

Université Djillali Bounaama de Khemis Miliana (UDBKM)

Faculté des Sciences et de la Technologie

Niveau :M1 génie civil / structure

Responsable de matière : MELLAL Fatima

Cours : Matériaux innovants

Programme d'Enseignement

Chapitre I: Eco-Matériaux

I.1. Définition.

I.2. Valorisation des matériaux.

I.3. Matériaux naturels (Pierre, argiles pour les briques en terre crue stabilisée, pouzzolanes naturelles)

I.4. Matériaux activés (argiles calcinées : métakaolin, cendres de balles de riz)

I.5. Sous-produits industriels et déchets (Granulats de caoutchouc)

Chapitre II: Liants alternatifs et produits de substitution

II.1. Liants organiques : stabilisants d'argiles

II.2. Liants bélitiques

II.3. Liants de verre

II.4. Géopolymères, polymères inorganiques

Chapitre III: Nouveaux matériaux

III.1. Béton autoplaçant (formulation et état frais, état durci et durabilité)

III.2. Béton de chanvre

III.3. Béton de fibres

Chapitre IV: Matériaux de construction

IV.1. Amélioration des procédés de préfabrication BHP, BTHP, BUHP

IV.2. Bétons à bas-pH

CHAPITRE 01: ECO- MATERIAUX

I.1.Définitions

I.1.1.Eco-construction

L'**éco-construction** ou construction durable est la création, la restauration, la rénovation ou la réhabilitation d'un bâtiment en lui permettant de respecter au mieux l'écologie à chaque étape de la construction, et plus tard, lors de son utilisation.

L'**éco-construction** entraîne la réduction de la consommation d'énergie en utilisant des matériaux écologiques.

La problématique est de savoir si les nouveaux matériaux utilisés dans l'éco-construction sont vraiment efficace dans la réduction de l'utilisation de l'énergie ou non.

Les matériaux de la construction classiques qui sont principalement le béton, la laine de verre, le ciment, l'acier, le verre, les plastiques, le bitume, etc, ne respectent pas nécessairement l'environnement et ne peuvent pas être efficace dans l'aide à la réduction de l'utilisation de l'énergie.

I.1.2. Eco-matériaux : de quoi s'agit-il ? Beaucoup d'appellations...

éco-matériaux, matériau bio-sourcé, matériau géo-sourcé, agro-matériau, bio-matériau, matériau naturel, matériau sain

Eco-matériau = qui respecte des critères (socio-)environnementaux tout au long de son cycle de vie



Bio-source = issue de la biomasse végétale ou animale

Géo-sourcé = matériau «premier», peu ou pas transformé, mais ni issu de la biomasse ni renouvelable à court terme

I.1.3. Pourquoi les Éco-matériaux ???

Les matériaux biosourcés dans le secteur de la construction détiennent à eux seuls plusieurs pistes de solutions aux divers problèmes sociaux et environnementaux actuels dont:

- l'accessibilité à des habitations saines, durables et abordables
- la création d'emplois dans des secteurs respectueux de l'humain et de l'environnement
- la séquestration carbone, les changements climatiques et la transition énergétique
- l'élimination de produits toxiques issus de la pétrochimie dans le secteur de la construction
- simplification de la gestion des matières résiduelles

I.1.4. Les caractéristiques recherchées par les éco-matériaux :

un éco-matériau est caractérisé par :

- son caractère renouvelable,
- d'origine naturelle,
- issu éventuellement d'un processus de transformation ou de fabrication non polluant
- économe en énergie, MAIS également par ses qualités en terme de performance énergétique, de résistance (durabilité, feu, humidité...), d'absence de nocivité pour la santé, de confort.

Les éco-matériaux dans la construction peuvent concerner : le gros-oeuvre (murs), l'isolation, les cloisons, les finitions.

I.2. Valorisation des matériaux

I.2.1. La valorisation : d'un matériau consiste à lui redonner une valeur marchande. Elle s'effectue par divers moyens. Tous les procédés conduisent à des économies de matières premières en même temps qu'ils contribuent de façon directe au respect et à la sauvegarde de l'environnement.

I.2.2. Le recyclage :

Le recyclage est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu en remplacement d'une matière neuve. Par exemple, la reprise des bouteilles usagées pour les refondre et en faire des fils et des fibres synthétiques (27 bouteilles permettent la confection d'un pull-over).

I.2.3. La réutilisation

La réutilisation consiste à réutiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi ou à faire à partir d'un déchet un autre produit. Par exemple l'utilisation des pneus de voiture pour protéger la coque des bateaux

I.2.4.Valorisation des Matériaux naturels (Pierre, argiles pour les briques en terre crue stabilisée, pouzzolanes naturelles)

La terre, un matériau de premier choix depuis des millénaires, méthode employée par l'Homme il y a plus de 10000 ans (Perses, Assyriens, Egyptiens, Babyloniens). Les recherches archéologiques semblent mettre en évidence une séquence temporelle solutions mixtes (torchis), La brique crue, Le pisé

a .Le torchis

- Le torchis est considéré comme le premier matériau composite de l'histoire
- La terre à torchis est une terre assez argileuse, mouillée, et à laquelle sont souvent ajoutées fibres végétales ou animales

b.La brique crue

- La brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle constituée de terre argileuse crue, séchée à l'air (brique crue) ou cuite au four employée principalement dans la construction des murs.
- Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue
- La terre d'adobe, composée d'argile et de sable, est parfois mélangée à la paille, ou à la cendre selon l'usage
- La brique est facilement réalisable à partir d'argile ou de terre crue ; on a parlé au XIX^e siècle de terre franche. Cette brique de terre crue d'autre part, abandonnée au feu acquiert la solidité et la dureté. On lui enlève surtout l'inconvénient de se délayer dans l'eau.

I.2.5.La pouzzolane naturelle

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle possède une structure alvéolaire. La pouzzolane est généralement rouge ou noire, avec toutes les teintes intermédiaires, exceptionnellement grise.

La pouzzolane est une pierre volcanique obtenue après refroidissement de la lave. C'est une roche magmatique poreuse, légère, isolante et drainante. Idéale pour la réalisation d'enduits isolants mais aussi dans les jardins pour protéger et décorer les massifs de plantations.



Pouzzolane en vrac



pouzzolane pierre naturelle



Pouzzolane : paillage, drainage,

rouge Roche volcanique 6/12mm,

I.3. Matériaux activés (argiles calcinées : métakaolin, cendres de balles de riz)

I.3.1. Qu'est-ce que le métakaolin ?

- Le kaolin est une roche argileuse blanche, friable, essentiellement composée de kaolinite. Le kaolin se forme par l'altération hydrothermale ou météorique des feldspaths, feldspathoïdes et autres silicates.
- Cette argile kaolinique est broyée puis calcinée à 750°C, ce qui provoque une désorganisation de la structure cristalline : le produit obtenu est du métakaolin. Celui-ci aura une réaction pouzzolanique en présence de chaux (ou de Portlandite dans les applications béton).

I.3.1.1. méthodes d'obtention du métakaolin

I.3.2.1. La méthode traditionnelle : calcination en lit fixe ou le plus souvent en four rotatif. L'argile est introduite sous forme de boulets et calcinée pendant 5 heures à 750° C. Les boulets de kaolin vont se transformer en boulets de métakaolin par perte de l'eau structurelle. Ces boulets sont ensuite broyés. Cette méthode entraîne beaucoup d'usure et de consommation d'énergie.

I.3.1.2. La méthode Flash : l'argile kaolinique est broyée et les fines particules sont calcinées en quelques secondes. Cette méthode, associée au recyclage de l'énergie de calcination, utilise environ 40% de l'énergie consommée dans la méthode traditionnelle. Elle apporte aussi des avantages techniques significatifs au produit final.



Métakaolin flash issu du site de Fumel. Sa coloration rosée est due à une teneur faible en oxyde de fer (2,5 % environ).

I.3.2. Cendres de balles de riz

La température atteinte au sein de la balle de riz mesurée à l'aide d'une sonde thermique varie entre 500°C et 750°C approximativement. Lors de la calcination, une couche de carbonisation se forme tout autour du profilé, ce qui empêche la balle de riz située à la périphérie de prendre correctement feu. Pour palier à cela, un remuage fréquent est recommandé afin de casser cette couche de carbonisation.

La combustion de la balle de riz se fait pendant environ deux heures pour l'équivalent de 8kg de balles de riz. Il en résulte environ 20% de cendres, autrement dit 1,6 kg.



Figure - Balles de riz après décorticage du paddy

I.4. Sous-produits industriels et déchets (Granulats de caoutchouc, laitiers HF et LD, sédiments, cendres de biomasse : STEP, farines animales, verre recyclés)

I.4.1. Définition du déchet

Un déchet est défini de la façon suivante :

«Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon».

I.4.2. Classement des déchets

Les déchets industriels inertes : non susceptibles d'évolution gravats de chantier, déblais, etc. Ce sont des déchets non dangereux : déchets minéraux physico-chimique ou biologique

I.4.2.1. Les déchets industriels banals : plastiques, papiers, cartons, etc. : Il s'agit de matières diverses non souillées par des produits polluants ou dangereux pour la santé et / ou l'environnement, des déchets communs à toute entreprise comme plastiques, papiers, cartons, déchets plus spécifiques (déchets de process...), ou des déchets non dangereux, non inertes, non toxiques

I.4.2.2. Les déchets industriels banals spécifiques : textiles, ferrailles, etc.

Les déchets industriels dangereux (Ex. DIS) : Ce sont des déchets qui, à cause de leurs caractéristiques dangereuses (pour la santé, pour l'environnement) nécessitent un traitement en centre spécialisé

-**Organiques** : hydrocarbures, goudrons, solvants, boues de peinture, etc.

-**inorganiques** liquides ou semi liquide : bains de traitement de surface, base, etc.

-**Minéraux solides** : sels de trempe, sable de fonderie, etc.

- DTQD : Déchets toxiques en quantité dispersée : produits de manière éparse et limités en quantité
- DAS : Déchets d'activité de soins : déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire
- DASRI (Déchets d'activité de soins à risque infectieux et Matériels et matériaux piquants ou coupants, qu'ils aient été ou non en contact avec un produit biologique

I.4.3. Principales caractéristiques des déchets dangereux

- Explosible et Comburant
- Extrêmement inflammable, facilement inflammable
- Irritant, Corrosif et Nocif
- Toxique et Cancérogène
- Infectieux et Toxique pour la reproduction
- Mutagène
- Dégage au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide un gaz toxique ou très toxique
- Susceptible lors de son élimination de donner naissance à une autre substance qui possède l'une des propriétés de dangers énumérées
- Dangereux pour l'environnement

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des 3 R

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage,
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

I.4.4. Le recyclage des pneus

- consiste à les réutiliser dans des filières de revente d'occasion et de pneus rechapés ou à en réutiliser la matière ; la valorisation des « pneus usagés non réutilisables » (PUNR) désigne la récupération et valorisation - dans le pneu usagé - de matériaux (caoutchouc, acier), ou de molécules énergétiques (gaz, huile) ou de produits chimiques réutilisables.
- Le pneu abandonné est un très peu dégradable et contenant divers éléments toxiques. Son matériau est potentiellement entièrement toxique. Son matériau est potentiellement entièrement recyclable

I.4.4.1. Pourquoi recycler le caoutchouc ?

- Clientèle difficile : meilleure qualité à prix compétitif ;
- Tendance actuelle au recyclage dû à l'augmentation de la pollution et de la production de déchets;
- Source de déchet importante en poids et en volume (500 000 tonnes /an en France).

I.4.4.2. Sources de recyclage du caoutchouc

- pneumatiques usagés (70%);
- déchets de caoutchouc industriel (fabrication de chaussures, tuyaux, revêtements de sols, ...);
- déchets de fabrication de pneus;
- déchets de rechapage des pneus

Voici quelques exemples d'application actuelles et en développement des matières premières obtenues suite au recyclage des pneumatiques usagés :

- Bassins de rétention ;
- Câbles ;
- Ecrans anti-bruit ;
- Matériau pour l'étanchéité des sols ;
- Matériau pour l'isolation phonique ;
- Matériau pour le renforcement de terrains ;
- Membranes anti-fissures (usage routier) ;
- Membranes anti-vibrations (usages ferroviaires) ;
- Remblais légers ;
- Revêtements de routes ;
- Revêtements de sols industriels ;
- Sols de sécurité pour aires de jeux ;
- Sols sportifs ou récréatifs ;