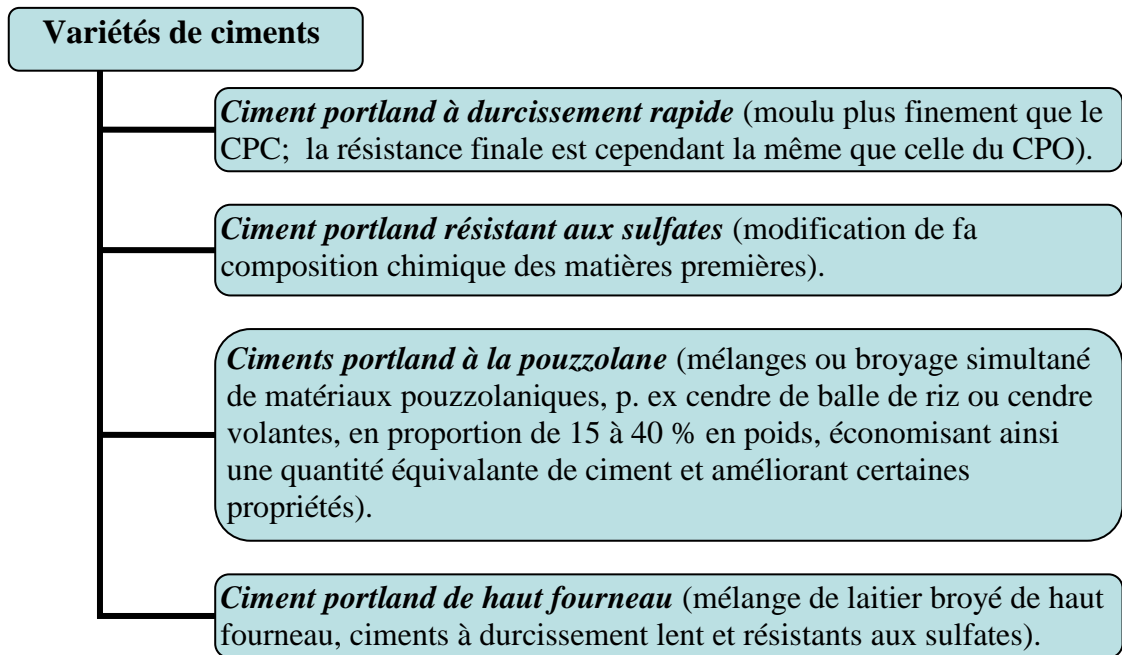


Figure II-12: les différentes variétés de ciment.

II-2-6-4- Applications :

- Le ciment est utilisé comme liant, en mélange à divers matériaux organiques et inorganiques, p. ex. blocs en terre-ciment ou sable-ciment, panneaux de fibres liées au ciment.
- Principalement employé en mélange avec du sable et du gravier (et des armatures), pour la fabrication du béton (armé).
- Employé avec du sable et du treillis à poullailler (ou avec des fibres) pour la fabrication du ferrociment (ou de bétons de fibres).
- Mortiers et enduits sont composés de ciment et de sable, souvent mélangés à de la chaux pour une meilleure ouvrabilité. Avec du sable très fin, il est utilisé pour lisser.
- Du ciment mélangé avec de l'eau en excès permet de composer de la peinture au ciment.

II-2-6-5-Avantages :

- Les ciments peuvent atteindre des résistances très élevées, ils sont généralement insensibles à l'eau, et ont un retrait et un gonflement insignifiants.
- Les ciments sont résistants au feu et agressions biologiques, s'ils sont maintenus propres.
- Une importante valeur de prestige est associée aux constructions en ciment.
- Les avantages des unités de production décentralisées à petite échelle sont: investissement moins élevé; consommation de charbon ou de coke bon marché; faibles frais de transport plus faibles du fait de l'éloignement moindre des utilisateurs; peu de sophistication

technique permettant l'emploi d'une main-d'œuvre non qualifiée; adaptabilité à la demande du marché; possibilité d'utiliser différentes matières premières et de produire différentes sortes de ciments; développement d'industries diverses autour de l'usine.

II-2-6-6-Problèmes :

- Dans la plupart des pays en développement, le ciment est encore trop coûteux pour la majorité de la population, et la disponibilité est insuffisante.
- Le stockage nécessite des soins attentifs pour éviter un début de prise.
- Dans des conditions chaudes et sèches, des fissurations peuvent apparaître au moment de la mise en œuvre, à cause de la rapidité de la prise ou fluctuation de température.
- Les sulfates et les sels peuvent provoquer de rapides détériorations.
- La réputation d'efficacité du ciment, amène souvent l'utilisateur à surdoser les mortiers, les rendant au contraire fragiles et poreux, ce qui nuit à leur durabilité.

II-2-7- Le béton : [7]

II-2-7-1- Généralités :

Les principaux ingrédients du béton sont le ciment, les agrégats (sable et gravier) et l'eau. En les mélangeant selon des proportions soigneusement établies, on obtient une masse plastique pouvant épouser la forme de coffrages complexes et maintenir cette forme après durcissement.

La technologie du béton est une de celles qui a mobilisé le plus d'effort, de savoir-faire et d'expérience. Cet ouvrage n'aborde donc que les aspects généraux de cette technologie. Pour des informations plus détaillées, le lecteur se reportera à la littérature spécialisée ou consultera des professionnels.

II-2-7-2- Préparation du béton :

Les matières premières (ciment, agrégats, eau) et les proportions du mélange sont soigneusement choisies selon l'utilisation et les performances souhaitées. Lorsque la qualité des matériaux n'est pas standardisée ou qu'elle n'est pas connue par expérience, il est préférable de réaliser des tests pour contrôler les choix effectués.

Dans la plupart des applications, un bon équilibre entre les agrégats fins (sable) et grossiers (gravier) est indispensable, afin d'obtenir un béton compact qui sera résistant. Plus il y a de vides (mauvaise granulométrie), plus il faut de ciment et d'eau.

II-2-7-3-Avantages :

- Le béton peut prendre diverses formes et atteindre des résistances à la compression dépassant 60 N/mm^2 .
- Le béton armé combine résistance élevée à la compression et à la traction, ce qui laisse la de la souplesse aux concepteurs et permet de satisfaire toutes les prescriptions. Le béton est idéalement adapté à la préfabrication d'éléments et à la construction de bâtiments en zones à risques (zone sismiques, sole gonflants, etc ...).
- L'énergie nécessaire à la production 1 kg de béton ordinaire est plus faible que celle nécessaire à la production des autres matériaux de construction manufacturés.
- L'inertie thermique élevée et le coefficient de réflexion important (due à la couleur claire) sont particulièrement intéressants pour la construction en climat chaud et sec ou en régions tropicales montagneuses.
- Correctement mis en œuvre, le béton est extrêmement durable, il ne requiert pas de maintenance, il résiste à la pénétration de l'humidité, aux produits chimiques, au feu et aux attaques des insectes et des champignons.
- Le béton a une importante valeur de prestige.
- Divers déchets agricoles ou industriels peuvent être utilisés avec succès comme substituts au ciment et / ou pour améliorer les qualités du béton.

II-2-7-4-Problèmes :

- Ciment, acier et coffrage coûtent cher.
- Contrôle de qualité difficile à exécuter sur les sites de construction, d'où le risque de fissuration et de détérioration progressive, si le mélange, la mise en oeuvre ou la cure ne sont pas conduits correctement.
- Dans les climats humides et les régions côtières, la corrosion des armatures (si protection insuffisante) entraîne l'ouverture des fissures.
- La résistance au feu est limitée à environ 500°C , après quoi, les aciers commencent à défaillir (s'ils ne sont pas suffisamment recouverts). Après un incendie les constructions en BA doivent généralement être démolies.

- La démolition du béton est difficile et les débris ne peuvent pas être recyclés autrement que sous forme d'agrégat pour refaire du béton.
- Création de champs magnétiques indésirables, d'où des conditions de vie malsaine.

II-2-8- Le ferrociment : [7]

II-2-8-1- Généralités :

Le ferrociment est un matériau relativement récent. Il a d'abord été utilisé en France pour la construction d'un bateau à rames, au milieu du 19^{ème} siècle. Son utilisation dans le bâtiment a débuté en Italie au milieu du 20^{ème} siècle. Même si son utilisation dans des domaines variés s'est rapidement développée dans le monde entier, le ferrociment n'en est encore qu'à ses débuts car ces performances à long terme ne sont pas encore connues.

II-1-2-8-2- Comparaison entre le ferrociment et le béton :

Le ferrociment est un matériau semblable au béton armé (BA), mais il s'en différencie par les points suivants:

- L'épaisseur des éléments en ferrociment dépasse rarement 25 mm, alors que celle des éléments en béton armé est rarement inférieure à 100 mm.
- Le mortier utilisé est riche en ciment portland et il ne contient pas de gravier.
- Comparé au BA, le ferrociment contient une proportion élevée d'armature. Celle-ci est constituée de treillis métalliques ou de fils de petit diamètre rapprochés les uns des autres.
- Elle est distribuée uniformément dans l'épaisseur de la section des éléments en ferrociment.
- Le rapport résistance à la traction / poids est plus élevé que celui du BA et la résistance à la fissuration est supérieure.
- Le ferrociment peut être mis en œuvre sans coffrage pour la plupart des applications.

II-2-9- Le fibromortier et le microbéton : [7]

Le fibromortier (FM) est composé de sable, de ciment, de fibres et d'eau. Dans le cas du microbéton (MB), les fibres sont remplacées par du granulats de petit calibre. L'apparition de ce matériau de construction dans le domaine de la construction économique est très récente malgré cela, la technologie relative à ces matériaux est au point, grâce à d'intensives recherches et de nombreuses expérimentations conduites dans le monde entier.

II-2-10- Le bambou : [7]

L'utilisation du bambou comme matériau de construction est probablement antérieure à l'invention du premier outil pour la construction. Cette technologie traditionnelle est fort ancienne et bien ancrée. Elle a produit une grande diversité de formes et de techniques de construction, pour s'adapter aux exigences et contraintes des multiples climats, environnements géographiques et sociaux où elle s'est développée. Malgré la diversité des applications actuelles, les possibilités de développement de nouvelles méthodes de construction, faisant appel aux caractéristiques particulières du bambou, restent importantes, tant le potentiel de ce matériau est important.

II-2-11- Le bois : [7]**II-2-11-1- Généralités :**

Avec la pierre, la terre et divers matériaux végétaux, le bois compte parmi les matériaux de construction les plus anciens. Le bois est un matériau naturel. Il contribue au bien-être, car il crée des conditions de vie propices à la physiologie du corps humain. Aujourd'hui, l'immense diversité des produits en bois et de leurs applications, font du bois le matériau de construction le plus universel.

Le bois est un matériau extrêmement complexe, Il existe de très nombreuses espèces d'arbres. La diversité des propriétés particulières à chaque espèce, ainsi que la multitude des procédés de traitement et de transformation, permettent d'employer des matériaux de construction en bois pour des applications extrêmement variées.

II-2-11-2- Catégories et propriétés :

En construction, on distingue 2 catégories de bois:

***Les bois de première catégorie :** sont généralement de beaux bois durs, à croissance lente. Leur durabilité naturelle est considérable et les mouvements et déformations dus aux variations d'humidité sont faibles. Ils sont chers et peu disponibles.

***Les bois de seconde catégorie :** proviennent principalement d'essences à croissance rapide. Leur durabilité naturelle est faible, mais après un séchage approprié et des traitements conservatoires, leurs propriétés physiques et leur durabilité sont considérablement améliorées.

L'augmentation du coût et la rareté des bois de première catégorie, entraînent un développement rapide de l'emploi de bois de catégorie secondaire.

II-2-11-3-Applications :

- Bâtiments et toitures complets ou en partie construits à partir de perches, de poutres en bois scierie ou d'éléments lamellés-collés.
- Plancher porteurs ou non porteurs, murs, plafonds ou toits, Dans la plupart des cas, ces matériaux conviennent à des systèmes de constructions préfabriquées.
- Couches d'isolation en panneaux légers en laine de bois.
- Revêtement par un placage en bois de qualité.
- Cadres de portes et fenêtres, battants de porte, volets, stores, appui de fenêtre, escaliers et autres éléments similaires pour la construction.
- Toitures (fermes, chevrons, pannes, lattes et bardeaux) principalement construites à partir de perches et de bois de scierie.
- Coffrage pour les constructions en béton ou en terre damée. Echafaudages réalisés à partir de bois de scierie et de perches pas nécessairement parfaitement rectilignes.

II-2-11-4-Avantages :

- Le bois est un matériau de construction qui convient à tous les types de climat. Aucun autre matériau naturel ou manufacturé n'égale le caractère universel et les performances thermiques du bois, tout en procurant des conditions de vie confortables et saines.
- Le bois est un matériau renouvelable et si la reforestation est bien organisée.
- Le rapport résistance / poids est très élevé pour la plupart des espèces.
- L'utilisation du bois est compatible avec les qualifications traditionnelles et elle requiert rarement des équipements sophistiqués.
- La production et le travail du bois requièrent moins d'énergie que la plupart des autres matériaux de construction.
- Le bois est un bon isolant thermique et acoustique.
- L'utilisation d'espèces à croissance rapide permet de réduire l'exploitation des espèces de premier choix. Ces dernières grandissent lentement et leur surexploitation Cause de sérieux problèmes d'environnement.
- Le bois provenant de démolitions peut être recyclé, soit à nouveau comme matériau de construction, soit comme combustible.

II-2-12- Les métaux : [7]**II-2-12-1- Généralités :**

Généralement, les métaux ne sont pas considérés comme des matériaux de construction appropriés, pour la construction économique. En effet, ils sont habituellement chers, importés dans la plupart des cas et leur travail requiert des outils et équipements spécialisés. Mais en fait, très peu de maisons sont construites sans utiliser de métal, qu'il s'agisse de clous, de tôles de couverture, ou d'armatures pour le béton armé.

II-2-12-2- Les type des métaux :

Parmi les métaux employés dans la construction on distingue:

**les métaux ferreux:* Fer et aciers

** Les métaux non ferreux:* aluminium (Al), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), plomb (Pb), nickel (Ni), étain (Sn), zinc (Zh).

II-2-13- Le verre : [7]

Le verre provient, comme les métaux, de la fusion de divers matériaux (sable, carbonate de soude, calcaire, dolomie, oxyde d'aluminium, feldspath, potasse, borax, calcin ou débris de verre, et encore d'autres ingrédients) portés à une température d'environ 1500°C. Le verre fondu est mis en forme et ensuite lentement refroidi (recuit) pour éviter qu'il se fende. Si la fabrication du verre remonte à quelques milliers d'années, sa production à grande échelle et son utilisation dans la construction remontent à moins de deux cents ans.

Le verre n'est pas un matériau indispensable pour la construction économique dans les pays en développement. Certains produits en verre, mais aussi des déchets en verre, sont cependant utilisés avec succès, pour améliorer les performances d'autres matériaux ou le confort interne des habitations

II-2-14- Les Plastiques : [7]

Les plastiques sont des matières synthétiques composées d'éléments carbonés, dérivés du pétrole ou plus rarement du charbon. Toutes les matières plastiques sont des polymères (longues chaînes de molécules agencées les unes par rapport aux autres sans organisation

précise). La longueur et la composition de ces chaînes moléculaires, sont faciles à déterminer en cours de production, ce qui explique l'immense variété de plastiques.

II-2-15- Le soufre : [7]

Alors même qu'il existe plusieurs applications très intéressante du soufre, comme matériau de construction, les technologies qui concernées sont encore très peu connues, C'est probablement parce que les travaux de recherche et développement sont menés presque exclusivement au Canada et aux états Unis et que peu de constructions expérimentales ont été réalisées dans les pays en développement. La désulfuration du pétrole et du gaz naturel rejette de grandes quantités de soufre, dont la décharge pose de gros problèmes dans certains pays.

Le développement de l'utilisation du soufre, pour la production intensive de matériaux de construction, pourrait résoudre ces problèmes de stocks toujours plus importants.

II-2-16- Les déchets : [7]

II-2-16-1- Généralités :

Même si le terme «déchets» est fréquemment employé, il l'est parfois à tort. En effet, tous les «déchets» ne sont pas des détritux inutiles, disponibles à volonté. Souvent il s'agit d'une question de point de vue: un matériau peut être considéré comme un déchet; vu sous un autre angle, il devient une ressource utile.

II-2-16-2-Définition :

On peut définir les déchets comme étant des sous-produits de procédés agricoles, sylvicoles, Industriels ou mêmes domestiques. Ces sous-produits, sans avoir nécessairement quelque chose à voir avec la construction, peuvent, après traitement et transformation, ou associés à d'autres matériaux, soit devenir des substituts économiques à certains matériaux de construction conventionnels, soit être utilisé pour en améliorer la qualité.

Une exception: les matériaux qui proviennent de la démolition des bâtiments, et qui continuent d'être employés comme matériaux de construction (peut-être sous une forme différente).

Chapitre 03 : Les matériaux locaux de constructions

Introduction :

Pendant des milliers d'années le bois et la pierre ont déterminé le caractère des bâtiments. De nos jours, il importe de revaloriser ces ressources en y associant de nouvelles technologies afin de se conformer aux exigences de délai, de coût et de qualité.

La réduction d'utilisation de béton pour les pays à faible revenu a des retombées tant au niveau environnemental qu'au niveau économique.

Chaque zone géographique offre des ressources en matériaux qu'il importe, avant toute chose, au concepteur, de connaître les possibilités d'exploitation.

Les matériaux locaux tels que la terre, les pierres, le bois...etc, ont servi fidèlement dans la construction de l'habitat social.

Dans ce chapitre, nous allons citer et recenser les matériaux locaux de construction dans la région du « HODNA ».

III-1 Les matériaux locaux de constructions :

III-1-1- Définition :

Un matériau local de construction : Est un matériau produit localement et à partir de matières premières (ou ressources) intérieures propres à un pays sans recours ou très peu de recours à des matières importées avec pour objectif de minimiser son coût.

On peut aussi dire qu'un matériau local de construction est un matériau produit localement, valorisant et générant des ressources en majorité locales et ayant un impact macro- économique positif sur le plan national.

Donc tout matériau localement disponible est un matériau local

Matériaux de construction appropriés : Nous entendons par « matériaux appropriés » les matériaux de construction qui par leurs caractéristiques s'intègrent de manière favorable dans un cadre donné et une perspective de développement local et durable.

III-1-2- Caractéristique des matériaux locaux de construction :

Des matériaux de construction qui sont produite avec des technologies appropriées doivent donc être fabriqués et utilisés avec les mêmes compétences et le même soin que les produits de haute technologie.

III-2- Choix des matériaux de construction appropriés :

Un matériau ou une technologie de construction n'est jamais universel. Les questions suivantes mettent en relief quelques-unes des particularités qui font qu'un matériau ou une technologie de construction est approprié(e):

- ❖ Le matériau est-il produit localement ou bien est-il en partie, ou en totalité, importé ?
- ❖ Est-il économique, disponible en abondance, et/ou facilement renouvelable?
- ❖ A-t-il été produit dans une fabrique éloignée (coûts de transport!); sa production requiert-elle des machines et équipements spéciaux ou bien peut-il être produit à faible coût sur le site? (Une bonne qualité et une bonne durabilité prennent souvent le pas sur un faible coût d'approvisionnement).
- ❖ La production et l'utilisation requièrent-elles beaucoup d'énergie? Engendrent-elles déchets et pollution? Est-ce un matériau alternatif acceptable qui élimine de tels problèmes?
- ❖ Le matériau et la conception sont-ils acceptables d'un point de vue climatique?
- ❖ Le matériau et la conception sont-ils suffisamment sûrs face aux risques naturels (p. ex. feu, agents biologiques, fortes pluies, ouragans, tremblements de terre)?
- ❖ Le matériau et la technologie peuvent-ils être utilisés et compris par la population locale, ou bien une compétence et une expérience spécialisée sont exigées?
- ❖ Les problèmes de réparation et de pièces de rechange peuvent-ils être résolus localement?
- ❖ Le matériau est-il acceptable socialement? Est-il considéré comme bas de gamme, ou enfreint-il des croyances religieuses? Doit-il concurrencer des matériaux et des procédés de construction semblables?

III-3- Recensement des quelques matériaux locaux de construction :**III-3-1- La pierre :**

IV-3-1-1- Généralités :

Depuis l'époque préhistorique, l'homme n'a eu de cesse d'extraire la pierre pour son usage quotidien. Il l'a toujours considérée comme noble car durable, dans le sens « qui résiste au temps », l'utilisation jusqu'à une époque récente comme principale matériau de construction. Aujourd'hui la pierre doit apporter la preuve qu'elle répond bien aux principes du développement durable, afin de figurer en bonne place parmi les matériaux de construction de demain.

Dans l'Antiquité, les difficultés d'extraction ont d'abord fait de la pierre un matériau de prestige dédié à la construction de bâtiments symbolisant le pouvoir ou le divin, alors que le bois et la terre étaient utilisés pour les constructions à usage plus banal. Plus récemment, les évolutions technologiques ont permis d'améliorer les techniques d'extraction et de taille, autorisant l'usage de la pierre dans des édifices plus variés. Nombre d'ouvrages sont toujours observables aujourd'hui, des centaines, voire des milliers d'années après leur édification, témoignant du savoir-faire des hommes et de la durabilité des pierres.



Figure III-1: La pierre naturelle.

III-3-1-2- L'extraction :

L'extraction de certaines roches est possible à partir d'un outillage simple (foreuses, coins et marteaux). Habileté et expérience sont cependant indispensables, pour réaliser des coupes précises. Les roches très dures, tel le granité, nécessitent un équipement mécanisé plus sophistiqué. La pierre naturelle peut être utilisée brute (c -à-d. de forme irrégulière), ou équarrie. Selon l'utilisation prévue, l'équarrissage est réalisé avec un outillage simple, ou avec des machines La pierre peut être employée en totalité, sans laisser de déchets.

III-3-1-3- Les avantages : [7]

- ❖ Habituellement, disponible en abondance et d'accès facile en régions montagneuses; généralement l'extraction nécessite un faible investissement et consomme peu d'énergie.
- ❖ Durabilité et résistance extrêmement élevées de la plupart des variétés de pierre; exigences d'entretien négligeables.
- ❖ L'imperméabilité de la plupart des variétés de pierres, offre une bonne protection contre la pluie.
- ❖ Matériau approprié aux climats montagneux et de régions arides, du fait de son importante inertie thermique.

III-3-1-4- Les problèmes : [7]

- ❖ La pollution atmosphérique peut provoquer des détériorations. Ainsi, des composés soufrés dissous dans l'eau de pluie produisent de l'acide sulfurique. L'attaque des carbonates et des calcaires par cet acide, entraîne l'apparition de boursouflures et la formation d'une croûte.
- ❖ Dégradations dues aux dilatations thermiques de certaines pierres, tout particulièrement lorsqu'elles sont fixées rigidement à des matériaux dont le coefficient de dilatation est différent, p. ex. le béton.
- ❖ Dégradations de surface dues, soit à l'eau qui dissout progressivement les calcaires, soit à des cycles séchage-mouillage répétitifs (mal supportés par certains grès), soit encore au gel de l'eau piégée dans des fissures.
- ❖ Faible résistance aux tremblements de terre, et mise en danger de vies humaines en cas d'effondrement.

III-3-1-5- Les remèdes : [7]

- ❖ Eviter l'utilisation des calcaires et grès calcaires à proximité de sources de pollution atmosphérique (p. ex. émission de dioxyde de soufre: combustion de charbon ou de pétrole).
- ❖ Aménagement de joints de mouvement permettant d'associer des matériaux ayant des coefficients de dilatation différents.
- ❖ Conception du bâtiment prenant en compte l'évacuation des eaux de pluie (évaporation et/ou drainage) pour éviter des dégradations dues au gel ou le lessivage des calcaires.
- ❖ Conception soignée du bâtiment, prévoyant des renforts aux angles, le chaînage de la construction, etc., et dans les régions à risques sismiques éviter absolument les voûtes en pierre et les avant-toits.

III-3-2- La terre : [7]**III-3-2-1- Généralités :**

La plupart des terres peuvent être utilisées comme matériaux de construction. Cependant, l'addition ou l'élimination de certains constituants est souvent nécessaire pour améliorer leur qualité. Divers tests permettent d'identifier les caractéristiques d'une terre, afin de vérifier son aptitude à être employée pour la construction de bâtiments. Ces tests sont décrits aux points «Essais de terrain» et «Essais de laboratoire».

La terre est disponible dans la plupart des régions du « HODNA ».



Figure III-2: La terre.

III-3-2-2- Types des essais :**a - essais sur site :**

Certains essais ne nécessitent aucun équipement spécial.

- ❖ L'examen oculaire à la loupe sur éclat coupé au couteau donne la proportion des gros grains et détermine la présence de sulfates (éclat brillant).
- ❖ L'examen olfactif détermine les sols organiques (odeur de moisi).
- ❖ L'examen au toucher détermine le type de sol (l'argile humide colle aux mains, le sable est sec et rugueux).

b- essais de laboratoire:

Les essais de laboratoire sont plus précis et permettent de déterminer efficacement l'aptitude du sol à l'usage et la méthode de stabilisation appropriée.

***étude granulométrique:** Le béton de terre stabilisé doit réagir comme un conglomérat, ce qui nécessite une granulométrie étalée et régulière et une composition soignée (le sable est l'élément structurel Inerte, le limon est un élément difficilement compressible et l'argile comme élément de cohésion interne très élevée).

***consistance:** La cohésion interne que développent les particules constituant le sol représente la consistance (état fluide, état plastique, état solide avec retrait, état solide sans retrait).

***analyse chimique:** Cette analyse détermine la présence d'éléments nocifs (les sulfates produisent des gonflements dans le matériau et des dégâts sur les chaînages, leur taux doit être inférieur; à 2%).

A côté des particules solides, la terre renferme de l'air et de l'eau.

***L'air:** est un facteur d'affaiblissement indésirable dans la construction. De plus, il contient des micro-organismes et de la vapeur d'eau, qui tous deux peuvent provoquer la détérioration des éléments d'une construction.

***L'eau:** sans laquelle la terre ne pourrait pas être employée pour bâtir, peut contenir des substances dissoutes (sels) susceptibles de créer des problèmes.

III-3-2-3-Applications :

- ❖ Les constructions en terre se rencontrent partout dans le monde, même si dans les régions où les précipitations sont très importantes leur nombre est plus réduit.
- ❖ Les bâtiments peuvent être construits soit entièrement, soit partiellement en terre, selon leur emplacement, le climat, les compétences disponibles, le coût et leur usage. La construction peut être monolithique ou associer divers composants (briques, enduits, éléments coffrés).
- ❖ Dans les régions où la variation journalière de température est importante (régions montagneuses ou arides), il est préférable de construire les murs et les toits, plus épais que dans les régions où la température est plus uniforme (régions humides). L'inertie thermique d'un bâtiment permet, en effet, d'atténuer l'amplitude et la rapidité des variations extérieures.
- ❖ La terre peut être employée pour la réalisation de toutes les parties importantes d'un bâtiment.

III-3-2-4- Les avantages :

- ❖ Disponible en grandes quantités dans la plupart des régions.
- ❖ Matière première gratuite ou de coût réduit (essentiellement frais d'excavation et de transport), si la terre se trouve sur le site de construction.

- ❖ Facile à mettre en œuvre, et généralement sans équipement spécialisé.
- ❖ Convient comme matériau de construction pour la réalisation de la plupart des parties d'un bâtiment.
- ❖ Excellente résistance au feu.
- ❖ Permet d'obtenir une bonne climatisation naturelle dans la plupart des régions, grâce à une importante inertie thermique, une faible conductivité thermique et une porosité naturelle (d'où atténuation des variations de température extérieure et régulation naturelle du degré d'humidité de l'air ambiant).
- ❖ Faible consommation en énergie lors de la transformation et de l'utilisation (terre non stabilisée: seulement 1 % de l'énergie requise pour fabriquer et mettre en œuvre une quantité identique de béton de ciment).
- ❖ Réutilisation illimitée de la terre non stabilisée (c.-à-d. recyclage de bâtiments démolis).
- ❖ Matériaux parfaitement appropriés d'un point de vue écologique (utilisation d'une ressource illimitée à son état naturel, aucune pollution, consommation énergétique négligeable, aucun DECHET).

III-3-2-5- Les problèmes :

- ❖ Des cycles d'humidification-séchage excessifs et répétés (gonflement et retrait) d'éléments en terre non stabilisée, provoquent leur fissuration et leur détérioration, tout comme la pluie et des inondations les affaiblissent et conduisent à leur désagrégation.
- ❖ Faible résistance au frottement et aux impacts, si insuffisamment stabilisée ou renforcée, d'où détérioration rapide en cas d'utilisation intensive et possibilité de pénétration par des rongeurs et insectes.
- ❖ Faible résistance à la traction, qui rend les constructions en terre non renforcées, très sensibles aux tremblements de terre.
- ❖ Faible degré d'acceptation de la plupart des groupes sociaux, due à de nombreuses réalisations de piètre qualité ou mal entretenues. Habituellement utilisée pour la construction de l'habitat des populations moins favorisées, la terre est aussi considérée comme le «matériau du pauvre».

III-3-2-6- Les remèdes :

- ❖ Pour éviter l'absorption excessive d'eau: sélection d'une terre appropriée et/ou correction de la granularité; ajout d'un stabilisant approprié et/ou d'un hydrofuge; bon compactage; et le plus important: bonne conception et mesures de protection.

- ❖ Généralement, les mesures citées ci-dessus améliorent aussi la résistance au frottement et aux impacts. Les hydrofuges n'améliorent pas nécessairement la dureté et la solidité; il peut donc être nécessaire d'utiliser des additifs et des traitements de surface spéciaux.
- ❖ Dans les régions sismiques, les constructions en terre requièrent une conception soignée, pour minimiser l'effet des forces

III-3-3- L'argile : [8]

III-3-3-1- Généralité :

L'argile est une matière première utilisée depuis la haute antiquité. L'abondance naturelle et la disponibilité immédiate des argiles expliquent leurs grandes utilisations à travers les temps.

Le terme argile vient du mot grec « argilos », dont la racine argos signifie blanc, ce sont des aluminosilicates dont la structure est formée d'un empilement de feuillets. Il n'existe pas de définition unique du terme « argile ». Ce mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie.

III-3-3-2- Définition:

Les argiles sont des aluminosilicates plus ou moins hydratés et la majorité des minéraux argileux appartiennent au groupe des silico-aluminates. Ils sont organisés en couches planes infinies constituées d'unités structurales tétraédriques et octaédriques reliées par leurs sommets. Ce type de structure à très grande surface spécifique associée à des caractéristiques physico-chimiques très particulières, explique la capacité des argiles à admettre de nombreux échanges de cations et d'anions dans le réseau ou absorbés en surface.

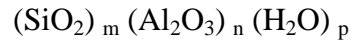
III-3-3-3- Minéralogie des argiles :

Les minéraux argileux sont de très petites particules très actives sur le plan électrochimique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la portion argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement.

a- Minéraux argileux :

Les minéraux argileux sont des substances cristallines qui tirent essentiellement leurs origines de l'altération chimique de certains minéraux composant les matériaux parents. La

famille des minéraux argileux regroupe tous les silicates hydratés appartenant au groupe des phyllosilicates. Sur le plan chimique, ce sont des alumino-silicates hydrex ajoutés à d'autres ions métalliques. Ils sont composés des particules de formes aplaties et de dimensions très petites qu'on ne peut voir qu'au microscope électronique, les cristaux ressemblent à de minces plaques ou plaquettes. Leurs formule chimique est de la forme suivante:



b - Structure des argiles :

Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base, ces feuillets sont formés par la juxtaposition des couches structurales tétraédriques (silice) et octaédriques (aluminium). Les couches structurales sont à leur tour formées d'unités structurales de base par empilement d'ions ou d'hydroxydes en disposition hexagonale ou compacte.

III-3-3-4- L'utilisation des argiles :

De nos jours l'utilisation des argiles, notamment celles qui sont riches en SiO_2 et Al_2O_3 , connaît un nouvel essor dans la construction, dans la céramique industrielle et artisanale, dans l'industrie pharmaceutique et dans la poterie.

III-3-4- La chaux : [7]

III-3-4-1- Généralités :

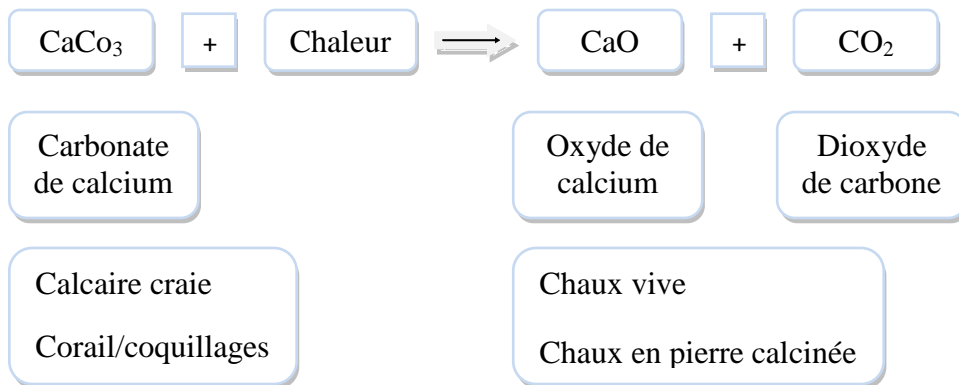
La production de chaux dans des fours est une technologie, vieille de plus de 2000 ans, probablement développée par les romains environ 300 ans avant J, C, la calcination du calcaire (température supérieure à 900°C) produit de la chaux vive, celle-ci éteinte avec de l'eau produit de la chaux hydratée ou chaux éteinte. La production de chaux étant une pratique traditionnelle dans la plupart des pays, la chaux est un des matériaux les plus courants, la chaux est employée dans de nombreux procédés industriels et agricoles, ainsi que pour la protection de l'environnement et dans la construction de bâtiments.

La chaux est aussi un sous-produit de la fabrication du sucre et des industries de l'acétylène et du papier. Elle se présente alors sous forme de boues (composées de carbonate de calcium et de diverses impuretés).

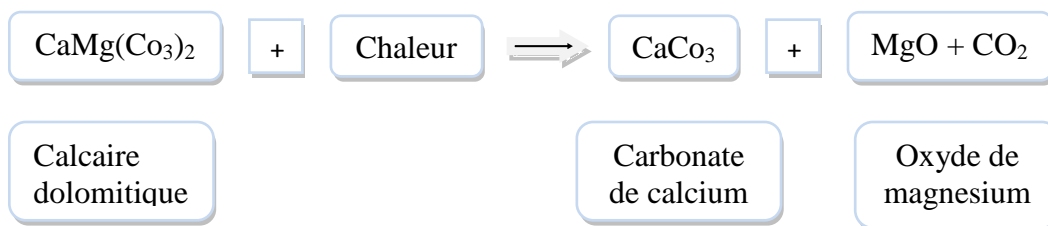
III-3-4-2- Les réactions chimiques :

a- Les réactions chimiques lors de la cuisson de la chaux sont :

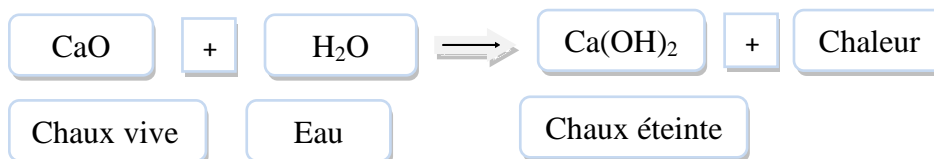
**Première réaction :* (900°C, selon le type de calcaire)



**Deuxième réaction :* (environ 750°C)



b- Hydratation :



c- Recarbonatation :

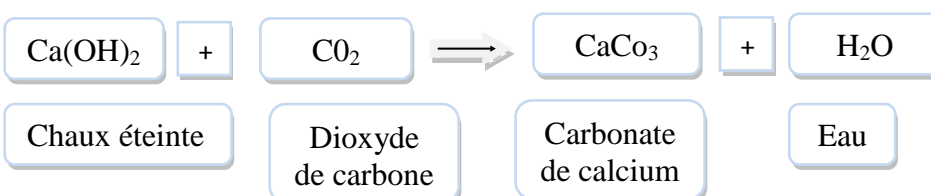




Figure III-3: Le calcaire.



Figure III-4: La chaux vive.



Figure III-5: Hydratation (Réaction en cours).



Figure III-6: La chaux éteinte.

III-3-4-3- Extraction :

Les roches calcaires sont extraites de carrières à ciel ouvert ou souterraines. Abattage, les roches dures sont reprises par des chargeurs, puis transportées vers des ateliers de concassage et de criblage. [9]

III-3-4-4-Matières premières : [7]

***Préparation de la matière première :** La préparation de la matière première est extrêmement importante. Ainsi, pour faciliter un flux régulier des gaz et une cuisson uniforme, les pierres doivent toutes avoir à peu près la même dimension (environ la grosseur d'un poing). Des essais de cuisson à petite échelle permettent d'étudier le comportement de la matière première et la qualité de chaux vive produite. Ils permettent aussi de vérifier la solidité des pierres qui ne peuvent pas se casser avant d'être extraites du four.

***La calcination :** Pendant la calcination, le comportement du calcaire est influencé par sa teneur en impuretés. La conception du four et le choix du carburant dépendent donc beaucoup de la matière première et du type de produit fini désiré. Les conseils d'un expert, dès les tout premiers stades d'un projet de construction d'un four à chaux, sont donc indispensables pour obtenir des résultats satisfaisant le producteur de chaux et ses clients.

III-3-4-5- Fabrication des chaux hydrauliques naturelles : [9]***La cuisson :**

- ❖ La cuisson s'effectue dans des fours verticaux, dans lesquels un mélange de pierre et de charbon est introduit à la partie supérieure.
- ❖ La pierre descend lentement, en traversant une zone de préchauffage (vers 200°) Elle traverse ensuite une zone de calcination (à partir de 900°C).
- ❖ La zone de cuisson se situe à une température variant entre 1000 et 1200°C, la chaux vive recueillie à la sortie du four passe par un traitement destiné à éteindre complètement la chaux libre.
- ❖ Lorsque aucune addition n'est effectuée, à l'exception facultative de celle du grappiller, le terme pur peut être appliqué à la chaux hydraulique naturelle pur [10].

III-3-4-6- Extinction des chaux hydrauliques :

**Par immersion* : on met la chaux dans des paniers qu'on plonge dans l'eau; ce procédé est exactement le même que celui utilisé pour éteindre la chaux grasse.

**Par aspiration* : on étale la pierre cuite en couche de 15 à 20 cm. On l'arrose légèrement, puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière que toute la masse soit bien humectée [9].

III-3-4-7- Applications : [7]

- ❖ La chaux est utilisée comme stabilisateur lorsque la terre employée pour construire est argileuse, car elle réagit avec l'argile pour former un liant.
- ❖ La chaux mélangée avec un matériau pouzzolanique (cendres volantes, laitier de haut fourneau, etc...) donne naissance à un liant hydraulique. Celui-ci peut partiellement ou complètement se substituer au ciment, selon les performances attendues des mortiers et bétons réalisés.
- ❖ La chaux produite à partir de calcaire riche en argile est appelée chaux hydraulique, car même utilisée sans matériau pouzzolanique, elle durcit au contact de l'eau.
- ❖ La chaux non hydraulique ou chaux aérienne (= chaux éteinte classique: hydroxyde de calcium pur ou presque pur) peut aussi être utilisée comme liant, dans la composition de crépis. Le durcissement provient alors, de la réaction avec le dioxyde de carbone présent dans l'air, qui retransforme la chaux en calcaire (carbonate de calcium). Ce procédé peut durer jusqu'à 3 ans, selon les conditions climatiques.
- ❖ La chaux est employée dans des mortiers et enduits au ciment pour en améliorer l'ouvrabilité.
- ❖ Le blanchissage à la chaux (lait de chaux dilué) se pratique aussi bien en extérieur qu'en intérieur.

IV-3-4-8- Les avantages : [7]

- ❖ La production de chaux consomme moins d'énergie que la production de ciment, elle est donc plus économique et nuit moins à l'environnement.

- ❖ L'utilisation de la chaux est de loin préférable à celle du ciment portland, pour des travaux de maçonnerie et de crépissage. Elle tolère de petites déformations sans se fissurer car elle est moins rigide, et elle permet une meilleure régulation naturelle de l'humidité de l'air (réduction du danger de condensation).
- ❖ Parce qu'il n'est pas toujours nécessaire d'atteindre la résistance que le ciment portland permet d'obtenir (une résistance très élevée peut parfois être néfaste), un liant chaux-matériau pouzzolanique peut fournir une solution meilleure marché et structurellement plus appropriée. Le ciment est alors préservé pour des utilisations plus spécifiques.
- ❖ Les blanchissages à la chaux ne sont pas seulement des peintures économiques, ils ont aussi un léger pouvoir germicide.

III-3-4-9- Les problèmes : [7]

- ❖ Le temps de cure des terres stabilisées à la chaux est deux fois supérieur à celui du ciment.
- ❖ De la chaux vive stockée dans un endroit humide s'hydrate (l'humidité de l'air est déjà suffisante).
- ❖ La chaux éteinte réagit graduellement avec le dioxyde de carbone présent dans l'air. Stockée pour de longues périodes elle perd donc progressivement de son efficacité.
- ❖ L'expansion de la chaux (hydratation différée de nodules de chaux vive non éteinte) peut se produire longtemps après le séchage. Causant alors des boursouffures, et des fissures qui endommagent les surfaces.
- ❖ De simples blanchissages à la chaux durcissent lentement et ne sont pas très résistants.
- ❖ La cuisson traditionnelle de la chaux dans des fours intermittents consomme d'importantes quantités de combustible (habituellement bois de feu) et produit souvent un matériau non homogène et de faible qualité (sur cuit ou sous cuit).
- ❖ La valeur de la chaux est largement sous-estimée, surtout depuis que le ciment portland est devenu presque partout, une sorte de liant «miracle».

III-3-4-10- Les remèdes : [7]

- ❖ Le temps de cure de terres stabilisées à la chaux peut être raccourci, soit en utilisant des chaux hydrauliques, soit en ajoutant un matériau pouzzolanique aux chaux aériennes.

- ❖ Pour la construction, puisque la chaux vive doit de toutes les façons être hydratée avant d'être employée, elle devrait être éteinte dès sa sortie du four. En effet, une fois hydratée elle se conserve et se transporte beaucoup plus facilement.
- ❖ La chaux hydratée sèche doit être stockée dans des sacs imperméables à l'air, pour empêcher une rapide détérioration.
- ❖ Il est avantageux de stocker la chaux sous forme de pâte de chaux car sous cette forme un stockage de longue durée n'est pas préjudiciable. Au contraire, la qualité de la pâte de chaux s'améliore avec le temps. Sous cette forme, même les particules de chaux vive réagissant plus lentement, finissent par s'hydrater, évitant ainsi l'expansion ultérieure de la chaux.
- ❖ Pour arriver à la construction de fours plus efficaces (en termes de consommation en combustible et de débit du four), il est essentiel de faire circuler l'information et d'assister les producteurs locaux.
- ❖ De tels efforts devraient aussi permettre de réhabiliter la chaux, comme étant l'un des matériaux de construction les plus importants.

III-3-5- Le plâtre :

III-3-5-1- Généralité:

Le plâtre est fabriqué à partir de gypse, et ce dernier est disponible en abondance dans beaucoup de pays, soit sous forme naturelle, soit en tant que sous produit industriel.

Le plâtre est plus économique que la chaux ou le ciment (production requérant moins d'énergie et des équipements plus simples).

III-3-5-2- Caractéristiques : [7]

a- Le durcissement du plâtre:

Le durcissement du plâtre mélangé à de l'eau étant rapide, la cure de blocs en terre stabilisée au plâtre est rapide. De tels blocs peuvent être utilisés pour la construction de murs, peu après leur fabrication. Il est recommandé d'adopter un dosage en plâtre de l'ordre de 10 %.

b- La stabilisation au plâtre:

La stabilisation de la terre avec du plâtre n'est pas une pratique courante et les informations relatives à ses performances sont très limitées.

**Les avantages d'une stabilisation au plâtre:* retrait limité, apparence lisse et résistance mécanique élevée. En outre, le plâtre se lie bien avec des fibres (particulièrement le sisal), il est hautement résistant au feu et n'est pas attaqué par les insectes et rongeurs.

c- Le principal inconvénient du plâtre :

Est sa solubilité au contact de l'eau, d'où d'indispensables mesures de protection adaptées:

- ❖ protection des murs extérieurs de la pluie par un enduit, un parement ou de larges débordements de toiture.
- ❖ protection contre le développement de l'humidité intérieure en évitant la buée (dans les cuisines) et la condensation; protection contre les remontées capillaires en posant des membranes imperméables.

III-3-5-3- Le gypse naturel :

Le gypse est une roche saline sédimentaire et plus spécifiquement une évaporite. Le gypse est couramment associé à l'anhydrite, la halite, la calcite, la dolomite, des matériaux argileux et des oxydes de fer.

Il peut être d'aspect vitreux, translucide, incolore à blanc, soyeux ou nacré, en cristaux tabulaires ou lenticulaires, souvent à faces courbes, se présentant en agrégats ou en feuillets. Mais parfois teinté par des impuretés de rose, rouge, vert, jaune, noir ou brun. C'est le gypse rocheux que l'on exploite pour la fabrication du plâtre. Il peut être aussi albâtre, cristallisé, en cristaux isolés ou groupés "pied d'alouette", "fer de lance", marienglas, "lenticulaire", rose des sables, éolien, etc.

Chapitre 04 : Valorisation et diversification de la terre

Introduction :

La valorisation des matériaux locaux dans la construction d'habitations et bâtiments est une nécessité dans les perspectives du développement durable.

Cette approche permettra de valoriser pleinement les qualités intrinsèques des matériaux locaux pour la construction et l'exploitation des ressources naturelles.

La caractérisation et le développement des éco-matériaux, et à la création et au développement de Petites et moyennes entreprises (PME)/ Petites et moyennes Industries(PMI) dans les domaines des technologies de construction innovantes et respectueuses de l'environnement, en valorisant aussi les matériaux approprié à travers la stabilisation avec des matériaux locaux

Dans le cadre du développement durable et leurs perspectifs dans le domaine du génie civil et de construction (bâtiment), l'utilisation et la valorisation des matériaux locaux de construction sont considèrent le grand pilier important.

Dons ce chapitre, nous allons exposer la diversification des déférents matériaux qui peuvent être obtenus et fabriqués par la valorisation de la terre (matériau local), dans la région du « HODNA ».

IV-1- La terre :

IV-1-1- Généralité :

La terre est un des premiers matériaux utilisés par l'Homme dans le domaine de la construction. Ce n'est que depuis l'apparition du ciment que les techniques de construction en terre ont été délaissées dans les zones urbaines et dans les pays industrialisés.

L'utilisation de la terre dans le secteur de la construction, dans une optique de développement durable, implique l'analyse de la situation qui motive ce choix ; en prenant en

considération les aspects écologiques, environnementaux et économiques, la viabilité culturelle et temporelle des impacts positifs et négatifs qui résultent de ce choix.

Il existe une grande variété des types de construction en terre ; les types les plus couramment utilisés sont présentés ci après.

IV-1-2- Modes de fabrication : [11]

Les deux grands modes d'utilisation de la terre pour la construction que ce soit en technique traditionnelle ou en adaptation moderne sont essentiellement :

- ❖ le banchage monolithique.
- ❖ la fabrication préalable de blocs (briques).

* **Le banche:** coffrage utilisé pour la réalisation des murs en terre ou en béton.

Les banches à béton de terre stabilisé ou pisé, étaient en bois.

Les banches à béton armé sont métalliques.

***Le compactage :** est l'élément Principal de l'amélioration de la résistance du produit fini, il s'effectue de manière manuelle, mécanique, statique ou dynamique dans des moules dont les dimensions et la forme dépendent de la destination du produit fini qui peut prendre divers formes (blocs pleins, creux, évidés, en U ou en dallettes).

Ensuite ces blocs sont séchés et stockés ou utilisés si leurs résistances ont atteint la valeur escomptée.

IV-2- Diversité de la construction en terre :

IV-2-1- Béton de terre stabilise (BTS) : [11]

Les terres argileuses sont utilisées comme matériau de construction sous forme de briques d'adobe (TOUB) ou sous forme de murs banchés. La stabilisation à l'aide d'un liant hydraulique des terres ; argileuses est Introduite sous l'appellation de Béton de Terre Stabilisé (BTS).

IV-2-1-1- Définition :

Le béton de terre stabilisé est le mélange adéquat de terre à granulométrie étudiée d'un stabilisateur (ciment, chaux...) et d'eau de gâchage. Ainsi ce matériau conserve les propriétés propres du matériau naturel (terre) et se dote de nouvelles caractéristiques.

La stabilisation du béton de terre a pour objet essentiel de rendre ce matériau moins sensible aux variations de sa teneur en eau (l'empêcher à la fois de se transformer en boue ou de s'effriter sous l'action de l'humidité et de subir en séchant un retrait tel que de larges fissures apparaissent et que les enduits se détachent.

IV-2-1-2-Techniques de fabrication :

a-Technique traditionnelle:

Composée de terre argileuse avec un fort pourcentage d'eau, le béton de terre stabilisé est généralement obtenue en tassant manuellement la terre dans des moules simples en bois et en la laissant sécher au soleil. Des fibres végétales (pailles) sont parfois ajoutées à la terre et même du sable de dune. Ce procédé donne souvent des résistances médiocres et des retraits importants aux produits finis, se traduisant par des fissurations, sensibilité à l'eau, faible durabilité et un aspect mal fini.

b-Techniques améliorées:

L'amélioration consiste à assurer un certain compactage qui permet l'augmentation de la densité et la résistance mécanique des blocs dont l'aspect et la forme géométrique sont réguliers. Aussi la stabilisation (au ciment ou à la chaux) diminue la sensibilité à l'eau.

Le compactage se fait de différentes manières (au psoir à la main, à la presse manuelle à levier ou à la presse industrielle).

IV-2-1-3-Processus et matériel de production :

a- tamisage :

Lorsque la terre est constituée d'éléments de dimension supérieure à 5mm, il est nécessaire de procéder au criblage puis au tamisage pour atteindre la granulométrie appropriée.

b- Le malaxage :

Le malaxage de la terre, du stabilisant et de l'eau en proportions étudiées, conditionne l'uniformité du produit et la bonne répartition du stabilisant. Le malaxage (le gâchage) peut s'effectuer soit manuellement, à la bétonnière ou au malaxeur.

c- Le compactage :

Le compactage est l'opération qui consiste à comprimer le mélange de béton de terre dans son moule. C'est de ce compactage que dépendra la résistance finale des parpaings à l'écrasement. Le compactage peut s'effectuer par le damage des blocs dans leurs moules ou grâce à l'utilisation d'une presse mécanique nettement plus efficace. Le compactage par vibration est à exclure, il risque, en effet, d'engendrer d'importantes ségrégations à l'intérieur de la masse de béton de terre.

***Compactage par moulage:** Les moules sont généralement en bois et sans fond, ils peuvent être démontables, articulés ou fixes. Le compactage se fait à l'aide d'une dame de 5 Kg. Il est terminé lorsque la chute de la dame ne laisse plus d'empreinte.

***Compactage par presses mécaniques:** Ces presses mécaniques utilisées pour la fabrication des parpaings en béton de terre, peuvent être actionnées à la main ou utiliser une pression hydraulique.

d- Le séchage :

Le séchage des parpaings se fait, innocemment dans une ambiance plutôt humide pour permettre la prise du stabilisant (ciment ou chaux), puis "au soleil pendant trois semaines.

IV-2-2- L'adobe : [12, 13, 14]**IV-2-2-1- Généralité :**

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde.

IV-2-2-2-Définition :

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité de paille hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30% d'eau). Ce mélange est par la suite déposé à la main dans un moule en bois (figure V.1) de façon fabriqué des petits éléments de maçonnerie, la dimension requise pour être démoulé et séché directement au sol. La brique d'adobe peut varier d'une dimension de (15x25x10) cm soit (30x60x10) cm.

Chaque élément du mélange joue son rôle.

**Le sable* : réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre,

**l'argile* : agglutine les particules et la paille haché, quant à lui, donne un certain grade de flexible.



Figure IV-1: moule de l'adobe.

IV-2-2-3- La production :

La production des blocs d'adobe doit prendre en compte des étapes successives depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage final du matériau prêt à être utilisé en construction [15].

IV-2-2-4- Modes de production de l'adobe :

On distingue deux principaux modes de production des adobes, l'un manuel et l'autre mécanisé traduisant un mode de production traditionnel et un mode de production modernisé

a- Le mode de production manuel :

**Moules simples* : il correspond à un moulage traditionnel soit par façonnage manuel ou à l'aide d'un moule façonnée à la main, la terre est généralement utilisée à l'état de pâte plastique mi-ferme. La terre peut être employée à deux états hydriques différents :

- 1) soit sous forme de pâte mi-molle et selon une méthode dite du "coup d'eau" (moule préalablement nettoyé et mouillé pour faciliter le démoulage).
- 2) soit sous forme de pâte mi-ferme et selon une méthode dite du "coup de sable" (le moule préalablement nettoyé et mouillé est sou-poudré de sable pour faciliter le démoulage).

***Moules multiples :** il associe l'utilisation de grands moules à compartiments multiples, généralement en forme d'échelles ou de forme carrée subdivisée en petits compartiments et la livraison de la terre, à l'état assez liquide par brouettes, dumpers ou bulldozers à godet. Parfois la terre est directement déversée depuis le malaxeur qui est alors mobile et tracté par ou sur un camion.



Figure IV-2 : moules multiples.

Compte tenu de l'état hydrique plus liquide de la terre, les adobes produites de cette façon présentent un risque de retrait et donc de fissuration plus importante. [15]

b- Le mode de production mécanisé :

La production mécanisée de blocs d'adobe avec une machine tractée par un animal domestique dans un premier temps puis motorisée et munie de pneus, dotée d'un système de trémie mobile au dessus d'un moule à compartiments multiples (25 moules) recevant directement la terre et déposant au sol les 25 blocs successivement moulés. Ce type de machine permet une production pouvant aller de 20 à 30 000 blocs par jour.

IV-2-2-5- Les produits :

Les produits de la fabrication des adobes, manuelle ou mécanisée, sont extrêmement variés. Ils sont le plus souvent directement tributaires des savoir-faire traditionnels et varient quant au type de terre utilisée, au mode de moulage, aux dimensions des blocs (très changeantes) et aux destinations d'emploi plus ou moins spécifiques (blocs spéciaux). Les moules utilisés sont généralement en acier ou en bois (le plus souvent) et de forme très variée. [15, 16]

IV-2-2-6- Les avantages de l'adobe :

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels sont :

- ❖ Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- ❖ D'emmagasiner la chaleur.
- ❖ Réduire la consommation d'énergie.
- ❖ De ne produire virtuellement aucune pollution.
- ❖ Construction peu coûteuse.
- ❖ N'entraîne pas la production de gaz [12].

IV-2-3- Le pisé:

IV-2-3-1- Présentation du pisé:

Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger ni de paille ni de bourre. Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur ordinaire des murs de moellons, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée aux hauteurs nécessaires pour une habitation.

Le pisé est donc une technique de maçonnerie de mur en terre crue monolithique coffrée. Le pisé est un matériau à base de terre damée coffrée. [17]



Figure IV-3: La construction en pisé.

IV-2-3-2- définition :

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier. Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes [18].

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ». C'est à dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade.

Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée.

(Figure V-4) montre un exemple de coffrage qui peut être utilisé pour la fabrication de murs en pisé [13].

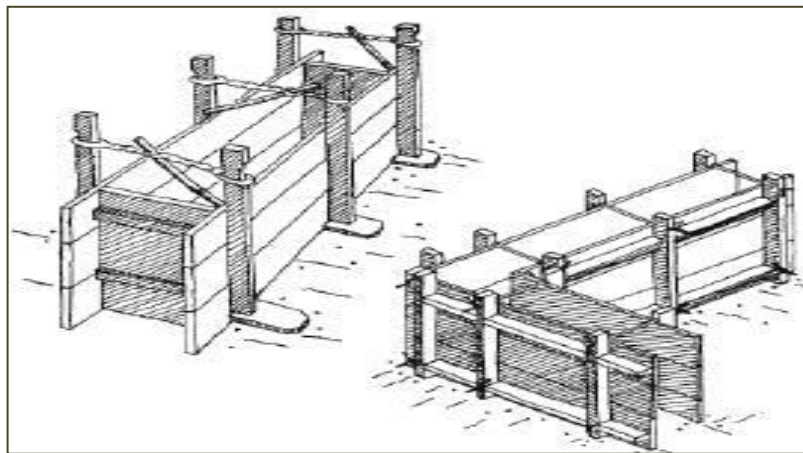


Figure IV-4: Coffrage utilisé dans la conception de murs en pisé [13].

IV-2-3-3- Technique de production:

Le pisé est une technique particulière pour monter un mur en terre crue : celle-ci est compactée (a l'aide d'un pilon) dans des coffrages (appelés banches) de grande largeur qui se superposent pour constituer la hauteur des murs (figure IV-5) [18].

Cette technique permet d'utiliser la terre généralement directement issue du site de la construction, et ne nécessite pas de transformation (pas d'utilisation d'énergie pour Altérer ses propriétés basiques). [18]

Des « lits de chaux » ou « cordons de chaux » font souvent office de liant entre les différentes « banchée » (hauteur de coffrage).

En revanche, cette technique n'est pas applicable avec toutes les terres. En effet, la terre à pisé doit avoir une granulométrie variée ; graviers, sables, limons et argiles dans des proportions bien définies, même si selon les lieux d'extraction, la matière se comportera différemment (couleur, tenue aux intempéries,...). [18]

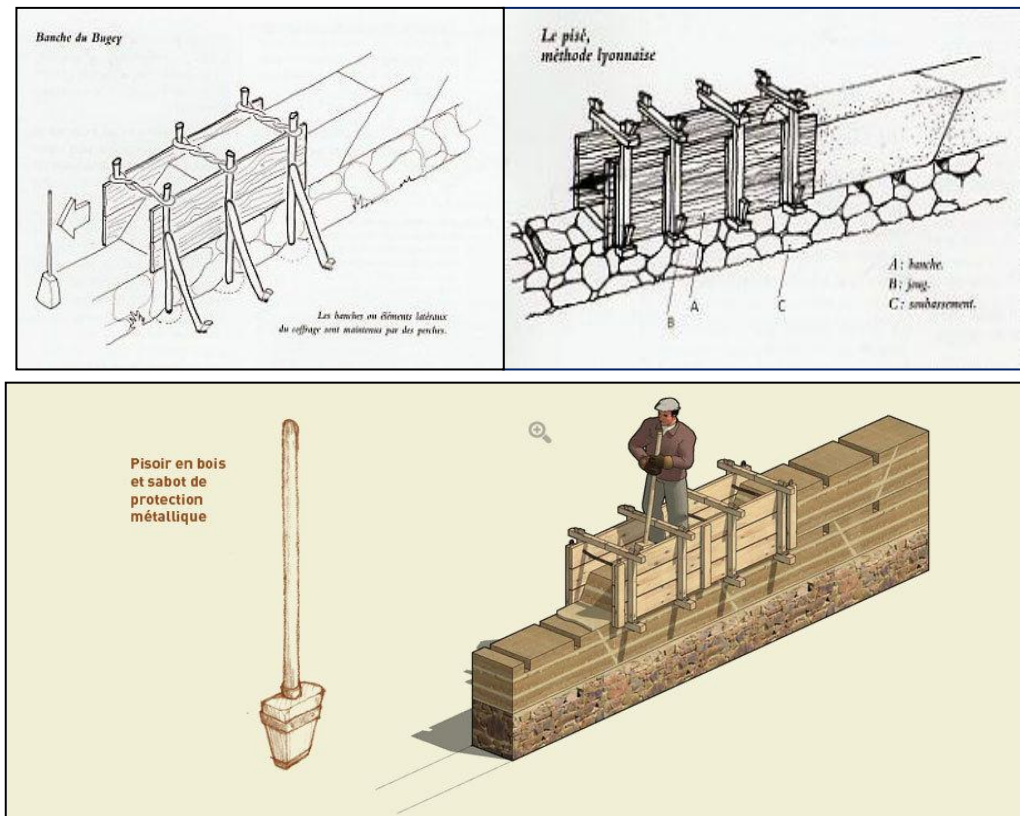


Figure IV-5: Construction un mur en pisé.

IV-2-3-4- Les produits (différents types de pisé) :

L'aspect général du matériau pisé, une fois compacté et décoffré est celui d'un "béton maigre de terre", variable selon le type de terre (apparence de graviers et cailloux ou texture plus fine), selon le type de coffrage utilisé et les principes constructifs adoptés pour édifier la maçonnerie de terre en "banchées" successives (en progression horizontale ou verticale avec des coffrages traditionnels). [15]

V-3-3-5- Les Avantages de pisé :

La terre possède de multiples qualités dans le domaine du bâti :

- ❖ Régulateur d'humidité : capacité à laisser transiter la vapeur d'eau.
- ❖ Durée de vie : patrimoine de bâtiments centenaires très présents.
- ❖ Déphasant : il ralentit le transfert de chaleur (et permet un confort d'été indéniable).
- ❖ Élément de forte inertie, c'est-à-dire qu'il a une bonne capacité à stocker la chaleur et à la restituer par rayonnement.
- ❖ Isolation phonique et qualité acoustique.
- ❖ Reprise aisée, mais nécessitant un savoir-faire [18].

IV-2-4- Les blocs de terre comprimée(BTC) : [19]**IV-2-4-1- Généralité :**

Les Blocs de Terre Comprimée (BTC) permettent une utilisation moderne de la terre crue. Ils sont utilisés pour créer les cloisons de distribution ou doubler les murs extérieurs, dans le but de donner de l'inertie thermique à l'habitat. Différentes des adobes, des briques de terre moulée, les BTC sont très fortement comprimées à l'aide d'une presse. Faites à partir d'une terre légèrement humide, les BTC, une fois pressées, sont stockées en cure humide (sous bâche) pendant 3 semaines à la suite desquelles elles pourront être mises en œuvre.



Figure IV-6: Blocs de Terre Comprimée.

IV-2-4-2- définition :

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance de bloc de terre moulée est pourtant ancienne et à l'aide de pilons de bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. [20]

Le BTC est très régulier en forme et en dimension, ils sont pleins ou perforés ce qui permet de réaliser des travaux de maçonnerie très variés. Les blocs de terre comprimés, sont fabriqués à partir de terre humide et compactée dans une presse.



Figure IV-7: Brique de terre compressée réalisée à l'aide d'une presse manuelle

IV-2-4-3- Processus de production des BTC :

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits pas compactage, exception faite de la phase de cuisson.

Les étapes essentielles de la production du BTC sont les suivantes: (Figure V-8).

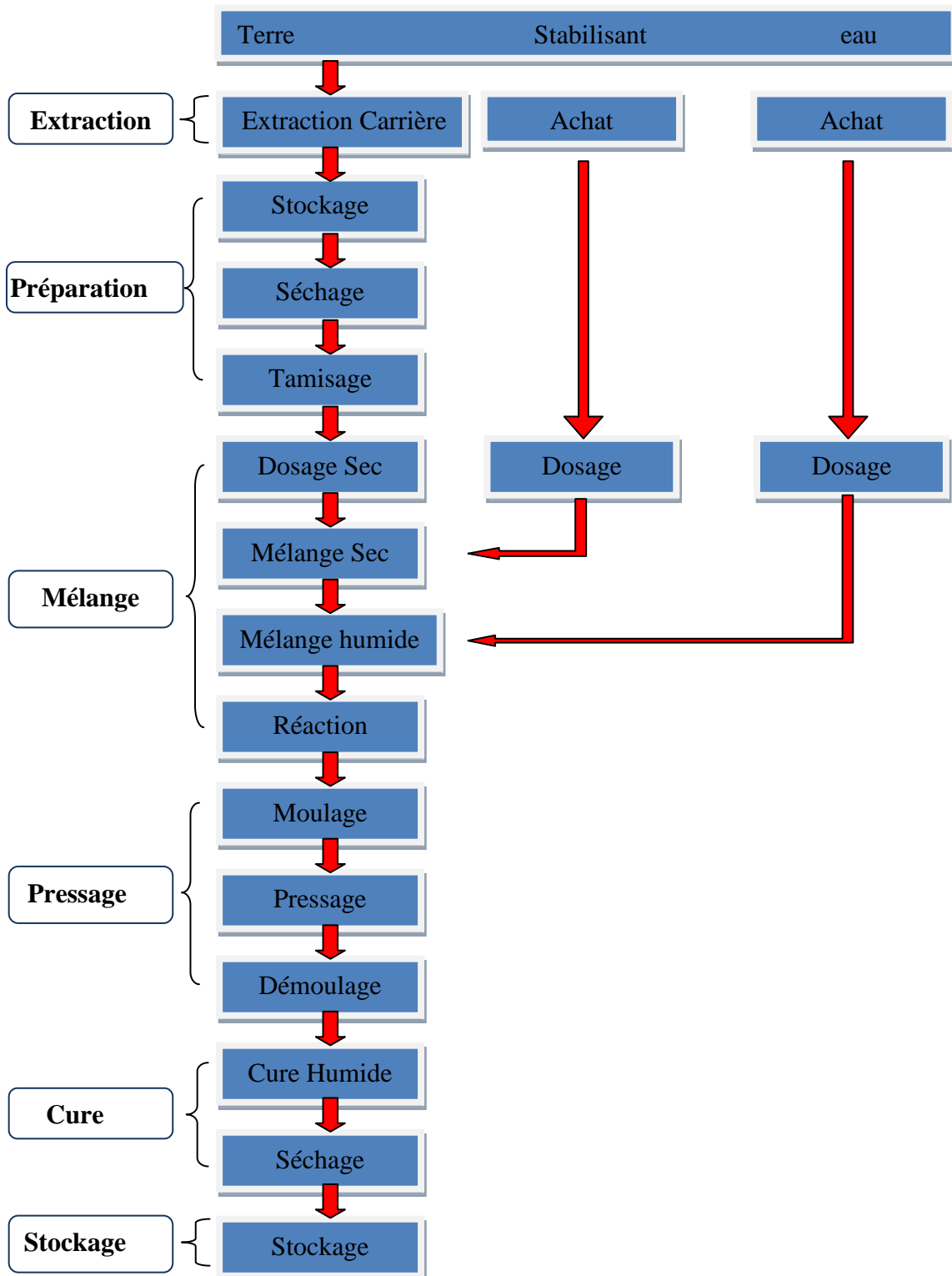


Figure IV-8: Cycle de production BTC (V.HOUBEN et AL, 1995).

L'organisation de la production sera selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles ou industrielles. Les aires de production, de séchage et des stockages varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique. [14]

IV-2-4-4-Diversités des produits de blocs de terre comprimée :

***Blocs pleins** : Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.



Figure IV-9: Blocs (BTC) pleins.

***Blocs creux** : On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

***Blocs alvéolaires** : Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale.

***Blocs à emboitements** : Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

***Blocs parasismiques** : Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleure intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple.

***Blocs spéciaux** : Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique.



Figure IV-10: Différents produits de blocs de terre comprimée.

IV-2-4-5- Les Avantages de bloc de terre comprimée :

**BTC est un matériau écologique* : composée essentiellement d'argile, sable et gravillons et d'un peu de ciment, fabriquée sans cuisson.

**BTC procure un confort thermique et phonique excellent* : de part son inertie thermique et sa masse, un mur en BTC apporte confort thermique et isolation phonique.

**BTC offre une grande résistance* : la résistance à la compression d'une BTC dépasse les 60 bars (60kg/cm²).

**BTC présente un intérêt architectural et esthétique* : en cloison, en mur porteur, la BTC permet une richesse de formes, et de motifs variés dans son utilisation.

**BTC est simple à mettre en œuvre* : la BTC se monte avec un mortier de terre amendé. Les règles de construction sont simples à suivre [22].



Figure IV-11:Maçonnerie en bloc de terre comprimée.



Figure IV-12: Murs en bloc de terre comprimée.

IV-3- L'effet d'utilisation de l'argile dans la fabrication des produits en terre :

En général les grains individuels des minéraux argileux sont de taille microscopique et semblable à des plaquettes. Cette structure en feuillets dont la surface est bien plus importante que l'épaisseur, leur permet d'absorber de grandes quantités d'eau par adhésion, ce qui leur donne leur plasticité et fait gonfler certaines variétés. Le degré de plasticité des argiles varie : mélangées à l'eau, elles se prêtent plus ou moins bien au moulage ou au façonnage.

IV-4-L'effet de la chaux:

La chaux n'a que peu d'effet sur les terres très riches en matières organiques (quantité supérieure à 20 %) et sur les terres manquant d'argile. Elle est en effet plus efficace et peut l'être davantage que le ciment. [23]

Les effets de la chaux sont donc très dépendants de la nature des terres argilo-sableuses et surtout avec des terres très argileuses; mais la comparaison avec les effets du ciment, dans de nombreux cas, pourra être tentée. [19]

IV-4-1- Dosage de la chaux :

Des essais avec la terre retenue, comme dans le cas du ciment, sont indispensables, d'autant plus que le résultat sera fonction du pourcentage d'argile contenue dans la terre. Il faut pour stabiliser efficacement la terre, disposer d'une chaux de bonne qualité et broyée finement afin de pouvoir réaliser le mélange terre-chaux le plus intime possible. Dans le cas où une stabilisation à la chaux ou au ciment est possible, un pourcentage plus élevé de chaux que de ciment est généralement recommandé. A titre purement indicatif, et pour une terre argileuse, une bonne stabilisation à la chaux peut être obtenue, selon la terre, pour des pourcentages de 5 à 10% de chaux. [19*]

IV-4-2- Les deux modes principaux d'emploi de la chaux pour améliorer les performances d'une terre:

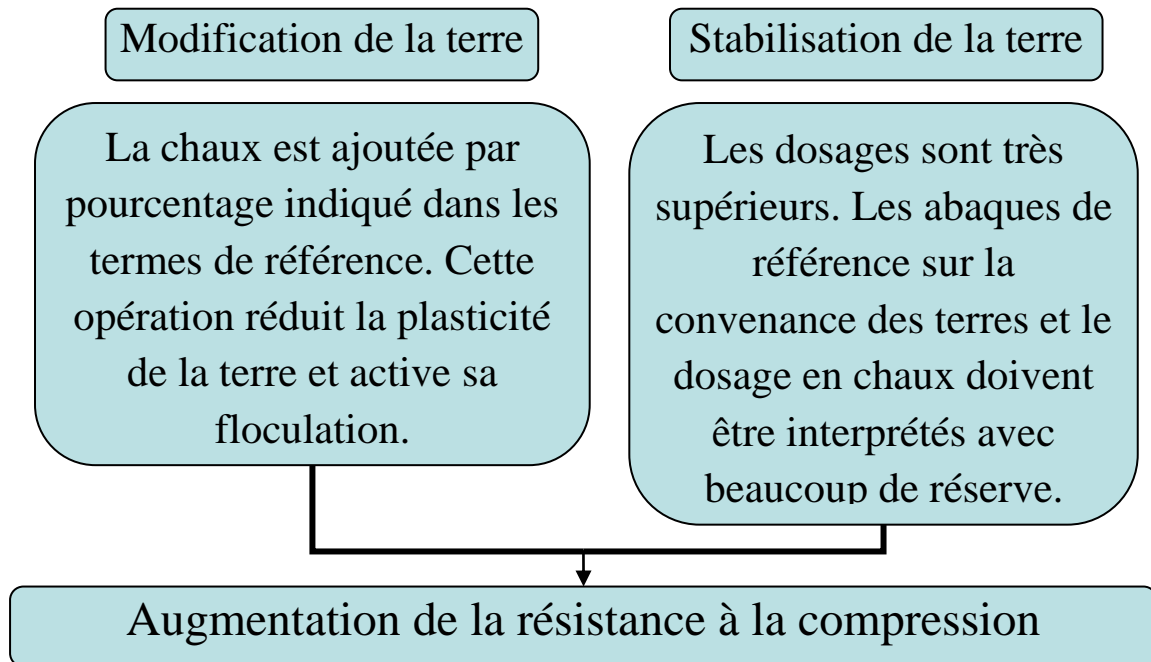


Figure IV-13: L'effet de la chaux: améliorer les performances d'une terre.

IV-5- Principes de la stabilisation : [19*]

Les terres utilisées pour la fabrication des briques de terre n'ont pas toujours toutes les propriétés requises pour cette opération. La stabilisation consiste essentiellement à utiliser au mieux les qualités que possède déjà la terre et à lui conférer des qualités qu'elle ne possède pas seule. On ne peut donc pas stabiliser n'importe quelle terre avec n'importe quel stabilisant. Une terre impropre à la construction ne fournira jamais une bonne brique, même stabilisée. La stabilisation peut servir à :

- ❖ améliorer les caractéristiques mécaniques de la terre (résistance à la compression, cohésion) en réduisant les vides entre les particules ou en améliorant ou en créant des liaisons entre celles-ci.
- ❖ réduire la sensibilité à l'eau (gonflement et retrait) et la perméabilité en bouchant les vides entre les particules.

IV-6- Impacts des matériaux en terre sur les aspects environnementaux : [19]**

La position des matériaux ou produits de terre par rapport à d'autres matériaux de maçonnerie peut s'établir sur les aspects d'utilisation de matériau.

a- L'aspect sanitaire :

Les fabrications des produits de construction en terre ne nécessitent pas l'utilisation des composantes chimiques nocives et radioactives ; n'émettent pas de gaz à effet de serre. Donc, ces matériaux participent à la protection de l'environnement et au développement durable.

b - L'aspect écologique :

Les produits en terre sont récupérables et n'entraînent pas des déchets indésirables lorsque l'ouvrage est à détruire. Il est également très facile de recycler le débris des matériaux; Contrairement au béton armé où il faut d'abord dissocier les fers d'armature du béton.

c - L'aspect psychologique :

Cet aspect porte essentiellement sur la nature du matériau. Il ne faut pas manquer de souligner que depuis des années, la population mondiale a toujours utilisé la terre pour la construction de son habitat. De ce fait, malgré le mélange, elle a toujours des doutes sur la qualité des matériaux locaux. Elle les qualifie de matériaux précaires et que construire en « terre » est l'apanage des pauvres. De ce fait, il faut essayer de sensibiliser la population en leur montrant également le côté positif de matériaux locaux et leur participation à la protection de l'environnement contrairement au ciment qui dégage des gaz qui risquent d'être nuisible à la santé.

d - L'aspect Confort et esthétique :

La construction des bâtiments à base des briques en terre comprimée assure à l'homme un certain confort et une part important d'esthétique:

- L'atténuation de l'amplitude et de la rapidité des variations climatiques dans les bâtiments, grâce à une grande inertie thermique du matériau.
- L'autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations grâce aux matériaux locaux.
- L'esthétique de constructions très appréciées.

Tout ceci est par opposition à la construction en aggloméré de ciment qui elle ne constitue pas une isolation à la chaleur.

e- L'aspect développement durable :

La terre et l'argile font preuve d'une disponibilité en abondance dans presque toutes les régions de m'sila (hodna) ; Leur transformation en matériau de construction (qui est recyclable) nécessite très peu, ou pas du tout d'énergie, et ne provoque pas d'émission de gaz à effet de serre. De ce fait, il est indubitable que les produits en terre participent au développement durable.

Chapitre 05 : Valorisation de (chaux - sable siliceux)

Introduction :

La chaux accepte tout type de construction ; Terre, pierre, brique, ciment...etc. Elle a la particularité d'être perméable à l'air et imperméable à l'eau évitant ainsi la condensation. Les mortiers de chaux sont employés indifféremment en extérieur ou à l'intérieur sont utilisés pour le rejointoiement et les enduits des constructions neuves ou en restauration. Ils sont en outre relativement souples et évitent les microfissures qui favorisent le passage de l'eau vers l'intérieur des murs.

La chaux aérienne est principalement employée pour les enduits et la décoration, la chaux hydraulique lui est préférée pour l'édification de murs en pierres ou en moellons, réalisation de sous-bassement, dalles,...etc. ainsi que la chaux vive est employée pour la fabrication du béton cellulaire.

V-1- Brique silico-calcaire :

L'industrie des silicates est l'une des branches les plus développées de l'industrie des matériaux de construction.

V-1-1- Définition :

La brique silico-calcaire est un produit à base de chaux.

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée $\text{Ca}(\text{OH})_2$ appelée chaux grasse (ou de ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. [24]

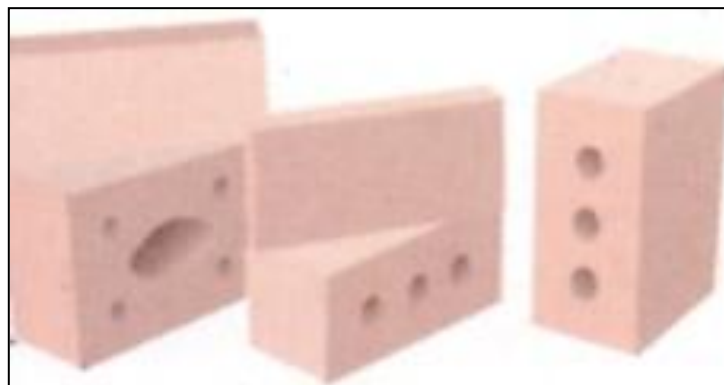


Figure V-1: Produit en briques silico-calcaire.

V-1-2- Les catégories de brique silico-calcaire :

Il y a deux catégories de produit ils sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction.

a- Silico- calcaire denses :

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression. Les premiers brevets, qui furent pris en 1880 par l'allemand MICHAELLES et en 1886 par l'anglais VAN DERBURGH étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaires obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et silice broyé puis moule par pression et traité par vapeur, la première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894 les pays qui ont les plus fortes production des briques silico-calcaires denses sont : la Russie, L'Allemagne, les pays bas, la France. [24, 25, 26]

b - Silico-calcaire léger :

Les briques silico-calcaires légères sont fabriqués à partir des mêmes matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermes, sous forme des bulles gazeuses obtenues par réaction chimique, ils appartiennent à la classe des matériaux appelés improprement béton cellulaire ou béton gaz.

Les premiers brevets datent de 1890. Mais on considère souvent le suédois J.A.ERIKSSON comme le père de ces produits, ces brevets datent de 1923 et en 1929 il utilisa le traitement à l'autoclave, ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en 1924 au Danemark en 1928, en URSS en 1930. Les principaux producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne et la Grande-Bretagne. [24]

V-1-3- La Fabrication :**a- Silico-calcaire dense :**

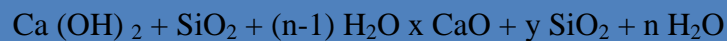
Le mélange (5-12%) chaux vive (CaO) et sable propre de 0/5 mm et l'eau de l'ordre de (4 à 8 %) de la masse des matières sèches. Généralement des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière la matière comprimée ou comprimée – vibrée suivant les modèles de presses, sous des pressions variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa, après démoulage les produits sont traités dans des autoclaves durant de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190°C environ). [24, 26, 27]

b- Silico-calcaire léger :

Ces matériaux sont obtenus par traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux (60à 65%) ,de chaux et de ciment (35 à 40% pour l'ensemble) , une multitude de petite cellules étant créés dans une mélange par dégagement gazeux résultant de l'addition, au moment du gâchage, de poudre d'aluminium. [28]

V-1-4- Les phénomènes physiques de processus d'autoclave des briques silico-calcaires :

En conditions normales, la chaux mélangée avec le sable durcit très lentement. Les éléments obtenus après durcissement sont de résistance mécanique (de 1-2 MPa) et sont facilement détrempeés en présence d'eau .Mais en présence d'une vapeur saturée (100% d'humidité) à une température de 170°C et plus la silice du sable devient chimiquement active et commence à réagir rapidement avec la chaux suivant la réaction ci-dessous, formant un hydrosilicate de calcium : un produit solide et résistant à l'eau.



Au fur et à mesure que la température s'élève la vitesse de la réaction croit.

Ce processus a lieu dans les autoclaves sous pression de la vapeur saturée (0.8 - 1.2 MPa).

L'augmentation de température et pression de vapeur est suivie par la dissolution des composants initiaux. La solubilité des constituants varie avec la température c'est à dire, la dissolubilité de Ca (OH)_2 diminue avec l'augmentation de la température et celle du SiO_2 , H_2O ($\text{H}_4 \text{SiO}_4$) augmente. [27]

V-1-5- La fabrication des gros éléments pour la construction préfabriquée : [21]

Les mélanges (chaux /sable) sont utilisés dans la fabrication des gros éléments; blocs et panneaux de murs, de planchers intermédiaires ainsi que les éléments débités à la pièce. C'est- à-dire les briques-calcaires et les pierres de murs, les plaques en silicate pour revêtir les façades.

La fabrication des blocs et des panneaux silico-calcaires ne diffère pas de la production des éléments en béton armé.

V-1-6- Caractéristiques : [21]**V-1-6-1- Quelques caractéristiques de la brique silico-calcaire :**

**Dimensions courantes :* $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ DF} \quad 24 \times 11.5 \times 5.2 \text{ cm} \\ 2 \text{ DF} \quad 24 \times 11.5 \times 11.3 \text{ cm} \end{array} \right.$

**selon la résistance mécanique on trouve les classes suivantes:*

75, 100 et 125 ou 150 et 200.

**Capacité d'absorption d'eau:* 8 à 16 %.

**coefficient de conductivité thermique:* entre 0.70 et 0.75 W/m. °C.

**masse volumique comprise :* entre 1600 et 1900 kg/m³ proche de l'argile.

V-1-6-2- Quelques caractéristiques comparatives entre la brique silico-calcaire et la brique en terre cuite :

- Les qualités des murs en brique silico-calcaire et en argile du point de vue isolement thermique sont les même.
- Les briques silico-calcaires ont pratiquement le même usage que la brique en terre cuite.
- Les briques silico-calcaires ne peuvent être utilisées pour fondations et socles car leur résistance à l'eau est moins bonne que celle de la brique en terre cuite.
- Les indices techniques et économiques des briques silico-calcaires sont supérieurs à ceux de la brique en terre cuite.
- Le prix de revient des briques silico-calcaires est de 25 à 35% inférieur à celui des briques en terre cuite.

V-1-6-3- Quelques caractéristiques des gros éléments en béton silico-calcaire :

La gamme des gros éléments en béton silico-calcaire est très étendue ce dernier dont la classe de résistance n'est pas inférieure à 150 et qui est traitée en autoclave est utilisée à la fabrication des gros blocs pour les murs intérieurs importants, des panneaux de planchers intermédiaires et des cloisons portantes, des marches, plaque et poutres, les éléments soumis aux efforts de flexion sont armés avec des barres et des treillis.

Ces éléments sont employés dans la construction des bâtiments industriels et civils et des maisons d'habitation ; il n'est pas recommandé de les employer pour les fondations et les autres constructions exploitées dans des conditions de haute humidité.

V-1-6-4- Caractéristiques des éléments vibrés :

**Résistances à la rupture par compression* : de 15 à 40 MPa.

**Masse volumique* : de 1800 à 2100 kg/m³.

**Non gélivité* : 50 cycles et plus.

V-1-6-5- Caractéristiques des éléments vibrés et laminés :

**Résistances* : jusqu'à 60 MPa.

**Masse volumique* : jusqu'à 2300 kg/m³.

V-1-6-6- Quelques caractéristiques des plaques silico-calcaire pour le revêtement des façades :

Les matériaux de revêtement doivent répondre à deux conditions principales : Longévité et hautes qualités décoratives qui ne doivent pas s'altérer avec le temps.

Les plaques silico-calcaires répondent bien à ces conditions. Leur couleur est d'un blanc pur, elles peuvent être facilement colorées avec les pigments minéraux anti-alcalis en toutes couleurs ; elles se prêtent facilement au moulage en relief.

V-1-6-6-1- Indices physico-mécaniques des plaques de revêtement silico-calcaires :

**Masse volumique* : de 1900 à 1950 kg/m³.

**Résistances à la rupture par compression* : de 20 à 30 MPa.

**Coefficient d'absorption d'eau pondéral* : de 16% au maximum.

**Non gélivité* : minimale Ra 25.

V-1-6-6-2- Les plaques de revêtement silico-calcaires :

sont employées pour le parement des mur en briques des bâtiments industriels et civils et des maisons d'habitation, à l'exclusion des bâtiments à humidité relative élevée (bains publics, blanchisseries... etc) ; leur emploi n'est pas autorisé sans protection avec les couches imperméables pour le revêtement des socles, parapets, seuils de fenêtre, bandeaux et autres éléments de bâtiment soumis à l'humectation par la pluie ou la neige fondante.

V-1-7- Recommandation générales : [21]

Pour une bonne mise en œuvre d'un mur maçonné en brique silico-calcaire, en respectant les recommandations suivantes :

***dimensions des briques:** la brique silico-calcaire étaient parfaite dans ses dimensions et son aspect est prêt à l'utilisation.

***Le mortier de maçonnerie:** il s'agit d'un mortier composé d'un bon sable à maçonner, de chaux grasse hydratée et de ciment.

- Le sable devra être propre exempt d'argile et de matières organiques.
- la nature du liant et le dosage seront choisis d'après le taux de travail que doivent supporter la maçonnerie et l'ouvrage à réaliser

***L'exécution :** pour une bonne exécution, il est nécessaire de remplir complètement les espaces destinée à être remplis par le faire adhérer aux éléments.

Il ya deux méthodes :

- 1- Etalement à la truelle et coulage
- 2- Colle étale avec outils d'extrusion spéciaux et de « peignes » ou les joints préfabriqués en néoprène.



Figure V-2: Mur en brique silico-calcaire.

V-1-8- Les avantages des briques silico-calcaires :

- ❖ Les briques silico-calcaires ont en général un très bon comportement au gel, leur non gélivité leur permet de bien résister à des températures pouvant atteindre 550°C.
- ❖ Les briques silico-calcaires ainsi que les briques cuites sont des matériaux de construction non inflammable. [27]

- ❖ Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite. [27]

La norme utilisée pour les briques silico-calcaire est (DIN 106), et la norme Française (NF P 14 – 302). [28]

V-1-9- Le mortier de pose la maçonnerie en brique silico-calcaire :

La brique silico-calcaire doit être maçonnerie avec un mortier bâtard ; a pour avantage qualitatif un temps de durcissement plus lent qu'un mortier a base ciment, et de ce fait, les tensions éventuelles se réduisent. On obtient de cette façon, un mur meilleur sans fissures ni briques détachées, ce qui empêche les pertes de chaleur et les infiltrations d'eau.

V-2- Mortier bâtard :

V-2-1- Généralité :

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, ...etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau, et éventuellement un adjuvant, pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

V-2-2- Définition du mortier bâtard : [29]

Les mortiers bâtards sont constitués par des mélanges de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

V-2-3- Définition technique des mortiers :

Un mortier est un matériau pierreux artificiel obtenu après durcissement d'un mélange en proportions convenables de liant, d'eau et d'un granulat fin (sable).

On différencie les divers mortiers d'après divers indices dont les plus importants sont la résistance mécanique, la masse volumique, la destination et la catégorie du liant entrant dans la préparation du mortier.

***Selon leur masse volumique on distingue :**

- Mortiers lourds dont la masse volumique est supérieure à 1500 kg/m³
- Mortiers légers dont la masse volumique est inférieure à 1500 kg/m³

***Selon leur destination on distingue :**

- Mortiers de maçonnerie : l'assemblage des éléments exige des propriétés mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges.
- Mortiers d'enduit : leur indice de qualité essentiel est la protection, l'adhérence, et l'aspect décoratif, ils ne sont pas soumis à des actions mécaniques importantes.

***Selon le liant employé on distingue :**

- Mortiers aériens : mortier de chaux, mortier de plâtre.
- Mortiers hydrauliques : mortier de ciment.
- Mortiers bâtards : mortier de ciment+chaux, chaux+terre, ou chaux+plâtre.

V-2-3-1- Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³ de sable. [29]

***Mortier de ciment portland:** Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. 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. [30]

V-2-3-2- Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. [29]

***Caractéristique mortier de chaux:** C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend

beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [30]

V-2-4- Caractéristiques de mortier bâtard : [21]

- ❖ Un mortier bâtard a une meilleure isolation thermique par rapport à un mortier ordinaire à base de ciment.
- ❖ Un mortier bâtard a un meilleur coefficient de conductibilité de vapeur d'eau, ce qui améliore le pouvoir respiratoire du mur. Ce pouvoir respiratoire est déterminant pour jouir d'un milieu de vie agréable (trop humide=atmosphère étouffante et poisseuse), (trop sec = atmosphère avec problèmes de muqueuses et maux de tête).
- ❖ Un mortier bâtard a une meilleure résistance à la pénétration d'eau qu'un mortier à base de ciment, ce qui est très important pour l'étanchéité de caves et d'étables.
- ❖ La maçonnerie exécutée avec un mortier bâtard accuse, comme un mortier à base de ciment, une bonne résistance à la compression, mais garde une plus grande élasticité.
- ❖ Le mortier bâtard a une meilleure adhérence parce qu'en période de sécheresse, la chaux grasse conserve l'humidité dans le mortier et assure ainsi une meilleure adhérence.
 - en période humide, l'excès d'humidité provoquera dans le mortier à base de ciment un plus grand rétrécissement sans que l'adhérence soit bonne.
 - La chaux grasse dans un mortier bâtard assure une bonne adhérence à plus longue échéance et son élasticité lui permettra de s'adapter mieux au retrait de la brique.
 - Des mortiers à base de ciment sont souvent brulés et leur adhérence est alors moins bonne.

V-3- Le Siporex :

V-3-1- Généralité :

Le béton cellulaire est un matériau fabriqué à partir d'un mélange de chaux vive, de sable, de ciment, de poudre d'alumine et d'eau, La réaction chaux/alumine provoque la formation de minuscules bulles de gaz. Donc, est un produit léger et excellent isolant, Ces propriétés permettent l'utilisation avec des avantages, grandes qualités techniques, environnementales, esthétiques et de mise en œuvre.

Est un matériau non polluant, La fabrication du béton cellulaire ne libère aucun produit polluant, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans la terre. De plus, grâce à un recyclage à chaque phase de la fabrication, il n'y a pas de gaspillage de ressources (matières premières, eau, énergie).

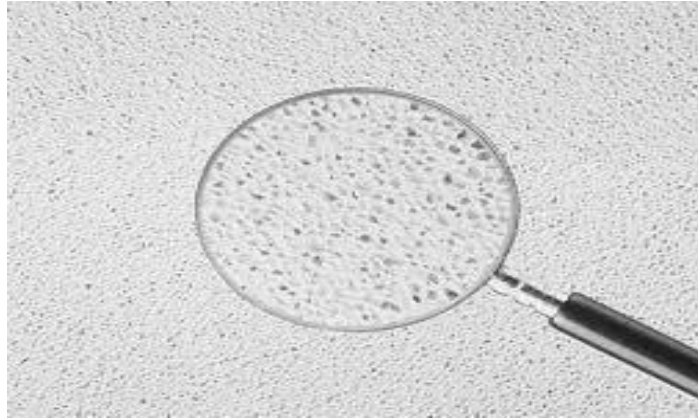


Figure V-3: Le béton cellulaire.

V-3-2- La production du Siporex : [21]

a - Matière premières :

Le sable siliceux et le ciment constituent les matières premières purement minérales du béton cellulaire siporex.

b - Préparation :

Par l'installation d'alimentation, le sable parvient dans la tour de préparation, il est d'abord moulu très finement, puis additionné de ciment et d'eau.

c - Fabrication :

Après adjonction d'un agent effervescent et après un temps exactement déterminé, le mélange parvient dans les moules.

Pour les éléments armés, les treillis d'armatures préparés à l'usine sont introduits et fixés dans les moules. En quelques minutes, la masse coulée gonfle jusqu'à la hauteur totale du moule, c'est alors que se forme la structure cellulaire qui caractérise le béton siporex.

Quelques heures plus tard, une machine spéciale découpe les éléments siporex dans le bloc coulé.

Ensuite, les éléments de nouveau enfermés dans le moule en acier entrent dans les autoclaves où ils sont durcis par vapeur à haute température et forte pression qui transforme le siporex en un matériau pratiquement exempt de retrait.

d - Usinage :

A la suite du processus de durcissement, les éléments sont démoulés ; les éléments armé de grand format passent par une fraiseuse spéciale qui les profile conformément à l'emploi prévu avant d'être conduits l'entrepôt ou directement à l'expédition.

e - Contrôle – recherches :

Au laboratoire, un personnel formé scientifiquement et expérimenté assure continuellement le contrôle précis des matières premières utilisées, du mélange de celles-ci ainsi que de toutes les phases de la fabrication et des produits finis.

Les travaux permanents de recherches font bénéficier la fabrication, le développement et les applications des produits siporex.

V-3-3- Les propriétés du Siporex : [21]**a- Légèreté :**

Le béton cellulaire siporex a une densité 0.5 à 0.6 kg/dm³ (sec). Il est donc 4 à 5 fois plus léger que le béton ordinaire.

b- Excellente isolation thermique :

**Le coefficient de conductibilité thermique favorable : $\lambda = 0.10$ à 0.17 kcal/m h °c, pour le matériau sec.*

**Les coefficients pratiques de conductibilité thermique : sont fixés pour les différents produits selon leur emploi, compte tenu de la proportion des joints et de l'humidité d'équilibre se trouvant dans le matériau même.*

c- Résistance :

Le béton cellulaire siporex a une résistance à la compression (sur cube) d'environ 30 kg/cm².

Comparativement, le matériau présente une haute résistance à la traction par flexion et à la traction pure, ces valeurs se situent entre 20 et 30 % de la résistance à la compression sur cube.

Ces propriétés permettent l'utilisation de béton cellulaire siporex armé et non-armé dans des éléments porteurs, les conditions sont ainsi remplies pour produire des éléments légers de grand format jusqu'à 6 m de longueur.

d- Stabilité volumétrique :

Son coefficient de dilatation thermique est de $8. 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, donc un peu plus faible que celui du béton ordinaire.

e- Absorption d'eau et diffusion de vapeur :

**Absorption d'eau :* Le béton siporex présente une faible absorption d'eau.

**diffusion de vapeur :* Le coefficient de diffusion de vapeur relativement élevé, soit 0.025 à 0.030 q/mh mm Ha, assure l'évacuation continue de la vapeur d'eau se produit à l'intérieur des bâtiments.

f- Résistance au gel :

Des essais poussés au gel et au dégel, ainsi que le bon comportement du siporex dans le climat nordique de la Scandinavie, ont démontré sa grande résistance au gel.

g- Résistance au feu :

Le béton cellulaire siporex est fait exclusivement de matières premières purement minérales; il est donc incombustible.

h- Facilité de façonnage :

- ❖ A partir le faible poids des différents éléments siporex, l'exactitude de leurs cotes et leur structure superficielle plane sont des conditions requises pour une mise en œuvre facile.
- ❖ Le maçonnerie ou le montage des éléments armés aussi bien que non-armés demandent un minimum de travail et de temps.
- ❖ Les gaines et les fixations peuvent être exécutées avec des outils à bois.
- ❖ Le traitement des surfaces est considérablement facilité.
- ❖ Suivant les exigences, on peut renoncer à ce traitement ou appliquer une peinture ou un crépissage.

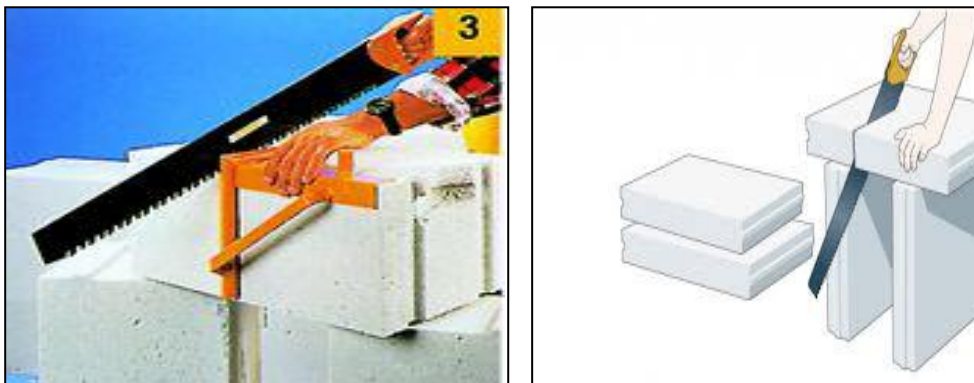


Figure V-4: Facilité de façonnage.

V-3-4- L'emploi du siporex :

Les produits siporex trouvent emploi dans les bâtiments de tous genres en tant qu'élément légers porteur et non-porteurs, tels que :

a- murs :

- murs en parpaings siporex
- murs en dalles-mur siporex
- cloisons en carreau d'isolation siporex
- cloisons en dalles-cloison siporex
- doublages de murs en parpaings siporex
- doublages de murs en carreaux d'isolation siporex



Figure V-5: La maçonnerie (murs) en Siporex.

b – plancher :

- plancher en dalles-plancher siporex.
- plancher en béton à corps creux en carreaux d'isolation siporex.

c – toitures :

- toitures en dalles-toiture siporex.
- toitures en béton à corps creux en carreaux d'isolation siporex.



Figure V-6: Plancher en Siporex.

Chapitre 06 : Valorisation et diversification de la pierre

Introduction :

L'utilisation de la pierre occupe une large partie dans les structures anciennes. Les pierres sont classées en trois typologies principales selon la composition minérale de la roche d'origine : pierre calcaire, magmatique, et métaphorique. Les pierres utilisées dans une structure de la maçonnerie doivent avoir une résistance mécanique suffisante, une texture compacte et homogène, et une bonne adhérence avec le mortier.

VI-1- Généralité :

Dans la catégorie des produits de construction traditionnels se rangent les matériaux nobles comme la pierre.

Les pierres sont appareillées sous forme de moellons ou de blocs taillés de manière plus ou moins fine et régulière, suivant les impératifs de la construction.

VI-2- Les formes de pierre : [31]

a- Les pierres régulières :

Les pierres régulières appelées aussi « pierre de taille » sont préférées pour les façades. Leur taille va être d'une dimension de moins de 200 mm pour les petits appareils et plus que 350 mm pour les grands appareils.

b- Les pierres irrégulières :

Les pierres irrégulières se trouvent en moellon équarris avec joints orthogonaux, en pierre ébauchés ou en pierre plate.

VI-3- Exploitation et utilisation des pierres naturelles dans le secteur de la construction :

VI-3-1- Maçonnerie des murs porteurs :

a- Structuration des murs : [33]

La construction de mur est distinguée par la position de la pierre, La résistance mécanique, la régularité des joints, et l'existence d'un liant, et la composition de l'épaisseur du mur.



Figure VI-1: La construction en pierres naturelles.

1) **Premièrement** : la hauteur de la pierre, la continuité et régularité des joints horizontaux influencent les caractéristiques mécaniques du mur de la maçonnerie. Les deux typologies principales de l'assemblage des pierres sont :

***La maçonnerie « rubble »** : ou de blocage est constituée de pierres de joints irréguliers et possède une quantité élevée de mortier.

***La maçonnerie « ashlar »** : est caractérisée par des joints horizontaux continus perpendiculaires aux charges en compression.

Les murs d'assemblage régulier possèdent des comportements mécaniques meilleurs que les murs de blocage. Les murs construits sans l'utilisation de mortier s'appellent « murs de pierres sèches ». Ils sont bâtis par le remplissage de pierres de terrain.

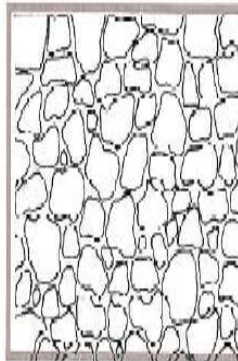
2) **Deuxièmement** : la structuration des murs de la maçonnerie varie selon la composition de l'épaisseur du mur entre :

- ❖ Le mur simple composé d'un seul appareil dans son épaisseur.
- ❖ Le mur à double appareil dont la connexion, entre les deux parements, est assurée par des « boutisses » qui traversent la section de mur [34].
- ❖ les murs composés en plusieurs couches. La couche de milieu se compose souvent de blocage alors que les couches extérieures sont souvent construites avec des pierres plus taillées [35].

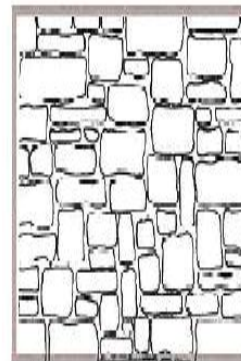
L'appareil d'un mur de maçonnerie est la façon dont ses éléments sont assemblés. Les principaux appareils de maçonnerie de pierre sont les suivants :

- A) **Irrégulier ou à tout-venant.** Les pierres de grosseur et de forme irrégulières sont disposées librement.
- B) **Assisé.** Les pierres, de grosseur variable, sont ébauchées ou équarries et posées d'aplomb sans ordre particulier.
- C) **Réglé.** Les pierres ébauchées ou équarries sont mises en place comme dans l'appareil assisé, mais les pierres d'un même rang ont plus ou moins la même hauteur.
- D) **À alternance d'assises régulières.** Les pierres sont disposées sur des rangs dont la hauteur varie en alternance.
- E) **À assises régulières.** Les pierres sont taillées de longueur variable mais ont toutes la même hauteur.
- F) **Régulier.** Les pierres ont toutes les mêmes dimensions en longueur et en hauteur et sont disposées en assises régulières.

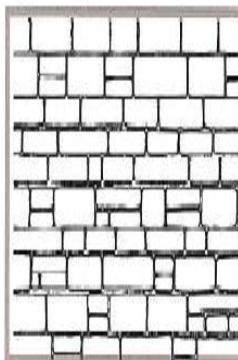
Les appareils.



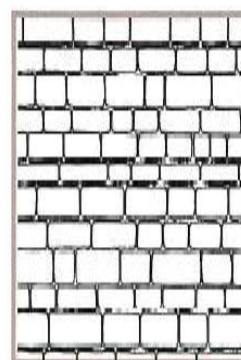
A



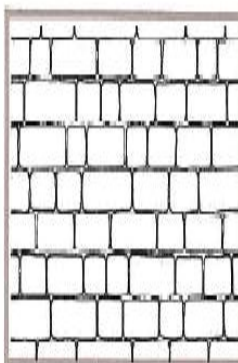
B



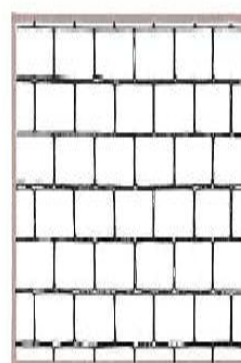
C



D



E



F

Figure VI-2 : Les principaux appareils de la maçonnerie en pierre. Définitions de la guide technique 6 de la ville de Québec : « La maçonnerie de la pierre ». [32]

VI-3-2- Fondation en pierres naturelles :

Les fondations en pierres sont réalisées à partir de moellons (blocs de pierre brute) ou de pierres équarries ; une variante consiste à utiliser des morceaux de brique et de béton provenant de démolitions.

La résistance est fortement liée à la qualité du mortier. Un bon mortier pourra par exemple être obtenu en respectant les proportions suivantes :

- 4 parts de ciment.
- 1 part de chaux
- 12 parts de sable propre
- Suffisamment d'eau pour obtenir un mortier de bonne consistance.

La construction doit prendre assise sur une base ferme et de résistance homogène. Elle ne peut démarrer à même l'herbe, ni sur un sol riche en humus, sur du remblai ou de la boue. Avant d'exécuter la fondation, une couche de béton maigre (min, 5cm) ou de sable compacté est réalisée sur le fond de fouille (profondeur minimale : 40cm).

Dans les régions à risques sismiques, ce type de fondation doit être renforcé d'un treillis métallique ou de barres fer selon les prescriptions de professionnels spécialement consultée.

V-3-3- Autres exploitations :

**Pierre de taille (pierre équarrie ou d'appareil):* maçonneries à assises régulières, appuis de fenêtre, linteaux, marches et dallage.



Figure VI-3: Pierre de taille : Eléments secondaires (appuis de fenêtres, linteau,... etc)

**Ardoises pour la couverture de toits.*

Figure VI-4: Ardoises pour la couverture de toits.

**Revêtements de sol et talus: Pavage*

Figure VI-5: revêtements de sol : rues d'ancien cité « L'Aargoub - m'sila- ».

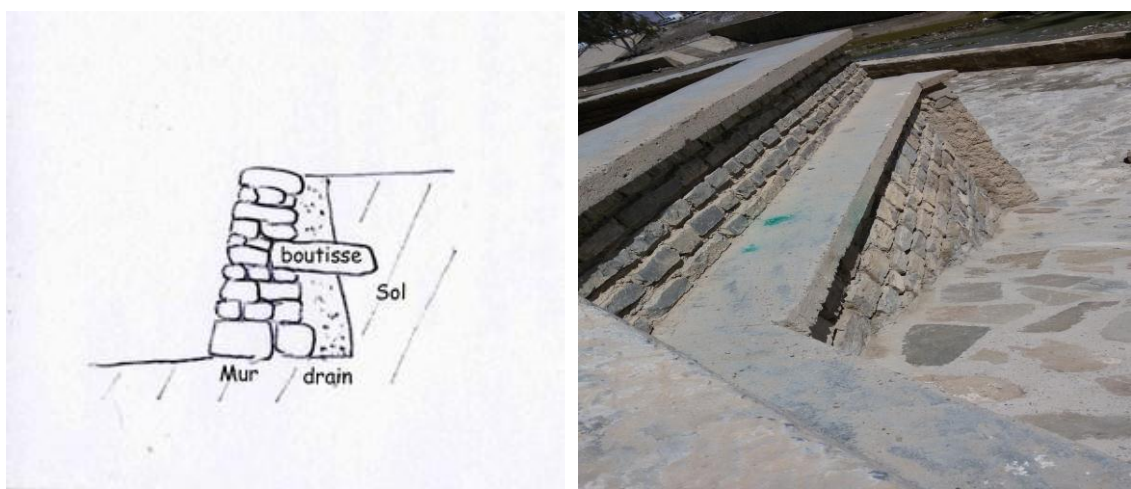
**Murs de soutènement :*

Figure VI-6: Mur de soutènement : à côté de « oued k'sob » -m'sila-.

Chapitre 07 : Valorisation des dépôts du barrage de K'SOB – m'slia

VII- Valorisation des argiles gréseuses et vaseuses, dans les matériaux cimentaires (Projet CNEPRU2009).

VII-1- Problématique :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, ayant pour intérêt l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des produits issus de la récupération entrant dans la confection des éléments de structures et de construction.

Le but principal porte sur la valorisation des boues de dragage du barrage K'SOB – Algérie.

La vase et la marne argileuse rouge abondante dans la région, contiennent de la kaolinite et de l'illite. Ces argiles sont calcinées respectivement à 750 et 780°C et mélangées au clinker afin d'étudier leurs influences sur les propriétés des matériaux cimentaires. Comparé à un ciment portland, on constate, qu'avec chaque augmentation du taux d'ajout, une diminution dans le taux d'oxyde de calcium et une croissance du taux de silice.

Les différents résultats des essais de compression montrent que le ciment type R10 présente une bonne résistance en compression, à 28 jours, elle est de l'ordre de 42 à 43 MPa, celle du ciment portland est de 44 MPa alors que, pour les bétons, les résistances en compression observées dépassent les 50 MPa.

Ces résultats mettent en exergue l'influence des ajouts d'argiles gréseuses et vaseuses, sur les propriétés des matériaux cimentaires, montrant ainsi l'intérêt économique et environnemental de la substitution du clinker par les argiles calcinées.

VII-2- Introduction :

En général, on utilise comme ajout le laitier de haut fourneau, pouzzolanes, tuf Les pouzzolanes sont des matériaux silico-alumineux, qui en présence d'eau, réagissent avec

l'hydroxyde de calcium pour former des composés « hydratés » possédant les propriétés des ciments [36,37]. Ce sont des produits naturels d'origine volcanique (cendre, scorie...) ou artificiels obtenus par différentes méthodes [38]. Les plus couramment employées sont les cendres volantes des centrales thermiques, les laitiers des hauts fourneaux, les bauxites et les argiles calcinées. Les avantages du remplacement partiel du ciment par des matériaux pouzzolaniques sont divers : le renforcement de la résistance aux attaques chimiques, renforcement de l'imperméabilité et de la durabilité du mortier, réduction des réactions alcalines avec les agrégats [39].

Annuellement les boues de dragage réduisent les capacités de stockage, à hauteur de 47% (cas du barrage de Ksob -M'sila). Ces boues extraites sont entreposées dans d'énormes digues qui prennent de plus en plus d'espace. D'autre part une marne argileuse rouge, jusqu'ici utilisée dans la fabrication de poterie locale, c'est étalé au fil du temps, renfermant des composants argileux. Après l'analyse chimique et minéralogique des échantillons, ces marnes ont révélées un potentiel d'utilisation énorme (valorisation).

VII-3- Conclusion :

Après calcination de la marne de couleur rouge et la vase issue du dragage du barrage Ksob à 780 et 750°C respectivement, pendant 5 heures dans un four fixe [40], on a observé un changement de couleur de nos matériaux, ce qui signifie un changement d'états de constitution, car l'évaporation d'eau et le changement de certains minéraux, n'est pas passer sont détériorer les mailles des ces minéraux.

Avec leur incorporation à coté du clinker afin de produire des ciments, on à constater les points suivants :

- La faible teneur en alcalis permet d'utiliser ces ciments en combinaison avec tous les granulats traditionnels sans risque de réaction entre les alcalis du ciment et les granulats.
- La diminution de la masse volumique à chaque augmentation du pourcentage d'argile calcinée, est normale vu l'augmentation des éléments expansifs.
- A chaque augmentation d'ajouts la consistance augmente, car l'eau destinée à l'hydratation des minéraux du clinker est absorbée par l'ajout, et la consistance la plus proche du ciment

portland (Sour El-Ghozlane), est obtenue avec l'incorporation de 10% d'ajouts (R10 et V10).

- La longue durée de temps de prise n'a pas de conséquence sur les résistances, car même avec un temps de prise élevé les ciments à 10% d'ajouts en donnés les meilleurs résultats.
- L'incorporation de 10% d'argile calcinée donne des réponses mécaniques assez proches d'un ciment portland (Sour El-Ghozlane), qui est de l'ordre de 42-43 MPa, pour les ciments composés, et de 44 MPa pour le ciment portland.
- A raison d'un rapport E/C plutôt faible voisinant 0.4, plus l'exigence des abaques de la méthode Dreux-Gorisse, un ajout d'un fluidifiant, pour arriver à une bonne ouvrabilité, la résistance à la compression du béton est conséquente.

Avec ses remarques, on peut dire que ces ciments peuvent être utilisés dans des structures à sollicitations modérées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour conclure, les ressources naturelles et l'énergie à une importance fondamentale pour l'économie, la société et surtout l'environnement. Mais et son utilisation ou bien valorisation aux fins d'un développement durable seront un défi permanent, ce développement durable basé sur trois piliers, qui sont, la protection de l'environnement qui est une condition, le développement économique un moteur et un moyen, le développement social s'avère la finalité.

Les énergies renouvelables constituent une opportunité intéressante pour diminuer nos émissions de gaz à effet de serre, aussi sont accessible, aujourd'hui et demain. Ce sont des énergies utilisables dans différents domaines sans oublier le secteur du bâtiment et le génie civil.

Donc les perspectives du développement durable repose sur les objectifs suivant :

- ✓ La protection de l'environnement en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes.
- ✓ La contribution à la lutte contre le réchauffement climatique en limitant les émissions de gaz à effet de serre.
- ✓ La participation à un développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles.
- ✓ La valorisation et la diversification des matériaux locaux dans le domaine de la construction.

Cette étude, traite les perspectives de développement durable et ses dimensions dans le domaine de la construction et du génie civil. Les enjeux mis en place pour ces perspectives dépendent fortement des matériaux de construction locaux. Toutes perspectives de développement durable passent inévitablement par une diversification de ces matériaux locaux.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- [01] **Brundtland**.1987/trad. fr. 1989, p. 51.
- [02] Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, Stockholm, 16 juin 1972.
- [03] **I.U.C.N**, World conservation strategy, Living resource conservation for sustainable development, Gland, 1980, cité par HATEM F, Le concept de "développement soutenable", CEPIL, Economie prospective internationale, La Documentation Française, n° 44, 4° trimestre 1990, p. 101.
- [04] **P. jacquemot**, le dictionnaire do développement durable, édition sciences humaines, 2015.
- [05] **Jean-Pierre Gouin et Michel Bélanger**, conseillers en développement durable des SADC de l'Estrie. 2012.
- [06] **C. Lemaitre.**, « Mise en œuvre et emploi des matériaux de construction », édition : Eyrolles, Paris 2012. P257.
- [07] **Roland. Stulz-Kiran. Mukerji-Michel. Klein**, Matériaux de construction appropriés, un catalogue de solutions potentielles, première édition française.
- [08] **Harrat Mohamed**, Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique Etude sur site : unité Maghreb céramique de Touggourt (Mémoire), mémoire, Université Kasdi Merbah Ouargla-2007-P (2-5).
- [09] **Réunion D'ingénieurs**, Matériaux de Construction, Edition Eyrolles 1979.
- [10] **A. KOMAR**, Matériaux et Elément de Construction, Edition MIR 1978.
- [11] document universitaire, module produit de terre PDT.
- [12] **RICHARD.P**, «Adobe », mémoire Maître en environnement, Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
- [13] **MAKRI.M**, « Projet GE12 Construction en terre » Technologie compiègme, 2010.
- [14] **CRA Terre EAG**, « Bloc de terre comprimée volume I »Manuel de production.
- [15] **DJOUHRI.M**, « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007.
- [16] **CORPUS**, « Mur de briques en terre crue » Architecteur traditionnelle méditerranéenne, 2006.
- [17] **Cointeraux.F**, Les cahiers de l' ' Ecole d'Architecture Rurale, 1790.
- [18] **RHONE. A**, « Le pisé » www .ageden.org, Edition Décembre2010.

Référence bibliographique

- [19] **BOKOR.YOUSSOUF SAKINE**, vérification des caractéristiques des BTC stabilisés avec la chaux-2011-p6-7.
- [19*] **BOKOR.YOUSSOUF SAKINE**, vérification des caractéristiques des BTC stabilisés avec la chaux-2011-p14.
- [19**] **BOKOR.YOUSSOUF SAKINE**, vérification des caractéristiques des BTC stabilisés avec la chaux-2011-p17-18.
- [20] **Hubert. Guillaud, Thierry. Joffroy, Pascal. Odul**, CRATerre- EAG, Blocs de terre comprimée, Manuel de conception et de production. Volume II, 1995).
- [21] Construire « en brique silico-calcaire », un Art et une technique.
- [22] **LIVERT. S**, «Bâtir un mur en briques de terre compressée », Février2011.
- [23]**Laurent. GUERIN**, Construction à faible coût dans les programmes spéciaux de travaux publics ,1985.
- [24]**VENUAT. M**, « Produits silico-calcaires », Technique de l'Ingénieur ,1994.
- [25] **OLIVER. E**, "Technologie des Matériaux de Construction", Edition ISBN ; 1976.
- [26] **LEMOUGNA NINLA. P**, "Contribution a la diminution des casses dans la production des briques de terre cuite à la PROMOBAT", mémoire D.E.S.S Licencié en Chimie l'École Nationale Supérieure Polytechnique, 'Université de Yaoundé ; 2002-2003.
- [27] **ARABI. N**, "Etude des Brique Silico-calcaire à Base de Laitier Granule", Mémoire de Magister Université De Annaba ; 1988.
- [28] **KHELAFI. H**, "Contribution à l'étude expérimentale de la brique silico-calcaire", séminaire Université BISKRA ; 2000.
- [29] **GCI712**, « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.
- [30] **SYLVER.P**, « science des matériaux », université pierre et marie curie 2005 ,2006.
- [31] **Coignet.J, Coignet.L**, Maçonnerie de pierre Matériaux et Techniques, désordres et interventions. Livre, 2007.
- [32] La maçonnerie de pierre. Guide technique 6. La ville de Québec. Dépôt légale: 2' trimestre 1989. ISBN 2-920860-30-5.
- [33] **Grandjean. A**, Capacité portante de ponts en arc en maçonnerie de pierre naturelle - Modèle d'évaluation intégrant le niveau d'endommagement. Thèse de doctorat, École polytechnique Fédérale de Laussan. PhD. N° 4596 p. 53, 2009.
- [34] **Corradi. M, Tedeschi. C, Binda. L, Borri. A**, Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing, Construction and Building Materials, 22 p. 463–472, 2008.

Référence bibliographique

- [35] **Binda. L, Pina-Henriques. J, Anzani. A., Fontana. A., Lourenc P.B**, A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modeling, *Engineering Structures* 28 p. 1132–1148, 2006.
- [36] **D.CHAHIDI. ELOUAZZANI**, « Caractérisation physico-chimique et valorisation en bâtiment et travaux publics des cendres issues de l'incinération des boues de papeterie », thèse pour l'obtention d'un grade de docteur, spécialité sciences et techniques du déchet, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005, P 18-21.
- [37] **K.SOBOLEV, T.R.NAIK**, « Performance as a factor for sustainability of the cement industry », Report N°. CBU-2005-17, Rep-588, August 2005, Presented and published at the CANMET/ACI, Three-day International Symposium on sustainable development of cement and concrete, October 5-7, 2005, Toronto, Canada, P 6-7.
- [38] **U.CHINJE MELO, N.BILLONG**, «Activité pouzzolanique des déchets de briques et tuiles cuites», *African Journal of Science and Technology (AJST)*, Science and engineering Series Vol. 5, N°1, June 2004, P 92-100.
- [39] **A.BESSA, J.P. BIGAS, J-L. GALLIAS**, « Evaluation de la contribution liante des additions minérales à la porosité, à la résistance en compression et à la durabilité des mortiers », 22ème rencontres universitaires de génie civil 2004, P 1-8.
- [40] **C.BICH**, « Contribution à l'étude de l'activité thermique du kaolin : évolution de la structure cristallographique et activité pouzzolanique », thèse pour l'obtention d'un grade de docteur, spécialité génie civil, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005, P 44-45.

ملخص:

التنمية المستدامة هي منهج يهدف إلى تطوير وسائل العمل والإنتاج لتحسين المستوى المعيشي للفرد والمجتمع، والاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية والطاقة وهذا من أجل الحفاظ على البيئة و توفير متطلبات الأجيال القادمة.

وتشمل التنمية المستدامة عدة مجالات وقطاعات منها : الصناعة، الزراعة، البناء.....الخ.

و تهدف هذه الدراسة إلى البحث في أفاق التنمية المستدامة وأبعادها في مجال البناء والهندسة المدنية. و التحديات اللازمة من أجل تحقيق هذه الأفاق تتركز بدرجة كبيرة على مواد البناء المحلية و ضرورة تثمينها وتنويعها، والتي لها دور كبير في الجانب الاقتصادي والاجتماعي وبالأخص الجانب البيئي، وهذا بالتطرق إلى :

- المواد المحلية للبناء المتوفرة في منطقة (الحضنة)

- كيفية استغلالها وتنويعها في مجال البناء

كلمات المفتاح : التنمية المستدامة، المواد المحلية، التثمين، التنويع.

Résumé :

Le développement durable est le processus qui développe les moyens de production et de travail pour améliorer la situation de vie de l'individu et de la société, et l'utilisation optimale des ressources naturelles et de l'énergie, pour la préservation de l'environnement et de répondre aux besoins des générations futures.

Le développement durable comprend de nombreux domaines et secteurs: l'industrie, l'agriculture, la construction, ... etc.

Cette étude, traite les perspectives de développement durable et ses dimensions dans le domaine de la construction et du génie civil. Les enjeux mis en place pour ces perspectives dépendent fortement des matériaux de construction locaux. Toutes perspectives de développement durable passent inévitablement par une diversification de ces matériaux locaux.

- les matériaux de construction locaux de la région du (HODNA)
- comment exploiter et diversifier dans le domaine de la construction

Mots clé: développement durable, matériaux locaux, valorisation, diversification.

Abstract:

Sustainable development is the approach to the development of the means of production and work to improve the life situation of the individual and society and the optimal use of natural resources and energy, Environment, and meet the needs of future generations.

Sustainable development encompasses many sectors and sectors: industry, agriculture, construction, etc.

The aim of this topic is the future prospects for sustainable development and its dimensions in the field of construction and civil engineering, which are highly dependent on local building materials that have an important economic and social role, as well as the environment, and it appears in the following:

- Local building materials in the region (HODNA)
- How to exploit and diversify in the field of construction

Key words: Sustainable development, Local materials, exploit, diversify