

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA DE BEJAIA

Faculté de la Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Magistère

En Génie Civil

Option : Matériaux et Structures

Thème

*Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin)
sur les caractéristiques physico- mécaniques de la brique
de terre cuite*

Présenté par :

Mme AREZKI née DJADOUF SAMIA

Soutenu devant le jury composé de:

M ^{er} CHERRARED Marzouk	Maître de conférences	U.Béjaia	Président
M ^{er} TAHAKOURT Abdelkader	Maître de conférences	U.Béjaia	Rapporteur
M ^{er} CHELOUAH Nacer	Maître de conférences	U.Béjaia	Co-rapporteur
M ^{er} MAZA Mustapha	Maître de conférences	U.Béjaia	Examineur
M ^{er} BAHAR Ramdane	Professeur	U.Tizi-Ouzou	Examineur
M ^{er} BOUZIDI Djebbar	Directeur de la briqueterie de Remila		Invité

Remerciements

*Je témoigne toute ma gratitude à l'égard de mes promoteurs ;
à monsieur TAHAKOURT.N, maître de conférences à l'université de Béjaia pour
les orientations fructueuses qu'il m'a prodiguées,*

*à monsieur CHELOUAH.N, maître de conférences à l'université de Béjaia et co-
promoteur, pour les conseils précieux qu'il m'a fournis.*

*Et ma reconnaissance à monsieur MERABET.D, professeur et recteur de
l'université de Béjaia pour toute l'aide scientifique et les encouragements qu'il m'a
apportés à la concrétisation de cette recherche .*

*Je remercie monsieur ZAIDI.F, chargé de cours, qui m'a prêté toute son attention,
monsieur DJIDJLI, maître de conférences, qui n'a ménagé aucun effort pour me venir en
aide et également monsieur TAKA, directeur de l'agence immobilière de SOMACOB, qui
m'a facilité l'accès à toute la documentation et archives afférents aux briqueteries.*

*Je remercie également le directeur de la briqueterie de Remila et le personnel
technique de cette dernière pour leurs aides et leur bon accueil au sein de leur
organisme.*

*Que ceux et celles qui ont contribué, directement ou indirectement, à la
réalisation de ce travail ; l'aimable personnel des laboratoires, les ingénieurs et les
techniciens... se trouvent ici remerciés.*

Je remercie les membres de jury :

*Monsieur CHERRARED.M, maître de conférence à l'université de Béjaia d'avoir accepté
de présider ce jury.*

*Monsieur MAZA.M, maître de conférences à l'université de Béjaia et monsieur
BAHAR.R, professeur à l'université de Tizi-Ouzou d'avoir bien voulu examiner ce
mémoire.*

*J'adresse enfin toute ma tendresse à ma famille, à mon époux pour sa patience, à
mes enfants ; Feriel, Adel et Amine que j'ai tant négligés durant ce parcours de
magistère, et sans oublier mes parents et tous mes proches...*

SOMMAIRE

Sommaire

	Page (...)
Remerciements	
Sommaire	
Liste des tableaux et figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Première partie : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : Argiles et procédé de fabrication de la brique	05
I.1. Historique de l'emploi de l'argile dans la construction.....	05
I.2. Définition de l'argile.....	07
I.3. Argiles et cycle géologique.....	08
I.4. Minéraux argileux.....	09
I.4.1. Types de minéraux argileux.....	11
I.4.2. Classification des minéraux argileux.....	13
I.4.3. Familles des minéraux inter stratifiés.....	17
I.5. Propriétés physico-chimiques des argiles	18
I.5.1. Plasticité.....	18
I.5.2. Bonne capacité de compaction.....	18
I.5.3. Forme et la surface spécifique.....	18
I.5.4. Degré d'hydratation.....	20
I.5.5. Capacité d'échange cationique.....	21
I.6. Forces existantes entre les particules argileuses	21
I.7. Définition des pâtes argileuses.....	23
I.8. Applications des matières argileuses.....	24
I.9. Procédé de fabrication de la brique.....	24
I.9.1. Extraction.....	24
I.9.2. Préparation de la matière première.....	25

I.9.2.1. Le broyage et le malaxage.....	25
I.9.2.2. Le dosage et le mélange... ..	25
I.9.3. Façonnage des produits.....	26
I.9.4. Séchage.....	27
I.9.4.1. Le séchage naturel.....	28
I.9.4.1. Le séchage artificiel.....	28
I.9.5. Cuisson.....	29
I.10. Formes des briques.....	30
I.10.1. Les briques pleines.....	31
I.10.2. Les briques de parement.....	31
I.10.3. les briques creuses.....	31
I.10.4. les briques perforées.....	31
I.11. Conclusion.....	32

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES AJOUTS UTILISES33

II.1. Introduction.....	33
II.2. Valorisation des résidus organiques dans la construction.....	33
II.2.1. Constituants pariétaux des résidus organiques.....	34
II.2.2. Analyse chimique des résidus organiques.....	35
II.2.2.1. La cellulose.....	35
II.2.2.2. L'hémicellulose.....	36
II.2.2.3. La lignine.....	36
II.2.2.4. Les matières grasses	37
II.2.2.5. Les cendres.....	37
II.2.3. Sensibilité à l'eau de la particule organique.....	37
II.2.4. Système argile-additif-eau.....	37
II.3. Présentation des ajouts utilisés.....	38
II.3.1. Grignon d'olive.....	38
II.3.1.1. Production d'olives.....	38
II.3.1.2. Production de grignons d'olives.....	39
II.3.1.3. Procédés d'extraction de l'huile d'olive	40

II.3.1.4. Utilisation industrielle des grignons d'olive.....	41
II.3.1.5. Utilisations possibles de la coque.....	42
II.3.1.6. Caractéristiques du grignon d'olive.....	43
a. Composition physique.....	43
b. Composition chimique.....	43
II.3.2. Foin.....	45
II.3.2.1. Fourrages en Algérie.....	45
II.3.2.2. Composition chimique des fourrages.....	46
II.3.2.3. Foin comme plante fourragère.....	47
II.3.2.4. Analyse chimique du foin.....	47
II.3.2.5. Champs d'utilisation du foin.....	48
II.4. Conclusion.....	48

Deuxième partie : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : ANALYSE DES MATERIAUX UTILISEES.....	50
III.1. Introduction.....	50
III.2. Matériaux utilisées.....	50
III.2.1. Argile.....	51
III.2.1.1. Position géographique.....	51
III.2.1.2. Historique des travaux de recherche.....	51
III.2.1.3. Géologie du gisement.....	52
III.2.1.4. Exigences industrielles.....	52
III.2.2. Ajouts organiques (grignon d'olive et foin).....	53
III.3. Analyse chimique des matériaux.....	53
III.3.1. Analyse chimique de l'argile.....	53
III.3.2. Analyse chimique des ajouts organiques.....	54
III.3.2.1. Teneur en matières sèches.....	54
III.3.2.2. Teneur en matières grasses.....	55
III.3.2.3. Teneur en matières minérales (cendres).....	56
III.3.2.4. Teneurs en fibres par la méthode de VAN SOEST.....	57

1. Détermination du NDF (Neutral detergent fiber)	58
2. Détermination de l'ADF (Acide detergent fiber).....	59
3. Détermination de l'ADL (Acide detergent lignin).....	60
III.3.3. Résultats de l'analyse chimique des ajouts.....	61
III.4. Analyses thermiques des matériaux utilisés.....	62
III.4.1. Analyse minéralogique.....	63
III.4.1.1. Méthode.....	63
III.4.1.2. Composition minéralogique de l'argile utilisée.....	64
III.4.2. Méthodes thermiques des solides.....	66
III.4.2.1. Analyse thermique différentielle (ATD).....	66
III.4.2.2. Analyse thermique gravimétrique (ATG).....	67
III.4.3. Analyses thermiques et comportement au feu (résultats).....	68
III.4.3.1. Analyse thermique différentielle de l'argile	68
III.4.3.2. Analyse thermique gravimétrique de l'argile.....	70
III.4.3.3. Analyses thermiques gravimétriques (ATG) des ajouts.....	71
III.4.3.4. Analyses thermiques différentielles des mélanges (argile+résidus).....	77
III.4.3.5. Analyses thermiques gravimétriques des mélanges (argile+résidus).....	82
III.5. Conclusion.....	84

CHAPITRE IV : CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANQUES DES BRIQUES

AVEC AJOUTS	86
IV.1. Introduction.....	86
IV.2. Mélanges de matières premières.....	87
IV.3. Calcul du domaine de plasticité.....	88
IV.3.1. Détermination des limites d'Atterberg.....	88
IV.3.1.1. Matériels nécessaires.....	89
a. Pour la préparation de l'argile.....	89
b. Appareil de Casagrande.....	89
IV.3.1.2. Mode opératoire.....	89

a. Pour déterminer la limite de liquidité w_l	89
b. Pour déterminer la limite de plasticité w_p	91
IV.3.1.3. Résultats et discussions.....	92
IV.4. Préparation des éprouvettes.....	93
IV.5. Méthodes d'analyses techniques.....	97
IV.5.1. Essai de compression sur des éprouvettes crues.....	98
IV.5.2. Calcul des pertes et retraits au séchage et après la cuisson.....	99
IV.5.2.1. Caractéristiques de séchage et de cuisson	99
IV.5.2.2. Interprétation des résultats.....	103
IV.5.3. Masse volumique apparente.....	105
IV.5.3.1. Mode opératoire.....	106
IV.5.3.2. Interprétation des résultats.....	106
IV.5.4. Détermination du coefficient d'absorption d'eau.....	109
IV.5.4.1. Mode opératoire.....	110
IV.5.4.2. Présentation des résultats.....	110
IV.5.4.3. Interprétation des résultats.....	113
IV.5.5. Détermination de la résistance à la flexion.....	114
IV.5.5.1. Mode opératoire.....	114
IV.5.5.2. Résultats et discussions.....	114
IV.5.6. Détermination de la résistance à la compression.....	119
IV.5.6.1. Mode opératoire.....	119
IV.5.6.2. Présentation des résultats	120
IV.5.6.3. Interprétation des résultats.....	128
IV.6. Conclusion.....	129
Conclusion générale	133
Références bibliographiques.....	137
Annexes	

LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES

Liste des tableaux

	Page (...)
Tableau I.1 : Classification granulométrique selon le critère dimensionnel des grains de sol (Atterberg, 1919).....	07
Tableau I.2 : Minéraux inter stratifiés naturels les plus courants.....	17
Tableau I.3 : Vue en coupe des minéraux argileux les plus communs (d'après Young et Warkentin, 1975).....	19
Tableau I.4 : Surface spécifique des particules argileuses (Eslinger & Peaver, 1988).....	19
Tableau II.1 : Taux du grignon d'olive humide et ses caractéristiques selon le système d'extraction.....	41
Tableau II.2 : Pouvoir calorifique du grignon brut et des ses différents composants.....	41
Tableau II.3 : Champs d'application des sous-produits de l'olivier.....	42
Tableau II.4 : Compositions chimiques des composants de l'olive mûre (Maymone et al. 1961).....	44
Tableau II.5 : Caractéristiques des constituants pariétaux des grignons.....	45
Tableau II.6 : Composition chimique (%MS) de quelques fourrages (Jarrige, 1988).....	46
Tableau II.7 : Résultats d'analyse chimique du foin (en % de MS).....	47
Tableau III.1 : Intervalle de tolérance de chacun des composants de l'argile favorable à la fabrication de la brique de construction.....	53
Tableau III.2 : Composition chimique élémentaire de l'argile utilisée.....	54
Tableau III.3 : Composition chimique des ajouts	62
Tableau III.4 : Composition minéralogique de l'argile utilisée.....	66
Tableau III.5 : Caractéristiques de la combustion de chacun des résidus organiques.....	74
Tableau IV.1 : Calcul des teneurs en eau en fonction du nombre de coups.....	91
Tableau IV.2 : Calcul de la limite de plasticité.....	92
Tableau IV.3.1 : Composition du mélange (Série 01 à 0% d'ajouts).....	94
Tableau IV.3.2 : Composition du mélange (Série 02 à 1% d'ajouts).....	94
Tableau IV.3.3 : Composition du mélange (Série 03 à 2% d'ajouts).....	94
Tableau IV.3.4 : Composition du mélange (Série 04 à 3% d'ajouts).....	95
Tableau IV.3.5 : Composition du mélange (Série 05 à 4% d'ajouts).....	95

Tableau IV.3.6 : Composition du mélange (Série 06 à 5% d'ajouts).....	95
Tableau IV.3.7 : Composition du mélange (Série 07 à 10% d'ajouts).....	96
Tableau VI.4 : Résistances à la compression des briques crues avec ajouts	98
Tableau IV.5.1 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 01 à 0% d'ajouts) ...	100
Tableau IV.5.2 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 02 à 1% d'ajouts) ...	100
Tableau IV.5.3 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 03 à 2% d'ajouts) ...	101
Tableau IV.5.4 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 04 à 3% d'ajouts) ...	101
Tableau IV.5.5 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 05 à 4% d'ajouts) ...	102
Tableau IV.5.6 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 06 à 5% d'ajouts) ...	102
Tableau IV.5.7 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 07 à 10% d'ajouts) ...	103
Tableau IV.6 : Masses volumiques apparentes des différentes séries d'échantillons.....	106
Tableau IV.7 : Pourcentage de réduction de la masse volumique apparente par rapport à l'échantillon témoin.....	109
Tableau IV.8 : Limite admissible du coefficient d'absorption d'eau.....	110
Tableau IV.9.1 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 01 à 0% d'ajouts)	111
Tableau IV.9.2 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 02 à 1% d'ajouts)	111
Tableau IV.9.3 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 03 à 2% d'ajouts)	111
Tableau IV.9.4 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 04 à 3% d'ajouts)	112
Tableau IV.9.5 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 05 à 4% d'ajouts)	112
Tableau IV.9.6 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 06 à 5% d'ajouts)	112
Tableau IV.9.7 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 07 à 10% d'ajouts)	113
Tableau IV.10.1 : Essai de flexion (Série 01 à 0% d'ajouts)	114
Tableau IV.10.2 : Essai de flexion (Série 02 à 1% d'ajouts)	115
Tableau IV.10.3 : Essai de flexion (Série 03 à 2% d'ajouts)	115
Tableau IV.10.4 : Essai de flexion (Série 04 à 3% d'ajouts)	115
Tableau IV.10.5 : Essai de flexion (Série 05 à 4% d'ajouts)	116
Tableau IV.10.6 : Essai de flexion (Série 06 à 5% d'ajouts)	116
Tableau IV.10.7 : Essai de flexion (Série 07 à 10% d'ajouts)	116
Tableau IV.11 : Récapitulatif des résultats de l'essai de la résistance à la flexion de l'ensemble des échantillons.....	117
Tableau IV.12 : Pourcentage de chute de la résistance à la flexion des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin.....	118
Tableau IV.13 : Résistance à la compression (NA .023) et masse volumique apparente (NA.5022) des produits rouges en terre cuite.....	119

Tableau IV.14.1 : Essai à la compression (Série 01 à 0% d'ajouts)	119
Tableau IV.14.2 : Essai à la compression (Série 02 à 1% d'ajouts)	120
Tableau IV.14.3 : Essai à la compression (Série 03 à 2% d'ajouts)	120
Tableau IV.14.4 : Essai à la compression (Série 04 à 3% d'ajouts)	121
Tableau IV.14.5 : Essai à la compression (Série 05 à 4% d'ajouts)	121
Tableau IV.14.6 : Essai à la compression (Série 06 à 5% d'ajouts)	122
Tableau IV.14.7 : Essai à la compression (Série 07 à 10% d'ajouts)	122
Tableau IV.15 : Récapitulatif des résultats de l'essai à la compression de l'ensemble des échantillons.....	123
Tableau IV.16 : Pourcentage de chute de la résistance à la compression des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin.....	124

Liste des figures

Figure I.1 : Briques émaillées (VI ^e siècle av. J.-C.).....	05
Figure I.2 : Conditions de formation et de stabilité des minéraux argileux (Velde 1995).....	09
Figure I.3 : Illustration de l'empilement des feuillets d'argile montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets	10
Figure I.4 : Cristaux de chlorite et de kaolinite vus au microscope électronique à balayage...	10
Figure I.5.1 : Éléments structuraux : les tétraèdres (Eslinger & Peaver, 1988).....	11
Figure I.5.2 : Éléments structuraux : les octaèdres (Eslinger & Peaver, 1988).....	11
Figure I.6 : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2 : 1	12
Figure I.7 : Structure des minéraux argileux.....	13
Figure I.8.1 : Classification générale des minéraux argileux	14
Figure I.8.2 : Feuillet du type T.O ou (1/1) épaisseur réelle 7 Å°.....	15
Figure I.8.3 : Feuillet du type T.O.T (2/1) Trioctaédrique, épaisseur réelle : 10Å°.....	16
Figure I.8.4 : Feuillet du type T.O.T (2/1) (Dioctaédrique), épaisseur réelle : 10Å°.....	16
Figure I.9 : Forme des particules argileuses	18
Figure I.10 : Représentation des limites d'Atterberg.....	20
Figure I.11 : Modes d'associations supposés des feuillets d'argiles en suspension	23
Figure I.12.1 : Opérations ; depuis l'extraction d'argile jusqu'au dosage du mélange.....	26
Figure I.12.2 : Opération de façonnage des produits.....	27
Figure I.12.3 : Opérations de séchage et de cuisson des produits.....	27
Figure I.13.1 : Séchoir compartimenté en chambres.....	29
Figure I.13.2 : Séchoir tunnel.....	29
Figure I.14 : Four tunnel	30
Figure I.15 : Différents modèles de briques.....	31
Figure II.1 : Principales classes des fibres alimentaires.....	35
Figure II.2 : Structure chimique de la cellulose	35
Figure II.3 : Les trois alcools constitutifs de la lignine fortement polymérisée	36
Figure II.4 : Section transversale et composition physique de l'olive	43
Figure III.1 : Appareil Soxhlet.....	55

Figure III.2 : Evaporateur rotatif.....	56
Figure III.3 : Méthodes gravimétriques de dosage des fibres et nature du résidu d'analyse...	58
Figure III.4 : Appareil pour la détermination de l'ADF.....	60
Figure III.5 : Loi de Bragg donnant les directions où les interférences sont constructives....	64
Figure III.6 : Diffractomètre de l'argile utilisée.....	66
Figure III.7 : Mesure des variations de la température lors d'une analyse thermique.....	67
Figure III.8 : Courbe de perte en poids d'une analyse thermo-gravimétrique	
différentielle	68
Figure III.9 : Analyse thermique différentielle (ATD) de l'argile utilisée.....	69
Figure III.10 : Analyse thermique gravimétrique (ATG) de l'argile utilisée.....	70
Figure III.11 : Vitesse de la perte en poids de l'argile (DTG).....	70
Figure III.12 : DTG du grignon d'olive brut (GOB).....	71
Figure III.13 : DTG de la coque du grignon d'olive (CGO)	72
Figure III.14 : DTG du foin	72
Figure III.15 : Thermogramme (ATG) des différents ajouts.....	74
Figure III.16.1 : Courbes DTG/TG du GOB	76
Figure III.16.2 : Courbes DTG/TG de la CGO	76
Figure III.16.3 : Courbes ATG/TG du foin.....	77
Figure III.17 : ATD des différents échantillons avec ajout de la CGO à différents pourcentages.....	78
Figure III.18.1 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de CGO).....	79
Figure III.18.2 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de Foin).....	80
Figure III.18.3 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de GOB).....	80
Figure III.19 : Comparaison de l'ATD des différents échantillons à 5% d'ajouts contre l'échantillon témoin.....	81
Figure III.20 : Comparaison de l'évolution de la température de cuisson des briques des différents échantillons à 5% d'ajouts contre l'échantillon témoin	82
Figure III.21 : ATG de l'échantillon témoin et les échantillons avec 5% d'ajouts.....	83
Figure III.22 : Vitesse de réduction de masse des échantillons à 5% d'ajouts (DTG).....	84

Figure IV.1 : Matières premières utilisées (foin, le grignon d'olive brut (GOB), la coque du grignon d'olive(CGO) et l'argile).....	88
Figure IV.2: Appareil de Casagrande et outil à rainurer.....	89
Figure IV.3 : Représentation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups.....	91
Figure IV.4 : Limite de plasticité de chaque série d'échantillons en fonction du pourcentage d'ajouts.....	93
Figure IV.5 : Spécimens des briques confectionnées (cuites et non cuites).....	96
Figure IV.6 : Résistance à la compression des produits crus.....	99
Figure IV.7 : Evolution de la perte au feu en fonction du pourcentage d'ajouts.....	104
Figure IV.8 : Retrait total en fonction du pourcentage d'ajouts.....	105
Figure IV.9 : Coupe transversale d'un échantillon de brique avec ajout (voir les pores)....	107
Figure IV.10 : Evolution de la masse volumique en fonction du pourcentage d'ajouts....	107
Figure IV.11 : Courbes de l'ATG des ajouts organiques utilisés (a : la coque du grignon d'olive, b :le grignon d'olive brut et c :le foin).....	108
Figure IV.12 : Détermination du coefficient d'absorption d'eau.....	110
Figure IV.13 : Evolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajouts.....	113
Figure IV.14: Essai de la résistance à la flexion.....	114
Figure IV.15 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage d'ajouts.....	117
Figure IV.16 : Essai de la résistance à la compression	119
Figure IV.17 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajouts.....	123
Figure IV.18 : Ficelles d'argile trouvées à l'intérieur de la brique	126

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste de abréviations

ATD : Analyse thermique différentielle

ATG : Analyse thermique gravimétrique

ADF : Acide detergent fibre

ADL : Acide detergent lignin

C : Coefficient d'absorption d'eau

Ca : Calcium

CB : Cellulose brute

CGO : Coque du grignon d'olive

D.R.E.G : Division de recherches et Etudes géologiques

DRX : Diffraction aux rayons X

GO : Grignon d'olive

GOB : Grignon d'olive brut

K : Potassium

L_P : longueur de la brique à l'état plastique (après façonnage)

L_S : longueur de la brique au séchage

L_F : longueur de la brique après la cuisson

MG : Matières grasses

MM : Matières minérales

MO : Matières organiques

MS : Matières sèches

M_V : Masse volumique

NA : Normes algériennes

NDF : Neutral detergent fibre

NF : Normes françaises

P : Phosphore

P_F : Perte au feu

P_S : Perte en poids au séchage

R_S : Retrait au séchage

R_T : Retrait total

S.N.M.C : Société nationale des matériaux de construction

W_P : poids de la brique à l'état plastique (après façonnage)

W_S : poids de la brique au séchage

W_F : poids de la brique après la cuisson

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Développement durable, utilisation rationnelle de l'énergie, préservation des ressources naturelles, ... font aujourd'hui partie de notre quotidien [1]. Depuis quelques années, la prise de conscience de l'importance à préserver l'environnement se répand partout dans le monde et plus précisément au sein des entreprises et manufactures.

L'argile, matière première dans la fabrication des briques de construction, présente un intérêt croissant car son application industrielle ne cesse de se diversifier. On peut ainsi envisager d'économiser cette matière première grâce à certains déchets végétaux en guise de remplacement car l'augmentation accrue de la production agricole et le développement de l'agro-industrie dans de nombreux pays du monde, ont donné lieu à de grandes quantités de déchets agricoles qui ne sont souvent pas convenablement gérées ou utilisées. Toutefois des efforts sont entrepris pour leurs valorisations dans l'alimentation animale et aussi comme engrais et carburant pour la production de l'énergie. Mais peu de travaux ont été réalisés pour développer l'utilisation de ces déchets dans la production de matériaux de construction [2].

L'idée impérieuse de ces recherches est d'apporter au monde des constructeurs un matériau de substitution. L'utilisation de particules végétales constitue une démarche importante de développement, elle présente l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable contrairement aux ajouts inorganiques dont les ressources s'appauvrissent et se raréfient.

De plus l'utilisation des matières végétales relève de l'intérêt à améliorer les caractéristiques de la brique, notamment son pouvoir d'isolation. Car l'une des possibilités de renforcer l'isolation dans un produit est d'augmenter son taux de porosité.

Les résidus organiques sont des matières combustibles et par leurs intrusions dans la pâte d'argile, ils se consomment pendant la cuisson et créent ainsi des pores dans la structure de la brique.

Aujourd'hui le recyclage des déchets mis en décharge et l'économie d'énergie sont des champs de recherche très importants. A cet effet, comme exemple de solution envisagée pour ces deux problèmes posés à la fois, on citera l'importance que revêt désormais le recyclage des déchets agricoles dans la fabrication des briques poreuses. Ces matériaux font références à des briques plus légères que les briques traditionnelles et visent principalement une meilleure isolation thermique.

Dans cet axe de recherche, plusieurs résidus organiques ont été déjà expertisés comme la sciure de bois, le charbon, le cambouis de papier, la paille et les résidus de brasserie [2] [3]. Rimpel et Scmedders (1996) montrent la possibilité de l'utilisation des résidus de paille et de roseau dans la production de briques de construction [In 22]). Demir a utilisé les déchets du thé pour le même but [2]. Demir, Baspinar et Orhan expertisent le rebus de brasserie [3]. Demir utilise l'herbe, résidus de tabac et la sciure [22].

C'est dans cette gamme de matériaux que se situe la brique avec ajouts de grignon d'olive et de foin, objet de l'étude en question. On note aussi que le grignon d'olive est déjà utilisé comme ajout dans les bétons, certaines études ont été menées sur le béton allégé avec des grignons d'olive [4].

Le choix des ajouts se justifie par les raisons suivantes :

- Les grignons d'olives comptent parmi les matériaux les plus abondants dans notre pays et plus particulièrement dans la wilaya de Béjaia (zone de notre étude) et ils sont déversés dans la nature. Cette situation conduit à des pollutions qui peuvent avoir des impacts graves sur la santé humaine et l'environnement.

- Le foin compte aussi parmi les matériaux les plus abondants et de surcroît il a aussi l'avantage du moindre coût.

C'est un produit naturel qui possède d'importantes caractéristiques qui le rendent à la fois utile et nécessaire à plusieurs branches d'activités industrielles.

Cette étude permet d'utiliser l'argile de manière rationnelle et de limiter les déchets jetés dans la nature d'une part et d'économiser l'énergie en mettant en œuvre des matériaux poreux présentant un pouvoir d'isolation accrue d'autre part.

En effet, il ne suffit pas de garantir une production en préservant l'environnement encore faut-il s'assurer des qualités physico-mécaniques du produit avec ajout. C'est pour cela que des essais techniques ont été effectués pour mettre en évidence les qualités de la brique réalisée.

L'argile qui fait l'objet de ce travail provient d'une carrière dans la wilaya de Béjaïa. À l'heure actuelle, cette dernière comporte plusieurs briqueteries situées à Seddouk, Oued Remila, Ighil ouberouak, Boudiab...Elles sont toutes alimentées par un seul gisement celui de Oued Remila [5]. Toutes les autres carrières sont à l'arrêt et c'est la raison pour laquelle nous sommes amenée à utiliser cette argile.

Cette étude s'articule en deux grandes parties :

La première, constituée de deux chapitres, porte sur la synthèse bibliographique. Nous aborderons au préalable l'historique sur l'emploi de l'argile dans la construction, et passerons en revue les diverses définitions des argiles au sens le plus large car ces matériaux présentent la matière première dans la fabrication de la brique.

Cette étape nous permet de définir les pâtes argileuses et de décrire le procédé de fabrication de la brique tel qu'il est cité dans la littérature.

Dans le deuxième chapitre, les ajouts utilisés (le grignon d'olive et le foin) sont exposés : leur taux de production, leur composition chimique et les domaines de leur utilisation sont présentés.

La seconde partie, étant une étude expérimentale est constituée de deux chapitres. Le troisième chapitre traite des méthodes et des procédés expérimentaux de chaque analyse chimique et thermique incluant les résultats et les discussions respectifs et appropriés.

Le dernier chapitre comportera les résultats de l'ensemble des essais physico-mécaniques effectués au laboratoire avec leurs résultats et leurs interprétations.

Et enfin, nous terminerons par une conclusion générale où nous mettons en évidence tous les résultats trouvés.

Ce travail, hormis les informations de base qu'il fournit sur le procédé de fabrication des briques poreuses, ouvre probablement de nouvelles perspectives de recherches sur la valorisation des déchets d'huileries dans le domaine de la construction.

Première partie

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

ARGILES ET PROCEDE DE FABRICATION DE LA BRIQUE

Argiles et procédé de fabrication de la brique

I.1. Historique de l'emploi de l'argile dans la construction

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus Haute Antiquité. Les premières cités découvertes étaient construites en terre crue. La brique crue était le principal matériau de construction de l'ancienne Mésopotamie et de la Palestine, qui disposait de peu de bois et de pierres. Les habitants de Jéricho, en Palestine, réalisaient déjà des constructions de briques il y a 9 000 ans. Les constructeurs sumériens et babyloniens réalisaient des ziggourats, des palais et des murs de fortification en brique séchée au soleil et les couvraient de briques cuites au four, plus résistantes, arrangées selon des frises décoratives imagées. Les grandes pyramides des Olmèques ou des Mayas étaient faites de briques et recouvertes d'un appareil en pierre.

La terre crue a été employée dans toutes les zones géographiques, par la plupart des civilisations.

La figure I.1 représente les briques émaillées remontant au VI^{ème} siècle avant J.C.

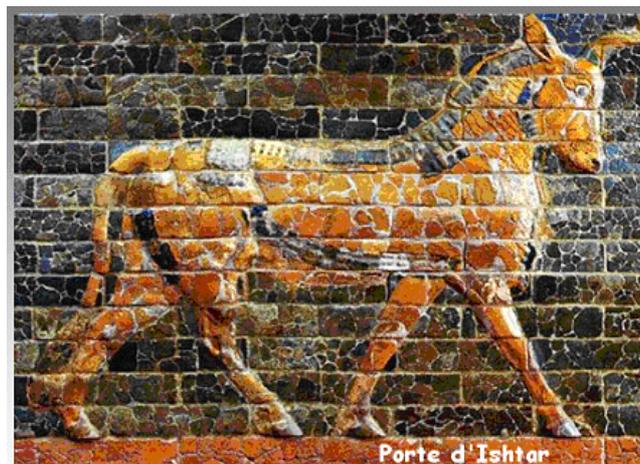


Figure I.1 : Briques émaillées (VI^e siècle av. J.-C.)

La technique utilisée dans la fabrication des briques est l'empilement de pains de terre façonnés à la main [6].

Les ruines de la plus grande Cité pré-colombienne, "Chan-Chan" au Pérou sont les témoins indéniables des constructions en argile en Amérique Latine.

En Chine où le travail de l'argile et la cuisson des céramiques ont acquis une importance indiscutable, on connaît en particulier les habitats des Hakkas, constitués d'une enceinte massive de pisé à l'intérieur de laquelle une vraie petite ville s'installe, et dont quelques exemples seraient encore habités. Le pisé est toujours utilisé pour la construction aujourd'hui. La Grande Muraille de Chine fut aussi bâtie en briques.

Quant aux Romains, ils édifièrent thermes, temples, palais et théâtres avec ce matériau qu'ils paraient de marbre.

En Afrique le développement de la construction en terre crue s'étend sur tout le continent africain, produisant une diversité et une richesse architecturale exceptionnelle. Nous citons d'une part la mosquée de Djenné construite entièrement en banco (sorte de pisé), c'est le plus grand édifice en terre battue au monde, et c'est l'un des plus beaux exemples d'architecture soudanaise. Et d'autre part la mosquée de Tombouctou au Mali est construite de la même façon.

Au Moyen Âge et à la Renaissance, en Europe, partout où la pierre était rare, les bâtisseurs appréciaient la brique pour ses qualités décoratives et de construction viable. Ils utilisaient avec goût la couleur chaude, rougeâtre des briques non vitrifiées, disposées selon une variété de motifs et de formes, tels que les carreaux, les chevrons, l'armure nattée ou l'appareil flamand. Le climat de l'Europe se prêtant mal à l'utilisation de l'argile crue, on utilise alors la brique cuite au feu ; subissant ainsi une transmutation pour conférer des qualités lui assurant une résistance à l'humidité et au gel [6].

Au XIX^e siècle, la fabrication des briques s'est mécanisée et standardisée (d'abord en Grande Bretagne, en Belgique et en France), abaissant sensiblement le coût de la construction tout en augmentant sa résistance. Cela a permis l'essor des habitations à bon marché dès l'époque ottomane.

L'intérêt porté aujourd'hui à la brique dans certains pays européens (Allemagne, Pays-Bas, Danemark, France) date du début des années 80. Car depuis la crise pétrolière des années 70 ; isoler un habitat est devenu la préoccupation de tous les constructeurs rénovateurs.

Toute nouvelle construction doit d'ailleurs respecter les critères d'isolation thermique et acoustique variables selon les régions. Il existe plusieurs types de matériaux isolants et le choix d'un isolant dépend de plusieurs facteurs comme le type de bâtiments, les exigences d'isolation et la disponibilité des matériaux.

Le développement de ce matériau va en croissant, lui permettant ainsi d'être performant davantage.

I.2. Définition de l'argile

Le mot argile est issu du latin "argilla" ou du grec "argillos" « terre du potier » dérivé de "argos" qui veut dire blanc [7]. C'est la couleur du matériau utilisé en céramique qui a conduit les anciens à lui donner ce nom.

Il n'existe pas de définition unique du terme "argile". Le mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie [8] [9].

Au début du vingtième siècle (1919), Atterberg avait donné un sens granulométrique au mot argile et elle est définie actuellement comme étant la fraction passant au tamis 2 microns [In 9].

Le tableau I.1 reprend la classification granulométrique selon le critère dimensionnel des grains d'un sol.

Tableau I.1 : Classification granulométrique selon le critère dimensionnel des grains de sol (Atterberg, 1919)

200mm	20mm	2mm	80µm	20µm	2µm	0.2µm
Cailloux	gravier	Sable gros	Sable fin	limon	argile	colloïdales

Le limon est la fraction de sol constituée de fins débris rocheux et de minéraux relativement gros, tels que le quartz, les feldspaths, les micas, le calcaire, la dolomie, les oxydes ou les hydroxydes de carbone ou de fer...

Il était couramment admis que les argiles étaient constituées par des composés amorphes. C'est grâce à la découverte des propriétés des rayons X et de leurs applications à l'étude des minéraux finement pulvérisés par Debye et Shérrer que la preuve du caractère cristallin de ces substances a pu être démontrée.

Dans les ouvrages de référence, nous trouvons plusieurs propositions de définition. Par exemple, Eslinger et Peaver (1988) proposent de définir les argiles comme un minéral qui donne une fraction fine inférieure à 2 microns [In 9]). Par contre, Weaver (1989) regroupe tous les minéraux phyllosilicatés sans aucune connotation de taille [In 9].

Ainsi, le mot argile peut évoquer différents concepts, allant de la définition granulométrique à la désignation d'une substance cristalline. On peut admettre aussi une autre définition qui nous est plus utile dans l'industrie de la fabrication des matériaux de construction ; elle désigne toutefois une terre dont les propriétés plastiques lui offrent les qualités requises à une utilisation réussie dans la fabrication de produits pour la construction.

La granulométrie de sol constituant la matière première n'est pas nécessairement inférieure à 2 microns tout en restant assez fine. A l'état des fines particules, les minéraux argileux sont les constituants de nombreuses formations géologiques et certains sols sont particulièrement recherchés pour chaque domaine d'étude. Les ingénieurs civils s'intéressent aux propriétés des argiles en tant que matériel industriel (réfractaires, matériaux de construction). Les géologues en revanche s'occupent des informations que les argiles apportent sur les conditions environnementales (source, condition de formation, diagenèse...). Les agronomes étudient les propriétés d'hydratation et d'adsorption des argiles pour concevoir les fertilisants.

I.3. Argiles et cycle géologique

Les minéraux argileux sont restreints aux couches externes. Ce sont donc des roches exogènes principalement formées à partir de minéraux préexistants, par réaction de la croûte terrestre au contact de l'hydrosphère ou l'atmosphère. Les conditions de formation et de stabilité des minéraux argileux sont schématisées sur la figure I.2.

Les argiles sont instables dès que la température dépasse 50-80°C, et commencent à se modifier en d'autres minéraux argileux ou non (mica, feldspath).

Pour de faibles températures, de longues périodes de temps sont nécessaires pour changer la minéralogie des argiles. Les processus de sédimentation sont des événements qui se produisent sur de longues périodes allant de (1-100 millions d'années). La dimension temporelle est donc essentielle au même plan que la température, dans la stabilité et l'évolution des argiles [In 8].

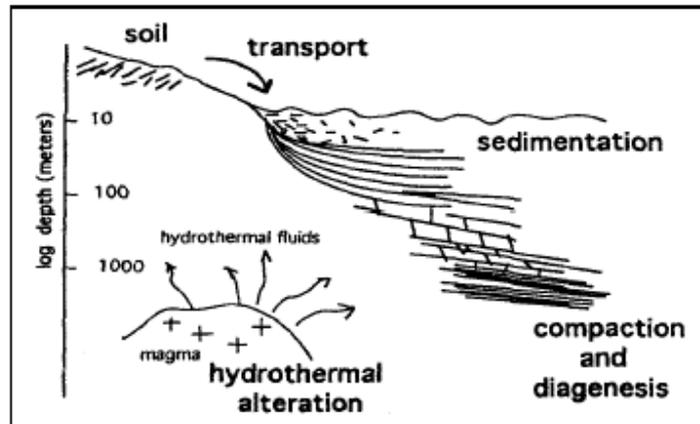


Figure I.2 : Conditions de formation et de stabilité des minéraux argileux (Velde 1995)

I.4. Minéraux argileux

Les minéraux argileux, objet de nombreuses études, sont des substances cristallines qui tirent essentiellement leur origine de l'altération chimique de certains minéraux composant la roche (des silicates et en particulier des feldspaths). Ils sont utilisés dans plusieurs domaines d'activités : la céramique industrielle et artisanale, l'industrie pharmaceutique et la poterie.

Les minéraux argileux confèrent aux argiles leurs propriétés bien connues : plasticité, durcissement à la cuisson. Ce sont de très petits cristaux colloïdaux, qu'on ne peut voir qu'au microscope électronique.

Des études par diffraction des rayons X, ont permis de décrire ces minéraux comme un empilement de feuillets unitaires, formant une structure du type de jeu de cartes [10].

La figure I.3 donne une illustration de cet empilement montrant les surfaces basales, les bordures des particules ainsi que les espaces inter-feuillets.

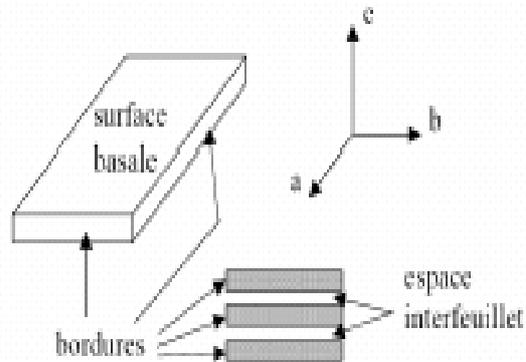


Figure I.3 : Illustration de l'empilement des feuillets d'argile montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets [Viallis Terrises (2000)] [In11]

La figure I.4 représente des photos prises au microscope électronique à balayage de la kaolinite et de la chlorite où nous pouvons clairement voir l'empilement des feuillets de chacun de ces cristaux.

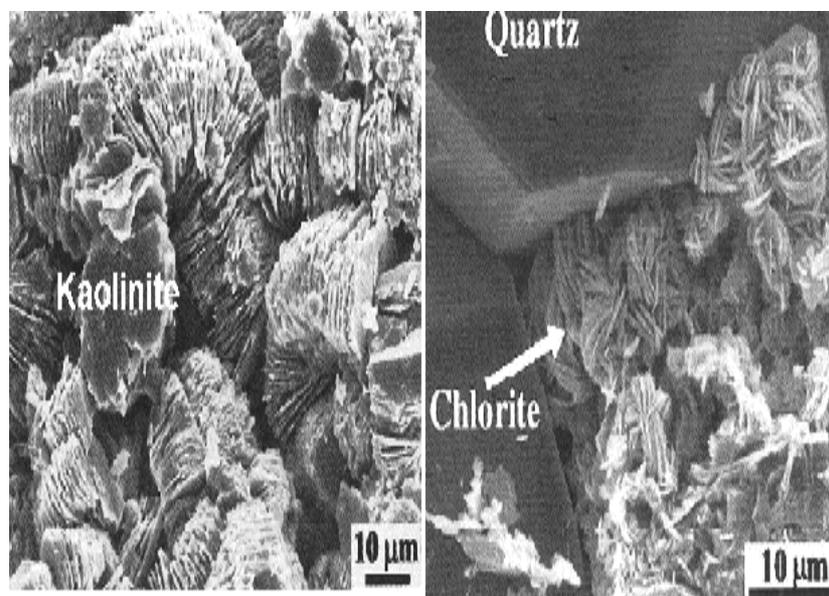


Figure I.4 : Cristaux de chlorite et de kaolinite vus au microscope électronique à balayage

I.4.1. Types de minéraux argileux

Les argiles sont formées à partir d'éléments structuraux élémentaires :

- Les tétraèdres de silice (SiO_4) : un feuillet de tétraèdre est une combinaison d'unités tétraédriques de silice composées de quatre atomes d'oxygène entourant un atome de silicium (figure I.5.1.)

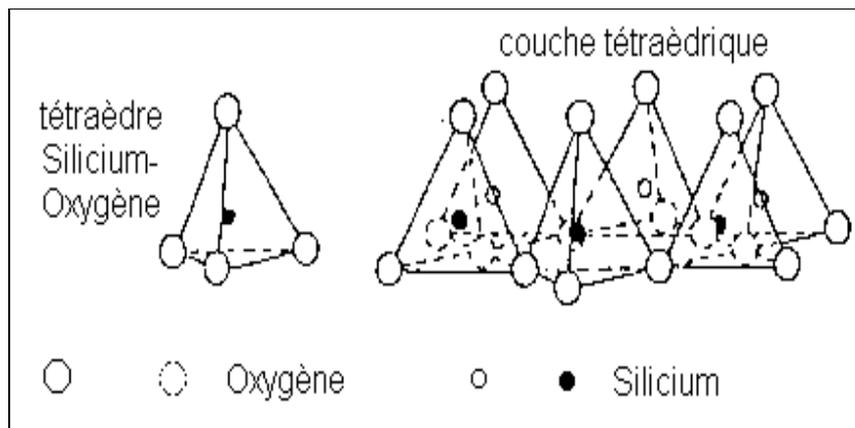


Figure I.5.1 : Eléments structuraux : les tétraèdres (Eslinger & Peaver, 1988)

- Les octaèdres d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_6$) : un feuillet d'octaèdre est une combinaison d'unités octaédriques composées de six atomes d'hydroxyle entourant un atome d'aluminium (figure I.5.2).

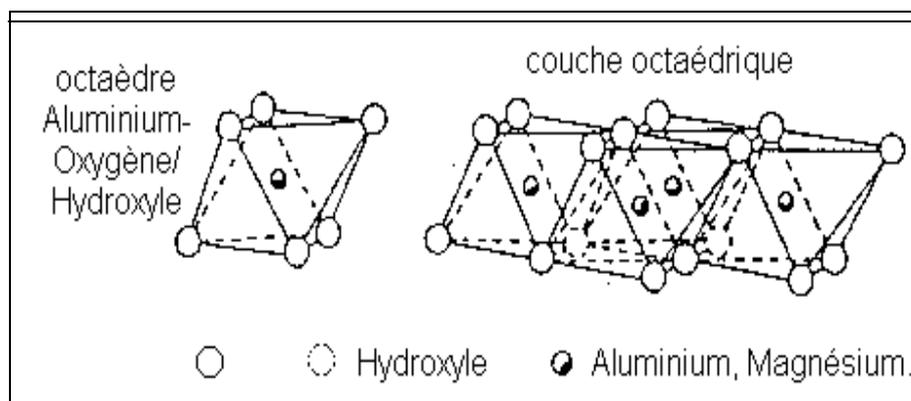


Figure I.5.2 : Eléments structuraux : les octaèdres (Eslinger & Peaver, 1988)

Ces éléments structuraux sont associés en deux types de feuillets tétraédriques et octaédriques et reliés entre eux par la mise en commun d'oxygènes.

Les substitutions d'atomes sont fréquentes dans les feuillets : l'aluminium remplace le silicium dans les tétraèdres, le magnésium ou le fer remplace l'aluminium dans l'octaèdre.

Il est possible de distinguer les types de minéraux argileux à partir des critères suivants :

- Le nombre de couches d'octaèdres et de tétraèdres dans le feuillet élémentaire (une ou deux).
- L'équidistance entre deux feuillets dans les conditions naturelles.
- La variabilité de l'équidistance entre deux feuillets sous l'action de traitements variés.

Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de leurs couches tétraédriques et octaédriques représentés sur la figure I.6.

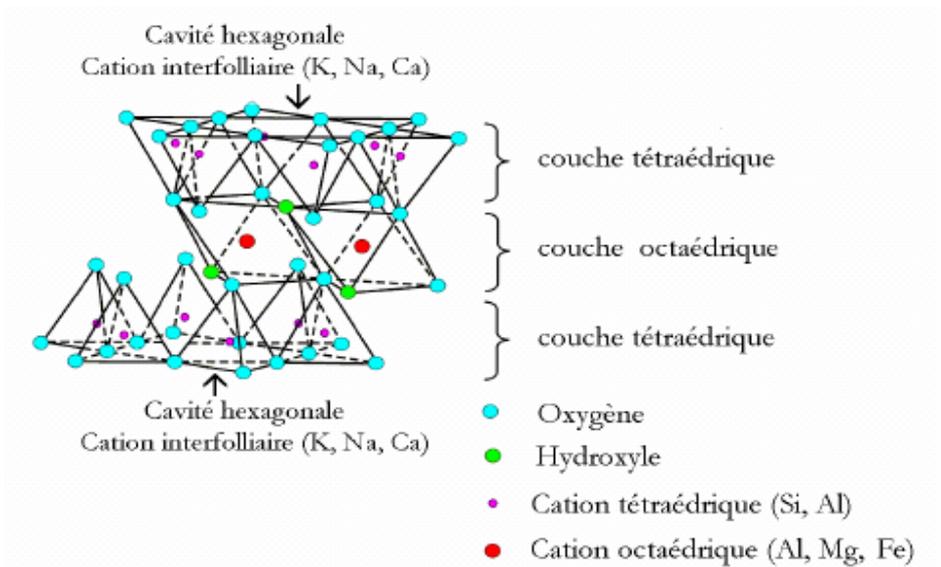


Figure I.6 : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2/1 [Luckharm et Rossi (1999)] [In 11]

L'organisation structurale des phyllosilicates est basée sur une charpente d'ions O^{2-} et OH^- [12]. Ces anions (O^{2-} et OH^-) occupent les sommets d'assemblages octaédriques tandis que les sommets d'assemblages tétraédriques sont occupés par O^{2-} . Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires viennent se loger des cations de tailles variables (Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}) en position tétraédrique ou octaédrique [10][11].

I.4.2 Classification des minéraux argileux

L'arrangement de deux types de feuillets et leurs différentes combinaisons (T.O ; T.O.T ; T.O.T.O), le remplacement partiel de la silice dans le feuillet tétraédrique et/ou de l'aluminium dans le feuillet octaédrique, la nature du cation (Na, Ca , K ...) qui compense la charge des feuillets, conduisent à distinguer entre les différents groupes d'argiles : les kaolinites (serpentines), les micas (illites), les smectites et les chlorites.

Chaque groupe minéralogique se caractérise par une structure en couches avec divers cations remplissant l'espace interfoliaire (voir figure I.7).

Les trois structures principales sont :

1. Les minéraux T.O ou 1/1 sans inter feuillet, l'équidistance basale est alors de 7,1Å° (la kaolinite). Avec de l'eau comme inter feuillet, l'équidistance basale est de 10,1Å° (l'halloysite)
2. Les minéraux T.O.T ou 2/1 sans inter feuillet, l'équidistance basale varie de 9,2 à 9,3Å° (la pyrophyllite). Avec un inter feuillet constitué de cations, l'équidistance de base est de 10Å° (les micas). Avec des cations alcalins, l'équidistance basale varie de 14 à 15Å° (les vermiculites et les smectites).
3. Les minéraux T.O.T.O ou 2/1/1 avec un inter feuillet constitué d'octaèdres de type brucite, l'équidistance basale est de 14,2Å° (les chlorites)

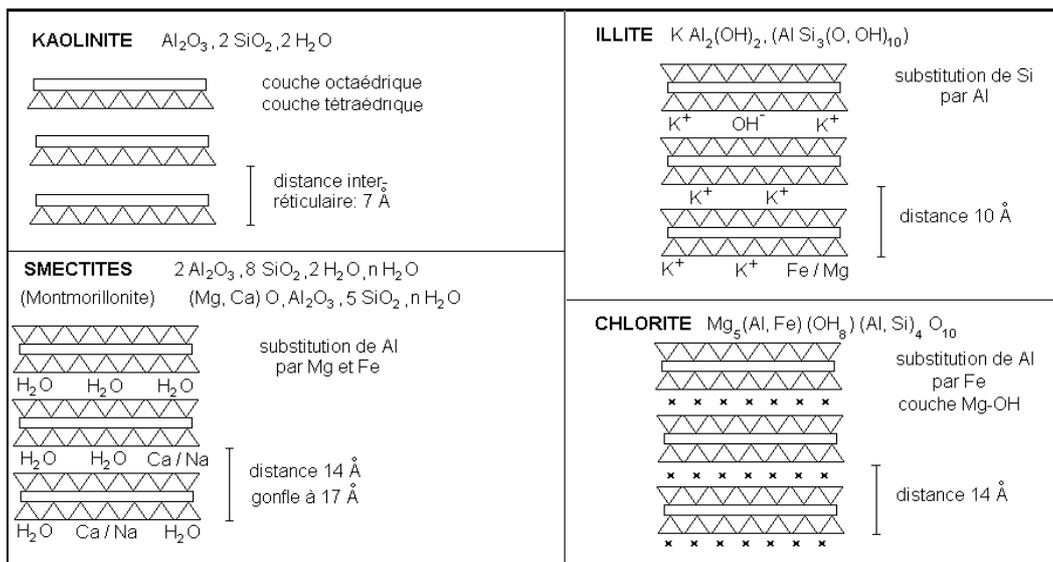


Figure I.7 : Structure des minéraux argileux

La figure I.8.1 reprend une classification complète des familles argileuses, incluant les minéraux amorphes, les minéraux présentant des feuillets discontinus ou pseudo-feuillets (argiles fibreuses) ainsi que les minéraux argileux inter stratifiés [12].

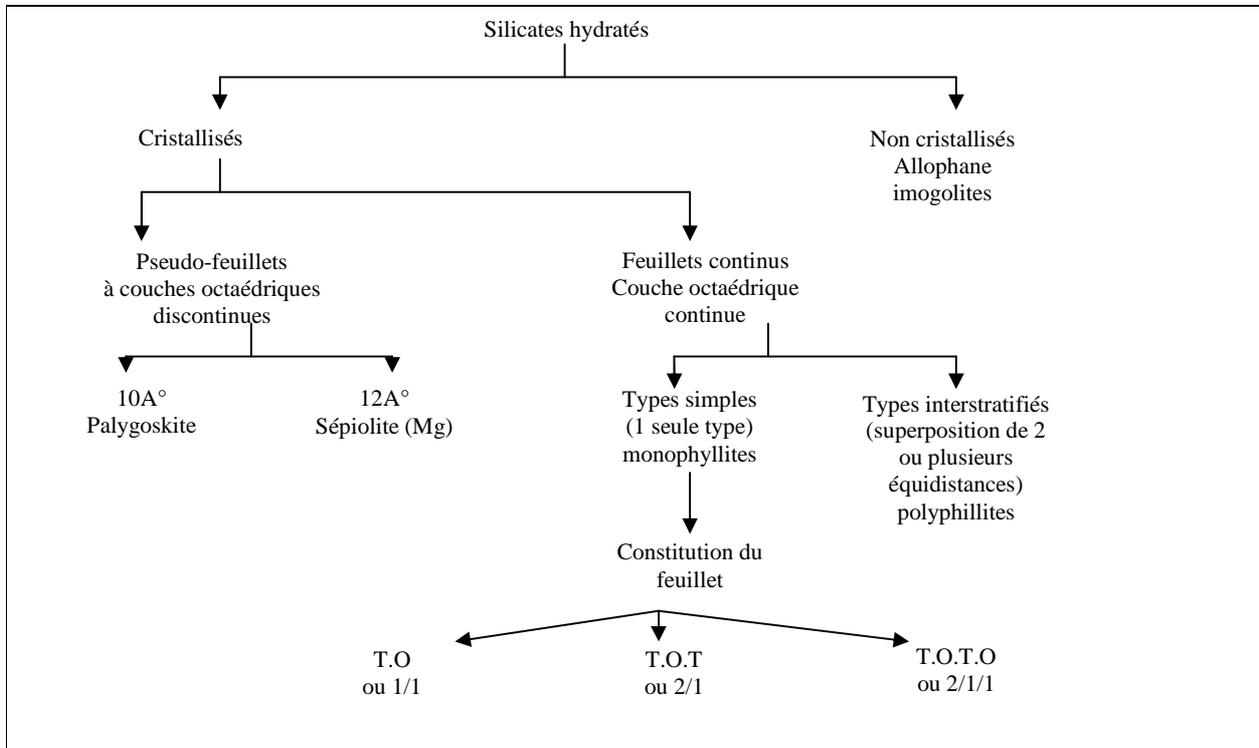


Figure I.8.1 : Classification générale des minéraux argileux [12]

La plupart des groupes de minéraux argileux se divisent en deux sous-groupes principaux : les minéraux dioctaédriques (si le remplacement est assuré par deux cations trivalents comme Fe^{3+} ou Al^{3+}) et les minéraux trioctaédriques (si les six valences négatives de l'octaèdre sont remplacées par trois cations divalents tels que Fe^{2+} ou Mg^{2+}).

On peut également inclure dans la classification les données structurales en distinguant entre les deux caractères dioctaédrique et trioctaédrique d'une part et le nombre de couches octaédriques et tétraédriques qui déterminent l'épaisseur du feuillet d'autre part.

La figure I.8.2 représente le groupe des kaolinites serpentines. Ce groupe combine un feuillet tétraédrique (T) et un feuillet octaédrique (O) (minéraux T.O ou 1/1) et se caractérise par un peu de substitutions cationiques. L'espace basal est de 7Å .

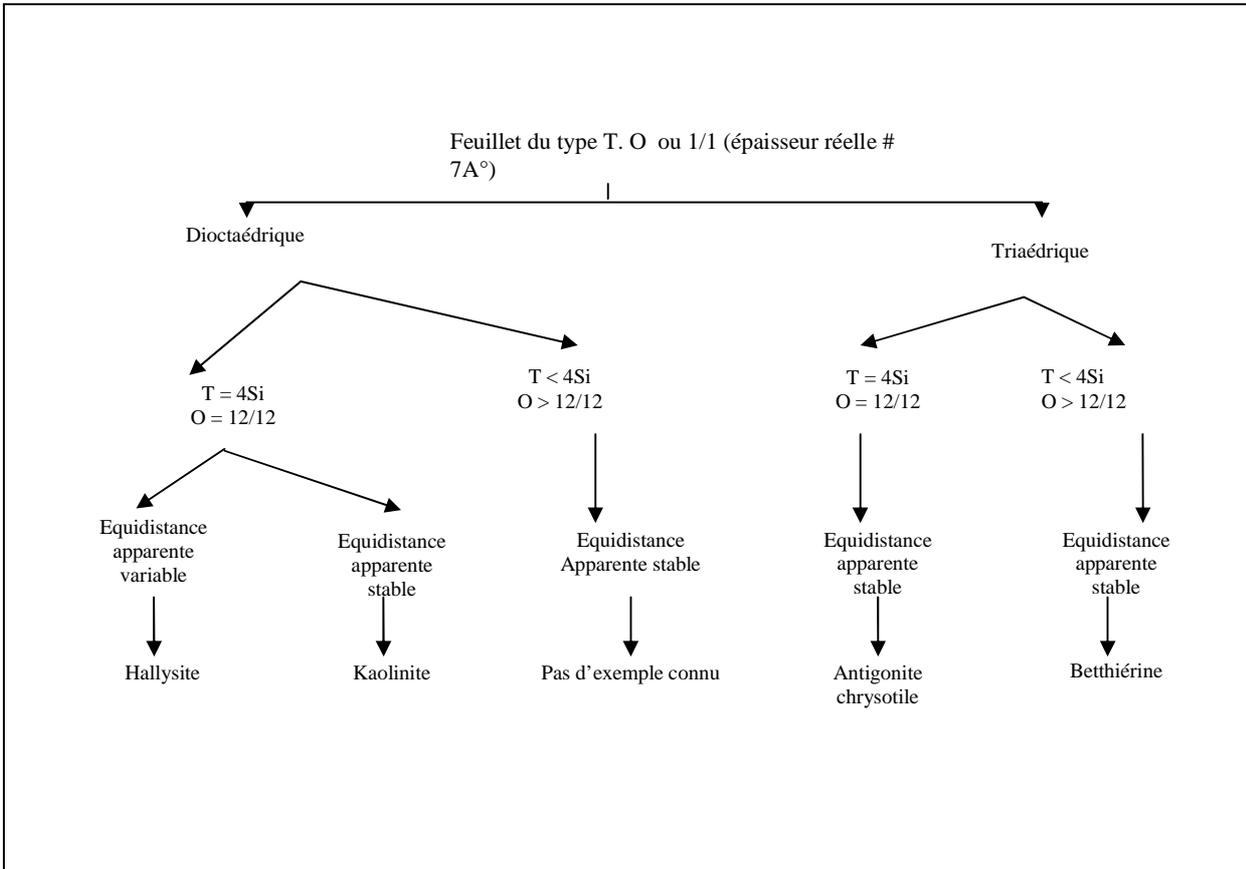


Figure I.8.2 : Feuillet du type T.O ou (1/1) épaisseur réelle 7 A°

Les figures (I.8.3) et (I.8.4) représentent les minéraux T.O.T (2/1). Leur structure est composée de deux couches tétraédriques et une couche octaédrique avec la seconde couche T renversée par rapport à la première. L'espace basal est de 10A°.

Les minéraux trioctaédriques (figure I.8.3) incluent des minéraux comme la phlogopite, le talc, vermiculite et quelques espèces peu importantes en tant que minéraux argileux.

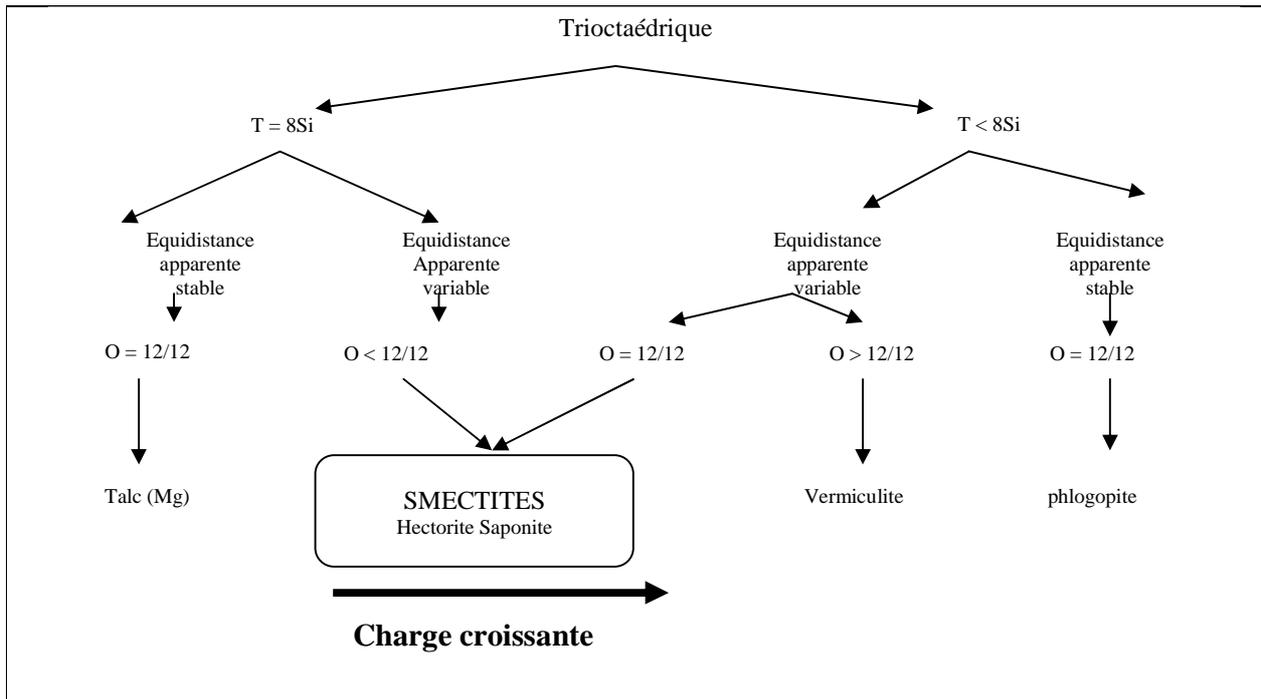


Figure I.8.3 : Feuillet du type T.O.T (2/1) Trioctaédrique, épaisseur réelle : 10\AA

Les minéraux 2/1 de type dioctaédrique (figure I.8.4) regroupent différentes espèces : micas dioctaédriques, vermiculites et smectites.

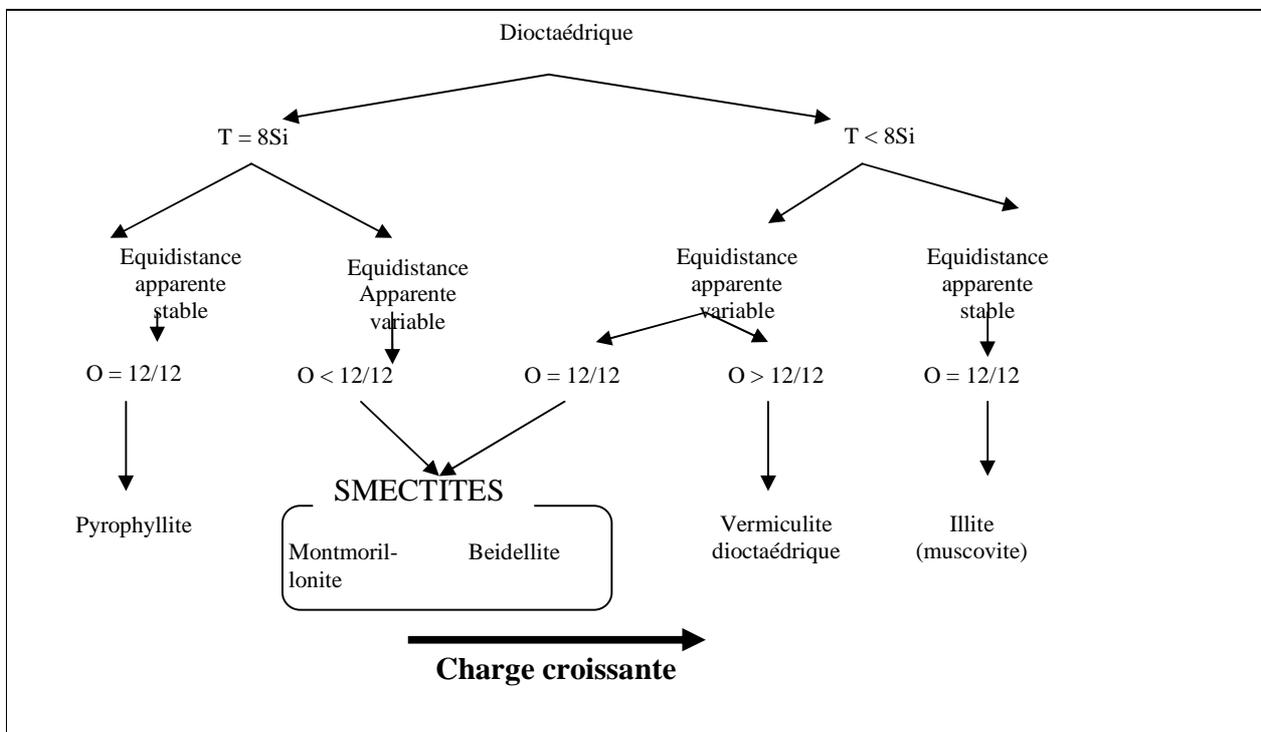


Figure I.8.4 : Feuillet du type T.O.T (2/1) (Dioctaédrique), épaisseur réelle : 10\AA

Les minéraux T.O.T.O. (2/1/1) représentent le groupe des chlorites. L'espace basal caractéristique atteint 14\AA . Les chlorites sont stables à haute température. Leur stabilité thermique s'explique par la liaison forte existant entre les hydroxyles.

I.4.3. Familles des minéraux inter stratifiés

Le minéral inter stratifié régulier est formé de l'empilement régulier de feuillets de minéraux argileux simples différents (par exemple A-B-A-B-A-B...).

Un inter stratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des différents types de feuillets est aléatoire, c'est-à-dire qu'il ne dessine aucune séquence répétitive (Tableau I.2) [13].

Tableau I.2 : Minéraux inter stratifiés naturels les plus courants

Type d'inter stratification	
Alternance régulière Système à deux composés	Muscovite-montmorillonite
	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Chlorite-smectite
	Chlorite-vermiculite
	Mica-vermiculite
	Serpentine-chlorite
	Kaolinite-smectite
Alternance de type ABAA Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
Alternance aléatoire Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Mica-vermiculite
	Mica-chlorite
	Smectite-chlorite
	Kaolinite-smectite
Système à trois composés	Illite-chlorite-smectite
	Illite-smectite-vermiculite

I.5. Propriétés physico-chimiques des argiles

Les propriétés bien particulières des minéraux argileux méritent bien d'être soulignées. Elles sont plus ou moins affirmées en fonction des familles argileuses.

I.5.1. Plasticité

Cette propriété traduit la malléabilité bien connue des matériaux argileux. Ce qui veut dire que l'argile est capable de se déformer à l'échelle macroscopique sous l'action d'une force externe.

I.5.2. Bonne capacité de compaction

Cela signifie qu'on peut obtenir des matériaux, de formes variées et de grande densité en comprimant la pâte d'argile dans un moule.

Il y'a aussi à souligner d'autres propriétés des minéraux argileux qui sont dues à leur forme et à leur surface spécifique, leur capacité d'échange cationique et leurs possibilités d'adsorption d'eau.

I.5.3. Forme et surface spécifique

Les argiles se présentent sous une forme aplatie et elles se trouvent en aiguilles (assez rares) ; en lattes et en flocons (figure I.9).

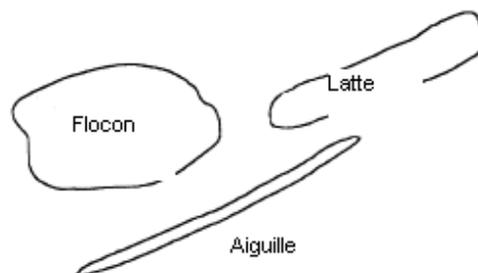


Figure I.9 : Forme des particules argileuses

La petite taille des particules argileuses et leurs formes particulières confèrent aux argiles une surface spécifique importante. D'après de nombreux auteurs (Bolt ; 1956, Giroud et Bottero ; 1972) [In 9], la dimension des particules est définie par le concept de surface spécifique.

La surface spécifique des argiles est très grande et elle varie suivant la nature des cations compensateurs qu'elle comporte. Les capacités d'hydratation sont proportionnelles à la surface spécifique. Cette dernière est exprimée par la relation :

$$S_s = \frac{S}{P}$$

S_s : surface spécifique

S : surface totale de l'ensemble des grains constituant l'échantillon

P : son poids propre

Les tableaux I.3 et I.4 donnent les surfaces spécifiques des particules argileuses

Tableau I.3 : Vue en coupe des minéraux argileux les plus communs [10]

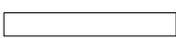
Le minéral	Vue en coupe
Montmorillonite	
Illite	
Chlorite	
Kaolinite	

Tableau I.4 : Surface spécifique des particules argileuses [10]

Argile	Surface spécifique		
	Interne	Externe	Total
Smectite	750	50	800
Vermiculite	750	<1	750
Chlorite	0	15	15
Kaolinite	0	15	15
Illite	5	25	30

I.5.4. Degré d'hydratation

L'eau exerce une influence remarquable sur les argiles. La variation de la teneur en eau se traduit par une augmentation de la limite de plasticité.

Atterberg (pédologue suédois) définit en 1911 les différents états d'un sol en fonction de sa teneur en eau laquelle marque le passage d'un état à un autre. Les deux limites utilisées sont : la limite de liquidité (w_l), la limite de plasticité (w_p) et l'indice de plasticité (I_p) (figure I.10) [14].

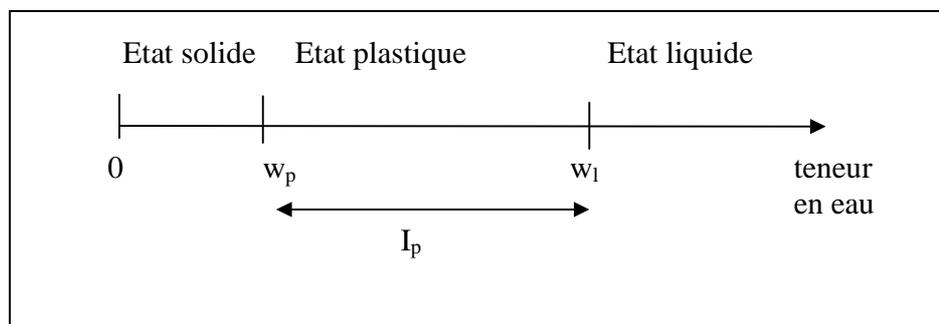


Figure I.10 : Représentation des limites d'Atterberg

Dans la nature les particules argileuses sont toujours plus ou moins hydratées. Chaque cristal est entouré par des couches d'eau que nous appelons eau adsorbée.

L'eau est une molécule dipolaire. Les feuillets d'argile qui sont chargés négativement à leur base attirent la charge positive du dipôle de cette molécule. Ainsi une première couche d'eau si fortement liée se forme et que nous considérons généralement comme rigide. Les extrémités négatives de ces dipôles peuvent à leur tour capter la partie positive d'autres dipôles d'eau et ainsi de suite (eau faiblement liée).

La théorie de Gouy et Chapman postule que la particule argileuse et l'eau qui l'entoure peuvent être assimilées à une double couche : l'une d'elle est représentée par l'ensemble de la particule argileuse avec la mince couche d'eau adsorbée (se comportant ainsi comme une couche unique) et l'autre est représentée par le reste d'eau faiblement liée.

I.5.5. Capacité d'échange cationique

La charge négative des particules argileuses est compensée par l'adsorption de cations, essentiellement le sodium et le calcium dans le cas des smectites.

Ces cations sont localisés sur les surfaces externes des particules ainsi qu'entre les feuillets et ils peuvent être échangés par d'autres cations présents dans le système. Par contre pour les illites, la charge est majoritairement compensée par le potassium dans l'espace inter feuillet liant très étroitement les feuillets entre eux et empêchant ainsi le minéral de gonfler en présence d'eau. Le potassium constitue par conséquent un cation difficilement échangeable. Il s'agit pour cette propriété de mesurer la capacité d'une argile à échanger des cations. Ces cations attirés à la surface des particules sont entourés d'une coquille d'eau.

Les cations peuvent être substitués par d'autres et la valence est toutefois le facteur déterminant dans la capacité d'échange cationique. Les cations de valence plus élevée peuvent remplacer facilement les cations de valence plus faible. Il s'établit un classement par ordre de capacité de substitution croissante tel que : $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{H}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ \ll \text{Mg}^{++} < \text{Ca}^{++} \ll \text{Al}^{+++}$

Ces diverses possibilités d'échanges cationiques sont à la base d'essais pour amélioration des caractéristiques mécaniques de l'argile [15].

I.6. Forces existantes entre les particules argileuses

Les forces de liaison entre feuillets sont nombreuses et d'une nature très complexe. Diverses substitutions des cations peuvent avoir lieu et elles interviennent sur certaines caractéristiques qui sont les capacités d'échanges cationiques et les forces de liaison.

Les forces d'attraction, de répulsion et de friction inter- particulaires en milieu aqueux sont les composantes de base de comportement mécanique, macroscopique des suspensions colloïdales. Une analyse théorique d'interactions entre particules colloïdales a été développée par Derjaguin et Landau (1941) et Verwey et Overbeek (1948) [In 11]. La théorie DLVO (Initiales des noms des auteurs) décrit les interactions entre colloïdes comme compétition des forces répulsives développées par les doubles couches électriques et les forces attractives de Van Der Waals. Cette théorie permet de rendre compte de la stabilité des systèmes eau-argile.

Dans le cadre de la compréhension des différents types d'attraction entre les feuillets d'argile, nous allons donner le résumé donné par Gûven et Pollastro (1992) et par Besq (2000) et Leyama (2001) [In 11] :

1. Le mouvement Brownien et la diffusion :

Il est caractérisé par l'ensemble des mouvements aléatoires qui tendent à éloigner de leur position initiale les particules solides en suspension dans un fluide. Ce phénomène est issu de l'agitation des molécules du fluide qui entrent en collision avec les particules solides.

2. Les forces de répulsion de Born :

Elles proviennent lorsque les particules sont séparées par de courtes distances (0.1nm). Elles résultent de l'impossibilité de recouvrement des nuages électroniques et ont pour rôle d'empêcher un contact trop étroit entre les particules.

3. Les forces de Van der Waals :

Ces forces d'attraction résultent des fluctuations thermodynamiques du champ électromagnétique à l'intérieur et autour des particules. Elles sont liées aux interactions entre dipôles fluctuants. Même les atomes ou les molécules non polaires possèdent un dipôle instantané créé par les mouvements des électrons. Ce dipôle génère un champ électrique qui polarise n'importe quel atome environnant devenant alors un dipôle induit.

4. Les forces osmotiques (répulsion de la double couche) :

Ce sont les forces de répulsion provenant du rapprochement de deux surfaces chargées de même signe (leur double couche est de même signe également). L'énergie répulsive produite par ces forces conduit à une barrière d'énergie limitant l'agrégation des particules.

5. Les forces de solvation et d'interaction stérique :

Puisque les modèles classiques utilisés pour décrire les forces de Van der Waals et les forces osmotiques ne tiennent pas compte de la taille des molécules du solvant et donc de la nature du milieu de séparation des particules aux petites distances. Le solvant (l'eau) interagit spécifiquement avec la surface et les ions (effets stériques et physicochimiques). Un type particulièrement important d'interaction stérique peut être évoqué, il s'agit des particules argileuses ayant adsorbé des polymères [11].

L'effet stérique est l'influence de l'encombrement des groupes et des atomes constituant une molécule sur les interactions qu'elle peut avoir avec d'autres.

La solvation est l'agrégation de molécules du solvant avec des ions du corps dilué.

I.7. Définition des pâtes argileuses

On définit la pâte argileuse en introduisant la notion de plasticité des terres argileuses. Les argiles à grains relativement grossiers sont particulièrement plastiques, aussi la forme des grains et autres particularités comme la présence de matières organiques influencent sur cette plasticité. La simple présence de carbone accroît la plasticité d'une argile [16].

Le terme "terre plastique" désigne une terre qui se distingue des autres terres par le pouvoir d'être modelée et de conserver la forme qu'on lui donne.

La pâte argileuse résulte d'un mélange plus ou moins homogène. En fonction de la concentration de la phase solide dans ce mélange, il peut y'avoir contact dynamique entre les particules solides. La pâte peut se trouver dans divers cas en fonction de la teneur en eau (liquide, plastique, solide).

Les phases liquides et solides dans les argiles sont indissociables : les molécules d'eau font partie des particules argileuses à des degrés divers suivant l'intensité de leurs forces de liaison.

Les modes d'association des particules argileuses adoptent soit un état aggloméré, soit un état dispersé. En termes de concentration d'argile et lorsque cette dernière est faible (suspension très diluée), les particules d'argile ne se présentent pas associées. Cet état stable est expliqué par l'absence d'interaction entre les particules car les doubles couches électroniques des feuillets se repoussent mutuellement.

Pour de plus fortes concentrations en argile, trois différentes formes d'association des particules peuvent prendre place lors de floculation ou de la suspension.

Ces différents modes d'organisation ont été décrits par Van Olphen ,1964. Ils sont reproduits schématiquement sur la figure I.13.

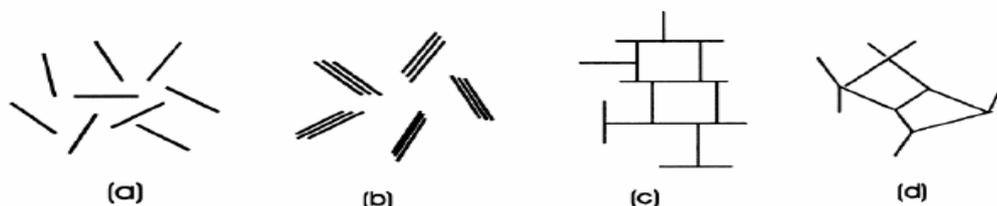


Figure I.11 : Modes d'associations supposés des feuillets d'argiles en suspension : (a)dispersion, (b) agrégation face-face, (c) association bord-face, (d) association bord-bord [d'après Van Olphen (1964)] [In 11]

I.8. Applications des matières argileuses

Les argiles sont des minéraux naturels utilisés par l'homme depuis des millénaires du fait de leurs abondance et de leurs propriétés remarquables qui les destinent à de multiples applications : matériaux de construction, produits céramiques, moules pour la métallurgie, extraction pétrolière, agriculture, santé, cosmétique, poterie, textile, matière plastique...

La brique est un bloc de céramique utilisé pour la construction et les revêtements décoratifs. On distingue les briques crues, séchées au soleil, des briques cuites dans des fours (briqueteries). Elles sont généralement bon marché, résistent à l'humidité et à la chaleur, et peuvent durer plus longtemps que la pierre. Leur couleur varie selon l'argile employée. Elles peuvent être revêtues d'une pâte colorée (briques vernissées) à fonction décorative. Certaines briques d'argile réfractaire servent pour le revêtement des conduits de cheminées ou les fours. D'autres types comprennent les briques en verre et les briques texturées ou vitrifiées. C'est un matériau courant, facile à mettre en œuvre, la brique ordinaire s'emploie pour les murs intérieurs, en parement ; on préfère une brique plus imperméable et moins gélive pour les murs extérieurs. La brique est l'un des matériaux de construction le plus utilisé dans le monde. Elle est facile à fabriquer, résistante, durable et elle s'est toujours adaptée à l'évolution de la construction et à ses impératifs.

Elle est aussi très demandée pour les avantages qu'elle présente : d'une part par sa caractéristique de bon isolant et d'autre part ses déchets de fabrication peuvent être valorisés ou recyclés.... On estime toutefois que son utilisation ne cessera de croître dans les années à venir.

I.9. Procédé de fabrication de la brique

Le processus de fabrication de la brique reste toujours le même et il n'a fondamentalement pas changé malgré la diversité de ses formes et le type d'argile utilisée. L'extraction et la préparation de l'argile, le moulage, le séchage et la cuisson de la brique demeurent les cinq étapes-clés du procédé de fabrication [1][17].

I.9.1. Extraction

L'extraction se fait à ciel ouvert dans la carrière à l'aide de pelles mécaniques, d'excavateurs, de bulldozers, de pelles chargeuses ou encore des explosifs quand l'argile est trop dure.

Après l'élimination de la découverte, la terre est extraite et transportée à l'usine à l'aide des wagonnets téléphériques, de camions, de bandes transporteuses selon la distance. Elle sera mise dans un lieu de stockage pour pourrissage car l'argile contient des débris organiques nuisibles à la qualité du produit fini et nous ne pouvons l'éliminer que par l'action bactériologique. Un tas bien conçu permet une première uniformisation de la matière.

I.9.2. Préparation de la matière première

La préparation comprend deux opérations principales :

I.9.2.1 Le broyage et le malaxage

Cette phase préparatoire très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales qui tournent et qui pressent l'argile au travers d'un fond perforé formant un tamis ou encore dans un broyeur à cylindres horizontaux où l'argile est laminée. Cette opération est effectuée dans le but de rendre l'argile bien homogène et lui donner la plasticité nécessaire pour le moulage. Certaines usines effectuent le stockage des terres en silo ou en fosse (d'où le nom d'enfossage pour désigner cette pratique). Les terres, après avoir subies un début de préparation (fragmentation et broyage), sont stockées durant 2 à 4 semaines.

L'intérêt d'une telle opération est de constituer un stock de sécurité en cas d'impossibilité temporaire d'exploiter la carrière.

I.9.2.2 Le dosage et le mélange

Cette opération s'effectue dans des machines à doser. Elles sont constituées de réservoirs ou silos contenant les différents éléments qui alimentent régulièrement à des proportions requises des mélangeurs assurant ainsi la mixture intime et homogène de la pâte.

Le but du mélange est d'obtenir une pâte suffisamment plastique et homogène pour permettre de façonner, de sécher et de cuire les produits dans des conditions optimales. Par ailleurs les argiles demandent d'autant plus d'eau pour le façonnage qu'elles sont plus plastiques : les argiles très plastiques renferment environ 20 à 30% d'eau et les argiles peu plastiques 15 à 20%. Ainsi la pâte est amenée à la plasticité voulue par un apport d'eau -à la limite du collage aux doigts- . La plasticité est la propriété que possède l'argile de pouvoir être, sans rupture, déformée sous un certain effort et de garder la forme acquise quand cet effort est éliminé.

La figure I.12.1 montre les opérations ; de l'extraction jusqu'au dosage du mélange.

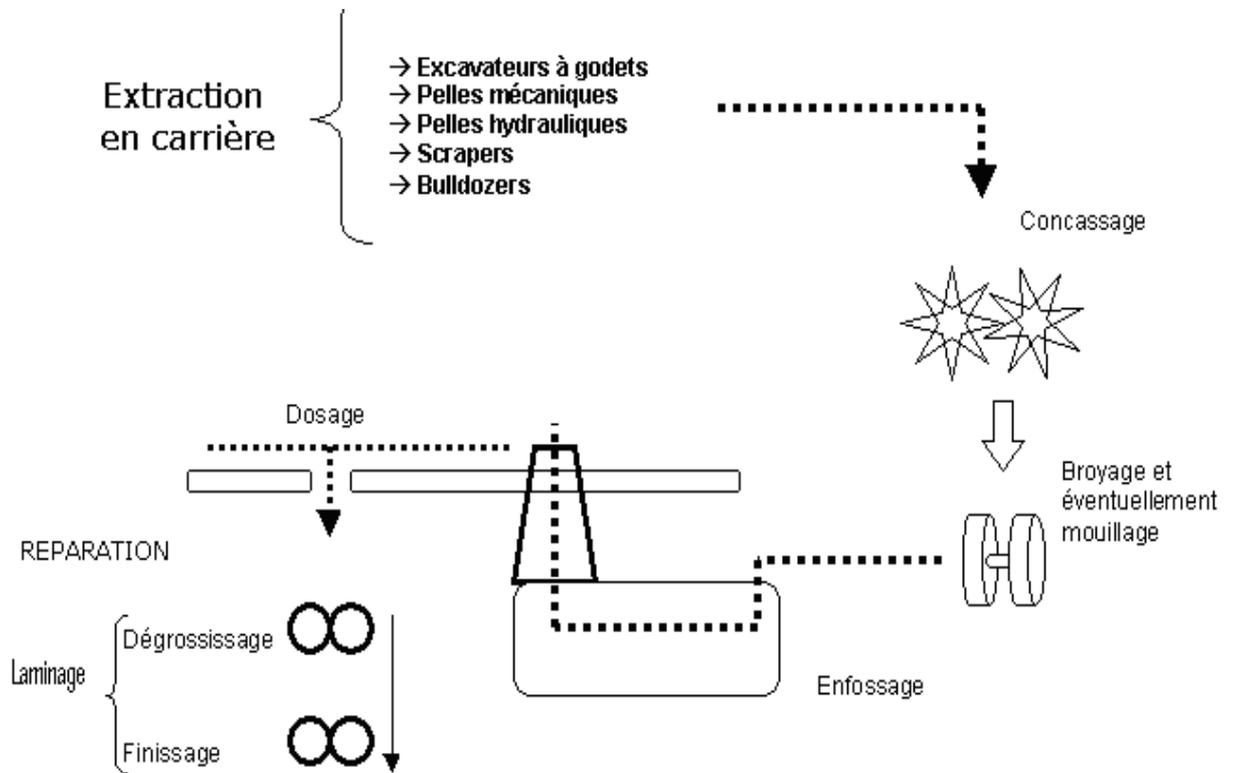


Figure I.12.1 : Opérations ; depuis l'extraction d'argile jusqu'au dosage du mélange

I.9.3. Façonnage des produits

On utilise principalement deux procédés pour la mise en forme des produits de terre cuite : l'étirage et le pressage (figure I.12.2.)

Une fois la pâte est préparée, il faut lui donner des formes appropriées. La brique dite ordinaire est fabriquée par étirage. L'étirage correspond, en fait à un processus d'extrusion. Le pressage peut intervenir directement ou, dans la majorité des cas, en complément de l'étirage.

Certaines briques pleines sont directement formées par pressage d'une terre relativement maigre dans un moule métallique.

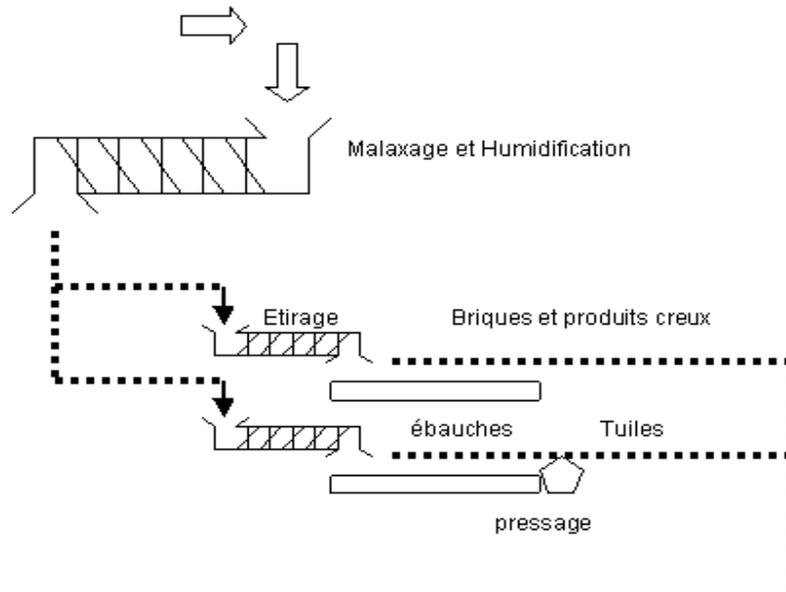


Figure I.12.2 : Opération de façonnage des produits [18]

I.9.4. Séchage

Avant de passer à la cuisson, les briques crues doivent perdre une bonne partie d'eau. Le séchage a pour but d'éliminer lentement l'eau de moulage sans déformer le produit (figure I.12.3.).

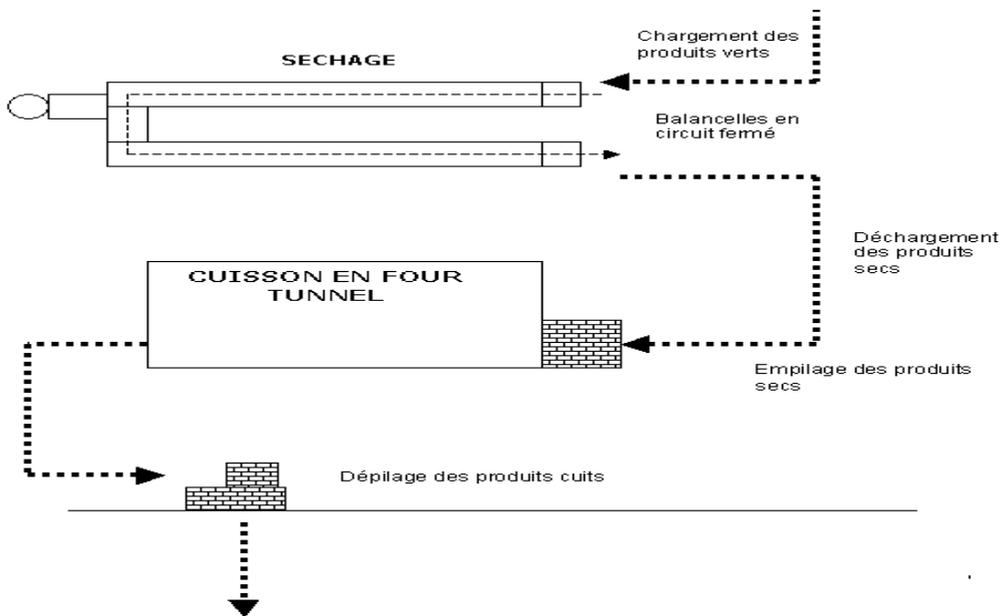


Figure I.12.3 : Opérations de séchage et de cuisson des produits

Il existe deux procédés de séchage :

I.9.4.1. Le séchage naturel :

Les produits sont exposés dans des hangars à l'air libre. C'est un processus très long à réaliser et il comporte de sérieux risques. Les hangars protègent bien de la pluie mais pas à de basses températures. Il suffit d'un gel pour voir toute la production perdue.

Le séchage naturel se fait sous 3 km de hangars ouverts. Les briques y restent "un certain temps" au minimum une semaine en été et au maximum 8 mois pour celles qui ont été moulées en hiver et enfermées au cœur d'un hangar et qui seront cuites au printemps suivant.

Ce séchage très long à réaliser est très irrégulier. Actuellement il est abandonné.

I.9.4.2. Le séchage artificiel :

Il s'effectue dans des installations permettant d'assurer à la fois un chauffage progressif et une ventilation régulière. Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où circule un train de wagonnets transportant des briques crues à sécher, dans le sens inverse de l'air chaud d'une manière régulière et rapide.

La durée de l'opération de séchage est très variable. On distingue deux groupes de séchoirs :

- Les séchoirs statiques ou séchoirs à chambres à grande ventilation (temps de séchage de 11 à 72h) (figure I.13-1).
- Les séchoirs à circulation continue des produits (temps de séchage de 1 à 48h) ; ces séchoirs peuvent être classés en 03 catégories :

1. Les séchoirs tunnels traditionnels : ils sèchent en des temps variant de 12 à 48h. Ils ont une ventilation longitudinale ou transversale (figure I.13.2).

2. Les séchoirs semi-rapides : ils sèchent en 3 à 12h.

3. Les séchoirs rapides : ils sèchent en 1 à 3h.

Ces variations de temps pour chaque catégorie dépendent de l'argile employée ainsi que du type de produits fabriqués.

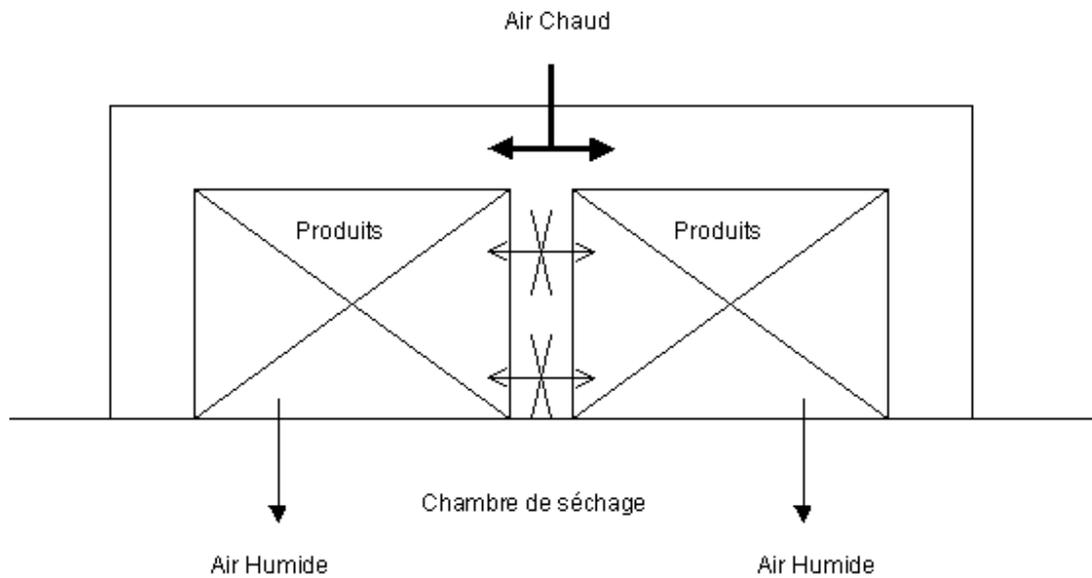


Figure I.13.1 : Séchoir compartimenté en chambres

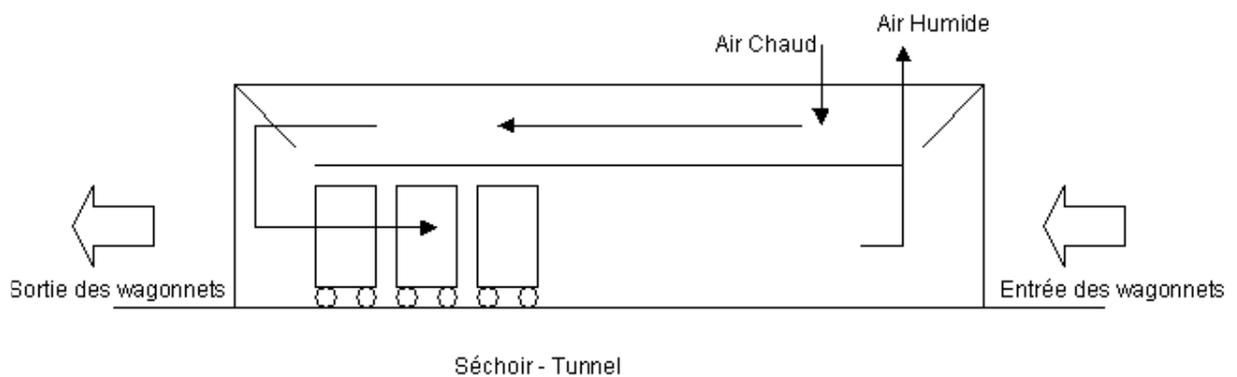


Figure I.13.2 : Séchoir tunnel

I.9.5. Cuisson

C'est la dernière opération que les produits façonnés et séchés doivent subir pour avoir finalement les briques en terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler progressivement dans le four. Ce dernier est chauffé progressivement jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 900°C et 1050°C selon l'argile utilisée) ensuite il se refroidit graduellement.

Il existe une diversité de fours qu'on peut classer en deux catégories :

1. Les fours discontinus où le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu et son extinction à la fin de la cuisson.
2. Les fours continus où le chargement est introduit et extrait du four selon un cycle régulier et ininterrompu.

Le four le plus utilisé actuellement est le four tunnel (figure I.14). Dans celui-ci les produits sont chargés dans des wagonnets qui parcourent un tunnel rectiligne et passent successivement par une zone d'échauffement (une zone de cuisson) où se trouve le foyer fixe et une zone de refroidissement [18].

La durée de la cuisson varie de 18 à 48h selon le type de produit (figure I.14).

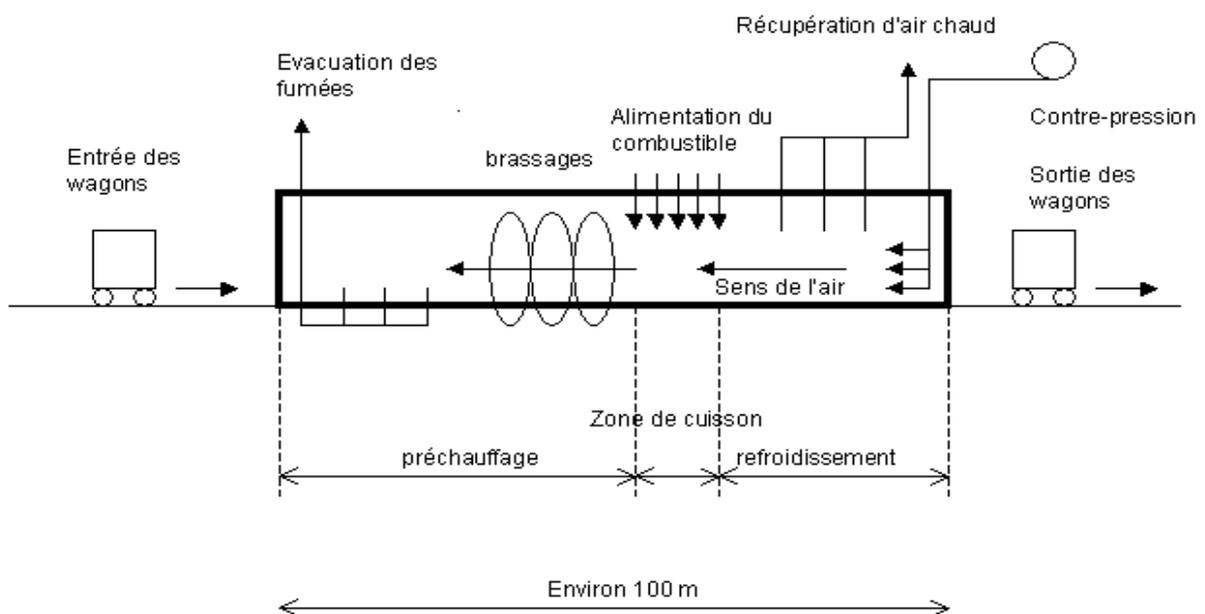


Figure I.14 : Four tunnel

I.10. Formes des briques

Il existe plusieurs types de briques de terre cuite : la brique alvéolaire, la brique pleine et la brique réfractaire pour des utilisations plus spécifiques (hautes températures). Notons que la brique alvéolaire se distingue pour ses performances accrues en matière d'isolation (figure I.15).

I.10.1. Les briques pleines :

Les briques pleines sont, comme leur nom l'indique, entièrement "fermées". Elles sont soit directement moulées à la presse soit à la filière.

I.10.2. Les briques de parement :

Une fois les briques pleines sont obtenues à la presse ou à la filière, on les laisse sécher légèrement puis on les fait passer encore une fois à la presse. On obtient ainsi des briques plus compactes avec des arrêtes vives.

I.10.3. Les briques creuses :

La pâte est comprimée avant de la passer dans la filière. Les étireuses ou les meuleuses utilisent des palettes, des pistons, des cylindres ou des hélices pour la compression de l'argile.

Ce sont des briques comportant des alvéoles représentant globalement plus de 40 % de la section totale. Les plus courantes ont des alvéoles parallèles à la grande face.

I.10.4. Les briques perforées :

L'étireuse permet une production rapide ; elle est parfaitement adaptée au façonnage de briques perforées. On incorpore à la filière des noyaux qui réalisent diverses perforations dans le pain de la pâte d'argile pour obtenir ainsi un produit plus léger perforé à des dimensions variables. Ce sont des briques comportant des alvéoles perpendiculaires aux grandes faces dont le total des sections représente moins de 40 % de l'aire de la grande face.

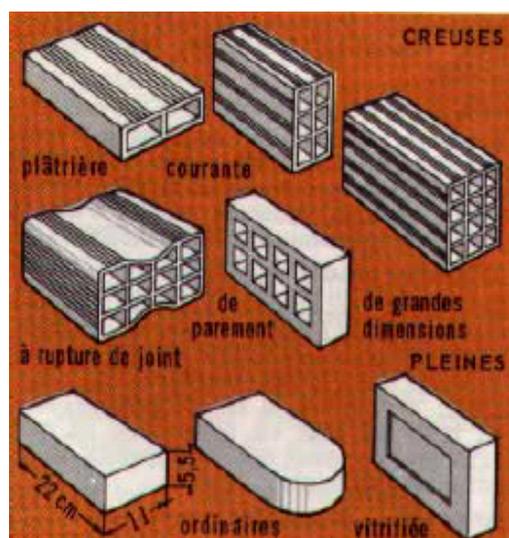


Figure I.15 : Différents modèles de briques [20]

I.11. Conclusion

L'amélioration de la qualité des briques passe nécessairement par une connaissance fine des terres utilisées. C'est dans ce contexte qu'une recherche générale sur les argiles a été menée pour mieux connaître ce matériau.

Le plus important à relever dans cet exposé est sans doute la subsistance de l'argile non seulement comme matière première mais aussi comme matériau dans la construction.

Ayant donné au préalable la définition de l'argile : matière première pour la fabrication de la brique de construction, il nous est apparu logique de décrire le processus de fabrication de cette brique qui est un passage inévitable dans l'élaboration du produit fini.

Chapitre II

CARACTERISTIQUES DES AJOUTS UTILISES

Caractéristiques des ajouts utilisés

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous ferons l'état de la valorisation des résidus organiques dans la construction d'une façon générale en mettant l'accent sur les ajouts utilisés. Il s'agit de deux résidus organiques : les grignons d'olive et le foin. Par la suite nous présenterons les constituants pariétaux (cellulose, lignine, hémicellulose) de ces résidus pour enchaîner par une explication sur l'interaction qui existe dans le système (argile-eau-additif organique). Une recherche bibliographique sélective sur ces deux ajouts, objet de notre étude, nous permettra de fournir des informations sur leurs taux de production et sur leurs valorisations dans les différents secteurs, agricoles et industriels...

II.2. Valorisation des résidus organiques dans la construction

Les Déchets agricoles sont de plus en plus nombreux, certains peuvent être utilisés comme matériaux. De nos jours la réglementation impose de valoriser ces déchets afin de limiter les quantités mises en décharges et aussi de préserver les ressources naturelles en matières premières [21]. Il s'agit pour la plupart des déchets organiques qui trouvent dans la construction un moyen de valorisation. On peut ainsi citer le bois, la tige de maïs, la coque de noix de coco le bambou [11]. Ce type de produit contient de nombreux capillaires, entraînant une porosité élevée.

Généralement les ajouts employés pour la fabrication des briques poreuses peuvent être classés en deux groupes : ajouts organiques et ajouts inorganiques. La sciure, l'herbe et le tabac [22], le charbon, le cambouis de papier [3] et les résidus de brasserie [23] sont quelques exemples pour les ajouts organiques dans le but de former des pores.

La perlite, la diatomite, la farine de chaux et la vermiculite sont des exemples pour le type (minéral) inorganique qui forment aussi des pores dans la brique.

Les ajouts organiques sont généralement meilleurs pour la formation des pores que les ajouts inorganiques, car ils présentent l'avantage d'être renouvelables et inépuisables. Et aussi quand ils sont brûlés, ils donnent une surabondance de chaleur au four pendant la cuisson. En raison des teneurs organiques élevées et des valeurs calorifiques de ces résidus, l'incinération est donc favorisée (l'UNESCO, 2001) [In 22].

II.2.1. Constituants pariétaux des résidus organiques

La nécessité urgente et impérieuse de trouver des sources nouvelles d'énergie a conduit à l'utilisation des végétaux non seulement comme sources de matière et d'énergie métabolisables, sous forme d'aliment, mais encore comme sources de matériaux et de combustibles sous forme de biomasse.

Les polymères végétaux sont fréquents dans les diverses plantes. Ces polymères sont à des titres divers utilisés soit comme source d'énergie ou de produits à usages alimentaires ou chimiques. Bien que ces polymères soient fondamentalement différents, la valorisation et les usages de chacun sont fonction de la présence des autres [24]. Au plan de la structure biochimique, il existe de nombreuses classes de fibres dont la plupart sont des constituants de la paroi des cellules végétales. Il est cependant possible de distinguer cinq classes majeures (figure II.1) : lignine, cellulose, hémicellulose (insoluble dans l'eau), substances pectiques (insoluble dans l'eau), et une classe de divers polysaccharides (non amylicés hydrosolubles) [25]. Plus globalement la paroi végétale est constituée de fibres de cellulose (squelette) intégrées dans une matrice composée de lignines, d'hémicelluloses, de pectines et de protéines.

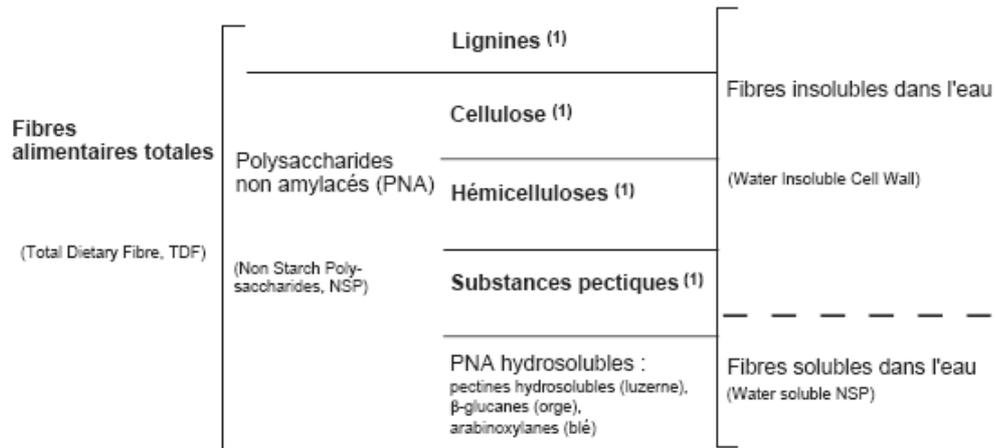


Figure II.1 : Principales classes des fibres alimentaires [25]

II.2.2. Analyse chimique des résidus organiques

II.2.2.1. La cellulose

La cellulose ($C_6H_{10}O_5$) est un polysaccharide de la série des β -glucanes. Elle est aussi un polymère naturel qui a un rôle structural de premier plan dans la majorité des parois végétales. C'est un élément constitutif majeur du bois [26]. Ce polymère forme des liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires et il est principalement utilisé dans la fabrication du papier et du carton pour ces caractéristiques fibrillaires. Les molécules de la cellulose s'agglomèrent sous forme de micro fibrilles, pour former des régions cristallines en alternance avec des régions amorphes.

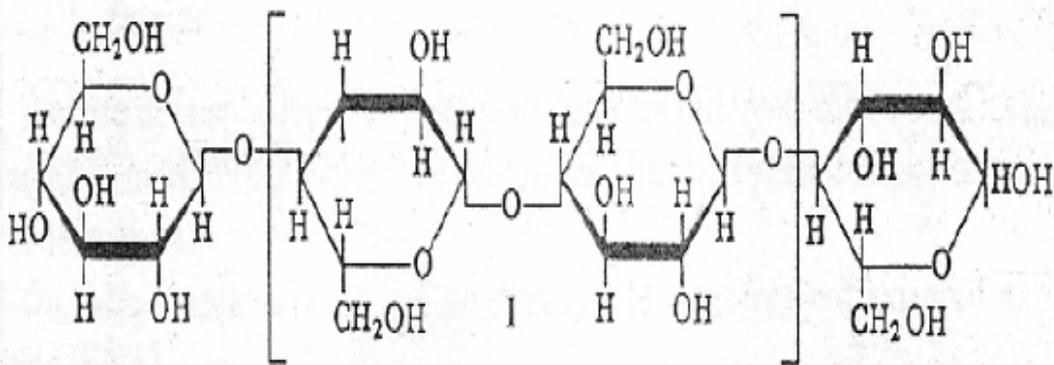


Figure II.2 : Structure chimique de la cellulose

II.2.2.2. L'hémicellulose

C'est un polymère constitué de cinq sucres différents : le xylose, l'arabinose, le glucose, le mannose, le galactose. Il est retrouvé dans l'enveloppe des graines de plantes telles que le blé, l'orge, l'avoine, le maïs ; mais également dans la peau des tubercules comme la betterave, la pomme de terre...L'hémicellulose constitue les parois des cellules dans les plantes jeunes et elle possède un fort pouvoir de fixation de l'eau.

II.2.2.3. La lignine

C'est une substance amorphe de nature, partiellement aromatique, contenant des groupements méthoxyliques et phénoliques.

Son rôle consiste à colmater les espaces entre les microfibrilles, et agit comme matière de cimentation en conférant au bois sa résistance et sa compacité. Il est admis actuellement que les lignines sont des polymères tridimensionnels provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques. Elle se trouve dans les parois des parties dures des plantes (racines, coques des graines). Elle est totalement insoluble et non dégradable.

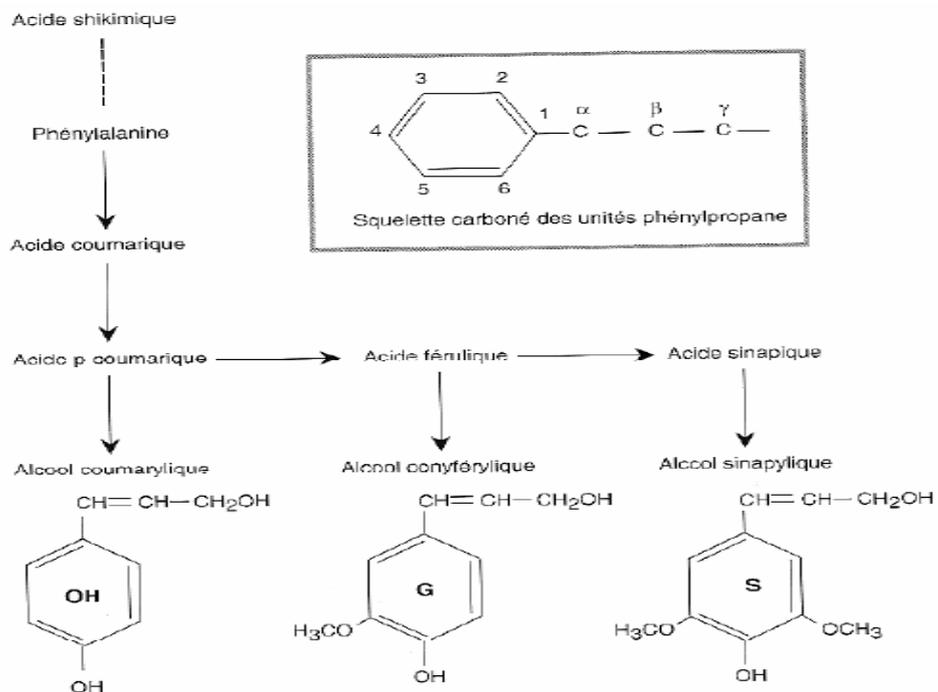


Figure II.3 : Les trois alcools constitutifs de la lignine fortement polymérisée (Cycles OH : hydroxybenzoyl, G : gaiacyl, S : syringyl) et leurs précurseurs

II.2.2.4. Les matières grasses

La teneur en matières grasses est relativement élevée et elle varie principalement selon le procédé d'extraction. La matière grasse des grignons d'olives est très riche en acides gras en C16 et C18 insaturés lesquels constituent 96% du total des acides gras [27]. Parmi eux nous citons l'acide oléique (84%), l'acide stéarique, l'acide palmique, l'acide myristique et l'acide lignolique [28]. Cette richesse en lipides favorise l'apparition du phénomène de rancissement des graisses.

II.2.2.5. Les cendres

La teneur en cendre est faible (3 à 5%). Les teneurs élevées qu'on rencontre sont dues à l'absence de lavage et la présence des olives ramassées avec le résidu [29]. L'excès serait une conséquence d'une contamination par des sables au niveau des huileries. Zaidi (1982) affirme que les éléments prédominants sont le potassium et le calcium suivis du phosphore et du sodium [In 28].

II.2.3. Sensibilité à l'eau de la particule organique

Les particules d'origine végétale, présentent une forte porosité due aux nombreux capillaires présents dans leur structure interne. Elles jouent un rôle de réservoir en eau au cours de l'opération de durcissement. La présence des capillaires et de leurs tailles vont permettre d'expliquer deux caractéristiques essentielles des particules végétales du point de vue comportemental : pouvoir absorbant élevé et compressibilité du granulat [30]. L'étude des interactions entre l'eau et les particules organiques constitue un domaine d'étude d'actualité dans le monde de la recherche.

II.2.4. Système argile-additif-eau

Ces dernières années de nombreux travaux ont été consacrés à la compréhension des interactions entre les argiles et les différents types d'additifs organiques dont les polymères (Chang et al. (1992), Luckham et Rossi (1999), Simon et al (2002), Isci et al. (2004) [In 11]. Bien souvent, les polymères sont ajoutés dans des suspensions argileuses pour améliorer leurs propriétés colloïdales et rhéologiques.

Ces polymères en solution aqueuse sont d'une très grande variété, ce qui a amené les scientifiques et les industriels à les classer dans différentes catégories en fonction de leurs structures, leurs natures, ou encore leurs applications.

Les polymères peuvent être d'origine bactérienne, animale ou végétale et ils sont soit neutres ou chargés, flexibles ou rigides. L'adsorption est un phénomène physique de fixation des constituants d'une phase liquide ou gaz à une surface solide. Les polymères s'adsorbent par des interactions de type Van Der Waals, électrostatiques, hydrophobes, ou par la création de liaison hydrogène (Israelachvili (1992), Tadros (2003)) cité par Benchaban, 2006 [11]. L'adsorption des polymères sur les surfaces argileuses conduit en général à un système stérique stable ou à une floculation par ponts, ce qui a des conséquences sur la rhéologie et la stabilité du système.

II.3. Présentation des ajouts utilisés

En Algérie, les petites huileries artisanales et même les huileries les plus modernes, après avoir extrait l'huile des olives, rejettent de grandes quantités de grignons dans la nature. La composition chimique de ces déchets porte nuisance à l'environnement.

Ce travail porte essentiellement sur l'étude de la possibilité de récupérer ces déchets oléicoles déversés dans la nature afin de les utiliser comme ajouts dans la fabrication des briques de construction plus poreuses. Il est nécessaire d'évaluer les résultats de cette étude avec ceux obtenus avec l'ajout d'un autre résidu étudié pour le même objectif. C'est pour cela qu'on a introduit un deuxième ajout qui est le foin pour effectuer une comparaison entre les deux résultats. Le foin a l'avantage de provenir des plantes annuelles facilement renouvelables.

II.3.1. Grignons d'olive

II.3.1.1. Production d'olives

L'oléiculture se situe parmi les cultures les plus importantes dans le bassin méditerranéen. Les pays riverains producteurs d'huile d'olive sont confrontés aux problèmes d'élimination des résidus de cette culture.

De nos jours, avec la promotion des vertus bénéfiques de l'huile d'olive pour la santé, la demande de ce produit ne cesse d'augmenter et par conséquent l'Etat encourage les agriculteurs à développer davantage la production .

L'Algérie fait partie des pays méditerranéens dont le climat est des plus propices à la culture de l'olivier. Elle se positionne en 7^{ème} rang après l'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Tunisie...qui sont par ordre d'importance, les plus gros producteurs au monde d'huile d'olive.

Les 2/3 du verger national oléicole sont concentrés dans la région de la Kabylie et en particulier dans la wilaya de Béjaia, notre zone d'étude. Le ministre de l'agriculture et du développement rural, a annoncé en décembre 2006 que son département ministériel compte encourager la culture intensive de l'olivier à travers l'ensemble du territoire national [31]. Un plan gigantesque de plantations d'oliviers a été programmé afin d'exploiter toutes les potentialités existantes dans le pays [32].

Les superficies occupées par l'olivier sont estimées à 281.000 ha auxquelles il faut ajouter 110.000 ha qui devraient entrer progressivement en production à partir de 2007 et sur trois ans [33].

En se référant aux statistiques de la direction de l'agriculture 2004, la production d'olives de la wilaya de Béjaia est aux environs de 140.000 tonnes. Elle représente 33% de la production nationale, destinée essentiellement à la trituration.

L'extraction de l'huile d'olive au niveau de cette wilaya s'effectue dans des pressoirs traditionnels pour la plupart. On décompte 438 huileries dont 359 traditionnelles et 79 modernes [5].

II.3.1.2. Production de grignons d'olives

L'industrie oléicole produit en plus de l'huile, de grandes quantités de sous produits : le grignon, les margines et les produits de la taille (feuilles de brindilles). "Cent kg d'olives produisent en moyenne 35% de grignons et cent litres de margines. La valorisation de ces résidus est devenue une nécessité pour éviter une pollution de plus en plus sérieuse" [26].

Les grignons sont les résidus solides formés des pulpes et des noyaux d'olives. Ce produit peut être transformé en un produit destiné à l'alimentation animale ou en huile dite de grignons d'olives après extraction chimique. On estime que le poids des grignons représente 1/3 du poids des olives fraîches triturées par pression.

La production de grignons d'olives pour la wilaya de Béjaia est aux environs de 47.000 tonnes pour l'année 2004 [5].

II.3.1.3. Procédés d'extraction de l'huile d'olive

La technologie utilisée pour la trituration est très variable et elle a subi une évolution importante durant les dernières décennies. Les méthodes utilisées sont : le système par presse (traditionnel), le système par centrifugation (continu à trois phases et le système continu à deux phases). Chacun de ces systèmes donne lieu à différents types de déchets et de sous-produits :

- Pressoir : margines concentrées + grignons solides
- 3 phases : margines diluées en plus grande quantité + grignons solides
- 2 phases : margines très diluées et en petite quantité + grignons humides (consistance pâteuse) [34]

L'extraction se fait par centrifugation (décantation) ou par pression. L'extraction par centrifugation se fait dans un décanteur où les différents composants de la pâte se séparent selon leur densité.

Trois phases sont obtenues :

- le grignon ($\rho \sim 1.2 \text{ kg/dm}^3$)
- les margines ou eau de végétation ($\rho \sim 1.015 \text{ à } 1.086 \text{ kg/dm}^3$)
- l'huile ($\rho \sim 0.916 \text{ kg/dm}^3$) [35]

Le grignon d'olive contient une certaine quantité d'huile résiduelle. Il est évident que la composition des grignons dépend du système employé pour la trituration d'huile d'olive. Le tableau II.1 montre une analyse des grignons obtenus lors de l'élaboration de l'huile d'olive par les trois méthodes.

Tableau II.1 : Taux du grignon d'olive humide et ses caractéristiques selon le système d'extraction [36]

	Pression	Centrifugation. 3ph	Centrifugation. 2ph
Grignon humide (kg/t olive)	350	500	800
Humidité (%)	25-27	48-52	55.60
Matières grasses/mat.hum (%)	6	3	2.5

On peut constater une nette différence entre le rendement gras des grignons de pressoir et les grignons des systèmes en continu. La différence est due fondamentalement à l'efficacité d'extraction des systèmes en continu par rapport aux systèmes traditionnels.

II.3.1.4. Utilisation industrielle des grignons d'olive

Traditionnellement, les grignons ont été utilisés comme combustible, à l'échelle domestique ou dans les propres huileries pour la production de la chaleur nécessaire lors du processus d'extraction. Le pouvoir calorifique des différents composants du grignon d'olive est indiqué sur le tableau II.2.

Tableau II.2 : Pouvoir calorifique du grignon brut et des ses différents composants (kcal/kg)

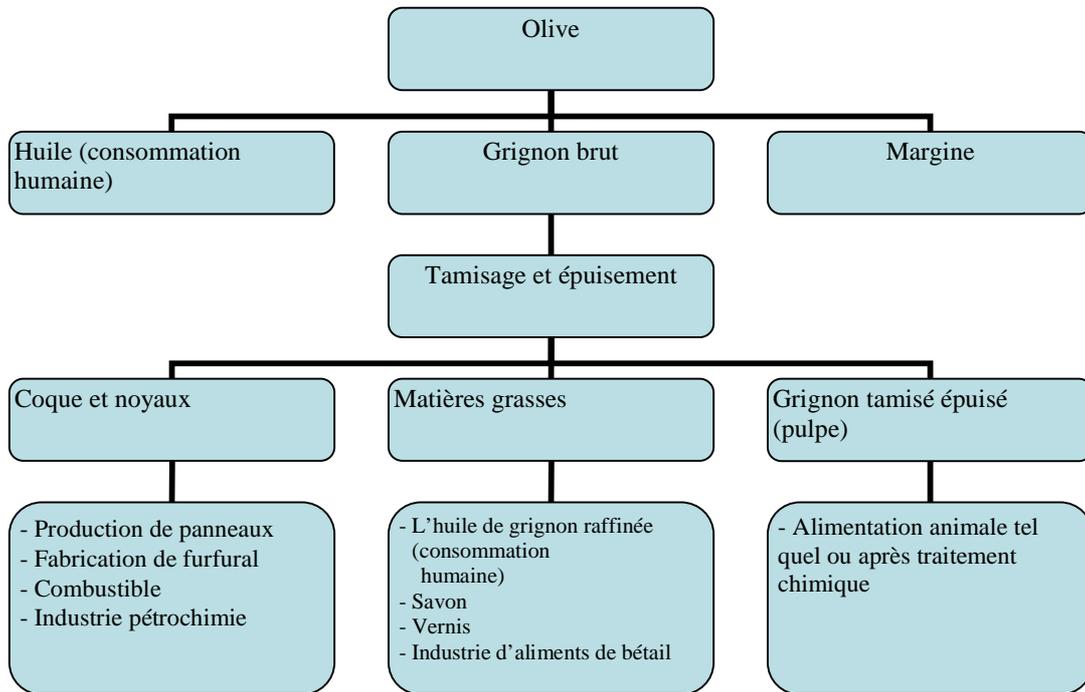
	Grignons	Pulpe	coque
En état	4155	4527	3986
Desséchés	4950	5350	4850

De nouvelles perspectives commencent à se dessiner pour l'utilisation industrielle des grignons dont on signale :

- L'extraction de l'huile du grignon d'olive : c'est une industrie de seconde extraction par solvant (hexane).
- La combustion des grignons vierges et des grignons épuisés provenant de l'extraction mécanique avec la récupération de leur contenu énergétique.
- L'utilisation de la pulpe du grignon à des fins zootechniques (complément pour l'alimentation animale) ou comme amendement du terrain.

Nous donnons dans le tableau II.3 une vision globale des champs d'application des sous-produits de l'olivier.

Tableau II.3 : Champs d'application des sous-produits de l'olivier



II.3.1.5. Utilisations possibles de la coque du grignon

A l'heure actuelle, des technologies mécaniques pour séparer la pulpe des débris du noyau d'olive (coque), aussi bien des grignons épuisés que des grignons vierges, ont été mises au point avec des résultats quantitatifs et qualitatifs de bon niveau [36].

Cette technologie est très intéressante du fait que la coque peut être employée comme combustible dans les chaudières des maisons de campagne ou dans de petits ateliers, car elle possède un bon pouvoir calorifique et un rendement optimal à la combustion (tableau II.2.)

Elle peut aussi être utilisée dans l'industrie de bois (fabrication de panneaux d'agglomérés). Les informations dignes d'intérêt sont celles relatives à l'industrie du furfural (Aldéhyde dérivé du furanne C_4H_4O , obtenu à partir de céréales et utilisé pour la synthèse chimique, notamment dans l'industrie pharmaceutique).

Les pentosanes sont des hydrates de carbone complexes (hémicelluloses), par hydrolyse, produisent des pentoses et, par déshydratation ultérieure, produisent le furfural.

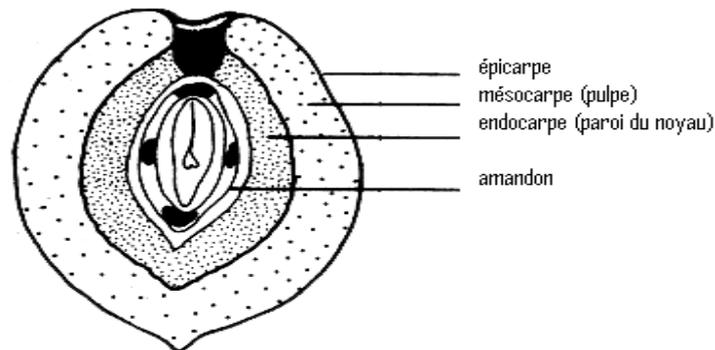
La coque séparée des grignons a un contenu en pentosanes de 26% qui représente 15% de furfural de la matière première humide [37].

II.3.1.6. Caractéristiques du grignon d'olive

a. Composition physique

Les grignons bruts renferment la coque du noyau réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive avec des teneurs relativement élevées en eau et en huile. Ces teneurs dépendent largement de la méthode d'extraction et favorisent l'altération rapide des grignons lorsqu'ils sont laissés à l'air libre. Les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose. Ils restent relativement riches en matière grasse ; cette dernière est réduite par épuisement à l'aide d'un solvant.

La figure II.4 nous montre une section transversale de l'olive avec ses différentes parties : épicarpe, mésocarpe (pulpe), endocarpe (paroi du noyau) et amandon.



a: d'après Maymone et al, 1961
b: Nefzaoui, 1983

Figure II.4 : Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b) [38]

b. Composition chimique

Afin de comprendre plus facilement les variations de la composition chimique des différents types de grignons, il peut être utile de rappeler la composition chimique des différents composants de l'olive (tableau II.4).

**Tableau II.4 : Compositions chimiques des composants de l'olive mûre
(Maymone et al. 1961) [39]**

Partie	Matières azotées totales	Matières grasses	Cellulose brute	Matières minérales	Extractif non azoté
Épicarpe	9.8	3.4	2.4	1.6	82.8
Mésocarpe	9.6	51.8	12.0	2.3	24.2
Endocarpe (noyau et amandon)	1.2	0.8	74.1	1.2	22.7

Les procédés de trituration modifient les proportions relatives des différents composants des grignons (épicarpe, mésocarpe, endocarpe et amandon) qui ont des compositions chimiques différentes. Il est clair que la partie la plus riche en l'huile est le mésocarpe (ou pulpe), et celle plus riche en cellulose brute et en lignine est l'endocarpe (coque ou noyau).

La composition chimique des grignons d'olives dépend donc de plusieurs facteurs tels que le mode d'extraction, le stade de maturité, les facteurs pédoclimatiques et l'épuisement par solvant. Les teneurs en matières grasses et en cellulose présentent les variations les plus importantes. Ce sont en général des sous-produits pauvres en matières azotées et riches en matières ligno-cellulosiques. Cette composition en constituants pariétaux des grignons d'olives est comparable à celle des pailles de céréales avec un degré de lignification apparemment plus élevé [39]. Les résultats rapportés par les différents chercheurs montrent que la composition chimique des grignons (bruts et tamisés) est très variable. Les facteurs propres à l'olive (l'état de maturité, la variété, ...), les procédés d'extraction d'huile, les proportions de différentes fractions (pellicules, coques, pulpes et amandons) et le tamisage font que la composition chimique du grignon d'olive varie dans de larges limites.

Selon les résultats de plusieurs auteurs la composition des différents types de grignons (épuisé non tamisé, épuisé et partiellement tamisé) est donnée dans le tableau II.5.

Tableau II.5 : Caractéristiques des constituants pariétaux des grignons [In 39]

	Grignon Epuisé (Tunisie)(1)	Grignon épuisé partiel. Dénoyauté		
		Tunisie (1)	Espagne (2)	Grèce (3)
N.D.F.	72	55	70	83
A.D.F.	60	45	-	64
A.D.L.	31	29	31	24

(1) : Nefzaoui, 1979

(2) : Alibes et Berge, 1983

(3) : Ohlde et Becher, 1982

L'analyse des fibres par la méthode de Van Soest [23] révèle qu'elles renferment des teneurs très élevées en constituants pariétaux (NDF : cellulose+lignine+hémicellulose), en lignocellulose (ADF : lignine+cellulose)) et en lignine (ADL : lignine) (tableau II.5). Le tamisage réduit donc surtout la cellulose et très peu la lignine.

II.3.2. Foin

II.3.2.1. Fourrages en Algérie

La flore de l'Algérie est particulièrement riche en plantes. La diversité de son climat et de ses sols lui donne une place privilégiée pour la culture et l'exploitation des plantes. Un très grand nombre d'entre elles poussent à l'état naturel et endémique.

Certaines de ces plantes révèlent une grande valeur agronomique car elles sont utilisées comme fourrage pour le bétail ou sous forme d'engrais verts pour enrichir les qualités physiques, chimiques et biologiques du sol. Par contre, d'autres ont une très grande valeur médicinale du fait qu'elles sont utilisées en pharmacie. On distingue cinq classes de fourrage :

1. les fourrages verts : contenant de 10 à 30% de matières sèches (MS) comme : herbe, maïs en vert.
2. les fourrages ensilés : contenant 15-40% de MS ensilage de maïs (plante entière) et ensilage d'herbe.
3. les fourrages secs : contenant 85 à 95% de MS comme les foins et les fourrages déshydratés et les regains.
4. les fourrages déshydratés artificiellement : le cube de luzerne.
5. les pailles et les rafles, la paille de céréales, de pois et les rafles de maïs.

Les ressources fourragères en Algérie (d'après Hamadache, 2001 cité par Omrani, 2006 [40]), se composent principalement de chaumes de céréales, de végétations de jachères pâturées, de parcours steppiques, de forêts, de maquis et de peu de fourrages cultivés.

Les terres consacrées à la production fourragère en Algérie couvrent 33 millions d'hectares (Nedjraoui, 2002 cité par Yaakoub, 2006 [41]). Cette production est attestée par une prépondérance de la vesce d'avoine utilisée dans la majeure partie comme foin dans l'alimentation du bétail.

D'après les statistiques de l'année 2004, la production des fourrages de la wilaya de Béjaïa est estimée à 16.5 tonnes [5].

II.3.2.2. Composition chimique des fourrages

L'analyse chimique consiste à déterminer les pourcentages suivants : matières sèches (MS), matières minérales (MM), matières azotées totales (MAT), matières grasses (MG), et cellulose brute (CB).

Selon Lapeyrone (1982) [In 40], tout produit végétal est constitué de cellules dont les éléments protoplasmiques et les éléments membranaires sont de compositions différentes.

Dans le protoplasme, on trouve des matières azotées, des glucides, des acides organiques, de la matière grasse et des pigments. La membrane est constituée de la cellulose, d'hémicellulose, de la lignine et des substances pectiques.

Tableau II.6 : Composition chimique (%MS) de quelques fourrages (Jarrige, 1988) [In 40]

Espèce	MO	MM	MAT	CB
Luzerne 60 cm	87.9	12.1	22.5	24
Luzerne floraison	89.8	10.2	16.8	33.3
Brome épi à 10cm	86.3	13.7	18.6	23.9
Brome floraison	91.8	08.2	07.6	33.4
Sorgho fourrager montaison	88.4	11.6	19	26.4
Sorgho fourrager floraison	92.7	07.3	08.7	21.1
Paille de blé	92	08	03.5	42
Paille d'orge	92	08	03.8	42

Jarrige constate une modification de la composition chimique durant les différents stades de développement des plantes [In 40]).

II.3.2.3. Foin comme plante fourragère

Le foin est le plus ancien fourrage séché naturellement au soleil et destiné généralement à l'alimentation des animaux domestiques. Ce sont des plantes fourragères parmi lesquelles on retrouve, entre autres, la luzerne et le trèfle. La plante est récoltée en entier sans laisser de résidu. Les terres des pâturages couvrent une vaste superficie de surface du monde, mais elles fournissent rarement une alimentation adéquate (en quantité ou en qualité) toute l'année. De tels pâturages ont un faible potentiel pour le développement des ruminants. Le foin de pâturage naturel est souvent de faible qualité et provient d'une végétation non améliorée, c'est pour cela qu'il est utilisé comme matériau de construction.

Le foin est donc un fourrage grossier, et il est généralement loin d'être un aliment complet. Même à partir des cultures à haut potentiel avec des machines modernes, le foin qui en résulte est souvent inadéquat pour produire un aliment de qualité pour les bovins [42].

II.3.2.4. Analyse chimique du foin

Quelques analyses de foin sont indiquées dans le tableau II.7, mais il faut garder à l'esprit que tandis que les résidus matures varient peu, la composition du fourrage fauché vert varie considérablement selon le stade végétatif de la plante.

Le foin résultant varie selon les conditions climatiques au moment de la fenaison et de la technicité avec laquelle il a été séché.

Tableau II.7 : Résultats d'analyse chimique du foin (en % de MS) [In 41]

	CB	CB	Ca	Ca	P	P	K	K
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Début floraison	30.4	30.4	0.37	0.37	0.22	0.22	1.2	1.2
Pleine floraison	36.6	36.6	0.37	0.39	0.17	0.17	0.9	0.9

(a) : [Bredon, Stewart and Dugmore, 1987]

(b) : [Department of agriculture , 1995]

II.3.2.5. Champs d'utilisation du foin

- Le foin constitue la base de l'alimentation des animaux. Cette ressource fourragère présente une valeur alimentaire médiocre : riche en cellulose brute, teneur faible en azote et de vitamines, et par conséquent elle est peu digestible et couvre difficilement les besoins du bétail.
- L'industrie des plantes fourragères est constituée de plusieurs secteurs. Plusieurs espèces et variétés fourragères peuvent être utilisées à différentes fins : des plantations ou pelouses d'agrément, la conservation des sols,...
- Dans le secteur du bâtiment, le foin est utilisé comme ajout pour la fabrication des bétons allégés, l'adobe (brique stabilisée à froid)...

II.4. Conclusion

Au cours de cette revue bibliographique, nous avons vu les problèmes générés par les résidus oléicoles. Les grignons d'olives comme le foin sont des matières produites en grandes quantités et présentent des propriétés encourageant à leur valorisation.

Les politiques actuelles du développement durable favorisent la valorisation des déchets pour deux points importants :

1. Réduire la mise en décharge
2. Et économiser les ressources naturelles.

Dans le bassin méditerranéen, la production d'huile d'olive représente un secteur économique important pour certains pays. Actuellement, la production est en constante croissance et elle se fait au détriment de l'environnement. La culture des olives présente déjà de graves problèmes environnementaux avec principalement une forte pollution des sols et de l'eau des berges où les déchets de l'oliveraie sont rejetés. Ainsi, de nombreuses recherches sur la valorisation des grignons d'olives sont en cours, certaines plus avancées avec des résultats plus convaincants que d'autres. Ces recherches sont envisagées plus dans les pays où les huileries sont concentrées dans des régions voisines.

Par exemple, en Espagne et en Tunisie, la plupart des grignons générés, sont soumis à des traitements dans le but de les valoriser à cause de la forte concentration dans des villes spécifiques (ex : la ville de Sfax en Tunisie).

En Italie et en Grèce, la situation est très différente à cause de la grande dispersion des huileries et de leurs petites dimensions habituelles. La situation de dispersion et la faible capacité se répètent dans la plupart des pays producteurs. En Algérie la concentration est entre les deux villes limitrophes Béjaïa et Tizi-Ouzou, ce qui encourage davantage la prise en charge de ces déchets afin de les valoriser dans le domaine des matériaux de construction.

Il apparaît clairement que les sous-produits de l'olivier représentent pour l'Algérie et plus particulièrement pour la Wilaya de Béjaïa, zone de notre étude, un potentiel de ressources fourragères considérables mais insuffisamment exploitées. L'accroissement de la production oléicole et l'introduction des techniques modernes de trituration des olives (procédés continus) ont placé l'olivier en position de pollueur potentiel.

Les problèmes générés par les grignons d'olive sur l'environnement risquent d'accroître encore plus dans les années avenir à cause de vastes programmes de plantation et de modernisation des systèmes de trituration de l'huile pour l'accroissement et l'amélioration de la production oléicole. Les rejets assignés à cette production en voie de développement sont énormes. Pour y remédier, nous allons essayer de trouver une solution dans le domaine de la construction en les employant comme ajouts dans la fabrication des briques poreuses.

Deuxième partie

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III

ANALYSES DES MATERIAUX UTILISES

Analyses des matériaux utilisés

III.1. Introduction

Ce chapitre traite des analyses des matériaux utilisés dans la fabrication de la brique : l'analyse chimique et l'analyse thermique de l'argile et des ajouts organiques (grignons d'olive et foin).

Nous présenterons par l'analyse chimique des résidus, les taux des constituants pariétaux (cellulose, lignine, hémicellulose). Ensuite, nous enchaînons par des analyses thermiques des matériaux utilisés.

Ces dernières constituent un moyen pour la connaissance des changements de phases de la réactivité des matériaux pendant l'opération de la combustion à différentes températures. Elles fournissent des informations précieuses pour le système de leurs calcinations. Il est donc nécessaire de procéder à une analyse thermique des déchets utilisés (dans cette étude) pour prévoir avec plus de précision comment vont-ils se comporter dans les mélanges (argile+résidus).

III.2. Matériaux utilisés

Avant d'entamer les analyses, il est indispensable de définir l'origine des matériaux utilisés. C'est dans cette optique que nous allons donner un aperçu sur le gisement d'Oued Remila, sa position géographique, l'historique des travaux de recherche se rapportant à ce site. De même les caractéristiques qualitatives et technologiques de l'argile de ce site seront fournies. Nous donnerons par la suite l'origine des deux ajouts utilisés (grignons d'olive et foin).

III.2.1. Argile

III.2.1.1. Position géographique

Le gisement d'argile se trouve sur la rive droite d'Oued Remila à :

- 36 Km au sud-ouest de Béjaia
- 10 Km au nord-est de la ville de Sidi-Aich
- 800m au nord de l'oued Soummam
- 400m au nord-ouest de la route nationale N°26.

Le gisement est relié aux agglomérations par des routes goudronnées.

III.2.1.2. Historique des travaux de recherche

En avril 1982, les territoires de Sidi Aich et d'Akbou ont fait l'objet d'une étude de reconnaissance des dépôts argileux. Les travaux ont été effectués en mars 1982 conformément à la tâche technique arrêtée par la D.R.E.G/S.N.M.C (Boumerdès), afin de mettre en évidence la matière première pour l'approvisionnement d'une briqueterie.

Les résultats de ces recherches ont conduit à constater que les dépôts argileux, largement développés sur l'indice d'oued Remila étaient les plus perspectifs. En juillet/août 1983 une campagne de recherche détaillée a été entreprise sur cet indice.

Les travaux de sondage ont été confiés aux équipes de la SONAREM et de la S.N.M.C. (Boumerdès). Les analyses ainsi que les essais ont été effectués par le laboratoire central de la S.N.M.C. Toutefois, seules les analyses chimiques ont été effectuées en Tchécoslovaquie. Les essais semi-industriels des argiles ont été réalisés dans les briqueteries de Mezaia et de Khemis Miliana. Les résultats des essais de laboratoire ont affirmé l'aptitude des argiles dudit gisement à la fabrication de briques.

Les conditions recommandées pour cette fabrication sont les suivantes :

- La préparation par voie humide
- Le prébroyage : écartement des cylindres dégrossisseurs - 7mm
- L'humidification et le stockage pour le pourrissage au moins de 5 jours
- Le broyage : écartement des cylindres finisseurs – 3 à 4 mm.
- Le façonnage avec un vide de 85 à 90% avec une pression de 18 à 20bars.
- L'argile supporte bien le régime rapide de séchage (3 à 4h)
- La température de cuisson est de 900 à 950°C.

III.2.1.3. Géologie du gisement

Les dépôts marins du miocène inférieur (Burdigalien) qui constituent la partie centrale de la région participent à la constitution de l'assise utile du gisement. Ils couvrent une superficie de 600 ha et ils sont représentés par des argiles marneuses et des grès faiblement argileux. Les grès sont jaunes, à grains grossiers ou fins et les argiles marneuses sont compactes, faiblement plastiques d'une puissance supérieure à 300m.

Les argiles du gisement sont pratiquement homogènes tant en surface qu'en profondeur [43]

La coupe géologique du gisement est la suivante :

0.0 à 0.8m : terre végétale et limon

0.8 à 3 m : zone d'infiltration ; argiles jaunes à infiltrations de carbonates.

3.0 à 24m : zone d'infiltration, argiles marneuses, jaunes, gris jaunâtre, compactes, modérément plastiques à intercalations d'argiles sableuses et grès argileux.

24.0 à 180m : argiles marneuses grises, compactes à intercalation d'argiles sableuses, plus rarement de grès argileux.

III.2.1.4. Exigences industrielles

Les argiles employées pour fabriquer les briques sont de nature chimique et minéralogique très variables. Elles possèdent une plasticité et un pouvoir liant. De même ces argiles se laissent bien façonnées pour ne pas donner lieu aux déformations et aux fissures au cours du séchage et de la cuisson.

Afin de produire les briques, on utilise des roches argileuses facilement fusibles à réfractivité inférieure à 1350° et ayant une composition chimico-minéralogique variée. Ces argiles doivent être exemptes de grosses inclusions de gypse, de carbonate, de pyrite, de sidérite, de débris d'autres roches et d'additions de sels solubles.

Les limites entre lesquelles varient les différents éléments de l'argile favorable à la fabrication des briques sont représentées sur le tableau III.1.

Tableau III.1 : Intervalle de tolérance de chacun des composants de l'argile favorable à la fabrication de la brique de construction [19] [43]

Nature des éléments		Formulation	Tolérances %
Silice		SiO ₂	35 à 80
Alumine		Al ₂ O ₃	8 à 25
Oxyde de fer		Fe ₂ O ₃	2 à 8
Chaux		CaO	0.5 à 15
Magnésie		MgO	0 à 3
Potasse	Oxydes alcalins	K ₂ O	0.5 à 4
Soude		Na ₂ O	0.1 à 1
Anhydre sulfurique		SO ₃ total	0.02 à 1.8
Perte au feu		P.F	< à 25%

III.2.2. Ajouts organiques (grignon d'olive et foin)

Le grignon d'olive et le foin proviennent de la commune de Tazmalt dans la wilaya de Béjaia.

Le grignon d'olive est le rejet d'une huilerie moderne. Il est séché pendant quelques jours à l'air libre pour faciliter l'opération de séparation de la coque. Une partie de celui-ci est tamisée afin de séparer les débris de la coque de la pulpe à l'aide d'un tamis à 1mm de maille.

Nous avons donc à analyser trois types d'ajouts : le grignon d'olive brut (GOB), la coque du grignon d'olive (CGO) et le foin.

Une quantité de ces résidus (foin, GOB, CGO) est broyée en poudre fine passant à travers un tamis de 0.65mm de maille. Les échantillons sont ensuite conservés dans des récipients hermétiques.

III.3. Analyses chimiques des matériaux

III.3.1. Analyses chimiques de l'argile

La composition chimique moyenne de l'assise utile argileuse est représentée sur le tableau III.2 (D.R.E.G de Boumerdès).

Tableau III.2: Composition chimique élémentaire de l'argile utilisée

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃ total	SO ₃ gypse	P.F
Limites de variation (%)	44.19- 52.65	9.49- 13.67	4.67- 5.7	13- 17.27	1.41- 2.45	1.15- 1.93	0.8- 1.11	0.01- 1.63	0.01- 0.42	13.61- 16.82
Moyenne (%)	46.67	11.85	5.15	14.70	1.89	1.57	0.89	0.52	0.06	15.7

L'argile du gisement de Oued Remila est caractérisée par une teneur réduite en silice et oxydes d'alumine, tandis que les oxydes de calcium, de magnésium et le SO₃ sont dans les limites des normes. Ces argiles sont semi acides (teneur en Al₂O₃ inférieure à 28%), à forte teneur en oxydes colorants (Fe₂O₃ supérieure à 3%)

III.3.2. Analyse chimique des ajouts organiques (grignon d'olive et foin)

L'analyse chimique des ajouts organiques a été effectuée au laboratoire de biologie de l'université de Béjaia. Elle consiste en la détermination de la teneur de matière sèche (MS), teneur en matière grasse (MG), teneur en matière minérale (MM) et teneur en fibres (cellulose, lignine et hémicellulose).

III.3.2.1. Teneur en matières sèches

Le but est de déterminer la teneur en matière sèche de l'échantillon :

- Introduire 1g d'échantillon (soit P₀) dans un creuset en porcelaine séchée et préalablement tarée (soit P₁).
- Porter ce creuset dans une étuve à 105° pendant 24 heures jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante.
- Après refroidissement du creuset sur un dessiccateur, procéder à la pesée de celui-ci (soit P₂). La matière sèche est donnée par la relation suivante :

$$MS(\%) = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} * 100$$

P₀ : Poids du résidu humide

P₁ : Poids du creuset

P₂ : Poids du creuset + résidu sec

III.3.2.2. Teneur en matières grasses

L'analyse de la matière grasse est effectuée dans l'appareil Soxhlet (figure III.1). L'échantillon est traité à chaud avec un solvant (hexane). Ce dernier est éliminé par distillation (figure III.2). La méthode utilisée est celle des tourteaux de graines oléagineuses NF V 03-925 : 1967 [44].

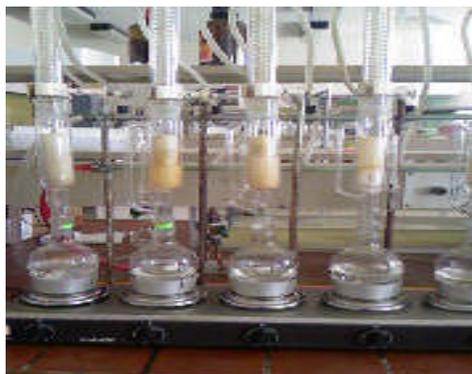


Figure III.1 : Appareil Soxhlet

Elle est effectuée par extraction à l'aide d'un solvant. Ce dernier est éliminé par distillation et le résidu correspondant à l'extrait est séché ensuite pesé.

Matériels nécessaires :

- Un extracteur Soxhlet
- Des cartouches en papier filtre épais ou cellulose
- Des ballons à col codé de 250 ml
- Un évaporateur rotatif
- Un solvant organique : hexane.

Mode opératoire :

- Peser 1 g d'échantillon à analyser dans une cartouche à soxhlet et recouvrir la cartouche à l'aide d'un coton (P_0)
- Tarer un ballon à col codé de 250ml (P_1) préalablement lavé et séché dans une étuve.
- Placer la cartouche dans le ballon et adapter le ballon à l'extracteur monté par une colonne réfrigérante. Régler la pression d'eau qui passe dans le réfrigérant
- Verser le solvant « hexane » dans l'extracteur et allumer la résistance pour le chauffage.

- L'extraction se fait par ébullition du solvant et condensation de ses vapeurs par un réfrigérant. Le système de siphonage assure le passage des gouttelettes de la matière grasse vers le ballon. Extraire pendant 6 à 8h.
- A la fin de l'extraction, siphonner le solvant dans le ballon à l'aide d'un évaporateur rotatif, pousser la distillation jusqu'à sec.



Figure III.2 : Evaporateur rotatif

- Porter le ballon et le résidu contenu à l'étuve à 105°C pendant 3 heures en position couchée jusqu'à ce que le poids soit constant.
- Peser le ballon après refroidissement dans un dessiccateur (P_2) et la matière grasse est donnée par la relation suivante :

$$MG\% = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} * 100$$

P_2 : Poids du ballon + résidu après étuve

P_1 : Poids du ballon

P_0 : Poids de la prise d'essai

III.3.2.3. Teneur en matières minérales (cendres)

Le but est de déterminer la teneur en matières minérales de façon à calculer la quantité de matières organiques (MO). Elle représente la différence entre la matière sèche (MS) et les matières minérales.

$$MM = MS - MO$$

Les cendres représentent le poids des minéraux dans la substance à analyser.

Mode opératoire :

- Porter au four à moufle la capsule et le résidu qui a servi à la détermination de matières sèches (MS)
- Chauffer progressivement afin d'obtenir une incinération sans inflammation de la masse.

1h 30mn à 200°C

2h 30mn à 550°C

L'incinération doit être poursuivie s'il y a lieu jusqu'à la combustion complète (obtention d'un résidu blanc ou gris clair).

- Laisser refroidir puis peser :

$$MM(en\%MS) = \frac{A}{(B * MS)} * 100$$

A : poids des cendres

B : poids de l'échantillon

MS : teneur en matière sèche (%)

III.3.2.4. Teneurs en fibres par la méthode de VAN SOEST

De nombreux travaux ont été entrepris par Van Soest et ses collaborateurs [24] dans le but de mettre au point des méthodes de dosage des composés hémicelluloses, cellulose, lignine qui donneraient des teneurs en fibres.

Dans cette optique, on utilise des détergents qui entraînent la solubilisation des polysides non cellulosiques, des protéines et des acides nucléiques.

La figure III.3 montre la nature de chaque résidu d'analyse : NDF (lignine + cellulose + hémicellulose), ADF (lignine + cellulose) et ADL (lignine).

Nous procédons à la détermination de chacun de ces résidus par simple élimination de l'un après l'autre.

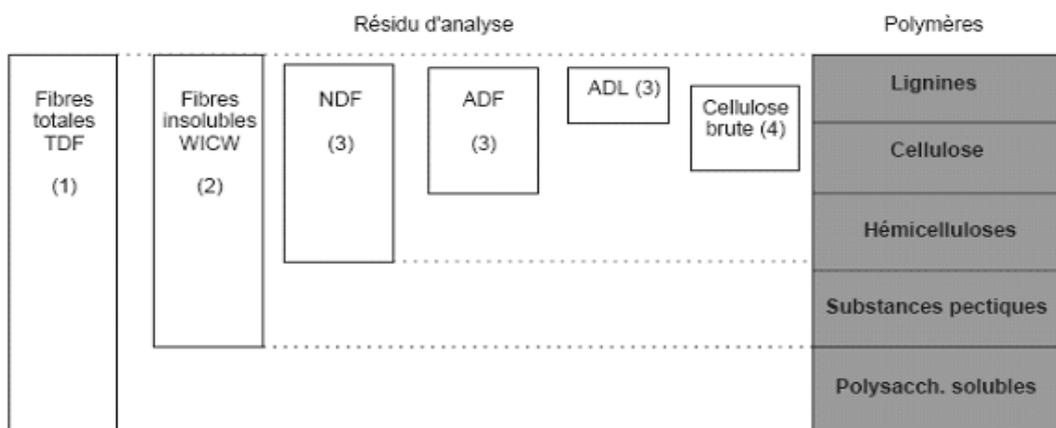


Figure III.3 : Méthodes gravimétriques de dosage des fibres et nature du résidu d'analyse
 (1) TDF = Total dietary fibre (Lee et al. 1992) ; (2) WICW = Water insoluble cell-wall (Carré et Brillouet 1989); (3) NDF = Neutral detergent fibre, ADF = Acide detergent fibre, ADL = Acide detergent lignin (Van Soest et al 1981); (4) = selon Weende.

1. Détermination du NDF (Neutral detergent fiber)

NDF renferme en théorie l'ensemble de l'hémicellulose, de la cellulose et de la lignine.

Préparation de la solution NDF (1L)

- Lauryle de sulfate de sodium 30g
- EDTA 18.61g
- Borate de sodium 6.81g
- Phosphate dissodique 13.68g
- Anti-mousse 3 à 4 gouttes

Pour la préparation de cette solution, l'EDTA et borate de sodium sont dissous dans une quantité suffisante d'eau distillée. La dissolution des réactifs est assurée par un agitateur chauffant (~50°C), puis le reste des réactifs sont ajoutés et après la dissolution complète. Le volume est complété par l'eau distillée et ajusté à 1000ml.

Mode opératoire

- Peser 1g de l'échantillon, l'introduire dans un ballon de 500ml préalablement lavé et taré, le poids de la prise d'essai est (E).
- Ajouter 100 ml de la solution NDF
- Avant de lancer l'ébullition, le système de réfrigération doit être ouvert.
L'ébullition doit être maintenue pendant 1 heure.

- A la fin de l'extraction, filtrer sous vide dans un creuset (porosité 3) préalablement taré (P_0)
- Rincer avec de l'eau distillée bouillante
- Porter le creuset à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures
- Peser après refroidissement (P_1)
- Remettre les creusets dans un four à moufle réglé à 525°C , laisser incinérer pendant huit heures. Après refroidissement au dessiccateur, les creusets sont pesés de nouveau (P_2)

On aura ainsi :

$$NDF = \frac{(P_1 - P_2)}{E} * 100$$

P_1 : Poids du creuset + échantillon après 24h d'étuve (traité avec la solution NDF)

P_2 : Poids du creuset + échantillon après incinération

E : Poids de la prise d'essai (1g)

2. Détermination de l'ADF (Acide detergent fiber)

L'analyse d'ADF permet l'obtention de la fraction ligno-cellulosique.

Préparation de la solution ADF

Traitement par solution de bromure de cétyltriméthylammonium + acide sulfurique

- L'acide sulfurique (95-96%)
- Le C.T.A.B (cétyl trimethyl ammonium bromure)

La solution est préparée par dissolution de 100g de C.T.A.B dans une quantité d'eau distillée puis les 150ml d'acide sulfurique sont ajoutés avec précaution. Le volume est ensuite complété jusqu'à les cinq litres.

Mode opératoire

- Peser 1g de l'échantillon et l'introduire dans un ballon de 500ml, le poids de la prise d'essai est (E)
- Ajouter 100ml de la solution ADF
- Porter à ébullition sous réfrigérant pendant 1 heure (figure III.4)
- Filtrer sous vide dans un creuset (porosité 3) préalablement taré (P_0)
- Rincer avec de l'eau distillée bouillante

- Porter le creuset à l'étuve à une température de 100°C pendant 24 heures
- Peser après refroidissement (P₃)

$$ADF = \frac{(P_3 - P_2)}{E} * 100$$

P₃ : Poids du creuset + échantillon après l'étuve (traité avec la solution ADF)

P₂ : Poids du creuset + échantillon après incinération

E : Poids de la prise d'essai (1g)



Figure III.4 : Appareil pour la détermination de l'ADF

3. Détermination de l'ADL (Acide détergent lignin)

Il s'agit de la lignine qui est le résidu de l'attaque par l'acide sulfurique à 72% du résidu ADF.

- L'ADF est traitée par une solution sulfurique (H₂SO₄ 72% (p/v) qui solubilise la cellulose. Maintenir l'attaque pendant 3 heures.
- Filtrer et rincer avec l'eau distillée bouillante.
- Le résidu est séché à 105°C jusqu'à ce que le poids soit constant, puis le peser (P₄)

$$Cellulose = \frac{(P_3 - P_2)}{E} * 100$$

P₃ : poids avant l'attaque par l'acide (poids obtenu dans l'analyse d'ADF)

P₄ : poids après l'attaque avec H₂SO₄

E : poids de la prise d'essai initial (1g)

$$Lignine = \frac{(P_4 - P_2)}{E} * 100$$

$$\text{Cendre} = \frac{P2 - P3}{E} * 100$$

P_0 : poids du creuset vide

$$\text{Hémicellulose} = \frac{(P1 - P3)}{E} * 100$$

NDF = cellulose + lignine + hémicellulose

ADF = cellulose + lignine

ADL= lignine

III.3.3. Résultats de l'analyse chimique des ajouts

Pour les ajouts organiques utilisés dans notre étude, le grignon d'olive et le foin sont composés principalement de cellulose, de lignine et d'hémicellulose et une petite quantité de cendres.

La cellulose, le composant principal, constitue environ 33.42% pour le grignon brut, 41.15% pour la coque du grignon et 30.24% pour le foin.

La lignine constitue 22.61% pour le grignon brut, 25.17% pour la coque du grignon et 34.65% pour le foin (voir tableau III.3). Bien que la lignine se produise dans tout le mur des cellules, elle est concentrée vers l'extérieur des cellules et entre les cellules.

La lignine s'appelle souvent l'agent de cimentage qui lie les différentes cellules les unes aux autres [22].

On constate d'après les résultats de l'analyse chimique du grignon d'olive effectuée au laboratoire de biologie de l'université de Béjaia que la cellulose et la lignine sont concentrées plus dans la coque que dans le grignon brut. Nos résultats s'intègrent dans l'intervalle des valeurs rapportées par la bibliographie bien que les valeurs obtenues ne semblent pas traduire une bonne représentativité car la mise en œuvre de la méthode de Van Soest pour l'analyse chimique de la matière organique est sujette à des erreurs inévitables. Il arrive parfois que lors de l'attaque des échantillons par les détergents, de fines particules de l'échantillon soient portées par la vapeur ou s'accrochent aux parois de tube et restent ainsi à l'abri de l'attaque par le détergent.

Tableau III.3 : Composition chimique des ajouts

	Grignon d'olive brut	La coque du grignon	Le foin
NDF (% MS)	71.15	84.65	72.48
ADF (% MS)	56.03	66.32	64.89
Lignine (%MS)	22.61	25.17	34.65
Cellulose (%MS)	33.42	41.15	30.24
Hémicellulose (%MS)	15.12	18.33	07.59
Cendres (%MS)	2.41	0.62	4.25
Matières grasses (%MS)	3.47	1.6	0.62

La petite quantité de la cendre couplée avec la grande quantité de fibres (lignine, cellulose et hémicellulose) fait que les grignons d'olives et le foin conviennent pour être utilisés dans les matériaux de construction. Les fibres contenues dans ces ajouts renforcent la structure de la pâte d'argile pendant le séchage et contrecarrent la possibilité de se fondre jouant ainsi le rôle d'une ossature à l'intérieur de la brique crue (voir essai à la compression des briques crues (IV.5.1)).

III.4. Analyses thermiques des matériaux utilisés

Les propriétés thermiques continuent de faire l'objet des applications les plus nombreuses. La conductivité thermique (ou la capacité calorifique, qui lui est directement liée) des minéraux est un paramètre essentiel. Elle est utilisée aussi bien pour l'interprétation des données géophysiques (interprétation des flux de chaleur mesurés en surface, estimation du degré géothermique) que pour le calcul thermodynamique des équilibres entre phases minérales. Une application très importante des mesures de thermicité concerne l'analyse des minéraux argileux, trop petits et complexes pour pouvoir être analysés facilement par toute autre technique. C'est à partir de 1930 que ces techniques ont été généralisées.

Si l'on chauffe un minéral hydraté, on constate que celui-ci passe par différentes phases de déshydratation, désorganisation et recristallisation, qui se traduisent par :

- des pertes de poids (analyse thermogravimétriques)
- des variations de taille (analyse dilatométrique)
- ou calorifiques, liées aux réactions endothermiques ou exothermiques (analyse thermique différentielle).

En liaison avec des analyses par diffraction aux rayons X, ces techniques sont essentielles pour l'étude des minéraux argileux, domaine très important de la géologie des ensembles sédimentaires.

III.4.1. Analyse minéralogique

III.4.1.1. Méthode

L'analyse minéralogique par diffraction aux rayons X permet d'identifier la composition minéralogique d'une matière. Elle consiste à appliquer un rayonnement sur un échantillon. Le rayonnement pénètre le cristal et il y'a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émission des radiations dans toutes les directions.

Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté. La condition pour que les radiations soient en phase s'exprime par la loi de Bragg : $n\lambda = 2d \sin\theta$

Où

n : nombre de diffractions

λ : longueur d'ondes des rayons X

d : épaisseur de la couche (espace basal en Å)

θ : montée de la déviation, angle de diffraction

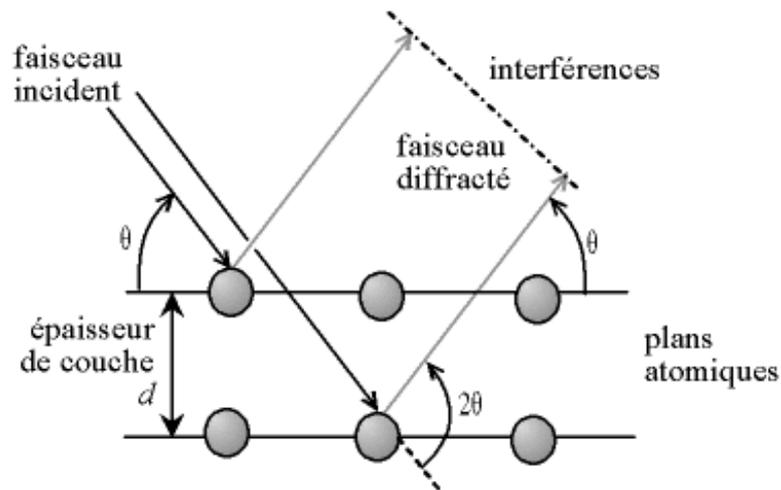


Figure III.5: Loi de Bragg donnant les directions où les interférences sont constructrices

La diffraction à rayon X permet d'avoir la composition minéralogique d'un assemblage argileux ou toute autre matière finement broyée. Elle fournit un diffractogramme représentant un ensemble de raies qui manifestent les réflexions des rayons X sur les plans d'organisation des éléments Al, Si, O, OH dans le réseau cristallin.

Certaines raies marquent la réflexion des rayons X à la surface de chaque feuillet ; elles mesurent la distance réticulaire « d » entre deux surfaces.

III.4.3.1. Composition minéralogique de l'argile utilisée

L'argile de Oued Remila est constituée pour l'essentiel, de la kaolinite, associée à la chlorite. La présence de quartz est quasi systématique, provenant des processus géologiques de formation des argiles. Pour les mêmes raisons, on rencontre souvent des impuretés sous forme d'oxydes, de micas et de feldspaths.

La classification des argiles kaolinitiques se fait selon sa teneur en alumine (Al_2O_3) du matériau calciné. Les argiles à faible teneur en alumine (<30% en masse) sont généralement utilisées dans les terres cuites.

Les argiles kaolinitiques forment avec l'eau, des pâtes plastiques, homogènes, stables et aptes au moulage, ce qui est à l'origine de leur utilisation dans de nombreux procédés céramiques.

D'après les résultats de la diffraction des rayons X réalisée par La D.R.E.G, les phases cristallines majeures contenues dans l'argile étudiée sont essentiellement représentées par les minéraux suivants :

- La kaolinite : $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Le quartz : Si_2O_2
- La chlorite : $(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- La calcite et la dolomie : $[\text{CaCO}_3]$ et $[\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2]$
- Des minéraux micacés

Ces phases cristallines ont pu être observé lors d'une analyse par diffraction des rayons X que nous avons effectué au laboratoire de génie des procédés à l'université de Béjaia. La figure III.6 donne le diffractogramme de poudre de l'échantillon d'argile.

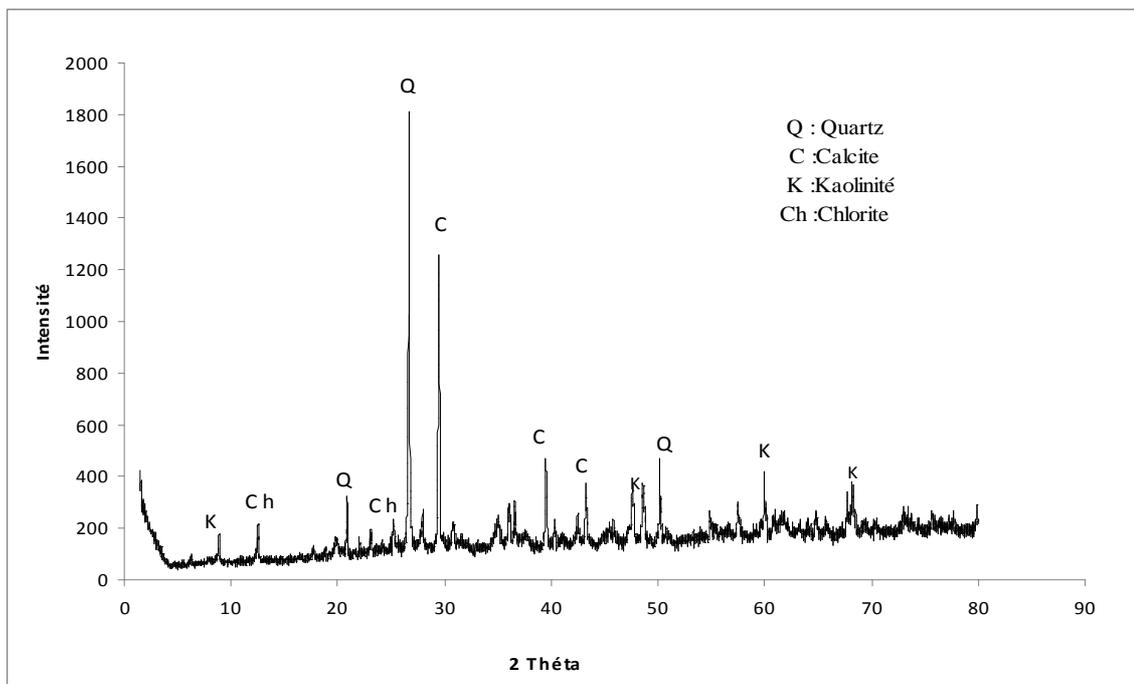


Figure III.6 : Diffractomètre de l'argile utilisée

En joignant les résultats de l'analyse diffractométrique à ceux de l'analyse chimique élémentaire (analyse par fluorescence X), on peut procéder par calcul à une quantification des phases cristallines détectées dans l'échantillon. Les résultats sont donnés par le tableau III.4 suivant :

Tableau III.4 : Composition minéralogique de l'argile utilisée [43]

Minéral	Kaolinite	Quartz	Chlorite	Calcite et dolomie	Feldspath	Minéraux micacés
Pourcentage %	15-24	20-30	14-20	24-28	2-10	3-8

A noter que les argiles sont essentiellement constituées de :

Fractions sableuses ($\phi > 20\mu\text{m}$) = 12.49%

Fractions poussiéreuses ($2\mu\text{m} < \phi < 20\mu\text{m}$) = 71.79%

Fractions argileuses ($\phi < 2\mu\text{m}$) = 15.54%

III.4.2. Méthodes thermiques des solides

Les méthodes thermiques des solides sont utilisées dans l'étude du comportement en fonction de la température de tout matériau solide subissant des modifications de composition (déshydratation, décomposition, oxydation, réduction...) ou de structure (transition, changement de phase...). Ces méthodes sont importantes dans le domaine des céramiques.

III.4.2.1. Analyse thermique différentielle (ATD)

L'analyse thermique différentielle (ATD) est basée sur l'étude de la chaleur dégagée ou absorbée par la matière pendant les transformations physiques ou chimiques. On enregistre la courbe de variation de température d'une matière par rapport à un oxyde inerte.

Tout changement de phase ; cristallisations ou réactions chimiques qui consomment ou libèrent de la chaleur au sein de l'échantillon font naître une différence de température entre celui-ci et son environnement.

Cette différence atteint son maximum quand la vitesse de production ou de consommation de la chaleur par l'échantillon cesse d'être supérieure à la vitesse d'échange de chaleur entre l'échantillon et son environnement. Elle diminue ensuite plus au moins lentement, jusqu'à ce que l'équilibre des températures soit de nouveau atteint [45].

L'ATD est une technique de choix pour caractériser les phénomènes endothermiques ou exothermiques caractéristiques des minéraux argileux. Les variations de températures sont reportées en fonction du temps et de la température. La courbe enregistre les pertes d'eau (réactions endothermiques) et aussi les recristallisations et les recombinaisons (réactions exothermiques) [46] (figure III.7)

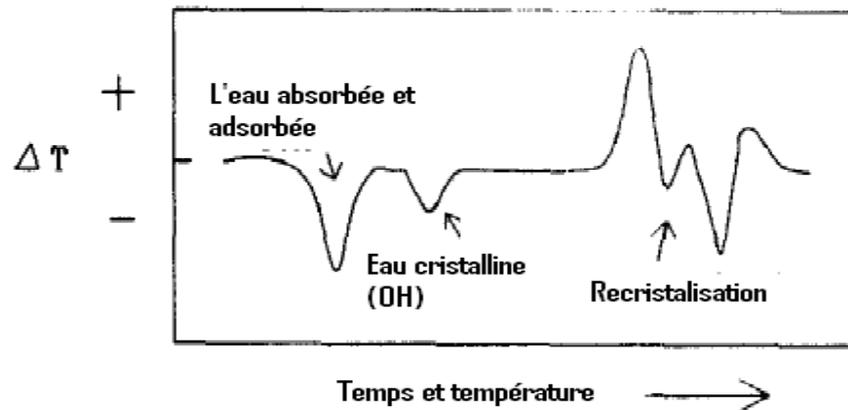


Figure III.7 : Mesure des variations de la température lors d'une analyse thermique différentielle

III.4.2.2. Analyse thermique gravimétrique (ATG)

Le chauffage et la cuisson d'une matière argileuse entraîne l'élimination des matières organiques, le départ de l'eau de constitution de certaines espèces minérales comme la kaolinite, la décomposition des carbonates, etc. Il est donc possible de suivre l'influence de la température sur les pertes de masse de la matière étudiée. Ceci constitue le principe de l'analyse thermo-gravimétrique (ATG).

L'ATG consiste donc à déterminer en fonction de la température les quantités de constituants volatiles adsorbés ou combinés dans la matière. Les valeurs de température correspondant aux pertes de masses apportent des informations complémentaires à celles obtenues par l'ATD.

La courbe comporte différents paliers correspondant à la perte des différents types d'eau (figure III.8) :

- Perte de l'eau adsorbée, généralement vers 80-90°C, correspondant à une perte en poids de 1%

- Perte de l'eau zéolitique (l'eau comprise dans les canaux des argiles fibreuses) vers 100-150°C.
- Perte de l'eau adsorbée dans l'espace interfoliaire, vers 100-200°C.
- Perte des ions OH de la structure (eau cristalline), débutant à partir de 500°C.

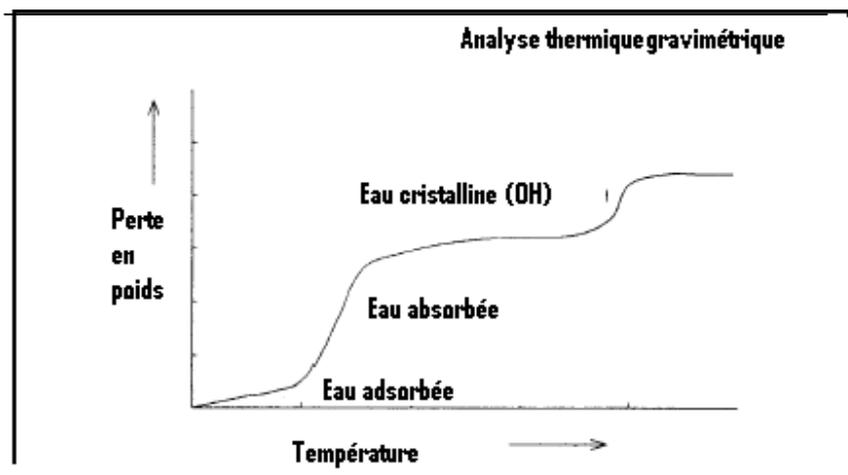


Figure III.8 : Courbe de perte en poids d'une analyse thermo-gravimétrique

III.4.3. Analyses thermiques et comportement au feu (résultats)

L'analyse thermique différentielle donne la différence de température entre un échantillon et un corps de référence, tous deux chauffés ou refroidis selon un programme préétabli. L'effet calorifique d'une modification d'ordre physique (changement de phase) ou d'ordre chimique (réaction) sera mis en considération.

La thermogravimétrie est l'association de la pesée continue de substances participant à une réaction donnée avec une variation linéaire de la température en fonction du temps.

Les deux analyses sont effectuées au laboratoire de chimie industrielle de l'université de Béjaia.

III.4.3.1. Analyse thermique différentielle de l'argile

L'analyse thermique est effectuée sur l'échantillon d'argile utilisée. Elle a pour but de déterminer la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par la matière pendant sa mise à feu.

La figure III.9 représente la courbe ATD de l'argile, chauffée à 1000°C, à la vitesse de 10°C/min.

Dans le plan de température utilisée, deux exothermiques et trois endothermiques (pics) sont évidents.

- Le premier pic endothermique se situe entre 50°C et 90°C et peut être expliqué par l'état sec de l'argile (départ de l'eau de constitution).
- Le deuxième pic se manifeste entre 460°C et 530°C (réaction importante se rapportant à la déshydratation des minéraux argileux). Cette eau résulte de la libération des hydroxyles appartenant au réseau. Son départ détruit la structure cristalline du minéral. Il donne lieu à un phénomène irréversible.
- La troisième réaction endothermique entre 700°C et 750°C, se rapportant à la décarbonatation (la décomposition thermique de la calcite).

Trois pics exothermiques sont observés :

- Les deux premiers se situent entre 290°C et 430°C, ils peuvent être expliqués par la combustion des composants organiques présents dans le corps d'argile. Les composants volatiles brûlent en premier (premier pic) suivis par des composants non volatiles (deuxième pic).
- Le troisième pic se manifeste entre 830 et 860°C, qui est une réaction de transformation des minéraux argileux [46]. Le matériau final est donc très différent de la matière première de départ.

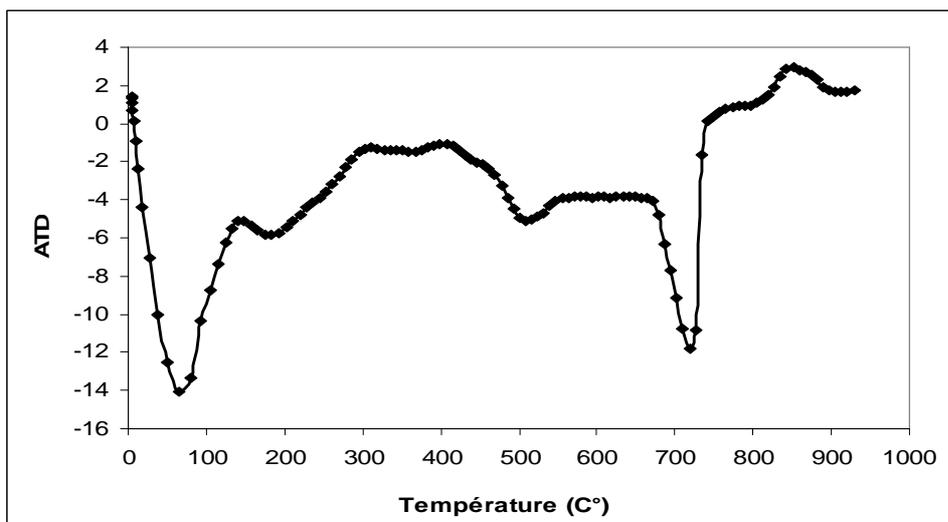


Figure III.9 : Analyse thermique différentielle (ATD) de l'argile utilisée

III.4.3.2. Analyse thermique gravimétrique de l'argile

L'analyse thermique gravimétrique est effectuée sur l'argile utilisée. Elle a pour but d'analyser la perte en poids de la matière utilisée. L'action de la chaleur sur les pâtes céramiques implique des pertes de masses, de variation de longueur et de transformation du réseau cristallin.

L'analyse thermique gravimétrique de l'argile (figure III.10) montre une perte en poids importante de cette matière. A cause du CO_2 libéré durant l'opération de cuisson, les briques deviennent poreuses. A la température au dessus de 750°C , il n'y a pas de réduction significative dans la masse qui reste stable.

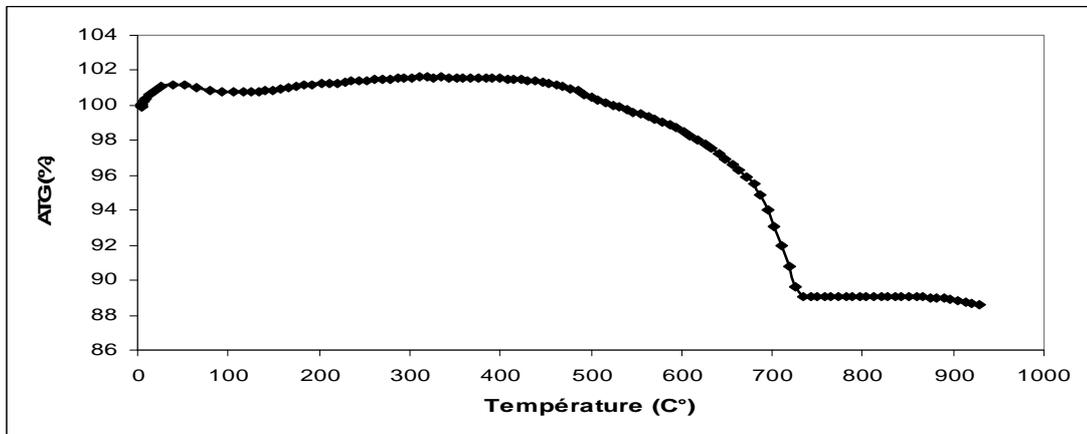
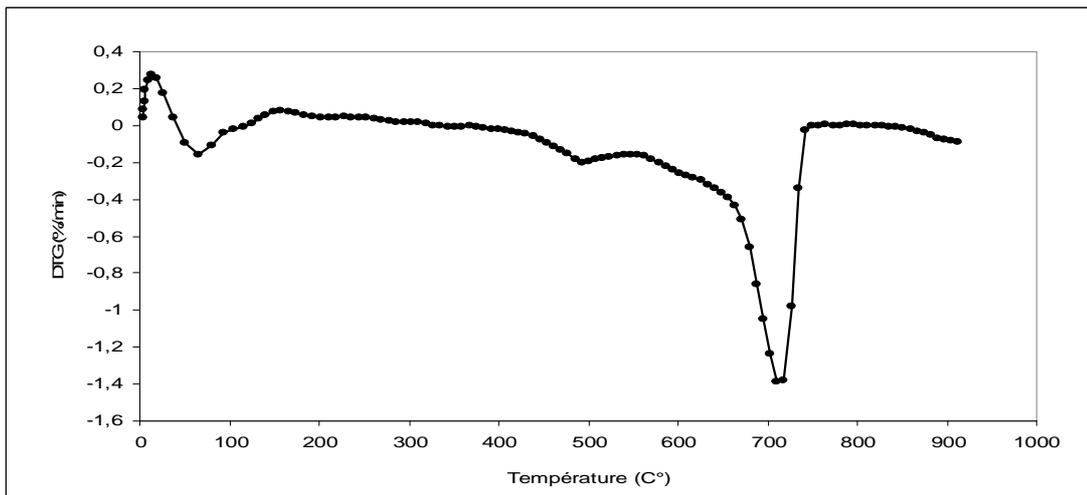


Figure III.10 : Analyse thermique gravimétrique (ATG) de l'argile utilisée

La figure III.11 suivante présente la vitesse de la perte en poids de l'argile utilisée



III.11 : Vitesse de réduction de masse de l'argile (DTG)

La réduction de masse est importante entre 660°C et 730°C. Et elle est due à la décarbonatation de la calcite contenue dans l'argile de Remila (comme il a été déjà signalé dans l'analyse chimique de cette argile).

III.4.3.3. Analyses thermique gravimétriques (ATG) des ajouts

Les procédés thermiques sont les méthodes les plus utilisées pour le traitement des déchets agricoles. Les plus intéressants sont les déchets d'huileries, en raison de la grande quantité produite et de leurs valeurs calorifiques élevées entre 20kJ/kg et 23kJ/kg [47]

Les limites de cette méthode doivent être prises en compte, car elle est réalisée sur des échantillons de petite taille par rapport à ceux utilisés dans la confection des briques.

L'analyse des caractéristiques de la combustion de ces déchets, permet d'obtenir leur profil de brûlage qui est défini comme la représentation de la perte en poids par rapport à la température.

Dans ce travail, l'ATG permet d'évaluer le comportement thermique en atmosphère oxydante des différents ajouts utilisés : GOB, CGO, foin.

La figure III.12 montre l'ATG du GOB. On décèle deux pics essentiels de la perte en masse de l'échantillon. On commence à enregistrer une perte en masse entre 150°C jusqu'à 250°C (le premier pic), ensuite une autre perte entre 290°C et 340°C (le deuxième pic). La perte en poids commence à se stabiliser aux environs de 560°C.

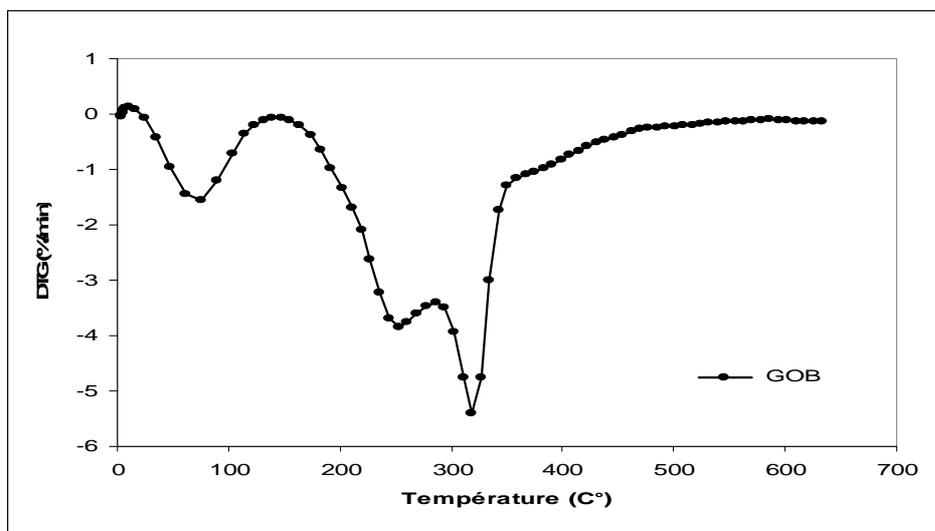


Figure III.12 : DTG du grignon d'olive brut (GOB)

Par contre pour la figure III.13, elle représente l'ATG de la CGO. Le graphe montre aussi deux pics de la perte en masse de l'échantillon entre 190°C jusqu'à 270°C (le premier pic), ensuite une autre perte entre 310°C et 370°C (le deuxième pic). La perte en poids devient insignifiante aux environs de 570°C

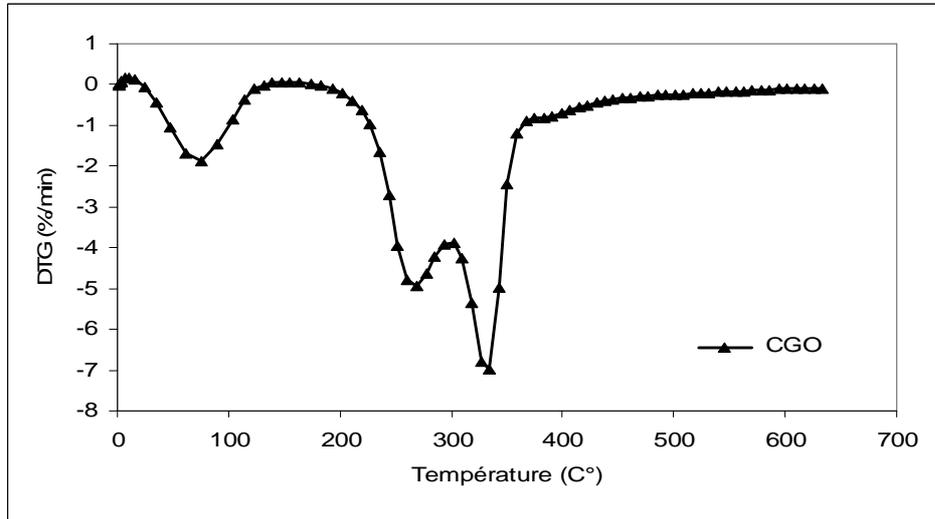


Figure III.13 : DTG de la coque du grignon d'olive

Enfin pour l'ATG du foin représentée par la figure III.14, le graphe montre une première perte en masse du foin entre 150°C jusqu'à 250°C et une autre petite perte entre 360°C jusqu'à 400°C. La perte en poids devient minimale aux environs de 570°C

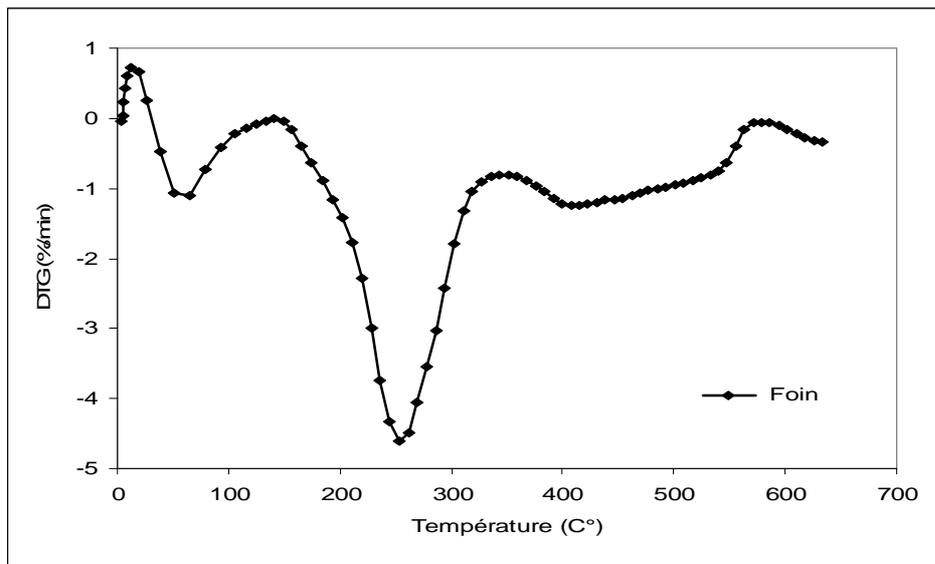


Figure III.14 : DTG du foin

Globalement les figures présentées ci-dessus montrent la vitesse de la perte de poids en fonction de la température de cuisson des ajouts : GOB, CGO et foin. Le premier pic observé correspond à la perte d'humidité entre 40°C et 90°C, selon les ajouts. Elle diminue entre 100°C et 145°C

La CGO présente des valeurs maximales de taux de perte en poids correspondant à l'humidité. Après l'opération de séchage, la perte en masse peut être attribuée à la perte des matières volatiles.

Entre 150°C et 270°C, une subite perte de masse se produit dans l'ensemble des échantillons: c'est le début de la combustion des matières volatiles. Cette perte en masse évolue rapidement jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur maximale aux températures (252.6°C, 269.2°C, 252.9°C) pour les GOB, CGO et le foin respectivement (1^{er} pic). Ensuite une autre perte de masse est signalée entre 310°C et 400°C (2^{ème} pic).

Le tableau III.5 présente les différents paramètres qui caractérisent la combustion de chaque résidu. Ces résultats montrent que la coque de l'olive prend plus de temps à réagir sous l'effet de la température, elle a besoin d'un surcroît d'environ 20°C de température par rapport aux autres ajouts.

Tableau III.5 : Caractéristiques de la combustion de chacun des résidus organiques

	CGO	GOB	Foin
Température initiale (°C)	173.5	155.5	148.8
1 ^{er} pic (°C)	269.2	252.6	252.9
Maximum de la vitesse de combustion (%/min)	4.92	3.85	4.602
2 ^{ème} pic (°C)	334.6	318.7	399.5
Maximum de la vitesse de combustion (%/min)	6.9866	5.4036	1.21

D'après Teresa Miranda [47], les déchets à faible teneur en cendre, commencent à réagir à la température la plus élevée. Dans le cas des matériaux lignocellulosiques, la température de dégradation de l'hémicelluloses et de la lignine est inférieure à la température de dégradation de la cellulose [47] [48].

Par conséquent, la température initiale de la dégradation est plus élevée dans la CGO qui présente une plus forte quantité de cellulose (41.15%) par rapport aux autres ajouts. En outre il convient de souligner qu'un résidu avec un pourcentage plus élevé de cendres et d'impuretés dans sa composition a besoin d'une plus faible température initiale de combustion. C'est le cas du foin et le GOB qui présentent plus de cendre dans leurs analyses chimiques (4.25%, 2.41%) que la CGO (0.62%).

La figure III.15 montre que les ajouts utilisés enregistrent une perte en poids considérable entre 200°C et 500°C.

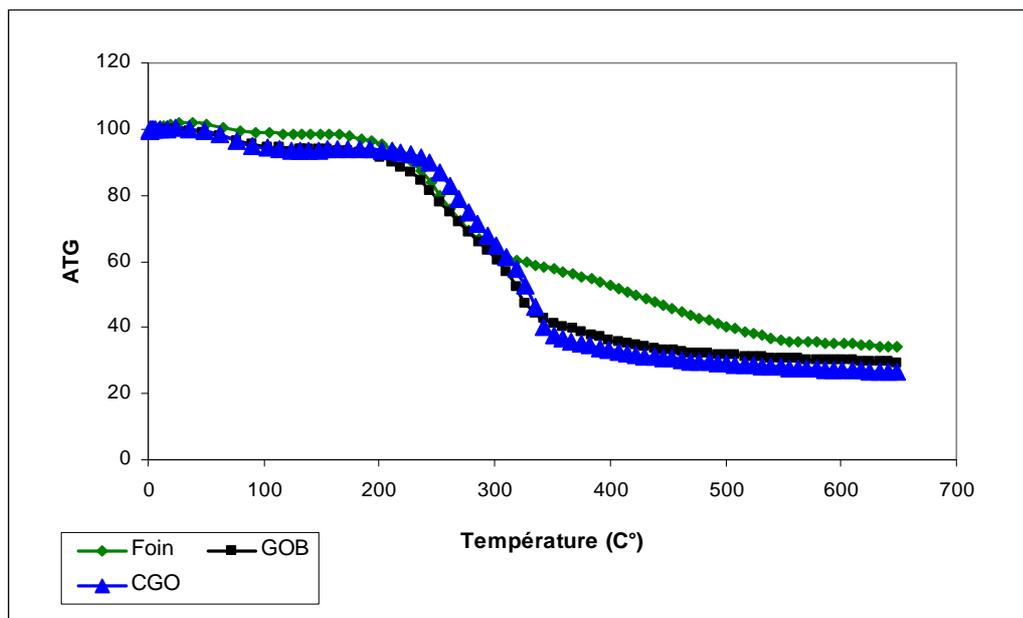


Figure III.15 : Thermogramme (ATG) des différents ajouts

La dégradation thermique des différentes matières organiques est fortement influencée par leurs compositions chimiques (cellulose, hémicellulose et lignine).

Au cours de la dégradation thermique des échantillons deux zones distinctes ont été observées. Une fois le seuil de température de décomposition thermique de l'échantillon a été atteint, il y a eu une forte baisse de poids des échantillons jusqu'à 340°C. Cette étape est appelée zone active de l'allumage [48]. Par la suite une légère modification de la pente de toutes les courbes TGA a été observée : c'est une deuxième zone de réaction réalisée autour de 440-500°C appelée zone passive.

Plusieurs études antérieures fournissent des preuves solides permettant d'attribuer la zone active à la décomposition de l'hémicellulose et de la cellulose, tandis que la zone passive est attribuée à la décomposition de la lignine [49] [50] [51] [52].

Des études plus récentes [47] [48] sur la décomposition thermique des divers composants de matières lignocellulosiques indiquent que la décomposition de l'hémicellulose commence en premier, suivie de la cellulose et, enfin de la lignine. La hausse thermique et le taux de dégradation peuvent être dûs au plus grand pourcentage de la cellulose et d'hémicellulose en composition. Ces auteurs suggèrent que plus la teneur en cellulose est grande plus l'étendu de dégradation du résidu est grand et la température initiale de dégradation est plus grande aussi (le cas de la coque du grignon d'olive).

Les figures (III.16.1) et (III.16.2) montrent clairement les zones active et passive des échantillons avec ajouts de GOB et CGO.

Ces figures montrent la combinaison des courbes TG/DTG. Nous pouvons observé deux pics dans la DTG et une longue queue à haute température dans la TG. La combustion commence entre 240-270°C (premier pic) et elle accélère entre 310-340°C (deuxième pic) ensuite elle continue lentement entre 330-450°C pour être complète aux environs de 500°C (la longue queue). En bref, le temps de combustions de ces résidus est assez long et ce facteur contribue à l'augmentation de chaleur dans le four. Le premier pic est dû principalement à la décomposition thermique de l'hémicellulose, le deuxième correspond à la combustion de la cellulose et la longue queue représente la calcination de la lignine.

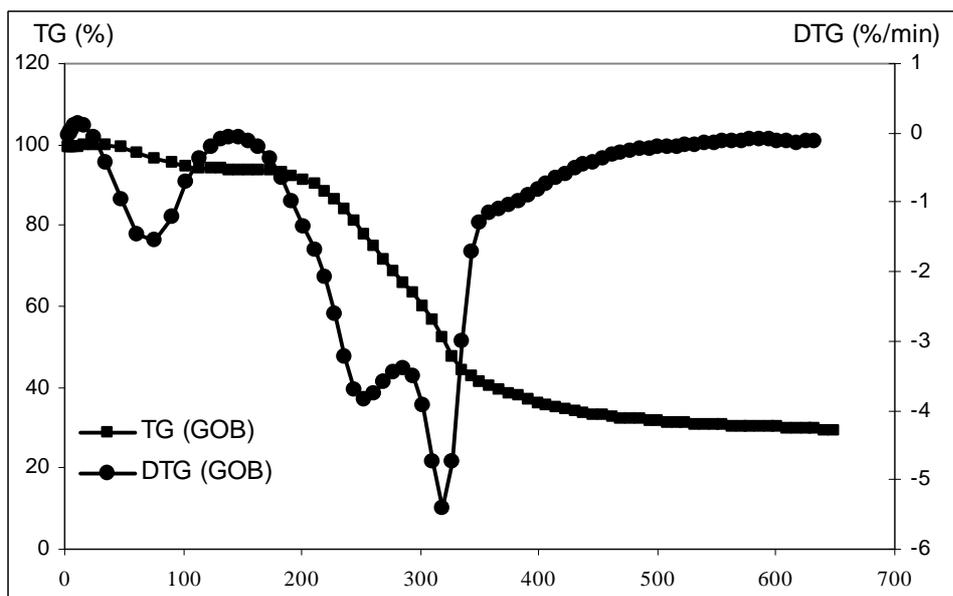


Figure III.16.1 : Courbes DTG/TG du GOB

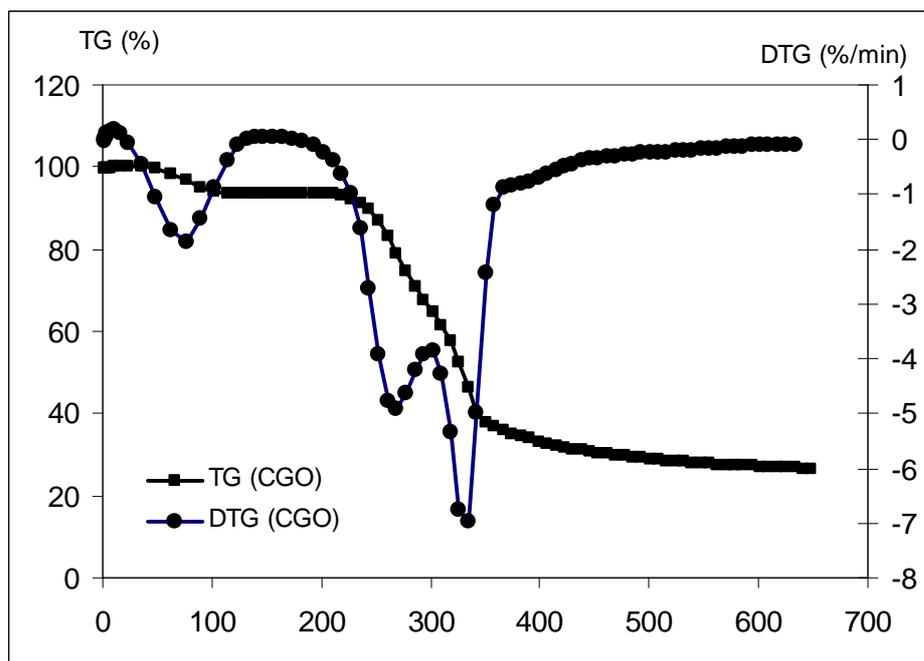


Figure III.16.2 : Courbes DTG/TG de la CGO

Par contre la figure III.16.3 représente les courbes DTG/TG du foin. Nous observons un seul pic aux environs de 250°C représentant la combustion de la cellulose confondue avec la petite quantité d'hémicellulose. Ensuite une grosse queue qui traduit la décomposition thermique de la lignine à partir de 300°C qui est assez lente et se stabilise aux environs de 550°C.

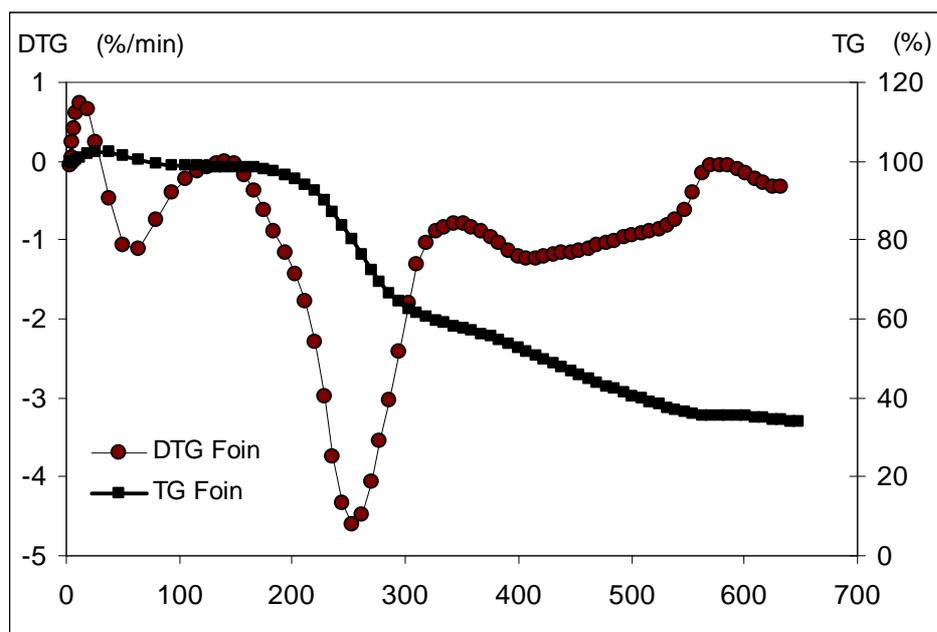


Figure III.16.3 : Courbes ATG/TG du foin

III.4.3.4. Analyses thermiques différentielles des mélanges (argile+résidus)

Après les analyses thermiques de chacun des matériaux utilisés, nous procédons maintenant à l'analyse des mélanges (argile+résidus).

Le comportement thermique de ces mélanges a été étudié pour permettre d'une part, de suivre l'évolution des pertes en poids en fonction du type d'ajouts et d'autre part, déterminer les changements de phases, endothermique et exothermique, des différentes transformations lors du traitement thermique.

Pour une vitesse de chauffe de 10°C/mn, la figure III.17 montre les transformations thermiques globales des échantillons avec ajout de la coque du grignon d'olive à différentes températures.

Entre 20 et 120°C, le pic endothermique correspond au départ de l'eau de constitution. Ce pic est beaucoup plus marqué pour les échantillons avec ajouts.

Aux environs de 300°C le pic exothermique est attribué à des matières organiques présentes dans les échantillons. Plus le pourcentage d'ajout est élevé, plus ce pic est important à cause de la quantité de la matière organique ajoutée dans le mélange qui brûle et crée ainsi une surabondance de chaleur. A partir de là nous pouvons dire que l'ajout d'une matière organique contribue à élever la vitesse de cuisson d'où le gain de temps.

Entre 750°C et 850°C un autre pic endothermique correspond à la décomposition de la calcite (CaCO_3) présente dans l'argile utilisée.

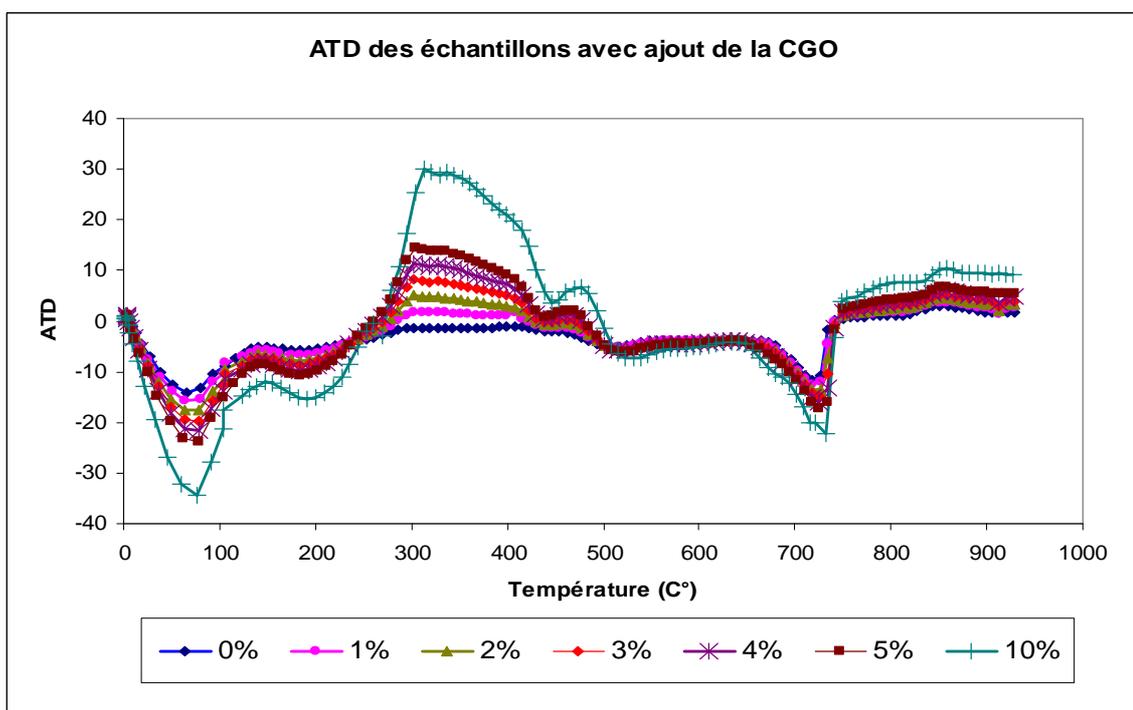


Figure III.17 : ATD des différents échantillons avec ajout de la CGO à différents pourcentages

En comparant les graphes des échantillons avec et sans additifs, on constate des différences de températures. L'augmentation de température est proportionnelle au pourcentage d'ajouts. Ceci met en évidence que l'ajout d'une matière organique contribue à augmenter la température de cuisson d'où le gain de temps.

Nous avons essayé de montrer clairement à titre d'exemple la différence entre le premier pic exothermique de l'échantillon témoin et chacun des échantillons de la série à 5% d'ajouts. Cela est vérifié par les analyses thermiques différentielles des échantillons avec ajouts des différentes matières organiques utilisées dans cette étude : la CGO, le foin et le GOB qui seront présentées par les figures III.18.1, III.18.2 et III.18.3 respectivement.

L'étude comparative que nous avons faite entre les analyses thermiques différentielles des échantillons avec et sans additifs montre plus particulièrement que toutes les séries d'analyse avec ajouts dégagent plus de chaleur que l'échantillon témoin ; ceci prouve que l'ajout d'une matière organique contribue à faire augmenter la température dans le four sous l'effet de la chaleur qu'elle dégage.

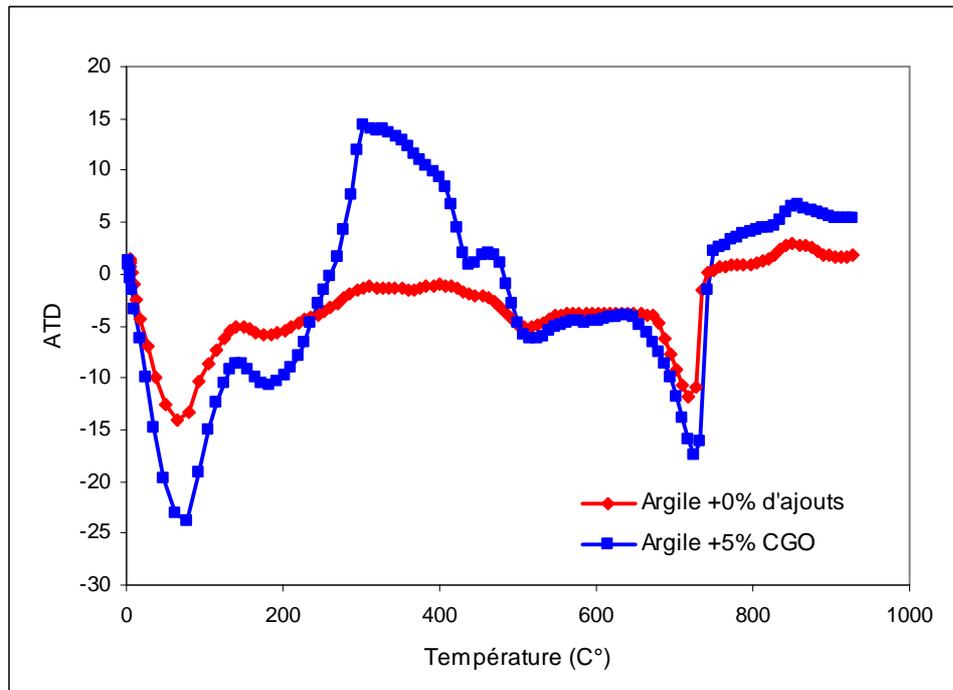


Figure III.18.1 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de CGO)

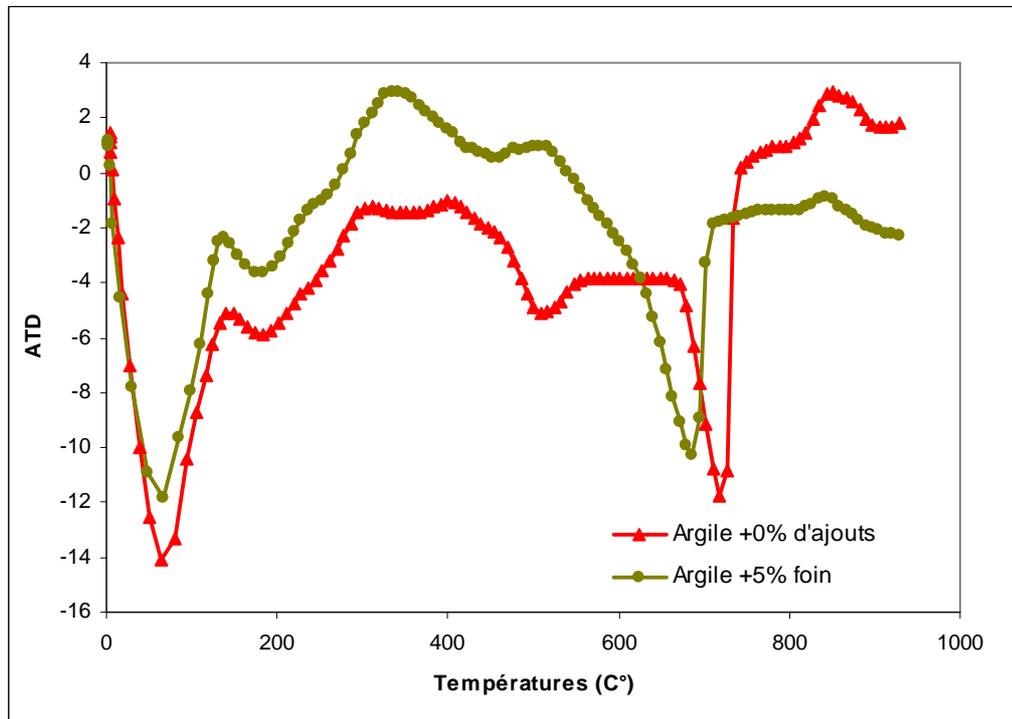


Figure III.18.2 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de Foin)

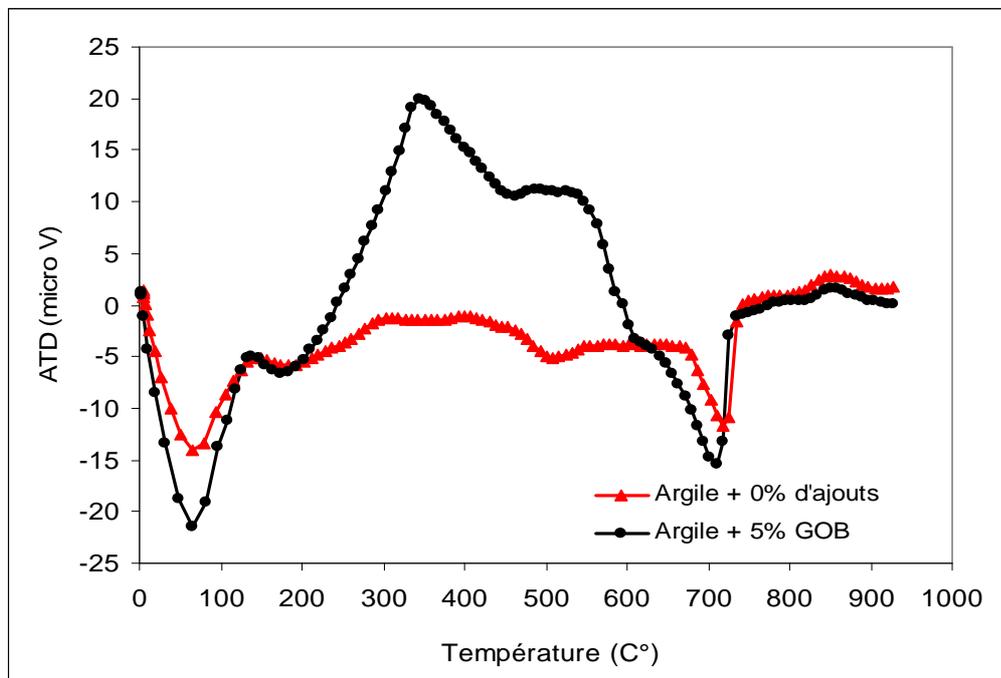


Figure III.18.3 : ATD de l'échantillon témoin (0% d'ajouts) avec l'échantillon (argile + 5% de GOB)

Nous présentons par la figure III.19 une comparaison entre l'ATD des échantillons à 5% d'ajouts contre l'échantillon témoin et nous constatons effectivement que le GOB dégage plus de chaleur que la CGO, ceci est dû à la quantité d'huile contenue dans la pulpe du grignon brut. Par contre le foin dégage moins de chaleur que le grignon d'olive d'une façon générale.

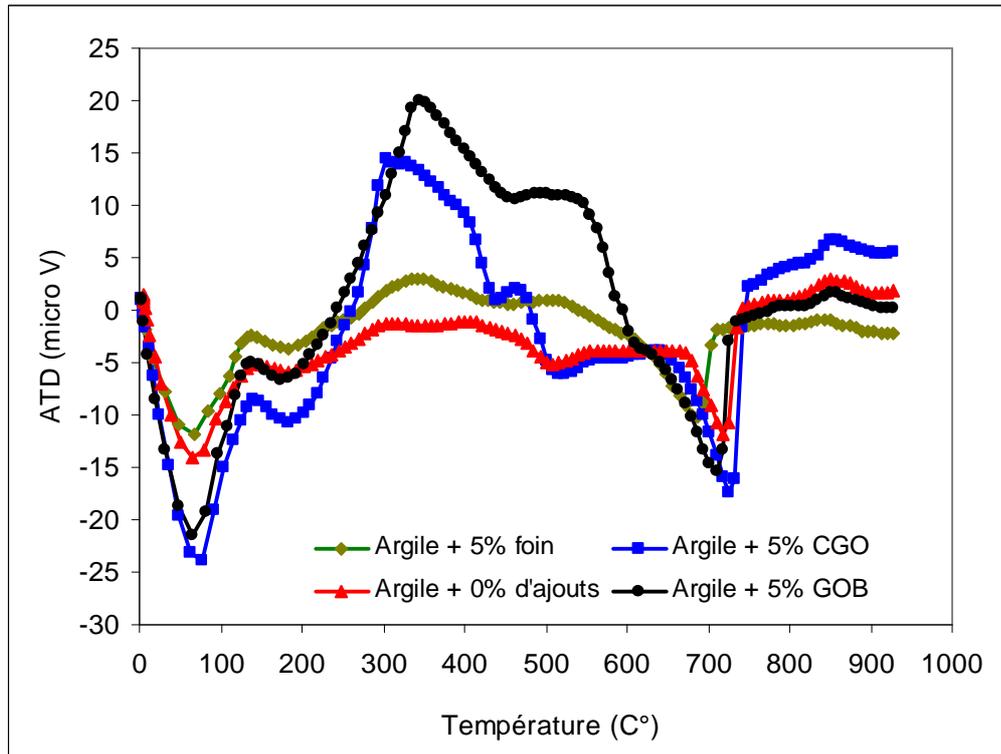


Figure III.19 : Comparaison de l'ATD des différents échantillons à 5% d'ajouts contre l'échantillon témoin

Nous avons confronté les résultats obtenus par l'ATD à des essais effectués au laboratoire où nous avons tenté de surveiller l'évolution de la température en fonction du temps des échantillons avec ajouts des différentes matières organiques pendant leurs cuissons au four à moufle. Et cette confrontation montre que l'échantillon avec ajout de GOB cuit le premier suivi par l'échantillon avec ajout de la CGO, ensuite vient l'échantillon avec ajout de foin. Il faut signaler aussi que les échantillons avec ajouts cuisent tous avant l'échantillon témoin à 0% d'ajouts (voir figure III.20).

Delà nous pouvons dire que les échantillons avec ajouts cuisent plutôt que l'échantillon témoin d'où le gain de temps.

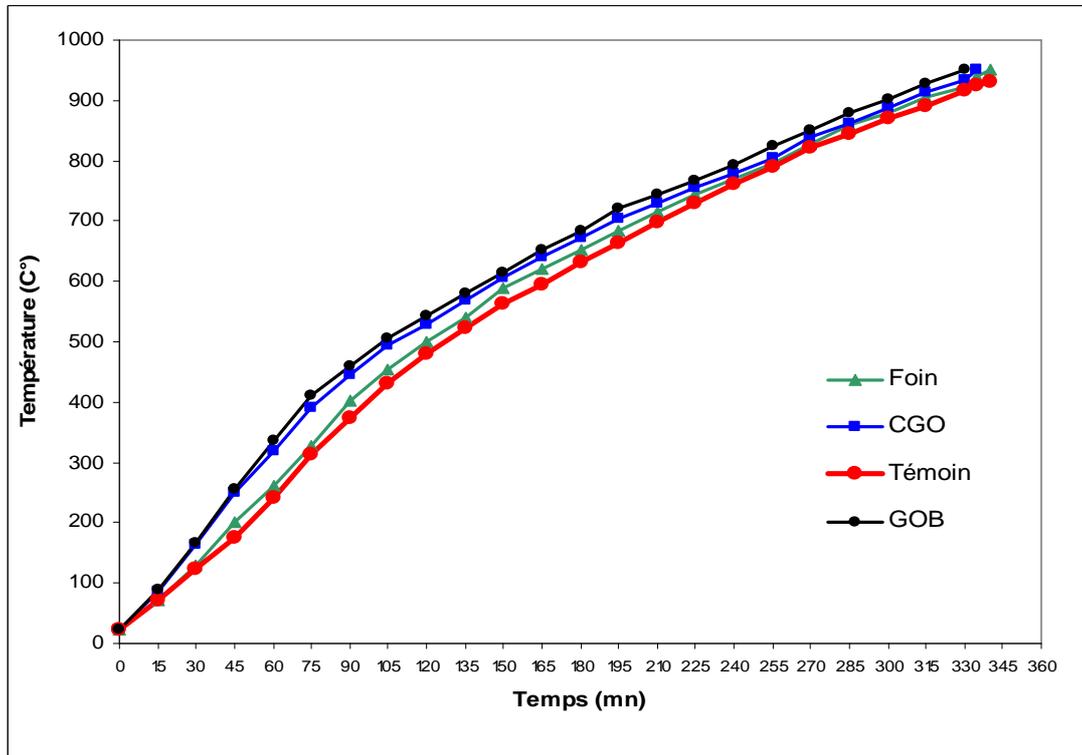


Figure III.20 : Comparaison de l'évolution de la température de cuisson des briques des différents échantillons à 5% d'ajouts contre l'échantillon témoin

III.4.3.5. Analyse thermique gravimétrique des mélanges (argile + résidu)

Pour illustrer l'évolution de la perte en poids de chaque mélange (argile + ajouts), nous procédons à une comparaison entre l'échantillon témoin (à 0% d'ajout) et les échantillons avec ajouts.

Nous constatons par l'analyse thermique gravimétrique réalisée sur ces échantillons que la perte en poids de l'échantillon avec ajouts est plus importante que celle de l'échantillon témoin (figure III.21). A cause du dioxyde de carbone (CO_2) libéré durant l'opération de cuisson, les briques deviennent poreuses avec une perte en masse qui augmente avec l'ajout de la matière organique. A la température au dessus de 750°C , la réduction de masse devient insignifiante.

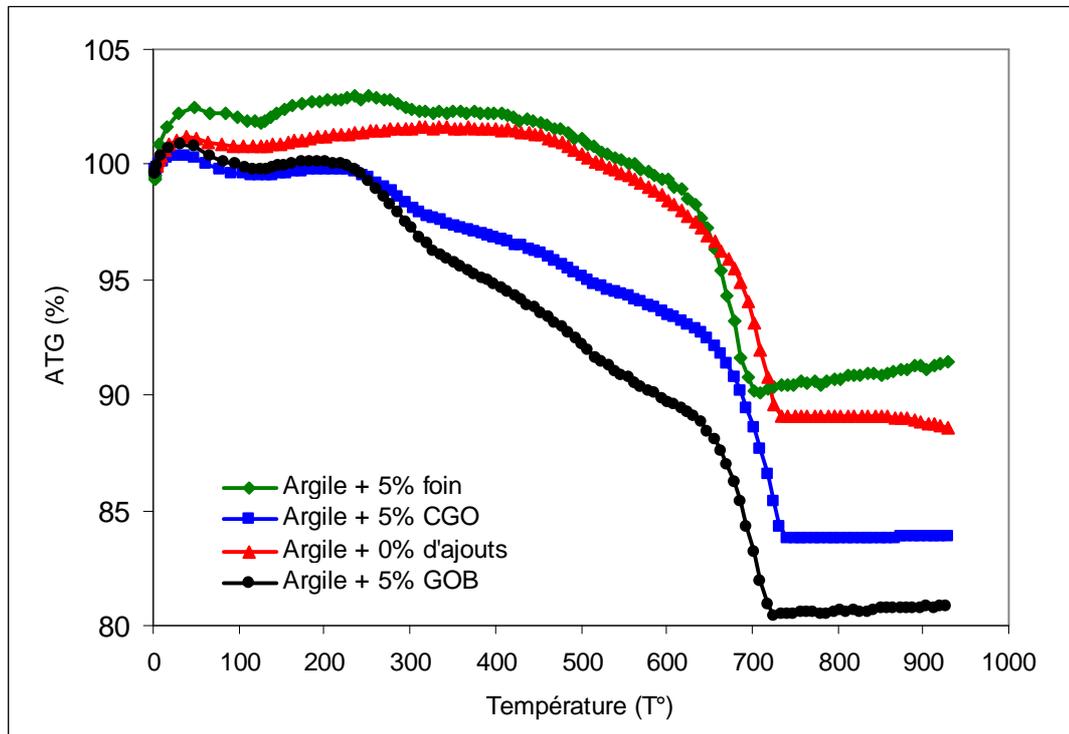


Figure III.21 : ATG de l'échantillon témoin et les échantillons avec 5% d'ajouts

La figure III.22 montre l'état d'évolution des pertes en poids des échantillons avec 5% d'ajouts de matières organiques (GOB, CGO et foin) en les comparant avec l'échantillon témoin (argile à 0% d'ajouts). Le premier pic pour l'ensemble des échantillons présente la perte en poids provoquée par la perte d'humidité. Le deuxième pic correspond à la perte de la matière végétale sur l'intervalle de 190°C à 340°C. Ceci est vérifié par l'analyse thermique gravimétrique de chaque ajout qui a confirmé que ce dernier enregistre des pertes en masse sur le même intervalle de température. On constate clairement que les échantillons avec ajouts marque une perte en poids considérable par rapport à l'échantillon témoin.

Le dernier pic des pertes en poids est presque pareil pour l'ensemble des échantillons, il est attribué à la décomposition des carbonates entre 600°C et 780°C. D'une façon générale, la décarbonatation commence réellement à partir de 650°C [53]

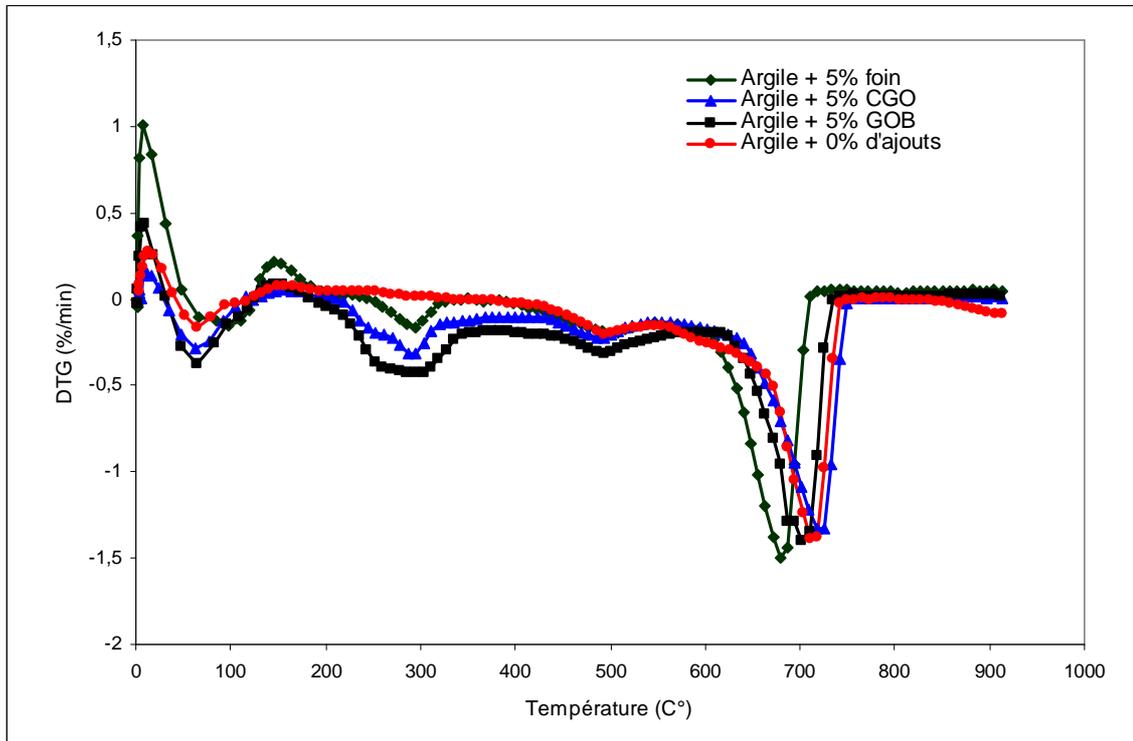


Figure III.22 : Vitesse de réduction de masse des échantillons à 5% d'ajouts (DTG)

III.5. Conclusion

Ce chapitre a pour objet d'analyser les matériaux utilisés dans la fabrication de la brique. Les résultats les plus remarquables sont les suivants :

- L'assise utile du gisement est représentée par des argiles marneuses, compactes modérément plastiques jaunes et grises.

Les minéraux argileux sont essentiellement représentés par des kaolinites et des chlorites. Du point de vue composition chimique la matière première argileuse se caractérise par une faible teneur en silice (46.67%) et par une teneur en oxyde de fer, de magnésium et d'alumine se trouvant dans la limite des normes.

- L'analyse chimique des ajouts organiques (par la méthode de Van Soest) montre qu'ils contiennent des teneurs très élevées en constituants pariétaux (cellulose, lignine, hémicellulose). La coque du grignon d'olive renferme plus de cellulose et de lignine. Cette composition en constituants pariétaux des grignons d'olives est comparable à celle du foin avec un degré de lignification apparemment plus élevé.

- La forme des courbes d'ATD obtenues avec ajouts de matières organiques est typique à celle de l'argile sans ajouts. On y distingue essentiellement deux pics :
 - Un pic exothermique aux environs de 300°C, attribué à des matières organiques présentes dans les échantillons. Ce pic est proportionnel au pourcentage d'ajouts. En raison des teneurs organiques élevées et des valeurs calorifiques de ces résidus, l'incinération est favorisée et fait augmenter la vitesse de chauffe d'où un gain de temps.
 - Et un pic endothermique 750°C et 850°C correspond à la décomposition de la calcite (CaCO_3) présente dans l'argile utilisée.

- L'analyse thermique gravimétrique (ATG) de l'argile de Remila décèle une perte en poids importante de cette matière. Cette analyse montre trois principales pertes de masses, attribuées régulièrement au départ de l'eau d'humidité, de l'eau de constitution et de matières organiques ainsi qu'à la décarbonatation (décomposition des carbonates).

Si les premiers et les derniers pics sont presque semblables pour l'ensemble des échantillons, les deuxièmes pertes varient nettement en fonction du pourcentage d'ajouts. La perte au feu est influencée par l'ajout de matières organiques.

- Le comportement thermique des résidus utilisés dépend de leurs compositions chimiques, des substances inorganiques c'est à dire teneurs en cendres.

La teneur en cellulose contribue à la hausse de la température initiale de la dégradation thermique.

Chapitre IV

CARACTESTIQUES PHYSICO-MECANIKES DES BRIQUES AVEC AJOUTS

Caractéristiques physico-mécaniques des briques avec ajouts

IV.1. Introduction

La brique (mélange de plusieurs composants différents) présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles des composants. Ces derniers sont essentiellement :

1. Argiles plastiques : des mélanges d'argiles (silicates d'alumine ; exemple smectite, kaolinite, chlorite...) et/ou de limons offrant la plasticité à la pâte.
2. Dégraissants : réduisent la plasticité de la pâte. Ce sont essentiellement les argiles cuites (chamottes), la silice, le quartz et le rebut de cuisson.
3. Fondants : aident à la cuisson en réduisant la température de fusion. Ce sont généralement les oxydes (oxyde de fer et oxyde de calcium...).
4. Eau : pour l'obtention de la pâte.

La raison de la diversité des performances apportée par les produits, se traduit par une plus grande complexité des textes réglementaires à prendre en compte pour la fabrication de ces produits. Nous avons mentionné en particulier les normes des essais effectués dans cette étude, car il serait long et hors de propos de citer toutes les normes qui gèrent les produits de terre cuite.

Différents types de résidus organiques combustibles sont utilisés dans le but de produire des matériaux poreux. La capacité d'isolation de la brique augmente avec la porosité croissante dans le corps d'argile.

Notre travail consiste à utiliser le grignon d'olive et le foin dans le but de fabriquer des produits poreux et de valoriser les déchets mis en décharge pour préserver l'environnement.

Afin que l'aspect environnemental soit logique, il faut pousser la réflexion bien au-delà des techniques de production. En effet, il ne suffit pas de garantir une production respectueuse de l'environnement, encore faut-il s'assurer des qualités physico-mécaniques du produit que l'on met sur le marché.

Où serait la logique de tant d'efforts et d'investissements pour préserver notre environnement s'ils devaient conduire à des matériaux peu résistants! Pour cela il serait utile d'examiner les différentes caractéristiques par des essais de laboratoire.

Le contrôle Consiste à observer les aspects suivants:

- La couleur du produit.
- Le retrait au séchage et à la cuisson
- La perte au feu
- La plasticité
- La masse volumique
- Le coefficient d'absorption d'eau
- La résistance à la flexion
- La résistance à la compression

IV.2. Mélanges de matières premières

Les pourcentages pris dans les essais sont exprimés en masse par rapport à la quantité totale d'argile sèche.

Sept séries d'échantillons ont été préparées pour les essais selon le pourcentage d'addition de résidu. La série 01 est la brique standard d'argile (0% d'ajouts) qui servira de témoin. Les séries 2, 3, 4, 5, 6, et 7 contiennent des additions de résidu de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10% respectivement. Le grignon est pris une fois à l'état brut et une autre fois à l'état tamisé (la coque du grignon seulement). Le foin est coupé à des longueurs de 1 cm environ, pour avoir en fin de compte trois ajouts à additionner dans le mélange d'argile pour confectionner des échantillons de briques pleines : le grignon d'olive brut (GOB), la coque du grignon d'olive (CGO) et le foin.



Figure IV.1 : Matières premières utilisées (foin, grignon d'olive brut (GOB), coque du grignon d'olive (CGO) et argile

Le façonnage plastique des éprouvettes a été réalisé avec difficulté au premier lieu à cause de la présence de fractions grossières dans l'argile utilisée. Le broyage assez fin (à 1mm) était l'opération à ne pas éviter pour améliorer les propriétés de façonnage.

Le résidu a été séché à l'étuve pendant 24h afin d'assurer l'exactitude des pourcentages. Selon l'addition de résidu, le changement de la plasticité du corps d'argile a été mesuré. A cette fin, le calcul de la plasticité de chaque mélange a été effectué.

IV.3. Calcul du domaine de plasticité

Afin d'étudier l'effet du grignon d'olive et du foin sur la porosité de la brique ; différentes quantités des résidus (grignon d'olive brut, coque du grignon et foin) sont ajoutées à l'argile.

Selon l'addition du résidu, le changement de plasticité du corps d'argile sera mesuré.

IV.3.1 Détermination des limites d'Atterberg

Le mélange d'argile avec l'eau présente trois états différents : état liquide, plastique et solide. Il en résulte le phénomène de consistance, qui peut être modifié en fonction de la teneur en eau du mélange [54].

Les teneurs limites en eau ; de liquidité et de plasticité (w_l et w_p), fixent conventionnellement le passage d'un état à un autre. Elles sont déterminées avec des essais effectués sur une fraction d'argile passant au travers du tamis 400 μ m.

Nous introduisons à partir de ces deux teneurs l'indice de plasticité I_p . Ce dernier représente l'intervalle des teneurs en eau pour laquelle, les limites de liquidité et de plasticité constituent les bornes supérieures et inférieures de l'état plastique du matériau.

L'indice de plasticité est défini par la relation :

$$I_p = w_l - w_p$$

IV.3.1.1. Matériels nécessaires

a. Pour la préparation de l'argile

- Tamis à mailles carrées de 400 μ m d'ouverture
- Bac de manutention (30 \times 20 \times 8cm)
- Récipient

b. Appareil de Casagrande

Il est constitué d'une coupelle normalisée, montée sur un support métallique avec manivelle, le tout étant fixé sur le socle en bois. L'ensemble permet de faire tomber la coupelle d'une hauteur de 10mm sur le bloc de bois dur. Chaque choc entraînera la fermeture progressive de la rainure pratiquée dans l'échantillon de l'argile à l'aide de l'outil de rainure. Les caractéristiques géométriques et normalisées de l'appareil sont précisées dans la norme NF P94-051 [14].



Figure IV.2: Appareil de Casagrande et outil à rainurer

IV.3.1.2. Mode opératoire

a. Pour déterminer la limite de liquidité w_l

- Prendre 200g d'argile et les mouiller avec de l'eau jusqu'à l'obtention d'un mortier mou.
- L'échantillon préparé est mis en place à la spatule, sur l'appareil de Casagrande de façon homogène. L'épaisseur au centre est de 15 à 20mm, le pourtour étant sensiblement horizontal.

- A l'aide de l'outil à rainurer, on creuse une rainure dans le mortier contenu dans la coupelle, puis on tourne la manivelle afin de provoquer le choc de celle-ci sur le bloc de bois dur. On observe le fond de la rainure et on compte le nombre de chocs nécessaires pour que celle-ci se referme sur 1 cm environ.
- Recommencer l'opération 4 à 5 fois avec des teneurs en eau décroissantes et telles que le nombre de chocs à chaque essai soit compris entre 15 et 35 :
 - Si le nombre de choc est inférieur à 15, laisser sécher un peu.
 - Si le nombre de chocs est supérieur à 35, humidifier légèrement et bien homogénéiser l'argile et reprendre l'essai.
- Pour chaque essai, on détermine la teneur en eau w par la manière suivante :
 - Prélever un peu de mortier de chaque opération
 - Peser immédiatement soit P
 - Mettre à l'étuve à 105° jusqu'à obtention d'un poids stable (24heures)
 - Peser l'échantillon sec à la sortie de l'étuve
 - Calculer la teneur en eau w par la relation :

$$w = \frac{(P - T) - (Pd - T)}{Pd - T}$$

w : teneur en eau (exprimé en %)

T : poids de la tare

P : poids de l'échantillon humide, y compris la tare

P_d : poids de l'échantillon sec, y compris la tare

La détermination de la limite de liquidité se fait à partir de la représentation graphique de la teneur en eau w mesurée à chaque essai, en fonction du logarithme du nombre de coups correspondants.

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à la fermeture de la rainure sur 1 cm de longueur en 25 chocs. Elle peut être lue sur le graphique pour les 25 coups.

Tableau IV.1 : Calcul des teneurs en eau en fonction du nombre de coups

N° Tare	4	7	1	3	5
Poids total humide W (g)	31.5	34.6	32.8	32.9	30.6
Poids total sec W_d (g)	29.3	31.4	30.2	30.0	28.3
Poids de la tare T (g)	22.2	21.8	22.6	21.9	22
Poids net d'eau (g)	2.2	3.2	2.6	2.9	2.3
Poids sec (g)	7.1	9.6	7.6	8.1	6.3
Teneur en eau w %	31	33.33	34.2	35.8	36.5
Nombre de coups	34	32	29	23	21

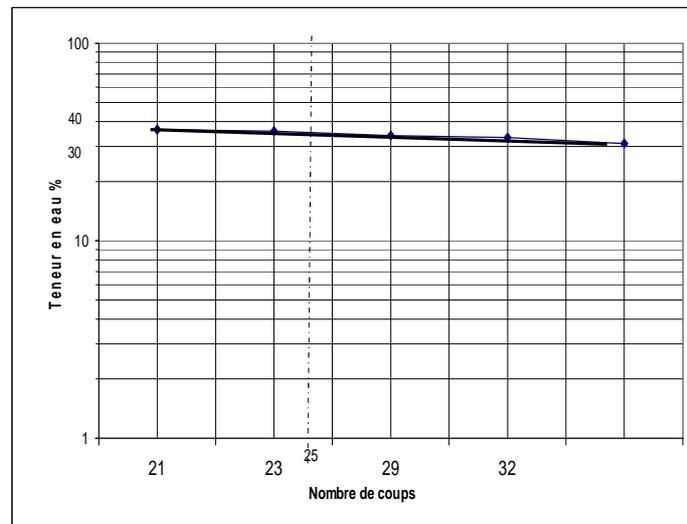


Figure IV.3 : Représentation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups

A partir du graphe on aura : $w_1 \approx 35.2\%$

b. Pour déterminer la limite de plasticité w_p

Il faut laisser sécher l'échantillon, ensuite faire une boulette de mortier à la grosseur d'une noisette et faire un cylindre en la roulant sur la plaque en verre propre lisse et sèche.

Par définition la limite de plasticité est la teneur en eau du cylindre qui se brise lorsque son diamètre atteint 3mm. Le cylindre terminé doit avoir de 10 à 15 cm de longueur.

- S'il se brise avant d'atteindre les 3mm de diamètre, la teneur en eau est trop faible.
- S'il ne se brise pas en le soulevant en son milieu de 15 à 20mm, diminuer la teneur en eau.

La limite de plasticité est atteinte si la rupture se fait pendant ce soulèvement. Cette teneur en eau est déterminée selon la procédure décrite pour la détermination de la teneur de liquidité.

Tableau IV.2 : Calcul de la limite de plasticité

N° Tare	2	29	20	11
Poids total humide W (g)	25.7	21.4	20.6	25.1
Poids total sec W_d (g)	25.2	24.72	23.51	24.56
Poids de la tare T (g)	22.8	24.14	23.01	21.9
Poids net d'eau (g)	0.5	2.74	2.41	0.54
Poids sec (g)	2.4	0.58	0.5	2.66
Limite de plasticité w_p %	20.83	21.17	20.74	20.30

On aura : $w_p (\%) = 20.76\%$

IV.3.1.3. Résultats et discussions

On constate que la plasticité des échantillons augmente avec l'augmentation de la quantité de résidu additionnée dans le mélange d'argile. La figure IV.4 donne la limite de plasticité de chaque série d'échantillons.

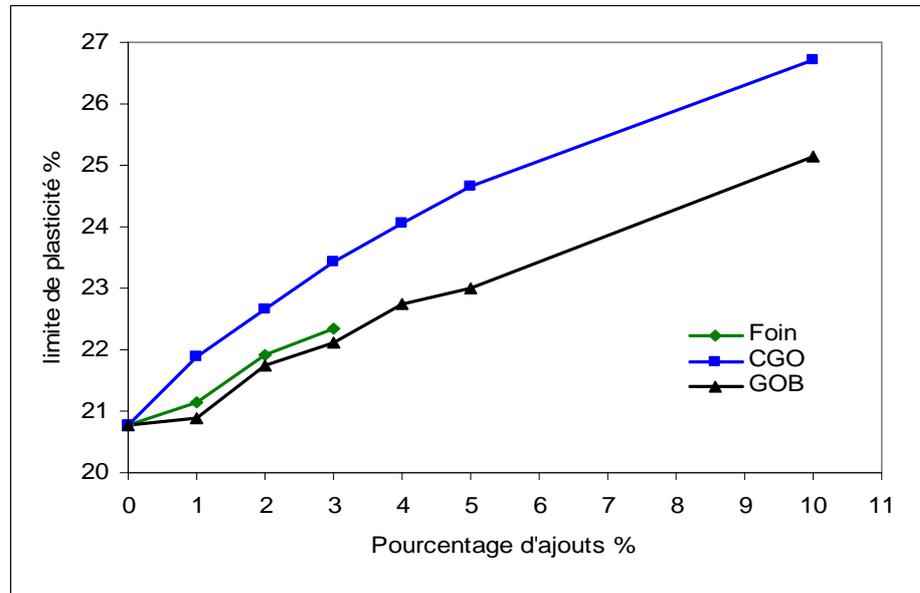


Figure IV.4 : Limite de plasticité de chaque série d'échantillons en fonction du pourcentage d'ajouts

IV.4. Préparation des éprouvettes

Le mélange « argile et résidu » a été remué pendant 30mn afin d'assurer une bonne homogénéisation ainsi qu'une mixture intime des grains d'argiles avec celles du résidu. Des briques pleines de dimensions (16×4×4) centimètre ont été préparées à la main dans le laboratoire de béton de l'université de Béjaia. Cette phase préparatoire très importante est traitée très rigoureusement et avec beaucoup de patience.

On additionne à l'ensemble argile-résidu la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte plastique. On prend une quantité de cette pâte, on l'enfonce dans le moule préalablement huilé pour éviter que la pâte ne colle aux parois, On la presse convenablement pour remplir le moule, on arase l'excédent, ensuite on procède au démoulage.

Les mesures de masses prises pour chaque échantillon sont basées sur 6000g de pâte d'argile ou sur une quantité correspondante de masse sec. Des échantillons de briques pleines ont été confectionnés à l'aide des équipements de laboratoire. Chaque pain d'argile de cette quantité nous donne 12 éprouvettes de dimensions (16x4x4) cm.

Les pourcentages d'ajouts sont de 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% et 10% pour la CGO et GOB. Par contre pour le foin, le pourcentage est arrêté à 3% à cause de sa légèreté. Si les pourcentages sont plus élevés, l'argile se trouvera noyée dans le foin.

Les tableaux IV.3.1, IV.3.2, IV.3.3, IV.3.4, IV.3.5, IV.3.6 et IV.3.7 donnent la composition du mélange de chaque série aux pourcentages sus cités (12 éprouvettes pour chaque échantillon) :

Tableau IV.3.1 : Composition du mélange (Série 01 à 0% de l'ajout)

	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	79.24	4754.4	
Argile			4754.4
Ajout (%)	0	0	0
Eau	20.76	1245.6	1245.6
Masse totale	100	6000	6000

Tableau IV.3.2 : Composition du mélange (Série 02 à 1% de l'ajout)

	Foin			CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	78.85	4731		78.11	4686.6		79.10	4746	
Argile			4683.69			4639.73			4698.54
Ajout (%)	1		47.31	1		46.87	1		47.46
Eau	21.15	1269	1269	21.89	1313.4	1313.4	20.9	1254	1254
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000	100	6000	6000

Tableau IV.3.3 : Composition du mélange (Série 03 à 2% de l'ajout)

	Foin			CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	78.09	4685.4		77.33	4639.8		78.27	4696.2	
Argile			4591.69			4547			4602.28
Ajout (%)	2		93.71	2		92.8	2		93.92
Eau	21.91	1314.6	1314.6	22.67	1360.2	1360.2	21.73	1303.8	1303.8
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000	100	6000	6000

Tableau IV.3.4 : Composition du mélange (Série 04 à 3% de l'ajout)

	Foin			CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	77.66	4659.6		76.57	4594.2		77.88	4672.8	
Argile			4519.81			4456.37			4532.62
Ajout (%)	3		139.79	3		137.83	3		140.18
Eau	22.34	1340.4	1340.4	23.43	1405.8	1405.8	22.12	1327.2	1327.2
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000	100	6000	6000

Tableau IV.3.5 : Composition du mélange (Série 05 à 4% de l'ajout)

	CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	75.93	4555.8		77.25	4635	
Argile			4373.59			4449.6
Ajout (%)	4		182.23	4		185.4
Eau	24.07	1444.2	1444.2	22.75	1365	1365
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000

Tableau IV.3.6 : Composition du mélange (Série 06 à 5% de l'ajout)

	CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	75.36	4521.6		76.99	4619.4	
Argile			4295.52			4388.43
Ajout (%)	5		226.08	5		230.97
Eau	24.67	1478.4	1478.4	23.01	1380.6	1419.6
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000

Tableau IV.3.7 : Composition du mélange (Série 07 à 10% de l'ajout)

	CGO			GOB		
	% par masse	Masse (g)	Masse (g)	% par masse	Masse (g)	Masse (g)
Masse sèche d'argile	73.29	4397.4		74.87	4492.2	
Argile			3957.66			4402.98
Ajout (%)	10		439.74	10		449.22
Eau	26.71	1602.6	1602.6	25.13	1507.8	1507.8
Masse totale	100	6000	6000	100	6000	6000



Figure IV.5 : Spécimens des briques confectionnées (cuites et non cuites)

Les échantillons ainsi formés ont été séchés à l'air libre au laboratoire pendant 72h pour être séchés ensuite dans l'étuve à 105° C jusqu'à ce que le poids soit constant (l'opération a pris trois jours). Le séchage est une étape sensible et elle doit être longue, progressive et bien homogène. Le séchage a pour but d'éliminer lentement l'eau de mouillage sans déformer le produit. Lorsque le séchage des briques s'effectue mal, il peut y'avoir des déformations, des fendillements et autres accidents. En effet la réalisation d'une cuisson d'un produit céramique cru, c'est-à-dire n'ayant pas encore perdu une bonne partie de l'eau qu'il contient, conduit à un risque de fissuration et d'éclatement.

Ces échantillons sont ensuite cuits dans un four à moufle (four électrique) à une température de 2°C/min jusqu'à 600°C (procéder à une cuisson lente au départ afin d'assurer une incinération des matières organiques sans inflammation) ensuite à 5°C/min jusqu'à 900°C (la matière organique est déjà consommée).

L'extinction du four est réalisée après une heure de temps. Les briques sont restées dans le four pour une durée de temps afin d'assurer un refroidissement progressif et d'éviter le choc thermique.

La cuisson permet de consolider thermiquement un produit en un corps dense. C'est la dernière étape de constitution de la brique et elle est très complexe. Cette étape est très délicate : Il faut soumettre le bloc d'argile à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson. Durant ce processus, la brique subit une série de modifications chimiques et physiques qui lui permettent de former des liaisons céramiques. Vient ensuite la phase de refroidissement qui doit être elle aussi progressive. La cuisson est une étape essentielle qui détermine la qualité de la brique. Le matériau a alors atteint ses propriétés de résistance mécanique, porosité, absorption d'eau...

Jusqu'à 120°C, l'eau restante dans la masse des briques après séchage commence à s'évaporer. Une progression lente de température doit être respectée afin de laisser à la vapeur d'eau le temps de s'échapper. De 350°C à 500°C, l'eau contenue dans les associations macromoléculaires de l'argile dite l'eau zéolithe s'évapore à son tour. Elle doit être libérée progressivement pour éviter tout risque d'éclatement du produit. A partir de 573°C, le quartz commence à s'altérer. Là aussi, la lenteur du réchauffement permet de diminuer le risque d'éventuels incidents.

A partir de 600°C une hausse un peu plus rapide de la température devient moins risquée.

Après refroidissement total, nous procédons à la détermination du retrait à la cuisson, de perte au feu, du poids volumique et du coefficient d'absorption d'eau sur l'ensemble des échantillons de briques confectionnées à différents pourcentages d'ajouts. Toutes les éprouvettes font l'objet d'un examen visuel : couleur, forme...

IV.5. Méthodes d'analyses techniques

Une fois des éprouvettes de briques avec ajouts des différentes matières organiques sont confectionnées, ces échantillons seront soumis à de différents essais.

Les spécifications techniques des briques pleines sont fixées dans les normes algériennes (NA) adoptées par le comité technique national N°37 « Liants - bétons - granulats » avec le statut de norme enregistrée conformément à la résolution du procès verbal de réunion N°02 du 14/05/95 (voir annexe IV.1)

IV.5.1. Essai de compression sur des éprouvettes crues

Des essais de compression ont été effectués sur des éprouvettes non cuites et nous avons constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajouts organiques. Ces derniers fortifient la pâte d'argile qui tend à être malléable (déformable) et protègent les briques de se craqueler durant la phase de séchage. Le tableau IV.4 regroupe les résultats de cet essai et la figure IV.6 montre bien l'accroissement de la résistance des briques en fonction du pourcentage d'ajouts.

Tableau IV.4 : Résistances à la compression des briques crues avec ajouts

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
CGO (MPa)	4.88	5.02	5.44	5.83	6.14	6.28	7.05
GOB (MPa)	4.88	4.97	5.32	5.75	5.98	6.15	6.88
Foin (MPa)	4.88	5.02	5.39	5.8			

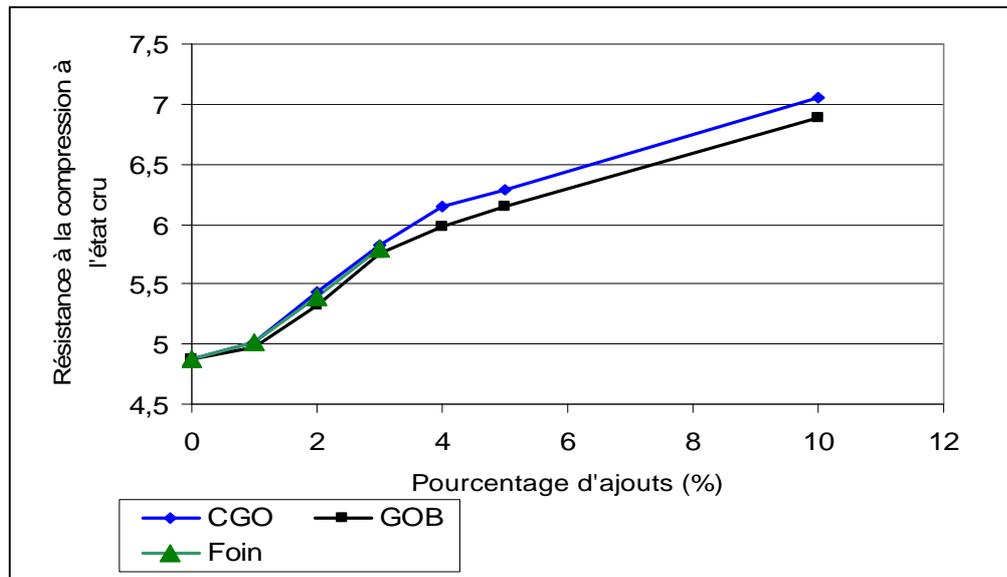


Figure IV.6 : Résistance à la compression des produits crus

IV.5.2. Calcul des pertes et des retraits au séchage et après cuisson

Les échantillons ont été pesés et mesurés au séchage et à la fin de la cuisson. En outre, le rétrécissement au séchage (R_S), le rétrécissement total après la cuisson (R_T), la perte en poids au séchage (P_S) et la perte au feu (P_F) ont été déterminés selon les équations suivantes :

$$\% R_S = \frac{L_p - L_s}{L_p} * 100$$

$$\% R_t = \frac{L_p - L_f}{L_p} * 100$$

$$\% P_S = \frac{W_p - W_s}{W_s} * 100$$

$$\% P_f = \frac{W_s - W_f}{W_s} * 100$$

Avec :

L_P : longueur de la brique à l'état plastique (après façonnage)

L_S : longueur de la brique au séchage

L_F : longueur de la brique après la cuisson

W_P : poids de la brique à l'état plastique (après façonnage)

W_S : poids de la brique au séchage

W_F : poids de la brique après la cuisson

IV.5.2.1. Caractéristiques de séchage et de cuisson

Les caractéristiques de séchage et de cuisson des différents échantillons sont données dans les tableaux IV.5.1, IV.5.2, IV.5.3, IV.5.4, IV.5.5, IV.5.6 et IV.5.7.

A cause de l'eau ajoutée dans le mélange de la brique ; celle-ci subit un retrait au séchage ensuite à la cuisson. L'élimination de cette eau entraîne une première perte en poids au séchage selon l'argile utilisée, ensuite une deuxième perte en poids après la cuisson.

Tableau IV.5.1 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 01 à 0% d'ajouts)

	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	20.76		
Poids moyen (gr)	458.35	379.84	325.41
Dimensions (cm)	16×4×4	15.3×3.89×3.65	15.26×3.85×3.62
Perte en poids (%)		20.67	
Perte au feu (%)			14.33
Retrait R _S (%)		4.38	
Retrait R _T (%)			4.63

Tableau IV.5.2 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 02 à 1% d'ajouts)

	Foin			CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	21.15			21.89			20.90		
Poids moyen (gr)	446.72	369.07	314.26	431.33	375.36	319.39	457.68	378.84	321.98
Dimensions (cm)	16×4×4	15.25×3.72×3.57	15.24×3.71×3.56	16×4×4	15.23×3.69×3.57	15.21×3.69×3.56	16×4×4	15.27×3.73×3.59	15.25×3.72×3.58
Perte en poids (%)		21.04			21.74			20.81	
Retrait R _S (%)		4.69			4.81			4.56	
Perte au feu (%)			14.85			14.91			15.01
Retrait R _T (%)			4.75	21.89		4.94			4.69

Tableau IV.5.3 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 03 à 2% d'ajouts)

	Foin			CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	21.91			22.67			21.73		
Poids moyen (gr)	439.39	360.69	305.18	449.78	366.93	311.34	455.06	374.01	315.33
Dimensions (cm)	16×4×4	15.22×3.7×3.6	15.20×3.69×3.59	16×4×4	15.21×3.71×3.56	15.18×3.7×3.56	16×4×4	15.25×3.73×3.6	15.24×3.72×3.6
Perte en poids (%)		21.82			22.58			21.67	
Retrait R_S (%)		4.88			4.94			4.69	
Perte au feu (%)			15.39			15.15			15.69
Retrait R_T (%)			5			5.13			4.75

Tableau IV.5.4 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 04 à 3% d'ajouts)

	Foin			CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	22.34			23.43			22.12		
Poids moyen (gr)	438.7	358.8	301.75	450.98	365.58	306.87	444.04	363.79	304.24
Dimensions (cm)	16×4×4	15.19×3.74×3.61	15.17×3.73×3.6	16×4×4	15.17×3.74×3.61	15.15×3.72×3.6	16×4×4	15.23×3.74×3.61	15.21×3.73×3.6
Perte en poids (%)		22.27			23.36			22.06	
Retrait R_S (%)		5.06			5.19			4.81	
Perte au feu (%)			15.90			16.06			16.37
Retrait R_T (%)			5.19			5.31			4.94

Tableau IV.5.5 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 05 à 4% d'ajouts)

	CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	24.07			22.75		
Poids moyen (gr)	437.35	361.42	301.28	440.27	358.85	297.74
Dimensions (cm)	16×4×4	15.13×3.75×3.6	15.11×3.74×3.6	16×4×4	15.19×3.75×3.6	15.17×3.73×3.6
Perte en poids (%)		24.01			22.69	
Retrait R_S (%)		5.44			5.06	
Perte au feu (%)			16.64			17.03
Retrait R_T (%)			5.56			5.19

Tableau IV.5.6 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 06 à 5% d'ajouts)

	CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage (%)	24.67			23.01		
Poids moyen (gr)	450.53	361.55	299.33	435.09	353.82	291.3
Dimensions (cm)	16×4×4	15.10×3.78×3.65	15.07×3.78×3.64	16×4×4	15.14×3.76×3.6	15.11×3.74×3.62
Perte en poids (%)		24.61			22.97	
Retrait R_S (%)		5.63			5.38	
Perte au feu (%)			17.21			17.67
Retrait R_T (%)			5.81			5.56

Tableau IV.5.7 : Caractéristiques de séchage et de cuisson (Série 07 à 10% d'ajouts)

	CGO			GOB		
	Façonnage	Séchage	Cuisson	Façonnage	Séchage	Cuisson
Humidité de façonnage	26.71			25.13		
Poids moyen (gr)	450.75	355.93	284.64	442.23	353.56	280.69
Dimensions (cm)	16×4×4	14.98×3.8×3.75	14.96×3.8×3.74	16×4×4	15.04×3.78×3.58	15.01×3.79×3.74
Perte en poids (%)		26.64			25.08	
Retrait R_S (%)		6.38			6	
Perte au feu (%)			20.03			20.61
Retrait R_T (%)			6.5			6.19

IV.5.2.2. Interprétation des résultats

A la sortie du four les échantillons ont une couleur jaune avec des tâches rose clair et c'est la couleur réelle de la brique fabriquée avec l'argile de Oued Remila. La couleur en général est fonction : des ions de fer (Fe^{3+} ou Fe^{2+}), des inhibiteurs (calcium) et des colorants additionnels (manganèse, titane)

- En cuisson oxydante, une forte teneur en fer conduit au rouge-brun.
- Une abondance de CaO favorise la couleur jaune.
- Cuisson réductrice ou haute température conduit à une couleur verdâtre à noir

La couleur des produits de terre cuite [55] (poteries, tuiles, briques) peut être déterminée par les pourcentages massiques suivants :

% massique $Al_2O_3 / Fe_2O_3 < 3$: tesson rouge

% massique $Al_2O_3 / Fe_2O_3 > 3$ et < 5 : tesson rose

% massique $Fe_2O_3 / CaO < 0.5$ et haute T° oxydante : tesson jaune

Pour l'argile utilisée, le pourcentage de CaO est très élevé ; il est de 14.7%. Ce qui a favorisé la couleur jaune. Aussi par le calcul du pourcentage massique de $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO}$, on aura :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Fe}_2\text{O}_3 = 5.15\% \\ \text{CaO} = 14.7\% \end{array} \right. \Longrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{CaO} = 0.35 < 0.5 \Longrightarrow \text{tesson jaune}$$

La totalité de la perte de masse des échantillons étudiés est entre 14 et 21%. (figure IV.7). Les valeurs trouvées restent toujours dans les normes (< 25%). La perte en masse est proportionnelle au pourcentage d'ajouts. Cela peut être expliqué par la combustion de la matière végétale et de sa disparition du corps de la brique. Cette perte de masse a donné naissance à des produits plus poreux et plus légers.

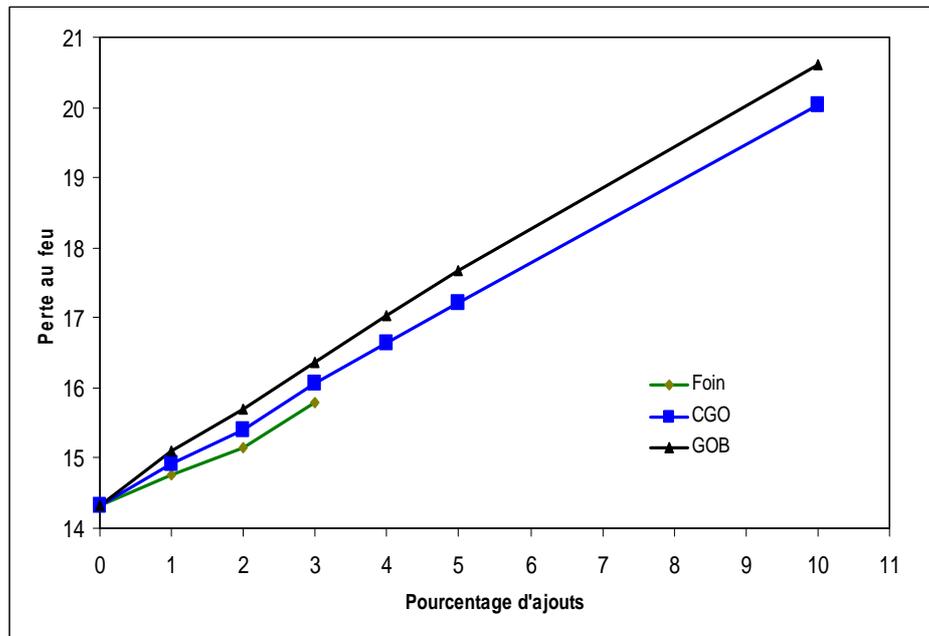


Figure IV.7 : Evolution de la perte au feu en fonction du pourcentage d'ajouts

Le retrait également a connu une certaine augmentation. Cela est dû à la teneur en eau qui a augmenté en fonction du pourcentage d'ajouts. (figure IV.8).

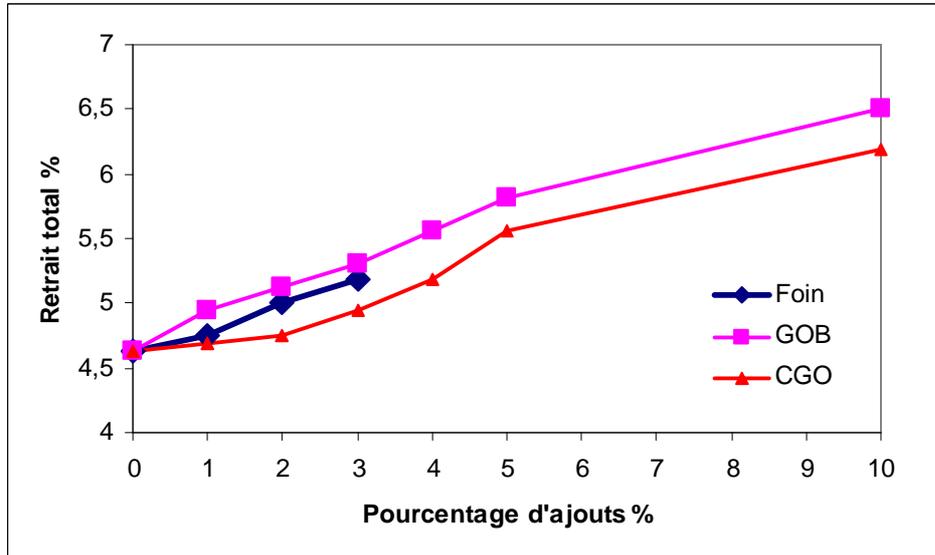


Figure IV.8 : Retrait total en fonction du pourcentage d'ajouts

IV.5.3. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105°C notée M_v et exprimée en (gr/cm^3 , Kg/m^3 , T/m^3).

Elle est caractérisée par la moyenne arithmétique des masses volumiques mesurées sur au moins 6 éprouvettes selon la norme algérienne NA 5022.

$$M_v = \frac{M_{vi}}{6}$$

La masse volumique de chaque éprouvette est donnée par la formule :

$$M_{vi} = \frac{M_i}{V_i} * 100$$

Avec :

M_{vi} : masse volumique de l'éprouvette

M_i : masse de l'éprouvette

V_i : volume de l'éprouvette

IV.5.3.1. Mode opératoire

La masse volumique des briques est calculée sur la base de la masse des briques séchées auparavant et sur la base des dimensions du corps rectangulaire. Afin de déterminer la masse à sec, on sèche les différentes briques à 105°C environ, jusqu'à ce que le poids soit constant, ensuite on pèse les briques après refroidissement 0.1% près. Soit M la masse de cette éprouvette. On mesure géométriquement le volume de l'éprouvette. Soit V ce volume.

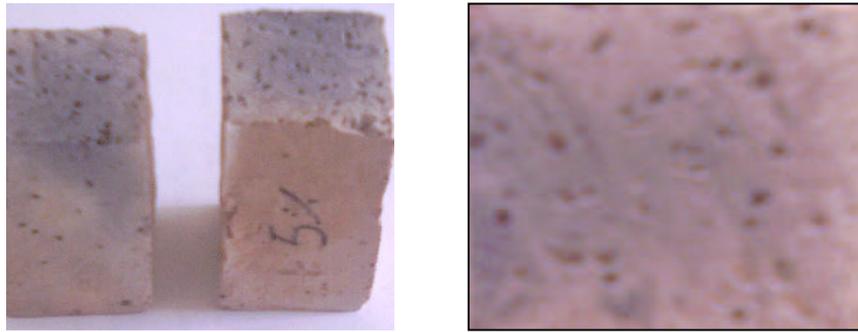
IV.5.3.2. Interprétation des résultats

Le tableau IV.6 donne les masses volumiques apparentes calculées pour chacune des séries d'échantillons.

Tableau IV.6: Masses volumiques apparentes des différentes séries d'échantillons

Masse volumique (g/cm³) aux pourcentages	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
GOB	1.69	1.58	1.54	1.49	1.46	1.42	1.32
CGO	1.69	1.6	1.55	1.51	1.48	1.44	1.34
Foin	1.69	1.56	1.52	1.48			

En général le poids volumique peut être diminué en réduisant le poids du tesson. Le poids spécifique du tesson de la brique peut être réduit en mélangeant à l'argile des matières organiques. Ces substances se consomment durant la cuisson, ce qui provoque une multitude de petits pores dans les briques finies (figure IV.9). Les pores contiennent de l'air confiné et immobile, favorable à l'isolation thermique [56].



IV.9 : Coupe transversale d'un échantillon de brique avec ajout (voir les pores)

Effectivement nous avons constaté que la masse volumique apparente diminue avec l'augmentation de l'ajout organique (figure IV.10). La raison d'une telle tendance est la combustion des résidus pendant la cuisson. On obtient donc des éprouvettes plus légères que celles de la série témoin avec une densité de pores plus importante (figure IV.9).

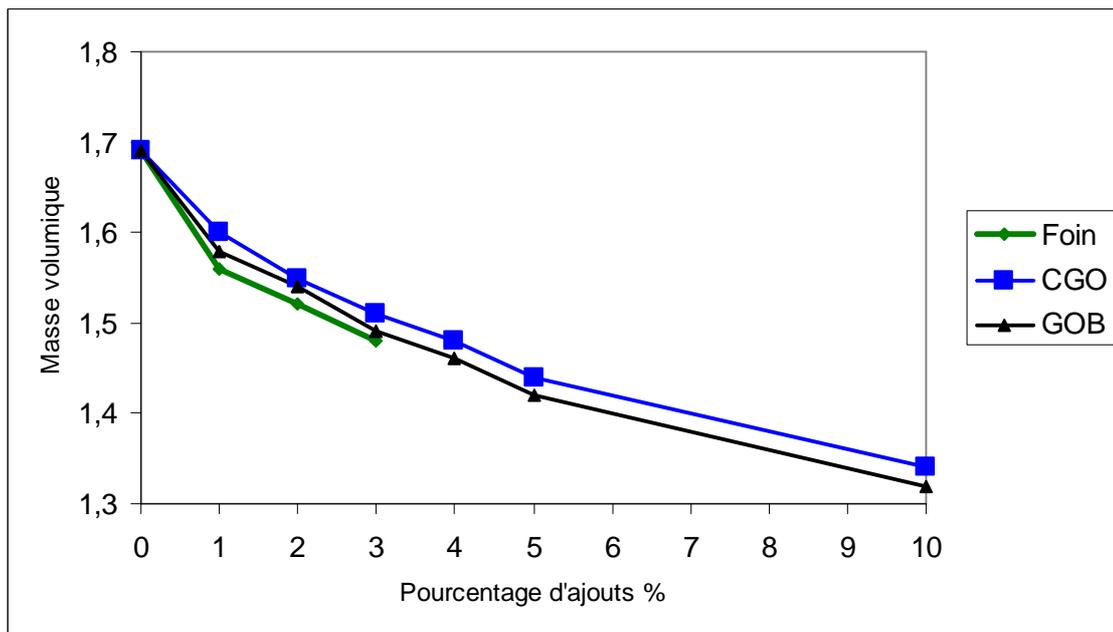
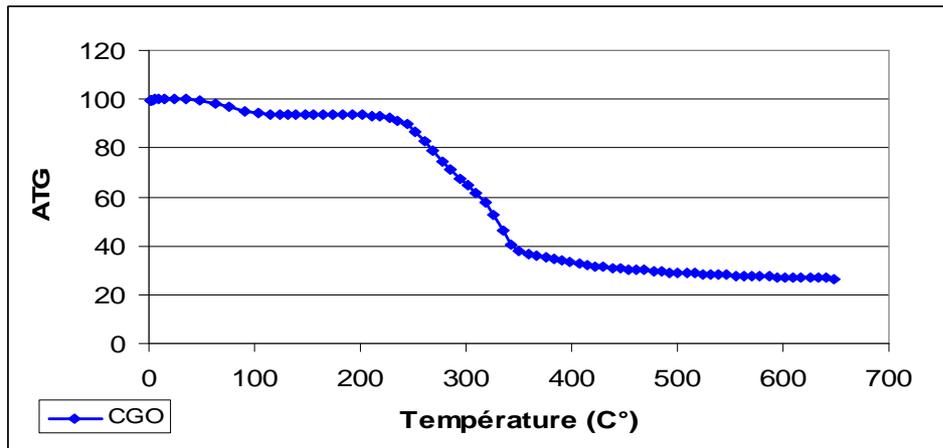
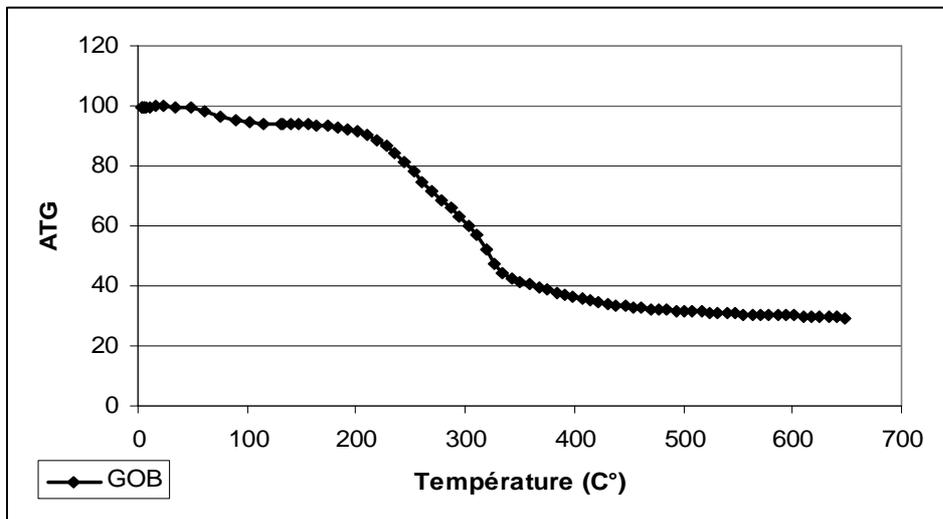


Figure IV.10 : Evolution de la masse volumique en fonction du pourcentage d'ajouts

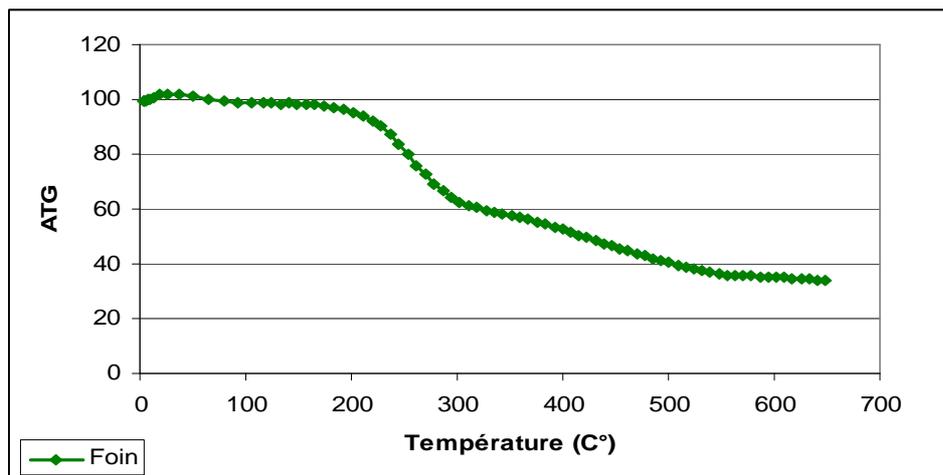
Ce résultat peut être mieux justifié avec la figure IV.11 qui représente l'analyse thermique gravimétrique (ATG) de chacun des résidus : la coque du grignon d'olive (CGO), le grignon d'olive brut (GOB) et le foin où on montre que ces résidus peuvent être brûlés entre 200°C et 600°C.



a



b



c

Figure IV.11 : Courbes de l'ATG des ajouts organiques utilisés (a : la coque du grignon d'olive, b : le grignon d'olive brut et c : le foin)

Le tableau IV.7 représente le pourcentage de réduction de la masse volumique apparente des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin (aux différents pourcentages)

Tableau IV.7 : Pourcentage de réduction de la masse volumique apparente par rapport à l'échantillon témoin

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
% de réduction de la masse volumique							
GOB	-	6.5	8.88	11.83	13.61	15.98	21.89
CGO	-	5.33	8.28	10.65	12.43	14.79	20.71
Foin	-	7.69	10.05	12.43			

IV.5.4. Détermination du coefficient d'absorption d'eau

L'essai a pour objet la détermination d'un critère permettant d'apprécier le pouvoir de succion d'un matériau au contact du mortier d'assemblage. L'essai est exécuté sur un échantillon composé de 6 produits au minimum.

Le coefficient C d'absorption d'eau de chaque brique est conventionnellement exprimé par la formule :

$$C = \frac{M}{S * \sqrt{t}} * 100$$

Avec :

M : masse d'eau en gramme absorbée par la brique depuis le début de l'immersion

S : surface de la face immergée exprimée en cm²

t : temps en minutes écoulé depuis le début de l'immersion. Dans les conditions de l'essai (t = 10 minutes)

La formule précédente s'écrit alors :

$$C = 31.6 * \left(\frac{M}{S} \right)$$

La mesure est effectuée sur sept briques entières selon la norme algérienne NA 1957.

IV.5.4.1. Mode opératoire

On sèche les briques à l'étuve à 100-110°C jusqu'à ce que le poids soit constant, on pèse ces dernières et on note leur masse puis on les immerge suivant une face à enduire de façon que celle-ci soit à 5mm au-dessous du niveau de l'eau. On retire les briques de l'eau au bout de 10 minutes et on les essuie avec un linge humide. Ensuite on les pèse pour déterminer la masse d'eau absorbée.

L'adhérence du mortier de pose et l'accrochage de l'enduit sont étroitement liés au coefficient d'absorption d'eau C .



Figure IV.12 : Détermination du coefficient d'absorption d'eau

Les limites admissibles de C des produits céramiques sont données sur le tableau IV.8 [20]. Plus C est petit, plus l'adhérence est bonne.

Tableau IV.8 : Limite admissible du coefficient d'absorption d'eau

Nature du produit	$C \leq \%$
Brique pleine	30
Brique pleine filée à l'étireuse horizontale	40
Brique pleine ordinaire ou pressée	60
Brique creuse	15

IV.5.4.2. Présentation des résultats

Les tableaux IV.9.1 à IV.9.7 donnent les résultats obtenus pour les séries d'échantillons réalisées au laboratoire.

On notera par :

P : poids de la brique après étuvage

P' : poids de la brique après immersion dans l'eau

S : section de la face à enduire en cm

Tableau IV.9.1 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 01 à 0% d'ajouts)

	Echantillon sans ajout
P (g)	325.45
P' (g)	374.14
Dimensions (cm)	15.26×3.6×3.5
Section S (cm ²)	54.936
Coefficient d'absorption d'eau C (%)	28.01

Tableau IV.9.2 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 02 à 1% d'ajouts)

	CGO	Foin	GOB
P (g)	319.42	314.19	322.04
P' (g)	368.28	363	371
Dimensions (cm)	15.21×3.69×3.56	15.24×3.71×3.56	15.25×3.72×3.58
Section S (cm ²)	56.1249	56.5404	56.73
Coefficient d'absorption d'eau C	27.51	27.28	27.27

Tableau IV.9.3 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 03 à 2% de l'ajout)

	CGO	Foin	GOB
P (g)	311.42	305.23	315.35
P' (g)	358.17	351.53	361.83
Dimensions (cm)	15.18×3.7×3.56	15.20×3.69×3.59	15.24×3.72×3.6
Section S (cm ²)	56.166	56.088	56.6928
Coefficient d'absorption d'eau C (%)	26.3	26.07	25.91

Tableau IV.9.4 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 04 à 3% d'ajouts)

	GOB	Foin	CGO
P (g)	306.94	301.78	304.32
P ⁺ (g)	352.49	347.11	349.52
Dimensions (cm)	15.15×3.72×3.6	15.17×3.73×3.6	15.21×3.73×3.6
Section S (cm ²)	56.358	56.5841	56.7333
Coefficient d'absorption d'eau C (%)	25.54	25.31	25.18

Tableau IV.9.5 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 05 à 4% d'ajouts)

	CGO	GOB
P (g)	301.25	297.89
P ⁺ (g)	345.26	341.67
Dimensions (cm)	15.11×3.74×3.6	15.17×3.73×3.6
Section S (cm ²)	56.5114	56.5841
Coefficient d'absorption D'eau C (%)	24.61	24.45

Tableau IV.9.6 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 06 à 5% d'ajouts)

	CGO	GOB
P (g)	299.31	291.3
P ⁺ (g)	342.48	333.72
Dimensions (cm)	15.07×3.78×3.64	15.11×3.74×3.62
Section S (cm ²)	56.9646	56.5114
Coefficient d'absorption D'eau C (%)	23.95	23.72

Tableau IV.9.7 : Coefficient d'absorption d'eau (Série 07 à 10% d'ajouts)

	CGO	GOB
P (g)	284.73	280.74
P' (g)	319	314.64
Dimensions (cm)	14.96×3.8×3.74	15.01×3.79×3.74
Section S (cm ²)	56.848	56.8879
Coefficient d'absorption D'eau C (%)	19.05	18.83

IV.5.4.2. Interprétation des résultats

La surface poreuse assure une bonne adhérence au crépi. Une bonne adhérence du mortier sur les briques est très importante.

L'ajout de la matière organique fait diminuer le coefficient d'absorption d'eau (figure IV.13), donc la brique avec ajouts absorbe moins l'eau contenue dans le mortier. Cette caractéristique constitue un avantage, car on a tendance à avoir plutôt des briques qui absorbent une grande partie de cette eau et provoquent l'effritement du mortier impliquant ainsi une adhérence médiocre.

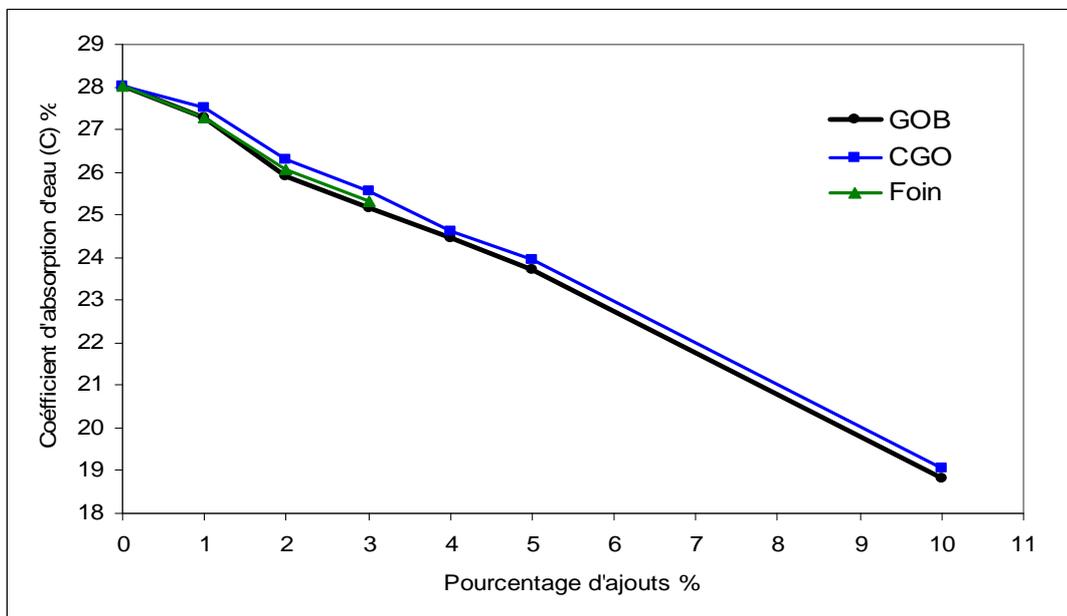


Figure IV.13 : Evolution du coefficient d'absorption d'eau en fonction du pourcentage d'ajouts

IV.5.5. Détermination de la résistance à la flexion

IV.5.5.1. Mode opératoire

L'essai consiste à soumettre le plan d'une éprouvette de dimensions (16*4*4) cm à une charge uniforme au moyen d'un vérin doté d'indicateurs de charge (capteurs de force) pour la lecture des forces appliquées. Le but de l'essai est la détermination de la résistance à la flexion sous l'action des forces appliquées perpendiculairement au plan de l'éprouvette.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée en augmentant progressivement la charge appliquée. (voir annexe IV.2)



Figure IV.14 : Essai de la résistance à la flexion

IV.5.5.2. Résultats et discussions

Les tableaux IV.9.1 à IV.9.7 présentent la résistance à la flexion de chacune des séries d'échantillons confectionnés.

Tableau IV.10.1 : Essai de flexion (Série 01 à 0% d'ajouts)

	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à flexion moyenne (MPa)
Série 01 à 0% d'ajouts	3.84	3.5	9.01	8.62
	3.6		8.46	
	3.8		8.93	
	3.44		8.08	
	3.56		8.36	
	3.77		8.85	

Tableau IV.10.2 : Essai de flexion (Série 02 à 1% d'ajouts)

	Foin				CGO				GOB			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 02 à 1% d'ajouts	3.41	3.25	7.99	7.62	2.79	3.48	6.53	8.16	3.28	3.36	7.67	7.86
	3.06		7.17		3.62		8.49		3.36		7.86	
	3.1		7.26		3.04		7.13		3.4		7.96	
	3.35		7.85		3.86		9.05		3.48		8.15	
	3.26		7.64		3.68		8.63		3.22		7.53	
	3.34		7.82		3.9		9.15		3.41		7.98	

Tableau IV.10.3 : Essai de flexion (Série 03 à 2% d'ajouts)

	Foin				CGO				GOB			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 03 à 2% d'ajouts	3.00	2.85	7.04	6.98	3.1	3.18	7.26	7.45	3.11	3.05	7.28	7.15
	2.91		6.83		3.23		7.57		2.81		6.57	
	2.97		6.96		3.1		7.27		3.13		7.32	
	2.91		6.82		3.01		7.06		3.22		7.55	
	2.95		6.9		3.37		7.9		2.89		6.76	
	3.13		7.33		3.26		7.64		3.17		7.42	

Tableau IV.10.4 : Essai de flexion (Série 04 à 3% d'ajouts)

	Foin				CGO				GOB			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 04 à 3% d'ajouts	2.75	2.78	6.43	6.52	2.84	2.96	6.64	6.92	2.72	2.83	6.37	6.63
	2.82		6.6		2.79		6.53		2.8		6.56	
	2.73		6.39		3.23		7.56		6.91		6.81	
	2.77		6.48		3.09		7.23		2.7		6.32	
	2.87		6.71		2.92		6.83		2.92		6.83	
	2.79		6.53		2.87		6.71		2.93		6.86	

Tableau IV.10.5 : Essai de flexion (Série 05 à 4% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 05 à 4% d'ajouts	2.74	2.64	6.42	6.18	2.93	2.81	6.87	6.59
	2.62		6.13		2.86		6.69	
	2.63		6.15		2.83		6.63	
	2.57		6.01		2.7		6.32	
	2.78		6.5		2.81		6.6	
	2.5		5.86		2.74		6.43	

Tableau IV.10.6 : Essai de flexion (Série 06 à 5% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 06 à 5% d'ajouts	2.29	2.39	5.36	5.59	2.6	2.57	6.1	6.04
	2.21		5.18		2.54		5.96	
	2.29		5.38		2.55		5.98	
	2.54		5.96		2.66		6.24	
	2.42		5.68		2.52		5.91	
	2.56		6.00		2.58		6.03	

Tableau IV.10.7 : Essai de flexion (Série 07 à 10% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
Série 07 à 10% d'ajouts	1.67	1.63	3.91	3.83	1.52	1.72	3.56	4.02
	1.72		4.03		1.81		4.24	
	1.58		3.72		1.93		4.52	
	1.64		3.86		1.75		4.09	
	1.68		3.93		1.71		4.00	
	1.5		3.53		1.58		3.7	

Pour illustrer ces résultats, nous avons procédé au tracé des diagrammes des résistances à la flexion en fonction de l'ajout (figure IV.15).

La résistance à la flexion des séries d'échantillons diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajouts. Cela est dû à la présence accrue de pores dans la structure des briques.

Tableau IV.11 : Récapitulatif des résultats de l'essai de la résistance à la flexion de l'ensemble des échantillons

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
Foin (MPa)	8.62	7.62	6.98	6.52			
CGO (MPa)	8.62	8.16	7.45	6.92	6.59	6.04	4.62
GOB (MPa)	8.62	7.86	7.15	6.63	6.18	5.59	3.83

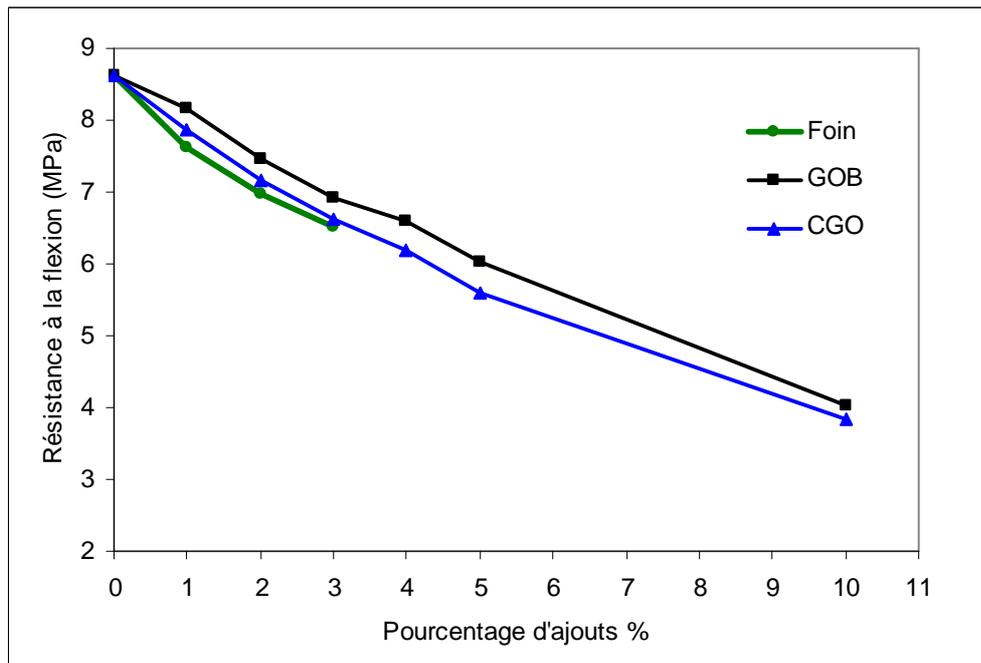


Figure IV.15 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage d'ajouts

Si nous calculons la chute de résistance à la flexion par rapport à l'échantillon témoin, nous les résultats présentés par le tableau IV.12 suivant :

Tableau IV.12 : Pourcentages de chute de la résistance à la flexion des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
% de réduction de la résistance à la flexion							
GOB	-	8.82	17.05	23.08	28.31	35.15	55.57
CGO	-	5.34	13.57	19.72	23.55	29.93	46.4
Foin	-	11.6	19.03	24.36			

Nous pouvons à partir de ces résultats préconiser le pourcentage d'ajouts jusqu'à 5%. Car à 10% les échantillons présentent une grande chute qui est de 46,4% pour la CGO et 55.57% pour le GOB.

Les valeurs présentées par le tableau IV.12 montrent que la CGO discerne une chute amoindrie que les deux autres ajouts. Ce qui pousse à appuyer l'usage de la coque dans la fabrication des briques poreuses.

IV.5.6. Détermination de la résistance à la compression

La norme algérienne NA 5023 a pour objet de déterminer la résistance à la compression des briques. L'essai est effectué sur 6 éprouvettes.

IV.5.6.1. Mode opératoire

Avant l'épreuve de résistance à la compression, éliminer les arêtes résultantes du moulage. Les briques ayant plus de 6% d'humidité par rapport à la masse doivent être séchées à des températures supérieures à 60°C jusqu'à obtention d'une teneur en humidité de 2 à 3%.

Effectuer l'essai sur les demi éprouvettes obtenues après la rupture à la flexion. L'épreuve de la résistance à la compression doit être réalisée par une machine à essais de compression. La compression doit être appliquée toujours en sens perpendiculaire sur la surface sur laquelle reposera la brique.

Les demi éprouvettes sont comprimées par leurs surfaces de poses sous une section de (4*4) cm, en augmentant la charge appliquée jusqu'à la rupture.



Figure IV.16 : Essai de la résistance à la compression

Dans le tableau IV.13, nous donnons les limites de variation de la résistance à la compression et la masse volumique des briques en terre cuite.

Tableau IV.13 : Résistance à la compression (NA 5023) et masse volumique apparente (NA 5022) des produits rouges en terre cuite

	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique apparente (Kg/cm ³)
Brique pleine ou perforée	10 à 40	1.6 à 1.8

IV.5.6.2. Présentation des résultats

Les essais ont été effectués sur 12 éprouvettes pour chaque série et les résultats sont donnés par les tableaux VI.14.1 à VI.14.7.

Tableau IV.14.1 : Essai à la compression (Série 01 à 0% d'ajouts)

	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la Compression moyenne (MPa)
Série 01 à 0% d'ajouts	46.13	38.49	28.83	24.06
	34.37		21.48	
	30.33		18.96	
	43.03		26.90	
	42.69		26.68	
	36.91		23.07	
	45.01		28.13	
	33.62		21.01	
	40.29		25.18	
	31.67		19.79	
	44.06		27.54	
	33.81		21.13	

Tableau IV.14.2 : Essai de compression (Série 02 à 1% d'ajouts)

	GOB				CGO				Le foin			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)
Série 02 à 1% d'ajouts	34.35	36.28	21.47	22.68	41.15	37.38	25.72	23.36	36.9	35.79	23.06	22.37
	40.65		25.41		37.71		23.57		36.14		22.59	
	37.49		23.43		35.89		22.43		34.85		21.78	
	34.21		21.38		35.66		22.29		34.56		21.6	
	39.23		24.52		36.34		22.71		35.14		21.96	
	36.54		22.84		36.02		22.51		33.97		21.23	
	36.51		22.82		36.5		22.81		36.05		22.53	
	34.45		21.53		38.38		23.99		34.94		21.84	
	33.02		20.64		40.1		25.06		36.35		22.72	
	36.43		22.77		39.31		24.57		36.77		22.98	
	38.4		24		35.92		22.45		36.85		23.03	
	34.14		21.34		35.5		22.19		37.02		23.14	

Tableau IV.14.3 : Essai de compression (Série 03 à 2% d'ajouts)

	GOB				CGO				Foin			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)
Série 03 à 2% d'ajouts	34.95	35.43	21.84	22.14	36.8	36.3	23	22.69	35.14	34.61	22.15	21.63
	36.23		22.64		40.88		25.55		34.54		21.59	
	38.01		23.75		34.45		21.53		36.42		22.76	
	37.06		23.16		33.47		20.92		34.51		21.57	
	36.40		22.75		34.5		21.56		34.72		21.7	
	33.46		20.91		35.87		22.42		33.02		20.64	
	35.73		22.33		35.52		22.2		32.54		20.34	
	32.86		20.53		38.09		23.81		34.26		21.41	
	34.48		21.55		37.12		23.2		33.42		20.89	
	34.16		21.35		39.37		24.61		35.06		21.91	
	35.91		22.45		34.49		21.56		35.54		22.21	
	35.93		22.46		35.09		21.93		35.76		22.35	

Tableau IV.14.4 : Essai de compression (Série 04 à 3% d'ajouts)

	GOB				CGO				Foin			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression Moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression Moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression Moyenne (MPa)
Série 04 à 3% d'ajouts	33.45	34.7	20.91	21.69	34.66	35.41	21.66	22.13	32.65	33.02	20.41	20.64
	34.05		21.28		33.86		21.16		32.09		20.06	
	34.13		21.33		34.03		21.27		32.41		20.26	
	35.93		22.46		36.85		23.03		32.85		20.53	
	35.41		22.13		37.64		23.53		33.92		21.2	
	34.52		21.58		35.65		22.28		33.25		20.78	
	34.7		21.69		34.27		21.42		32.94		20.59	
	35.34		22.09		36.75		22.97		34.37		21.48	
	34.29		21.43		35.56		22.23		33.04		20.65	
	34.59		21.62		34.16		21.35		32.52		20.33	
	34.56		21.6		35.21		22.01		33.26		20.79	
	35.45		22.16		36.31		22.69		33		20.62	

Tableau IV.14.5 : Essai de compression (Série 05 à 4% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)
Série 05 à 4% d'ajouts	33.09	34.02	20.68	21.27	33.86	34.54	21.16	21.59
	34.38		21.49		34.02		21.26	
	34.92		21.83		35.09		21.93	
	33.46		20.91		34.85		21.78	
	32.49		20.31		35.46		22.16	
	33.94		21.21		33.62		21.01	
	35.23		22.02		33.16		20.73	
	36.21		22.63		34.85		21.78	
	34.95		21.84		34.65		21.66	
	33.26		20.79		34.26		21.41	
	32.95		20.59		35.81		22.38	
	33.46		20.91		34.82		21.76	

Tableau IV.14.6 : Essai de compression (Série 06 à 5% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)
Série 65 à 5% d'ajouts	33.74	32.74	21.09	20.46	33.56	33.38	20.98	20.86
	32.18		20.11		34.04		21.28	
	33.55		20.97		33.85		21.16	
	32.91		20.57		32.65		20.41	
	32.65		20.41		33.41		20.88	
	31.82		19.89		32.98		20.61	
	32.32		20.2		32.45		20.28	
	33.2		20.75		33.46		20.91	
	32.35		20.22		33.51		20.94	
	32.05		20.03		32.98		20.61	
	33.55		20.97		33.53		20.96	
	32.46		20.29		34.12		21.33	

Tableau IV.14.7 : Essai de compression (Série 07 à 10% d'ajouts)

	GOB				CGO			
	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)	Force (KN)	Force moyenne (KN)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la compression moyenne (MPa)
Série 07 à 10% d'ajouts	24.16	24.17	15.10	15.11	25.31	25.36	15.82	15.85
	24.91		15.57		26.01		16.26	
	23.12		14.45		25.31		15.82	
	22.98		14.36		24.75		15.47	
	24.49		15.31		25.39		15.87	
	23.85		14.91		24.78		15.49	
	24.58		15.39		25.76		16.1	
	24.08		15.05		26.31		16.44	
	23.89		14.93		25.49		15.93	
	25.17		15.73		24.91		15.57	
	24.5		15.31		25.22		15.76	
	24.13		15.08		25.08		15.68	

IV.5.6.3. Interprétation des résultats

Nous donnons par la figure IV.17 l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajouts.

Tableau IV.15 : Récapitulatif de l'essai à la compression de l'ensemble des échantillons

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
GOB (MPa)	24.06	22.68	22.14	21.69	21.27	20.46	15.11
CGO (MPa)	24.06	23.36	22.69	22.13	21.59	20.86	15.85
Foin (MPa)	24.06	22.37	21.63	20.64			

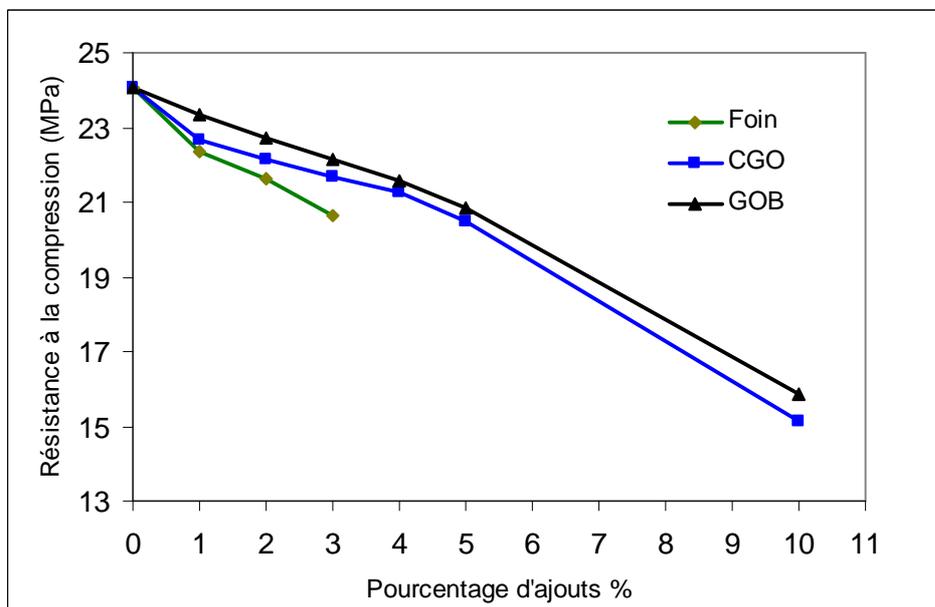


Figure IV.17 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajouts

La résistance à la compression est influencée par la variation du pourcentage d'ajouts. L'ajout d'une matière organique qui brûle pendant la cuisson donne naissance à des briques poreuses, plus légères et moins résistantes.

La résistance à la compression diminue en augmentant le pourcentage d'ajouts mais elle reste toujours acceptable en se référant à la limite admissible donnée par les normes.

Généralement la brique est considérée comme élément de maçonnerie, elle est conçue pour être utilisée pour le remplissage des bâtiments et non pas comme élément porteur. La brique utilisée habituellement dans la construction présente des résistances aux compressions plus importantes que ce qu'elle peut bien supporter.

Donc la dégradation de cette résistance ne peut être que bénéfique à la construction en réduisant les charges sur les éléments porteurs et les fondations.

Le tableau IV.16 donne les pourcentages de cette dégradation des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin.

Tableau IV.16 : Pourcentage de chute de la résistance à la compression des échantillons avec ajouts par rapport à l'échantillon témoin

	0%	1%	2%	3%	4%	5%	10%
% de chute de la résistance à la compression							
GOB	-	5.74	7.98	9.85	11.6	14.96	37.2
CGO	-	2.9	5.69	8.02	10.27	13.3	34.12
Foin	-	7.02	10.1	14.21			

A partir de ce tableau, nous pouvons constater que l'ajout de la CGO présente la chute la plus décrie. Aussi nous pouvons arrêter l'ajout à 5% pour ne pas baisser de trop la résistance à la compression.

IV.6. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre est d'étudier les effets d'utilisation des deux ajouts organiques : le grignon d'olive et le foin sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de construction.

Les critères suivants ont été examinés :

- Plasticité en utilisant les limites d'Aterberg.
- Capacité d'absorption d'eau et masses volumiques apparentes
- Résistance à la flexion et à la compression des briques crues et cuites.
- Aspect et couleur des produits après la cuisson.

Le processus de fabrication de la brique est assez long depuis sa confection jusqu'à sa cuisson. Il dure pratiquement une semaine (03 jours pour le séchage à l'air libre, trois jours de séchage dans l'étuve et une journée pour la cuisson dans le four à moufle)

Après démoulage des échantillons de briques confectionnées, ces dernières ont une belle allure et elles sont bien compactes. Et après séchage et cuisson de ces briques, nous n'avons observé aucun défaut apparent (fendillements ou boursoufflage).

Par contre quelques fissures de séchage sont présentes, mais ces dernières sont de moindre importance et n'avaient altéré que très peu les produits.

Cette partie de travail était la plus délicate et la plus difficile de toute cette étude. Le paramètre le plus important dans cette confection était la plasticité. Plusieurs échantillons ont été échoués au début de l'expérience à cause de ce facteur. Si cette dernière se révèle insatisfaisante l'échec serait inévitable pour l'ensemble des échantillons ; ce qui mène à des résistances mécaniques très faibles.

Nous avons observé aussi avec des tests effectués au laboratoire que l'addition du résidu organique fait augmenter la teneur en eau.

La nature creuse et absorbante des fibres organiques stabilise dans une certaine mesure le séchage du corps d'argile. La possibilité qu'offre la fibre de cellulose à absorber de l'eau dans son canal naturellement est probablement la raison principale de l'augmentation de la teneur en eau [2][3][57].

Pour l'ajout du foin, l'opération du mélange avec l'argile était un peu différente. Nous avons observé après une première opération de confection de la brique, plusieurs fissures de séchage et qui se sont propagées encore plus après la cuisson.

La première constatation était de penser à une erreur dans la quantité d'eau ajoutée, c'est à dire la teneur en eau qui pourrait être insuffisante. Et après l'observation de la brique coupée en deux nous avons constaté la présence de ficelles d'argile très minces dans tout le volume de la brique et qui se cassent facilement (figure IV.18). L'argile mélangée avec le foin qui a une forme tubulaire est introduite dans les vaisseaux de celui-ci pendant l'opération d'homogénéisation. Après le mouillage du mélange, cette quantité d'argile emprisonnée dans les parois du foin n'avait pas un accès direct à cette humidification (fragilité des ficelles trouvées). Et après la cuisson, le foin a disparu laissant des ficelles d'argile libres. Cela nous a poussé à trouver une autre manière pour la procédure du mélange.

L'eau ajoutée au mélange est divisée en deux parties. L'eau de prémouillage des additifs qui a pour but de les humidifier de façon à les rendre molles et empêcher la pénétration de l'argile dans les canaux des additifs organiques. Ensuite on procède à l'ajout de l'argile et au malaxage pour homogénéiser l'ensemble et enfin on ajoute la deuxième quantité d'eau pour l'obtention de la pâte d'argile nécessaire à la confection des briques.

Ce choix de mise en œuvre présente un double avantage. D'un côté le foin prémouillé ne monopolise pas l'eau utile à l'hydratation du mélange ; il joue le rôle de réservoir en eau au cours du durcissement. Et d'un autre côté, il n'emprisonne plus l'argile dans ses tubes lors du mélange.



Figure IV.18 : Ficelles d'argile trouvées à l'intérieur de la brique

Dans cette partie d'étude nous avons obtenu des produits avec une multitude de pores dans leurs structures. Ces pores ont été créés par la combustion de la matière végétale ajoutée dans les mélanges argile+ résidus. En fonction de la porosité il est possible de juger les autres propriétés du matériau telles que : la masse volumique, la capacité d'absorption d'eau, la résistance, la conductivité thermique. En conséquent nous tirons les conclusions suivantes :

- La plasticité augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajouts.
- La perte en poids au séchage est proportionnelle aux pourcentages d'ajouts, du fait de l'augmentation de la teneur en eau exigée pour le façonnage plastique.
- Une augmentation proportionnelle entre le pourcentage d'ajout organique et la perte au feu. La raison principale d'une telle tendance est la combustion des résidus organiques. Ces derniers brûlent et laissent des petits pores.
- Le retrait au séchage et le retrait total à la fin de la cuisson sont proportionnels aux pourcentages d'ajouts.

- Le coefficient d'absorption d'eau diminue en fonction du pourcentage d'ajouts, ce qui améliore l'adhérence du mortier au crépi.
- La masse volumique diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajouts. La conductivité thermique d'un matériau est fonction de sa masse volumique. La diminution de cette dernière entraîne la diminution de la conductivité thermique de ce matériau [55].
- La résistance à la compression a diminué mais elle reste toujours dans la limite des normes.
- Les produits obtenus avec l'ajout de grignon d'olive et du foin pourront bien être de bons isolants thermiques compte tenu de leurs légèretés accrues et leurs plus porosités renforcées par rapport au produit témoin à 0% d'ajouts.
- La porosité élevée est une caractéristique recherchée aujourd'hui dans le but d'économiser l'énergie. Les matériaux poreux nous assurent le confort thermique par leur conductivité thermique raisonnablement faible et ils permettent d'absorber puis de restituer la chaleur ou de garder la fraîcheur. Ces matériaux participent ainsi au confort thermique des bâtiments et limitent la consommation énergétique.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

Conclusion générale et perspectives

La durabilité des constructions préoccupe l'esprit des bâtisseurs. Sa réalisation est rendue possible par l'emploi de matériaux performants en termes de résistance mécanique. Les autres aspects (résistance thermique, acoustique...) ne sont traités qu'à posteriori. Le principe de la construction s'est alors développé en juxtaposant différents matériaux, chacun ayant une tâche dévolue. Cependant, cette accumulation de matériaux occupe un volume non négligeable et revient chère. La tendance actuelle est de favoriser des produits légers capables de remplir simultanément plusieurs performances. De plus la demande accrue en habitats qui a mis en évidence une utilisation renforcée des matières premières pour fabrication de matériaux de construction, a poussé la réflexion dans la voie de recherche d'autres matériaux de remplacement.

Cette prise de conscience se traduit par le développement récent des briques avec ajouts de matières végétales. Ces dernières brûlent pendant la cuisson de la brique et créent ainsi des pores dans la structure du matériau fini.

Ce développement s'inscrit globalement dans une démarche visant d'une part à préserver l'environnement et d'autre part à utiliser des matières renouvelables. Actuellement la réglementation en vigueur dans plusieurs pays se fixe un double objectif : valoriser les déchets afin de limiter les quantités mises en décharge et préserver les ressources naturelles en matières premières.

L'étude entreprise traite de la valorisation de grignons d'olive et de foin dans le domaine des matériaux de construction, plus précisément dans la fabrication des briques poreuses et de l'effet de ces résidus sur les caractéristiques physico-mécaniques du produit fini.

L'usage du grignon d'olive et du foin dans la fabrication de la brique constitue une percée intéressante à plusieurs points de vue.

Pour notre étude nous tirons les conclusions suivantes :

- Les résidus organiques utilisés contiennent une grande quantité de fibres (cellulose, lignine et hémicellulose). Ces fibres soutiennent la pâte d'argile durant le séchage et empêchent d'éventuelles déformations.

- Les analyses thermiques différentielles des résidus et des mélanges (argile+résidus) ont révélé que l'ajout d'une matière végétale contribue à augmenter la température de cuisson.
- Les analyses thermiques gravimétriques ont montré que la matière végétale brûle complètement aux environs 580°C.
- L'ajout des résidus organiques au mélange d'argile augmente la teneur en eau exigée pour le façonnage.
- Le retrait au séchage des échantillons a augmenté avec l'ajout des matières organiques, mais il reste toujours dans la limite des normes.
- L'ajout des matières organiques qui brûlent pendant la cuisson, fait diminuer la masse volumique de la brique. Les briques sous cet effet deviennent plus légères et contribuent à baisser la charge morte dans les bâtiments. L'emploi de briques légères permet de réduire les dépenses de transport et le coût des murs.
- Les résidus organiques sont consommés facilement pendant la cuisson. Et par leurs combustions, ils contribuent à l'augmentation de la température pendant la cuisson. Ce qui permet un usage économique de l'énergie nécessaire pour la cuisson, de même elle favorise au maximum l'économie énergétique, en contribuant ainsi à la réduction de l'emploi des combustibles fossiles, tout en réduisant l'exploitation excessive des ressources naturelles.
- Sous l'effet des matières végétales qui brûlent, une surabondance de chaleur se développe dans le four et améliore donc la cuisson au centre de la brique.
- La surface poreuse assure une bonne adhérence au crépi, le coefficient d'absorption a diminué et il améliore en conséquence l'adhérence du mortier.
- Les additions organiques ont considérablement augmenté la résistance à la compression des échantillons non cuits. Cette augmentation de résistance est utile pour réduire les chutes dues au déplacement des briques vers le lieu de cuisson.
- La résistance à la compression des échantillons cuits a diminué avec l'addition des résidus. Néanmoins, les valeurs sont encore supérieures que celles exigées par les normes algériennes. Le pourcentage de chute par rapport à l'échantillon témoin varie de 2.9% à 37.2% selon les pourcentages d'ajouts (1%, 2%, 3%, 4%, 5% et 10%). Nous pouvons toutefois préconiser le pourcentage d'ajouts jusqu'à 5% pour limiter la chute de la résistance à la compression.

- L'ajout des matières organiques s'inscrit dans une démarche de développement durable. Il présente l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable contrairement aux granulats des carrières dont les ressources s'appauvrissent.
- L'ajout de matières organiques qui brûlent pendant la cuisson, crée des pores dans le produit fini. La porosité élevée est une caractéristique recherchée aujourd'hui dans le but d'économiser l'énergie car la présence des pores dans les matériaux contribue à diminuer la conductivité thermique et augmente ainsi son pouvoir d'isolation.

Notre souhait à terme est que cette étude expérimentale, contribue au développement durable de l'infrastructure économique de notre pays. Cette préoccupation concerne aussi la valorisation du grignon d'olive comme ajout dans la fabrication des briques poreuses afin d'atténuer son impact négatif sur l'environnement. Il s'agit là d'un défi à relever dont les retombées économiques et écologiques sont considérables.

Comme perspectives à cette étude, nous envisageons d'élargir le plan expérimental à l'utilisation d'autres argiles ayant une composition minéralogique et chimique différente que celle de l'argile utilisée (comme par exemple des argiles pauvres en CaO).

D'autre part, il est nécessaire de compléter l'étude par des essais thermiques pour voir clairement l'effet des pores sur la conductivité thermique. En effet les matériaux poreux sollicitent une connaissance approfondie de leurs propriétés physiques (dimension des pores, connectivité...).

On projette donc de continuer cette étude en s'intéressant à la conductivité thermique qui gouverne le pouvoir d'isolation. La présence des pores dans les matériaux contribue certes à diminuer la conductivité thermique en augmentant ainsi ses facultés d'isolation, mais il reste à déterminer l'influence des certains paramètres de la structure poreuse sur cette conductivité. La structure poreuse englobe les notions de forme, de taille et d'organisation spatiale des pores dans la structure elle-même.

Aussi on pourra étendre l'étude à l'effet des produits légers sur la résistance acoustique. La présence des pores favorise l'absorption des sons.

Lors de cette étude, il a été montré que la résistance à la compression des produits crus augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajouts. Ceci pousse la réflexion à la possibilité de fabriquer des briques stabilisées à froids avec ajouts de matières végétales tel que le grignon d'olive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] L.DUFOURNI. Terre cuite et construction. Revue trimestrielle n° 105, éditée par la Fédération Belge de la brique , 2003.
- [2] I.DEMIR. "An investigation on the production brick with proccessed waste tea". In Building and Environment, n° 41, pp 1274-1278, 2006. Edition ELSEVIER.
- [3] I.DEMIR, M.S.BASPINAR, M.ORHAN. "Utilization of kraft pulp production residus in clay brick production". In Building and Environment, n° 40, pp 1533-1537, 2005. Edition ELSEVIER.
- [4] A.EL-BAKOURI. "Caractérisation hygroscoPIques, thermophysiques et mécaniques des matériaux allégés : cas du béton allégé avec du liège ou avec des grignons d'olive". Thèse de doctorat, Maroc, 2004.
- [5] Annuaire statistique de la wilaya de Béjaia. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, 2005.
- [6] A. AIT-MOKHTAR. "Mise au point d'essais de laboratoire pour la caractérisation et l'étude de l'extrudabilité de pâtes argileuses". Thèse de doctorat, INSA de Rennes, 1993
- [7] J. PICOCHÉ. "Dictionnaire étymologique du français". Editions, Les usuels du Robert, 1984.
- [8] N. FAGEL. "Géologie des argiles". Extrait des cours en ligne de l'université de liège.
Le site : www2.ulg.ac.be/urap/enseignement.htm
- [9] F.BOUZID. "Etude de l'aspect chimico-physique des caractéristiques mécaniques d'une argile gonflante : Bentonite". Mémoire de magistère, USTHB, Alger, 1997.

- [10] R. D.HOLTZ, W.D.KOVACS. "Introduction à la géotechnique". Editions de l'école polytechnique de Montréal, Montréal, 1991.
- [11] A. BENCHABANE. "Etude du comportement rhéologique de mélange argiles-polymères, effets de l'ajout de polymères. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 2006.
- [12] S.CAILLERE, S.HENIN, M.RAUTUREAU. "Minéralogie des argiles". Edition Masson, Paris, 1982 Tome 1 et 2
- [13] T.KARTA. "Frittage à basse température d'une argile kaolinitique de Burkina Faso. Transformations thermiques et réorganisations structurales". Thèse de doctorat des universités de Limoges et de Ouagadougou, 2003.
- [14] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN. "Granulats, Sols, Ciments et Bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par des essais de laboratoire". Editions Casteilla, Paris, 1995.
- [15] P.ANATOINE, D.FABRE. "Géologie appliquée au génie civil". Edition Masson, Paris, 1984.
- [16] Plastique et plasticité. Article extrait de : <http://www.dotapea.com/plastique.htm>
- [17] G.PEIRS. "La brique ; fabrication et traditions constructives". Editions, Groupe Eyrolles, 2005.
- [18] Fédération française des tuiles et briques. Les matériaux en terre cuite. Agence Internet pour l'emploi BTP, Paris, 2007
- [19] L. ALVISSET. "Matériaux de terre cuite". Ingénieur de l'école nationale supérieure de céramique industrielle de Sèvres. Docteur de l'université. Directeur technique du centre technique des tuiles et des briques.
- [20] F.GHOMARI. "Science des matériaux de construction". Cours en ligne. www.univ-tlemcen.dz/enseignements/gc/ghomari/CoursMDC/produitsceramiques.pdf
- [21] L.BARTHET. "Contribution de l'évaluation de l'impact sur les écosystèmes de la valorisation de résidus de procédés thermiques en BTP. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2003.
- [22] I.DEMIR. "Effet of organic residues addition on the technological properties of clay bricks". In Waste Management, n° 28, pp 622-627, 2008. Edition ELSEVIER

- [23] W.RUSS, H.MORTEL, R.M.PITTROFF. "Application of spent grains to increase porosity in bricks", In *Construction and Building Materials*, n° 19, pp 117–126, 2005. Edition ELSEVIER.
- [24] B.MONTIES. "Les polymères végétaux. Polymères pariétaux et alimentaires non azotés". Collection dirigée par Claude Costes. Editions, Gauthier-Villars, Bordas, Paris, 1980.
- [25] T.GIDENNE. "Conséquences digestives de l'ingestion de fibres et d'amidon chez le lapin en croissance : vers une meilleure définition des besoins". *INRA Prod. Anim*, 1996.
- [26] A.NEFZAOUI. "Valorisation des sous-produits de l'olivier". Options méditerranéennes. Série séminaire, 1991.
- [27] R.SANSOUCY. "Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animal dans le bassin méditerranéen. Collection, FAO, Rome, 1984.
- [28] A.RAHMANI et A.RABAHI. "Le grignon d'olive brut : Analyse granulométrique et digestibilité à la cellulose". Mémoire de DEUA en écobiologie, Université de Béjaia, 2002.
- [29] A.NEFZAOUI. "Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par une valorisation optimale des sous produits". Séminaire sur l'économie de l'olivier, Tunisie, Options méditerranéennes, 1987.
- [30] V.CEREZO. "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique". Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées, Lyon, 2005
- [31] La culture intensive de l'olivier, un noyau dur de l'agriculture algérienne. In *Journal El Watan* du 18/12/2006.
- [32] H.SAIDANI. "Programme gigantesque de plantation de 500000 ha d'oliviers". In *Journal El Watan* du 25/11/2006.
- [33] A.SI HADJ. "Développons le secteur de l'huile d'olive en Algérie". In *journal El Watan* du 02/05/2007
- [34] Prévention de la pollution dans la production d'huile d'olive. Par le centre d'activités régionales pour la production propre (CAP/PP). Plan d'action pour la méditerranée. Edition du Ministère de l'environnement, 2000.

- [35] N.BENYAHIA, K.ZEIN. "Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées". Contribution spéciale de Sustainable Business Association (SBA), Suisse, 2003
Site Internet : <http://sba.hello.to>
- [36] Automatisation et contrôle du processus d'élaboration de l'huile d'olive. Séminaire international sur les innovations scientifiques et leur application en oléiculture et oléotechnie. Florence, 10,11 et 12 mars 1999.
- [37] G. Ranalli, G. Alfano, M. Bahammi, C. Belli, G. Lustrato. "Gestion des sous-produits de la filière oléicole au Maroc". In ONU pour le Développement Industriel, septembre 2002 – Juillet 2003.
- [38] FAO. "Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale dans le bassin méditerranéen. Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier". Synthèse réalisée par R.SANSOUCY, Rome, 1984.
- [39] FAO. "Les grignons d'olive. Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier". Synthèse réalisée par R.SANSOUCY, Rome, 1984.
- [40] O.AMRANI. "Valeur nutritive du chardon marie (*Silybum marianum* (L) Gaerthn) « Tawra »". Mémoire de magistère en sciences Agronomiques. Université El Hadj Lakhdar, Batna, 2006.
- [41] F.YAAKOUB. "Evaluation 'in vitro' de la dégradation des principaux fourrages des zones arides". Mémoire de magistère, Université de Batna, 2006.
- [42] FAO. Production végétale et protection des plantes N°29. Conservation du foin et de la paille, par J.M.SUTTI. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2004
- [43] R.MOURADOV. Document technique du ministère des industries légères sur le gisement d'Oued Remila. Société Nationale des Matériaux de Construction (S.N.M.C), Division de Recherche et Etude Géologique (D.R.E.G). Rapport géologique final et recherches détaillées. Boumerdes, 1983.
- [44] M.L.HAYEK. "Valorisation des grignons d'olives : Application de différentes voies d'hydrolyse". Mémoire de DEA, Liban, 2003.
- [45] R.BOUAZIZ, A-P.ROLLET. "L'analyse thermique, Tome2 : les changements de phase". Editions Gauthier Villars, 1972.

- [46] G.MILLOT. Géologie des argiles. Editions, Masson,1964
- [47] T.MIRANDA, A.ESTEBAN, S.ROJAS, I.MONTERO, A.RUIZ. "Combustion Analysis of Different Olive Residues". In International Journal of Molecular Sciences, n° 9, pp 512-525, 2008. Edition ELSEVIER.
- [48] P.GARCIA-IBANEZ, M.SANCHEZ, A.CABANILLAS. "Thermogravimetric analysis of olive-oil residue in air atmosphere". In Fuel Processing Technology 87, pp 103 – 107, 2006. Edition ELSEVIER.
- [49] J.A. Caballero, A. Marcilla, J.A. Conesa. "Thermogravimetric analysis of olive stones with sulphuric acid treatment ". In Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, n°44, pp 75-88, 1997. Edition ELSEVIER
- [50] F. SHAFIZADEH. "Pyrolysis and combustion of cellulosic materials", In Carbohydrate Chemistry, n° 23, pp 419-474, 1968.
- [51] G. VARHEGYI, P. SZABO, M.J. ANTAL. "Reaction kinetics of the thermal decomposition of hemicellulose and cellulose in biomass materials". In Thermochemical Biomass Conversion, Blackie Academic, London, pp 760-770, 1994. Edition A.V. Bridgwater
- [52] P.T.WILLIAMS, S. BESLER. "Thermogravimetric analysis of the components of biomass". In Thermochemical Biomass. Conversion, Blackie Academic, London, pp 771-783, 1994. Edition A.V. Bridgwater.
- [53] N.BEZZI. "Gestion de qualité et valorisation des minerais de phosphate de Bled El Hadba. Djebel ONK-Tebessa". Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, 2005.
- [54] J.COSTET, G.SANGLERAT. Cours pratique de mécanique des sols. Plasticité et calcul des tassements. TomeI, 3°Edition Donod, 1983.
- [55] P. BOCH. "Couleurs céramiques".
www.labos.upmc.fr/lcmcp/newsite/files/livage/Seminaires%202003-2004/Philippe_Boch.p
- [56] B.NAITALI. "Elaboration, caractérisation et modélisation de matériaux poreux. Influence de la structure poreuse sur la conductivité thermique effective". Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2005.

- [57] G.CULTRONE, E.SEBASTIAN, M.J. de la TORRE. Mineralogical and physical behaviour of solid bricks with additives", In Construction and Building Materials, N° 19, pp 39–48, 2005. Edition ELSEVIER.

Autres :

- [58] J. TREINER. "Energie et développement durable", In Développement durable : approches plurielles », Ouvrage collectif coordonné par Yvette Veyret, Hatier, 2005
- [59] Brochure technique. Brique et maçonnerie, caractéristiques techniques. Fédération Belge de la brique, 2006.
<http://www.brique.be>
- [60] D.ALILAT. L'huile d'olive, le pétrole de la Kabylie. In journal EI WATAN du 11/11/2007
- [61] H.LAFUMA. "Chimie appliquée aux matériaux de construction. Chaux, céramique et verrerie". Edition Masson & Cie, 1972
- [62] E.OLIVIER. Matériaux de construction (Tome 2). Entreprise moderne d'Édition, Paris, 1978.
- [63] La brique de terre cuite, le choix de la construction durable. Fédération Belge de brique, 2006.
<http://www.brique.be>
- [64] Centre Technique Des Tuiles Et Briques. Tuiles et briques de terre cuite. Editions, le Moniteur, 1998
- [65] P.Ch.LEVEQUE. "Géologie appliquée au génie civil, génie nucléaire et l'environnement". Tome 1. Technique et documentation, Lavoisier, Paris, 1984
- [66] R.ADEM. A.FARRAH. Les ressources fourragères en Algérie : Analyse du bilan fourragère pour l'année 2001. Article, In webmaster du Gredaal, 2002
- [67] M.MUSTIN . "Le compost : gestion de la matière organique". Editions François Dubusc, Paris, 1987

ANNEXES

Annexe I

Tableau I.1 : Résumé des forces pouvant s'exercer entre deux particules d'argile.

Type de force	Rayon d'action	Théorie de calcul	Validité des résultats
Répulsion due à la double couche	20 à 300A°	Double couche diffuse de GOUY-CHAPMAN	
Attraction de VAN DER WAALS	300A°	Formule de VAN OLPHEN	Erreur d'environ un ordre de grandeur
Répulsion de Born	1 à 2A°	Physique du solide	?
Répulsion osmotique	10 à 20A°	Double couche de DONNAN	Résultats quantitatifs douteux
Répulsion (hydratation de surface)	0 à 20A°	LADD	?
Répulsion (hydratation des ions)	0 à 20A°	Néant	Intensité inconnue
Répulsion (molécule d'eau sous champs électrique)	0 à 20A°	LADD	Résultats quantitatifs douteux
Attraction électrostatique bord-face	0 à 20A°	Images électriques	Pas de résultats quantitatifs
Attraction (liaison chimique primaire)	0 à 20A°	Existence et intensité des forces douteuses	
Attraction « cation Linkage »	0 à 20A°	LADD	Absent dans les sols intéressant l'ingénieur
Cémentation	0 à 20A°	Néant	Intensité inconnue

Annexe II

Tableau II.1 : Production de l'huile d'olive en Algérie 1990-2007

Année	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99
Production (1000 tonnes)	6.0	37.0	27.3	21.0	16.6	51.5	60.5	15.0	54.5
Année	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	
Production (1000 tonnes)	33.5	26.5	26.5	45.0	63.5	33.5	36.0	40.0	

Tableau II.2 : Résumé des différentes possibilités d'utilisation du grignon d'olive

Traitements	Avantages	Inconvénients	Coûts	Références
1. Combustible	<ol style="list-style-type: none"> Valeur calorifique moyenne (2950Kcal/Kg) La coque qui représente 60% du total a un pouvoir calorifique relativement élevé (4000Kcal.Kg) 	<ol style="list-style-type: none"> Emission de fumées Emissions d'odeurs 	Bas	Nefzaoui, 1983
2. Fabrication de furfural	1. La coque peut être utilisée comme matière première pour la fabrication de furfural. La coque séparée des grignons a un contenu en pentosanes de 26% qui représente 15% de furfural de la matière première humide.	1. Prix de la coque (coût de la séparation, utilisation concurrentielle comme combustible,...)	élevés	Martinez, 1986
3. Utilisation des grignons dans le génie civil	Matériaux isolants de bâtiments	<ol style="list-style-type: none"> Aspects hygiéniques Substances biodégradables substances inflammables 	Moyen	

4. Alimentation animale	Digestibilité élevée des matières grasses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Digestibilité de MO faible (de 20 à 40%) 2. La digestibilité de la cellulose brute ne dépasse 40% 3. Très hautement lignocellulosique, les grignons ont une dégradabilité dans le rumen très lente. 4. La dégradabilité des matières azotées est aussi très faibles et explicables par le fait que 70% à 80% de l'azote est lié à la fraction lignocellulosique entraînant une faible solubilité de l'azote. 5. La valeur énergétique du grignon est faible, elle varie de 0.32 à 0.49 unités fourragères 6. l'amélioration de la digestibilité des grignons est possible par le traitement aux alcalis 	Bas	<p>Nefzaoui et Ben Dhia, 1978 ; Nefzaoui et Abdouli, 1981 ; Nefzaoui et al, 1983; Nefzaoui et Vambelle, 1983; Nefzaoui et Vambelle, 1984 ; Nefzaou, 1985 ; Nefzaoui et al, 1985; Nefzaoui et Vambelle, 1986 ; Nefzaoui, 1987</p>
-------------------------	---	---	-----	--

Tableau II.3 : Différents constituants des aliments d'origine végétale (D'après Soltner, 1994)

M A T I È R E B R U T E	Eau	78 à 92% dans les betteraves fourragères 78 à 88% dans l'herbe verte 50 à 80% dans les ensilages et enrubannages 15 à 20% dans les foins et les grains			H ₂ O	
	Matière sèche (obtenue par dessiccations)	Matières minérales/ Matière sèche (obtenue par dessiccation, cendres obtenues par combustion à 550°C)		Macro-éléments ou éléments majeurs	<i>Chlorures, phosphates, sulfates, carbonates de Ca, Na, Mg, K</i>	
				Micro-éléments ou oligo-éléments	<i>Fe, Cu, Zn, Co, Mn, I, Se...</i>	
		Matière organique (Brûle en dégageant du CO ₂)	Eléments ternaires ou substances hydrocarbonées (constitués de C, H, O)	G L U C I D E S	Glucides cytoplasmiques (contenus cellulaires)	<i>Glucides solubles (sucres) : ω en C5 (ribose, desoxyribose) ω en C6 (glucose, fructose) ω en C12 (maltose, lactose, saccharose, mélibiose) Glucides insolubles de réserve (fructosanes, amidon)</i>
					Glucides pariétaux (parois)	<i>Glucides insolubles de structure (cellulose, hémicelluloses, substances pectiques, lignine, cires ou cutine)</i>
					Lipides ou corps gras	<i>Esters d'acides gras (glycérides, stérides, cérides)</i>
		Eléments quaternaires ou matières azotées		Matières azotées protidiques	<i>Acides aminés libres et combinaisons d'acides aminés en peptides, polypeptides et protéines</i>	
	(constitués de C, H, O, N)		Matières azotées non protidiques	<i>Amides (urée), Amines, Ammoniaque, bases azotées</i>		

Méthodes d'analyse chimique des matières végétales

Le système américain utilise les valeurs NDF et ADF comme prédicateurs de la part de parois dans les plantes. En France, cette estimation se fait avec la Cellulose Brute (CB).

Aux Etats-Unis, c'est la méthode Van Soest qui a été développée pour le dosage des parois cellulaires. Cette méthode s'est d'ailleurs imposée au niveau international. Elle donne deux valeurs *NDF* (Neutral Detergent Fiber) et *ADF* (Acid Detergent Fiber) qui sont, tout comme la cellulose brute, une estimation de la part de parois présentes dans les plantes. La relation entre ces deux systèmes est illustrée par le tableau II..

Tableau II.4 : Fractionnement des constituants chimiques des aliments selon le système nord-américain

Système de Weende FRANCE	ELEMENTS CHIMIQUES		Système de Van Soest USA	
Matières minérales = cendres (MM)	Cendres solubles		Contenu cellulaire Neutral Detergent soluble	
Extrait étheré	Lipides, Pigments, etc.			
Matières Azotées Totales (MAT)	Protéines, azote non protéique, etc.			
Extractif Non Azoté	Sucres, amidon, Pectines			
	Hémicellulose		Acid Detergent Fiber ADF	Constituants pariétaux Neutral Detergent Fiber NDF
	Alkali-soluble	Lignine		
Alkali-insoluble				
Cellulose Brute (CB)	Cellulose			
Matières minérales	Cendres insolubles (Silice)			

S o u r c e : USA - 1987

NDF = cellulose + hémicellulose + lignine

ADF = cellulose + lignine

Le tableau suivant indique la nature des échantillons

Annexe III

Tableau III.1 : Producteurs de produits rouges

N°	Nom de L'exploitation. De l'entreprise	Date de mise exploit.	Localisation du gisement	Production annuelle (T/an)
01	SOMACOB Briqueterie Remila	Mai 1989	Remila Tinebdar Sidi-Aich	50.000
02	SOMACOB Briqueterie Seddouk	Mai 1982		30.000
03	EURL EPRE	1980	Ighil Ouberouak Tala-Hamza (briqueterie en activité mais la carrière est à l'arrêt). Alimentée actuellement par Remila	43.500
04	Nouvelle briqueterie de la Soummam/ Amizour	1999	Remila Tinebdar Sidi-Aich	70.000

Tableau III.2 : Evolution de la température de cuisson des briques en fonction du temps (à 3% d'ajouts)

Temps (min)	Température (C°) Argile + 0% d'ajouts	Température (C°) Argile + 3% de CGO	Température (C°) Argile + 3% de GOB	Température (C°) Argile + 3% de foin
0	23	23	23	23
15	73	87	89	73
30	125	165	167	130
45	175	250	255	200
60	242	320	335	262
75	313	390	411	328
90	374	446	460	402
105	431	493	507	455
120	480	530	542	501
135	524	569	581	541
150	564	606	615	589
165	596	642	651	620
180	631	671	685	653
195	665	704	720	683
210	699	730	745	716
225	731	756	768	745
240	762	780	794	770
255	790	806	824	796
270	821	838	851	828
285	846	862	878	860
300	870	889	903	878
315	891	914	927	904
330	918	934	950	923
335	924	950		940
340	932			950
345	950			

Tableau III.3 : Résultats de la composition chimique de l'argile de Remila effectués sur un lot de 49 échantillon

Echant N°	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃ total	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃ gypse	TiO ₂	P.F
40.82.20	48.59	11.34	5.7	14.54	1.43	0.01	0.83	1.32	0.01	0.61	15.21
.21	47.61	11.52	5.02	15.59	1.36	0.03	0.88	1.34	0.02	0.62	15.6
.22	46.22	12.87	5.3	15.11	1.39	0.02	0.81	1.57	0.01	0.65	15.64
.23	46.88	13.07	5.28	14.77	1.41	0.01	0.8	1.48	0.01	0.67	15.16
.24	52.65	10.53	4.96	13.58	1.39	0.03	1.01	1.4	0.02	0.52	13.61
.25	48.07	13.07	5.57	13.34	1.79	0.02	0.85	1.59	0.02	0.65	14.52
.26	47.12	12.53	5.03	13.88	2.23	0.63	0.88	1.62	0.12	0.65	15.04
.27	47.89	12.26	5.04	13.3	2.23	0.99	0.92	1.56	0.11	0.65	14.85
.28	48.87	9.8	5.02	14.92	2.06	0.58	1.11	1.15	0.07	0.52	15.5
.29	44.19	12.56	5.09	16.15	1.96	0.01	0.73	1.42	0.01	0.61	16.32
.30	48.04	12.04	5.01	14.41	1.9	0.02	0.95	1.51	0.01	1.57	15.31
.31	48.88	9.75	4.71	16.39	1.67	0.02	0.96	1.22	0.01	0.51	15.66
.32	47.38	11.53	4.94	15.86	1.84	0.03	0.92	1.41	0.02	0.59	15.55
.33	45.59	12.11	5.3	15.57	2.07	0.29	0.83	1.42	0.12	0.66	15.80
.34	44.55	12.23	5.21	15.82	2.4	0.53	0.84	1.5	0.04	0.66	16.25
.35	46.59	12.73	5.27	14.1	2.34	0.41	0.89	1.56	0.07	0.66	15.41
.36	50.01	11.22	4.96	13.26	2.17	0.59	0.97	1.50	0.07	0.61	14.38
.37	46.57	12.22	5.32	14.09	2.34	0.47	0.87	1.47	0.03	0.63	15.77
.38	47.03	12.49	5.15	13.56	2.34	0.66	0.88	1.53	0.01	.67	15.39
.39	47.92	10.96	4.8	14.1	2.34	1.05	1.08	1.38	0.03	0.6	15.42
.40	44.73	11.99	5.23	15.26	2.4	1.37	0.86	1.43	0.02	0.64	16.32
.41	44.25	12.48	5.1	14.95	2.35	1.63	0.84	1.52	0.03	0.65	16.43
.42	45.61	12.49	5.57	14.4	2.39	0.66	0.87	1.57	0.02	0.65	15.88
.43	45.56	12.38	5.23	14.43	2.4	0.41	0.91	1.68	0.05	0.67	15.98
.44	46.44	12.72	5.19	14.48	1.85	0.03	0.82	1.72	0.02	0.7	15.63
.45	46.93	13.26	5.3	13.91	2.02	0.04	0.87	1.79	0.03	0.66	16.19
.46	47.31	11.6	4.99	14.41	2.29	0.48	0.93	1.65	0.05	0.65	15.45
.47	46.08	10.98	4.9	15.25	2.34	0.86	0.87	1.57	0.20	0.6	16.2
.48	46.85	10.48	4.94	15.46	2.01	0.63	0.91	1.51	0.06	0.6	16.2
.49	47.72	10.49	4.88	15.45	1.95	0.69	0.94	1.40	0.05	0.59	18.94
.50	46.36	10.37	4.67	15.82	2.12	1.03	0.93	1.39	0.15	0.55	16.46
.51	46.96	10.48	4.95	15.41	2.23	0.91	0.88	1.28	0.05	0.56	16.31
.52	45.46	11.84	5.18	14.96	2.34	0.80	0.88	1.62	0.02	0.65	16.65
.53	45.62	11.97	5.22	14.4	2.45	0.42	0.89	1.72	0.02	0.65	16.36
.54	45.35	12.85	5.27	14.02	2.51	0.43	0.92	1.89	0.04	0.71	15.89
.55	45.62	13.32	5.36	13.29	2.45	0.49	0.92	1.93	0.03	0.72	15.62
.56	47.13	12.39	5.34	13.57	2.39	0.46	0.96	1.75	0.04	0.63	15.47
.57	45.97	12.63	5.25	13.84	2.51	0.49	0.95	1.8	0.01	0.64	15.98
.58	46.81	12.49	5.32	13.27	2.34	0.63	0.97	1.84	0.05	0.65	15.58
.59	46.06	11.86	4.97	15.81	1.95	0.04	0.86	1.64	0.02	0.63	15.77
.60	46.6	9.49	5.11	17.27	1.9	0.02	0.83	1.39	0.01	0.55	16.44
.61	46.8	11.97	5.27	14.11	2.01	0.12	0.84	1.68	0.12	0.658	16.84
.62	46.16	11.85	5.01	14.85	2.028	0.7	0.82	1.61	0.03	0.64	16.16
.63	44.61	11.98	5.00	15.28	2.23	0.77	0.80	1.65	0.08	0.68	16.58
.64	44.53	12.09	4.86	14.96	2.28	1.42	0.81	1.7	0.05	0.65	16.49
.65	44.68	12.36	4.87	15.14	2.4	0.76	0.83	1.7	0.07	0.66	16.41
.66	45.77	12.79	5.16	14.42	2.29	1.22	0.84	1.69	0.29	0.81	15.49
.67	45.25	13.03	5.27	14.46	2.29	0.96	0.82	1.72	0.42	0.7	15.5
.68	45.51	13.63	5.37	13.6	2.46	0.58	0.84	1.82	0.19	0.75	15.58
.69	50.35	10.95	5.2	13.00	2.23	0.77	0.87	1.65	0.29	0.65	14.00

Annexe IV

Tableau IV.1 : Références des normes algériennes des briques

N°	Référence	Date	Intitulé	Equivalent
01	NA 5020	1995	Briques pleines, briques perforées, blocs pleins et blocs creux	EN 771-2
02	NA 5021	1995	Briques extérieurs et briques de parement	EN 771
03	NA 5022	1995	Détermination des masses volumiques apparentes	EN 771
04	NA 5023	1995	Détermination de la résistance à la compression	EN 771
05	NA 5024	1995	Détermination de la résistance au gel	EN 771
06	NA 1707	2006	Spécifications pour éléments de maçonnerie Complément de la norme NA 5639	NF P 12-021-2
07	NA 5590	1994	Briques réfractaires à utiliser dans les fours rotatifs Dimensions	ISO 5417
08	NA 5639	2006	Spécifications pour éléments de maçonnerie	NF P51-301
09	NA 5568	2005	Briques pour la construction de conduits de fumée	EN 771-3

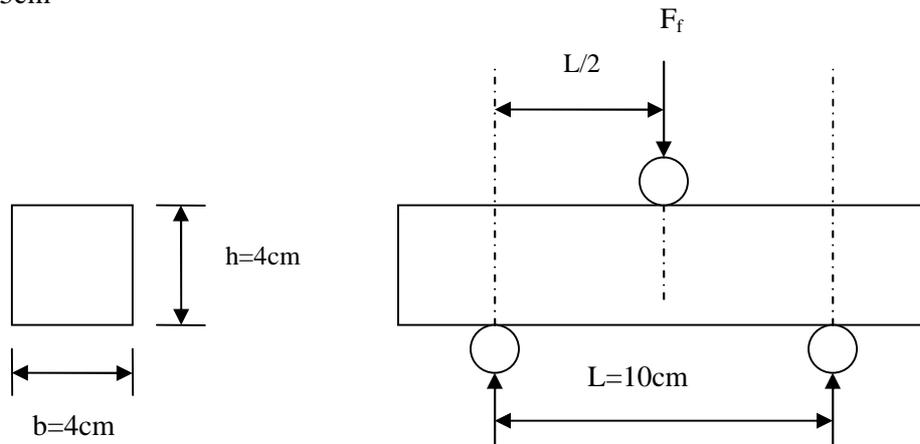
Essai de traction par flexion

La méthode consiste à charger progressivement l'éprouvette placée sur deux appuis distants de 10cm jusqu'à ce qu'elle se brise, par conséquent on détermine la charge de rupture et la contrainte correspondant.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif suivant :

Annexe IV.2 : Essai de traction par flexion

$$\begin{aligned} l &= L/2 = 5\text{cm} \\ b &= 4\text{cm} \\ h &= 4\text{cm} \end{aligned}$$



Le principe de l'essai consiste à faire actionner la machine qui va appliquer une charge progressive et continue et sans choc à vitesse constante jusqu'au moment de rupture.

Ensuite, on prend les résultats de la charge de rupture F_f et la contrainte R_f correspondante (résistance à la traction par flexion) qui sont données directement par la machine.

Pour les essais de flexion, la section équivaut à la section fictive : en divisant la charge totale par cette section équivalente, on obtient la contrainte maximale de flexion.

$$R_f = \frac{F_f}{S_{eq}}$$

Pour une éprouvette de (16*4*4)cm

$$S_{eq} = \frac{b * h^2}{3 * l} = \frac{4 * 4^2}{3 * 5} = 4.26$$

Résumé

Notre étude s'intègre dans la politique générale de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement. Son objectif est d'étudier l'influence de deux résidus organiques sur la brique de terre cuite. Le grignon d'olive et le foin sont des sous produits agricoles répandus sur le territoire algérien et spécialement dans la wilaya de Béjaia. Ces résidus sont généralement employés comme nourriture de bétail.

La capacité d'isolation de la brique augmente avec l'augmentation de sa porosité. Des ajouts organiques combustibles sont souvent utilisés dans le but de former des pores. Pour cette raison des quantités croissantes de résidus organiques (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% et 10%) ont été mélangées avec l'argile pour former des briques. Tous les échantillons ont été cuits à 900°C. Plasticité, masse volumique apparente, et propriétés thermiques et mécaniques ont été étudiées. Les additions de résidus organiques se sont avérées efficaces pour former des pores tout en maintenant les propriétés mécaniques dans les limites des normes. En conséquences, le grignon d'olive et le foin peuvent être utilisés en tant qu'ajouts organiques dans le but de fabriquer des produits poreux.

Mots clés :

Grignons d'olive- foin – argile – analyses thermiques – caractéristiques.

Abstract

Our study fits into the overall policy of energy saving and environmental protection. Its objective is to study the influence of two organic residues on clay brick. The olive stone and hay are common in agricultural products on Algerian territory and especially in the wilaya of Bejaia. These residues are commonly used as food for livestock.

The insulating capacity of the brick increases with increasing porosity. Additions organic fuels are often used for the purpose of forming pores. For this reason increasing amounts of organic waste (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% and 10%) were mixed with clay to make bricks. All samples were fired at 900 ° C. Plasticity, bulk density, thermal and mechanical properties were studied. The additions of organic residues have proved effective in forming pores while maintaining the mechanical properties within existing standards. In consequence, the olive stone and hay can be used as organic additif in order to produce porous.

Keywords :

olive stone -hay - clay - thermal analysis - features.