

Analyse des comportements Hydrauliques et Thermiques des BLT de la carrière de DANO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2010 par

YAYA Saleh Bouba

Travaux dirigés par :

- D^r Ismaïla GUEYE ; Enseignant, chercheur, chef UTER Génie Civil
- Abdou LAWANE ; Enseignant, doctorant UTER Génie Civil
- D^r Raffaele VINAI ; Enseignant, chercheur UTER Génie Civil

Jury d'évaluation du stage :

Président : D^r Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : D^r Raffaele VINAI
Abdou LAWANE

Promotion [2009/2010]

Dédicaces

Ce mémoire est la conséquence de cinq longues années d'études à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (ex. Groupe eier-etsher) de Ouagadougou Burkina Faso ; Cinq ans de travail ardent, intensif et épuisant, caractérisés par les souffrances de tout genre : nuits blanches, stress etc.

Je dédie ce présent mémoire à tous ceux qui ont pour soucis le développement de notre jeune continent Africain.

Je le dédie aussi à :

Ma grand-mère Waoua Lawane

Mon grand père Mahamat Adji Ousman

Ma mère Aminatou Mahamat Adji

Mon père Saleh Bouba Bahkary

Mes grands frères Bouba Saleh et Idriss Saleh

Mes petits frères Hamadou, Brahim et Mahamat AlLamine

Mes petites sœurs Zaneba, Habiba, khadidja et Zouleykha

Mes oncles souleyman, Moussa, Mamadou, Adoum, Dalil et Brahim et leurs enfants

Mes tantes Zeneba et khadidja et leurs enfants

Mes cousins et cousines dont les noms ne sont pas cités

Mon cher ami Mahamat Hamadou

Toute ma famille et mes connaissances

Vous qui, pour certains, m'avez manqué durant ma formation et êtes restés très loin de moi au Tchad.

Trouvez ici, le fruit de votre peine.

REMERCIEMENTS

Gloire et honneurs soient rendus à ALLAH le tout puissant qui m'a protégé durant les cinq ans de formation et par la grâce de qui ce mémoire a pu être élaboré.

Ce travail ne saurait être une œuvre solitaire. Plusieurs personnes, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation. Je voudrais ici leur exprimer ma profonde gratitude.

Cette gratitude va tout d'abord à Mr Soter Rayuissé Directeur de la société Pierre Naturelle et Mr Abdou Lawane Gana du ziE qui n'ont pas lésiné sur les moyens pour que ce mémoire soit le plus concret possible et à l'ensemble du corps professoral du ziE, pour les savoirs techniques et professionnels qu'ils nous ont dispensés.

Je remercie aussi du fond de cœur :

D^r DISSA Alfa Oumar et COULIBALY Ousman du Laboratoire de Physique et de Chimie de L'Environnement(LPCE) de l'Université de Ouagadougou pour leur soutien moral et matériel.

Tous mes amis et collègues du cycle master auxquels je réitère mes gratitude pour leur soutien et encouragement continus. Que Dieu leur soutienne aussi dans leur effort.

Tous les étudiants du ziE qu'ils trouvent aussi leur part.

A la 1^{ère} Promotion de LMD

Toute ma famille, elle qui me donne toujours sans cesse son soutien financier, moral et aussi spirituel. Que la paix et la quiétude lui soit rendu comme récompense.

Je garde des souvenir inoubliables :

De mon grand frère Idriss Saleh Boubba, pour le soutien moral, matériel ou financier dont j'ai bénéficié de lui durant toute ma formation.

Au gouvernement Tchadien pour m'avoir octroyé une bourse d'études pour toute ma formation.

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	ii
<i>REMERCIEMENTS</i>	iii
RESUME.....	vii
Liste des abréviations	ix
I. INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte de l'étude	1
2. Méthodologie de rédaction du mémoire	2
3. Objectifs de l'étude	3
CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	4
I.1 LA VILLE DE DANO	4
1. Situation géographique	4
2. Caractéristiques physiques et naturelles	4
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MATERIAUX LATERITIQUES.....	7
II.1. Définition et historique	7
II.2. Les briques de latérite taillée	9
2.2.1. Extraction des blocs de latérites taillée	9
2.2.2. Les matériels utilisés pour extraction des blocs de latérite taillée	9
2.2.3. Le procédé d'extraction des blocs de latérite taillée	10
II.3. Les traitements sur les latérites	11
3.1. Le Néré	12
3.2. Le Cissus populnea	14
CHAPITRE III : MESURES DES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DES BLT	15
3.1. Les principales méthodes de mesure des propriétés thermophysiques	16
3.1.1. Les méthodes en régime permanent	17
3.1.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée	17
3.1.1.2. Méthode du plan chaud	17
3.1.1.3. Choix d'une méthode de mesure	18
3.2. Caractérisation des paramètres thermiques des BLT	18
3.2.1. Caractéristiques du matériau utilisé	19
3.3. Mesure des propriétés thermophysiques	19
3.3.1. Méthodologie expérimentale	19

CHAPITRE IV: CARACTERISATION HYDRIQUE ET MECANIQUE DES BLT	26
4.1. Caractérisation mécanique des blocs de latérite taillée	26
4.1.1. Essais de Résistance en compression	27
4.1.2. Influence de l'humidité sur la résistance en compression.....	27
4.1.3. Influence des traitements par le Néré et le Cissus populnea sur les propriétés mécaniques	28
4.2. Caractérisation hydrique des blocs de latérite taillée	29
4.2.1. Absorption de l'eau	29
4.2.1.1. Résultats et interprétations.....	32
4.3. Influence de la pluie sur la dégradation des BLT.....	34
4.3.1. La puissance d'une averse par unité de surface	35
4.3.2. Résultats et interprétation	36
4.4. Mesure de la perméabilité des BLT	37
4.4.1. Perméabilité in situ.....	37
4.4.2. Perméabilité au Laboratoire	37
4.4.3. Résultats et Interprétation.....	39
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	40
Bibliographie	42
ANNEXES	43
ANNEXE 1 : PERMEABILITE.....	43
ANNEXE 2 : SIMULATION DE PLUIE.....	43
ANNEXE 3 : PROPRIETES PHYSIQUES DES BLT	43
ANNEXE 4 : GRAPHE SUR LES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES	43
ANNEXE 5 : RESISTANCE EN COMPRESSION DES BLT	43
ANNEXE 6 : PHOTOS	43

Liste des Tableaux

Tableau 1 différents recensements de la population de Dano	6
Tableau 2 : Répartition de la population par tranche d'âge	6
Tableau 3 : Les paramètres thermophysiques des BLT	24
Tableau 4 : Le coefficient de conductivité thermique.....	24
Tableau 5 : Pression pour diverses intensités	36
Tableau 6 : Résultats de perméabilité in situ	39
Tableau 7 : Résultats de perméabilité au labo	39

Liste des figures

Figure 1 : carte de localisation de la commune de Dano	4
Figure 2: Répartition de la population par tranche d'âge	6
Figure 3 : Schéma du montage de la méthode du plan chaud avec deux échantillons.....	17
Figure 4: milieu homogène isotrope	20
Figure 5: flux unidirectionnel	21
Figure 6 : variation des températures des faces chaude et froide en fonction du temps	22
Figure 7: Courbe expérimentale $T_0(t) - T_0(0)$ en fonction de racine carrée du temps	23
Figure 8 : Influence de l'humidité sur la conductivité thermique	24
Figure 9:Résistance en compression des BLT	27
Figure 10 : Résistance en compression en fonction de l'absorption	27
Figure 11: Influence de Néré sur la résistance en compression des BLT	28
Figure 12:Ajustement de l'absorption des BLT non traités.....	32
Figure 13:volume d'eau absorbée en fonction du temps	32
Figure 14 : Absorption des BLT non traités	33
Figure 15 : Influence des traitements sur l'absorption	34
Figure 16 : dégradation des BLT pour diverses intensités de pluie.....	36

Listes des Photographies

Photographie 1 : le Néré	13
Photographie 2: photo de l'interface.....	18
Photographie 3: blocs de latérite taillée pour la mesure thermique.....	19
Photographie 4 : Presse de traction-compression	26
Photographie 5 : les blocs de latérite immergés.....	31
Photographie 6 : Simulation de pluie	36
Photographie 7 : perméabilité in situ.....	37
Photographie 8 : perméabilité au labo.....	38

RESUME

La mise en valeur d'une région nécessite l'utilisation la plus rationnelle possible de ses sols. Dans le domaine de la construction, celle-ci n'est pleinement réalisable que si l'on détermine non seulement leurs caractéristiques mécaniques mais aussi les propriétés hydriques et thermophysiques. Même une expérience séculaire malgré toute sa vie ne peut remplacer totalement cette connaissance. Dans les pays tropicaux cette expérience n'est que partielle. L'estimation des propriétés thermophysiques et hydriques des matériaux de construction joue un rôle primordial dans certains domaines scientifiques.

Cette étude porte sur l'analyse des comportements hydriques et thermiques des sols latéritiques. La latérite connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise de l'énergie liée à celle du logement dans la plus part des pays africains.

Nous présentons dans ce document, les résultats concernant les propriétés hydriques et thermophysiques des blocs de latérite taillée (BLT) extraient de la région Sud-ouest du Burkina Faso dans la ville de Dano.

Les résultats obtenus sur les échantillons témoins mettent en évidence les performances et les avantages de ces derniers dans la construction d'une part et que les traitements avec des produits végétaux (les décoctions de néré et les tiges de cissus populnea) améliorent les propriétés hydriques et thermiques des blocs de latérite taillée d'autre part.

Pour les propriétés hydriques on constate une réduction de l'absorption de 25% avec le cissus popiulnea et plus de 45% avec le néré. Le traitement à base des décoctions de néré a une influence considérable sur les propriétés thermiques, on enregistre une chute de plus de 60% de la conductivité thermique. La plus grande valeur de la perméabilité observée des BLT est de l'ordre de 10^{-6} m/s. L'influence de la pluie sur la dégradation des BLT a aussi été montrée.

Bien que dans le cadre de ce mémoire seulement l'influence du néré sur les propriétés thermiques des BLT a été abordée, les traitements à base des tiges de cissus populnea aurait probablement donnés aussi des résultats très intéressants.

Mots clés : Latérite ; bloc de latérite taillée ; produits végétaux (nééré et cissus populnea) ; performance ; thermique ; hydrique ; dégradation.

ABSTRACT

The development of a region requires the most rational possible use of its grounds. In the field of construction, this one is completely practicable not only if we know the mechanical properties of the ground but also the hydraulic and thermo-physical properties. Even a secular experience (experiment) in spite of all its life cannot replace totally this knowledge. In the tropical countries this experience is only partial. The estimation of the thermo-physical and hydraulic properties of building materials play an essential role in certain scientific domains.

This study relates to the analysis of the hydrous and thermal behaviors of the lateritic grounds. The laterite knows at present a renewal of interest further to the crisis of energy and to the housing shortage in most part of our African countries.

We present in this document, the results concerning the hydrous and thermo-physical properties of blocks of cut laterite (BCL) taken in the city of Dano southwest region of Burkina Faso.

The results obtained on control samples bring to light the performances and the advantages of these last ones in the construction on one hand and then the treatments with some plant products improve the hydrous and thermal properties of the blocks of cut laterite on the other hand.

For the hydrous properties one notes a reduction of the absorption of 25% with the cissus popiulnea and more than de 45% with nééré. The treatment containing the decoctions of nééré has a considerable influence on the thermal properties, one records a fall of more than 60% of thermal conductivity. The greatest value of the permeability observed of the BLT is about 10^{-6} m/s. The influence of the rain on the degradation of the BCL was also shown.

Although within the framework of this memory only the influence of nééré on the thermal properties of the BLT was approached, the treatments containing the stems of cissus populnea would have probably given also very interesting results.

Keywords: laterite; plant products; performance; thermal; hydrous; degradation; block of cut laterite.

Liste des abréviations

BLT: Bloc de Latérite Taillée

2iE: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de L'Environnement

LNBTP : Laboratoire Nationale de Bâtiment et des Travaux Publics

LPCE : Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement

I. INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte de l'étude.

L'Afrique est confrontée au grave problème de l'habitat l'une des préoccupations majeures de la population demeure l'épineuse question de l'habitation. Particulièrement en Afrique francophone le problème s'est empiré avec l'évaluation du franc CFA intervenue en janvier 1994 et de la crise énergétique qui ont sans doute engendré une hausse vertigineuse sur les prix de matériaux de construction.

Par souci d'efficacité nous devrions réorienter l'effort de nos recherches sur un type d'habitat traditionnel pouvant répondre à une fraction importante du marché et dont le coût au mètre carré représenterait le seuil au-delà du quel les matériaux correspondant à l'échelle des besoins pourraient se développer et des transferts de technologies être organisés.

Dans les pays en voie de développement la demande du logement traditionnel représente 30 à 50 % de la population totale (R., 1964). C'est pourquoi l'utilisation des matériaux locaux dans la construction a été une volonté réelle en Afrique depuis plusieurs décennies. Beaucoup de constructions, notamment en Afrique subsaharienne en témoignent encore.

La latérite (bloc de latérite taillée) est l'un des matériaux le plus utilisé dans les constructions traditionnelles africaines mais les connaissances actuelles sur celle-ci en tant que matériau de construction sont encore insuffisantes. Et, lorsque la qualité de ce matériau est évoquée, la question aussitôt posée concerne généralement sa résistance, sa stabilité ou la qualité des ambiances des ouvrages construites avec celle-ci. Malgré tout, il reste et demeure le matériau incontournable dans la construction en Afrique. Alors il convient de déterminer la qualité de ce matériau induré pour envisager des améliorations à travers le renforcement des blocs par traitements traditionnels bien connu dans les milieux ruraux africains.

2. Méthodologie de rédaction du mémoire

Afin de pouvoir atteindre les objectifs visés pour le présent mémoire, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- La phase préliminaire ou recherche documentaire
- La sortie de terrain
- Les travaux au laboratoire
- La phase de rédaction

La phase préliminaire ou recherche documentaire

Dans cette phase, dans le but d'optimiser le travail seules les informations pertinentes par rapport au projet sont à retenir. Les échanges directs avec d'autres porteurs du projet ont été également riches en enseignements et ont permis d'approfondir certaines questions.

Cette démarche nous a permis de :

- Trouver des nouvelles idées : faire apparaître d'opportunité ou des difficultés auxquelles que je n'avais pas pensé.
- Formuler des nouvelles hypothèses

Cette phase a permis la collaboration avec d'autres instituts et entreprises notamment :

- L'entreprise Pierres Naturelles, SA
- Le Laboratoire National de Bâtiment et travaux Public (LNBTP) du Burkina Faso
- Le Laboratoire de Physique et de chimie de l'Environnement (LPCE) de l'Université de Ouagadougou.

La sortie de terrain

C'est dans cette phase que nous avons eu l'occasion de visiter les différentes carrières de la ville de Dano et avons profité pour faire une enquête sur les blocs de latérite taillée. Des entretiens auprès des certains intervenants dans le domaine de construction avec des blocs de latérite taillée ont été réalisés. Ces enquêtes ont concerné entre autre :

- ✓ Les exploitants des différentes carrières
- ✓ Les ouvriers qui travaillent les blocs
- ✓ Les personnes habitants dans les maisons construites avec les blocs de latérite taillée

L'objectif visé à travers ces questionnaires est d'une part de collecter auprès de ces derniers les informations utiles et techniques pour l'extraction des blocs latérite taillée et d'autre part avoir une idée sur la résistance des maisons construites avec les blocs de latérite taillée et l'ambiance à l'intérieur de ces habitations.

Les travaux au laboratoire

Ces travaux ont consisté à la préparation des échantillons pour divers essais, ensuite aux préparations des solutions de traitements et enfin à leur application sur les échantillons.

Les essais se sont déroulés dans deux laboratoires :

Pour l'étude concernant les propriétés thermophysiques des blocs de latérite taillée les travaux ont eu lieu au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE) de l'Université de Ouagadougou.

Les propriétés hydriques des blocs de latérite taillée sont déterminées dans le Laboratoire éco-Matériau et technique Construction (LEMC) du 2iE, il s'agit ici de mesurer la perméabilité et le taux d'absorption d'eau des BLT.

3. Objectifs de l'étude.

L'étude vise à faire **l'analyse des comportements hydriques et thermiques des blocs de latérite taillée (BLT) de la carrière de Dano.**

Le présent travail sera constitué :

-  Une présentation de la ville de DANO
-  Un état de lieux sur les Techniques d'exploitation des carrières de BLT.
-  Une détermination des caractéristiques hydrauliques (infiltration, propagation de l'humidité, stabilité vis à vis de l'eau) en fonction de la résistance mécanique et des dimensions des blocs de latérite taillée.
-  Une corrélation entre les caractéristiques thermiques des BLT et les ambiances dans les habitats en BLT.
-  Mise au point de techniques des traitements par des méthodes traditionnelles ou modernes pour une amélioration des caractéristiques thermiques ou hydriques des BLT en vue d'une meilleure utilisation dans l'habitat.

CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 LA VILLE DE DANO

DANO est l'une des villes du Burkina Faso située à une distance de 150 Km de la capitale économique, Bobo-Dioulasso et de 280 km de Ouagadougou (capitale politique).

1. Situation géographique

La commune de DANO est la plus grande de la province du Ioba ; elle s'étend sur 669 km². Elle est limitée au Nord par celle de Oronkua, à l'Est par celle de Koper. A l'Ouest et au Sud elle est limitée respectivement par les communes de Guéguéré et de Dissin. Elle compte 22 villages administratifs en plus de la ville de Dano et de ses 7 secteurs. (cf Carte de localisation de la commune)

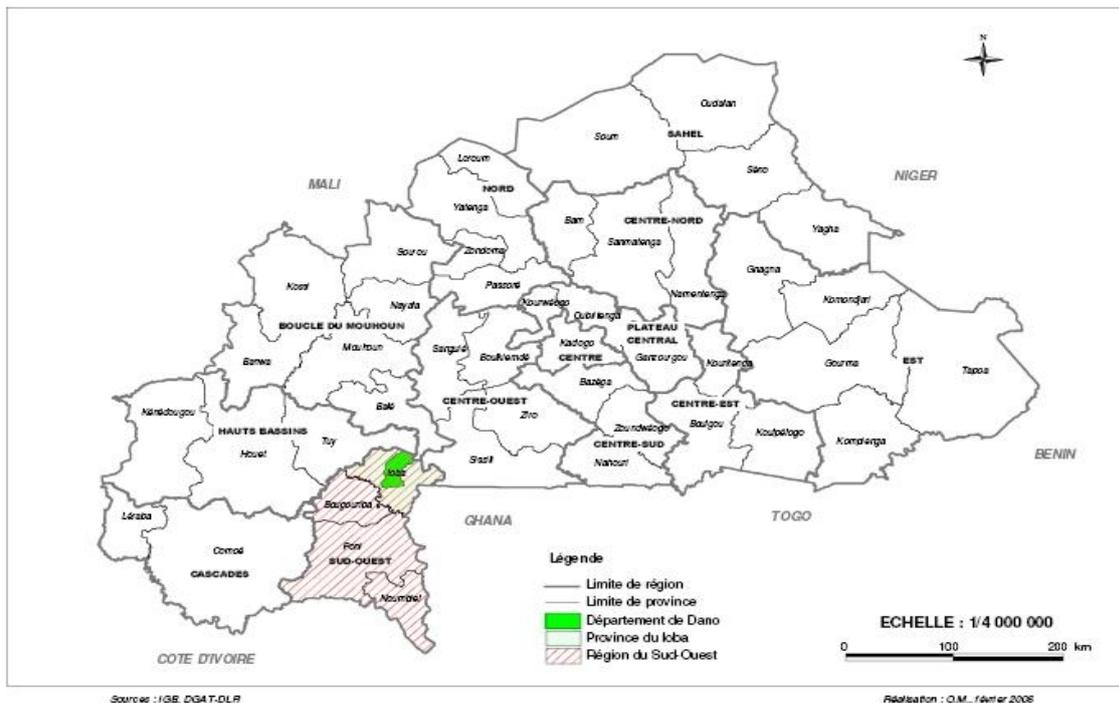


Figure 1 : carte de localisation de la commune de Dano

2. Caractéristiques physiques et naturelles

2.1. Le relief

Le relief de la commune de Dano est en général accidenté. En effet il est constitué de chaînes des collines d'une altitude moyenne de 534 m avec des pentes, des plateaux de 300 m d'altitude environ et des plaines drainées par des cours d'eau.

2.2. Le climat

La province du Ioba est située entre les isohyètes 700 et 1100 mm environ. Le climat est de type soudanien caractérisé par deux saisons, une saison sèche longue (entre 6 et 7 mois) et une saison pluvieuse courte.

2.3. Les sols

Trois types de sols se présentent dans la commune de Dano :

- ✓ les sols gravillonnaires, occupant un quart des surfaces selon les estimations des agents techniques. Ils sont fréquents sur les terroirs sableux en surface, sablo-argileux en profondeur.
- ✓ Les sols à engorgement sur la moitié des surfaces, limono-sableux en surface et argileux en profondeur, de fertilité bonne car bien pourvus en matière organique.
- ✓ Les sols ferrugineux lessivés, sur un quart des surfaces, sableux en surface, argileux en profondeur, de perméabilité et de porosité médiocres. Ils sont sensibles à l'érosion hydrique et éolienne et ont une faible teneur en matière organique.

2.4. La végétation

Le couvert végétal de la commune connaît dans son ensemble une dégradation plus ou moins avancée suivant les différents terroirs des villages. Quatre types de formation sont relevés :

- ✓ Dans les jachères anciennes apparaît une savane boisée dont la strate est dominée par des espèces comme le karité ou le néré.
- ✓ Dans les jachères récentes s'observe une savane arborée.
- ✓ Le long des cours d'eau, la végétation est une galerie forestière.
- ✓ Sur les buttes et les collines s'observe une mosaïque d'arbuste dans lesquelles combretum spp est bien représentées.

2.5. Le réseau hydrographique

La ville de Dano est traversée par un marigot, le « Gbataziè », qui draine les eaux de pluies dans le sens Sud – Nord. Les autres cours d'eau qui traversent la commune sont le Mouhoun et le Pô, un affluent de la Bougouriba.

Au regard des rappels historiques il est possible de dire que les Dagara auraient trouvé sur le site actuel d'autres groupes ethniques dont notamment les Pougouli et les Bwaba. Ceux-ci semblent s'être retirés avec l'arrivée massive des Dagara.

2.6. Population

2.6.1. Les effectifs

Les différents recensements de la population ont donné les effectifs suivants :

Tableau 1 différents recensements de la population de Dano

Année	1996	2000	2005	2006	2010
Population de la commune de Dano	36419	38335	40872	41399	43577
Population de la province du Ioba	161484	169978	169978	183565	183221
% de la population de la commune par rapport à la population de la province	22,55%	22,55%	22,55%	22,55%	23,78%

Source : INSD projection de la population Février 2004

L'analyse des données du tableau nous montre que le pourcentage de la population de la commune par rapport à la population de la province reste constant jusqu'en 2010. Cela signifie que la croissance de la population de la commune reste régulière et s'accompagne de celle de la province. A partir de 2010 cette croissance prend le pas sur d'autres communes de la province.

2.6.2. La structure de la population

Si l'on considère le recensement général de la population de 1996, la population de la commune est structurée de la façon suivante :

Tableau 2 : Répartition de la population par tranche d'âge

Populations de Dano		Groupe d'âge (ans)			
		0-14	15-64	65 et +	ND
Ville	11202	4955	5839	374	34
Villages	25217	12024	12349	788	56
Total	36419	16979	18188	1162	90

Source : annuaire statistique, INSD/RGPH'96/VOL 036

Fichier des villages du Burkina Faso

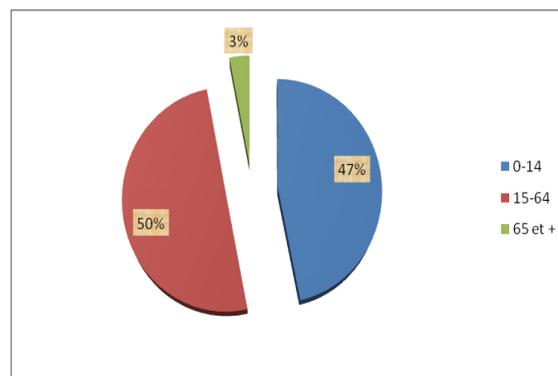


Figure 2: Répartition de la population par tranche d'âge

Ce tableau révèle que la tranche des moins de 15 ans constitue 46,62%. Quant à la tranche d'âge des 15 – 64, elle représente à peine la moitié de la population, soit 49,94%. Ce pourcentage peut être considéré comme faible car c'est la tranche des bras valides à qui incombe la production et la charge de nourrir le reste de la population.

L'analyse des chiffres du recensement montre que le pourcentage des femmes en milieu rural est plus important (53,13%) que le pourcentage des femmes en ville (50,63%).

Pour la ville de Dano, le taux d'accroissement de la population est passé de 3% entre 1975 et 1995 à 4,8% entre 1985 et 1996 si l'on considère les chiffres des recensements de la population (INSD) de 1975 à 1996.

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MATERIAUX LATERITIQUES

II.1. Définition et historique

Les latérites sont les sols rouges très répandus dans les régions tropicales et subtropicales. Ces sols fortement altérés qu'on trouve en faible profondeur sont riches en oxydes de fer et d'aluminium. Leur granularité varie du des particules fines au gravier et jusqu'au bloc de roche.

Le mot « Latérite » a été suggéré par BUCHANAN (1807) pour désigner un matériau servant à la construction, exploité dans les régions montagneuses de Malabar (Indes). Ce matériau présente l'aspect d'un dépôt ferrugineux, à morphologie vésiculaire. Lorsqu'il est frais il peut être facilement découpé en blocs réguliers à l'aide d'un instrument tranchant. Exposé à l'air ou au soleil, il se durcit rapidement et résiste alors remarquablement aux agents météorologiques. Il résulte de ces propriétés son emploi fréquent comme matériau de construction (emploi comparable à celui des briques). Latérite a pour racine « later » qui signifie brique en latin, ceci uniquement par référence à l'utilisation de ces blocs (PRESCOTT et PENDLETON 1952).

Plusieurs travaux par différents chercheurs se sont succédés, mais la plus part de ces travaux tentent à préciser la définition des latérites sur des bases chimiques, parfois minéralogiques. Ils soulèvent des nombreuses controverses, en particulier sur la nature et les proportions relatives d'oxydes caractéristiques.

Pour NEUSTRUEV (cité par LACROIX 1913) une latérite doit contenir plus de 86% de Fe_2O_3 . FERMOR (1911) porte cette limite à 90%, bien qu'il signale que les constituants des latérites sont des oxydes de fer, aluminium, de titane et de manganèse. Mais la présence d'oxyde de fer reste obligatoire.

Entre les années 1889 et 1916, les travaux de WALTHER s'appuyaient sur une définition morphologique. Il précise que le terme latérite a été choisi par référence à la couleur rouge qui est comparable à celle des briques. Latérite signifie qui ressemble aux briques, et il propose d'étendre la définition à toutes les alluvions et éluvions colorées en rouge, et en particulier, aux sols rouges tropicaux. Cette nouvelle définition a eu un grand succès, en particulier auprès des agronomes, d'où une source nouvelle de confusion.

Il faut attendre jusqu'au début des années 1920 que l'étude de latérites soit abordée sous un angle pédologique. S'appuyant sur des définitions tantôt morphologiques, tantôt physiques, tantôt chimiques, les termes « latérite » et « latéritique » sont utilisés dans des acceptions variées.

A l'origine « latérite » se réfère à une certaine morphologie et à une particularité remarquable de la mécanique des roches. C'est à ce titre, et bien que très rapidement on ait reconnu qu'il s'agissait d'une formation argileuse ferrugineuse, que le mot latérite a eu rapidement succès, d'abord aux Indes, puis dans le monde, et ceci, bien avant les années 1990.

Il apparait de plus en plus difficile de donner une définition purement morphologique, ou physique, ou chimique.

Le mot latérite couvre des aspects très variés de la pédogénèse tropicale et a une trop grande généralité. Pour GUERASSIMOV (1962) le terme englobe l'ensemble des sols des régions intertropicales. Aussi de nombreux chercheurs tendent à en donner une définition génétique et, pour éliminer tout risque de confusion, cherchent à éliminer le terme. SIRIVONOR (1930), VINE (1949), G.W. ROBINSON (1949) remplacent « latérisation » par le mot connotatif « ferrallitisation », et BOHELO DA COSTA (1949) qui agrée dans ce sens, indique que ce terme est très utile car il se rapporte à des caractérisations physiques et physicochimiques des sols qui permet de l'employer à un niveau de généralisation élevé. L'école pédologique française suit cette voie.

Il apparait que ce sont des difficultés qu'il ya à relier les objets « latérite » trop largement définis à des milieux ou des processus spécifiques, qui amènent à abandonner le terme de BUCHANAN. Actuellement cuirasses ou carapaces, plinthites, sols ferrallitiques, kaolisols, latosols, oxisols sont autant de vocabulaires qui remplacent et couvrent ce qui, dans un sens très large, peut être appelé latérite. Cependant « latérite » est encore très largement employée. Il est toujours attaché à des formations rouges, riches en sesquioxydes d'alumine, de fer ou de manganèse, à morphologie variée, mais toujours indurées.

L.T. ALEXANDER et J.C. CADY donnent la définition suivante : « la latérite » est un matériau fortement altéré, riche en oxydes secondaires de fer, d'alumine ou des deux ensembles. Elle est à peu près dépourvue de bases et de silicates primaires, mais peut contenir de grandes quantités de quartz et de kaolinite. Ce matériau peut être durci en place ou s'indurer seulement après humidification et dessèchement successifs.

Le terme créé par BUCHANAN a vu sa signification se modifier profondément, être élargie par les uns et puis restreinte par les autres. Il est maintenant entaché d'une ambiguïté fondamentale. Il peut

être employé pour les matériaux ferrugineux ou alumineux, des roches ou tout au moins des sols fossilisés, pour certains horizons pédologiques, pour des sols qui sont séparés en plusieurs ordres ou classes suivant le système de classification employé. Cependant, jusqu'à une époque récente, « latérite », « roches latéritiques », « sols latéritiques », sont d'un usage courant dans la littérature scientifique.

II.2. Les briques de latérite taillée

Les briques de latérite taillée sont des blocs latéritiques de formes cubiques ou parallélépipédiques extraits des sols ayant déjà subis une accumulation et une altération des roches sédimentaires il ya des millions d'années.

2.2.1. Extraction des blocs de latérites taillée

L'extraction des blocs de latérite taillée se fait sur les carrières qui ont été identifiés à priori, elle est assurée par des entreprises ou sociétés spécialisées dans le domaine et aussi par les populations riveraines, constituées en générale par les jeunes vivant dans les localités situées autour des carrières exploitables.

2.2.2. Les matériels utilisés pour extraction des blocs de latérite taillée

Les matériels utilisés pour extraction des blocs de latérite taillée peuvent être classés en deux catégories :

- ✚ La première catégorie est l'extraction par les matériels légers rudimentaires qui constitués essentiellement de :
 - ✓ Une pelle pour décaper la terre végétale afin d'atteindre la couche dure
 - ✓ Une pioche pointe servant non seulement pour tracer et creuser le sol mais aussi permet d'arracher le bloc du sol, une fois tracé et creusé.
 - ✓ Une pioche aplatie et une houe dressée pour le taillage et la finition
- ✚ La seconde catégorie est l'extraction par les matériels motorisés ou automatisés qui sont entre autre :
 - ✓ Un bulldozer ayant des multitudes des fonctions :
 - Le décapage
 - Le raclage de la plate forme après chaque couche
 - La manutention du débiteur
 - ✓ Le débiteur qui est une machine qui permet de faire le traçage, le découpage de chaque couche à des briques de diamètres uniformes réglés auparavant.

- ✓ Le finisseur qui a pour principal rôle le découpage des briques à des dimensions spécifiques ou de polir les briques jugés non parfaites.

2.2.3. Le procédé d'extraction des blocs de latérite taillée

Les procédés d'extraction des blocs de latérite taillée se diffèrent d'une catégorie d'extraction à une autre et aussi d'une carrière à une autre. Les techniques traditionnelles d'extraction des blocs ne sont pas applicables dans certaines carrières issues de roches très dures. Seules les extractions mécanisées ou automatisées sont capables d'extraire des blocs sur de telles carrières.

✚ Les techniques traditionnelles d'extractions des BLT

Pour extraire les blocs de latérite taillée par la méthode rudimentaire on procède comme suit :

- ✓ Identification des carrières par tâtonnement ou par expérience ;
- ✓ Recherche des couches exploitables en faisant des fouilles d'une profondeur donnée du terrain naturel ;
- ✓ Décapage de la plate forme en enlevant la couche arable ;
- ✓ Carrossage ou traçage des mailles au sol, selon les dimensions données jugées adéquates pour les blocs à extraire ;
- ✓ Creusage par coups de pioche donnés au sol suivant le traçage effectué ;
- ✓ Arrachage des blocs, séparation et taillage de chaque bloc.

✚ L'extraction automatisée ou industrialisée

L'extraction précède une étude géologique faite par un bureau d'étude permettant d'identifier la carrière à exploiter et de donner toutes les informations sur les caractéristiques de la carrière.

Il ressort de notre entretien avec le chef de chantier que la phase la plus cruciale est celle de l'installation de chantier.

Une fois le chantier installé, on procède comme suit :

- ✓ Le décapage de la terre végétale de la plate forme par un bulldozer ;
- ✓ Installation du débiteur sur les railles par le bulldozer;
- ✓ Traçage au sol avec le débiteur, selon les dimensions données jugées adéquates pour les blocs à extraire ;
- ✓ Le découpage simultané dans les deux directions (horizontale et verticale) des blocs selon les dimensions réglés par le débiteur ;
- ✓ Arrachage des blocs par les ouvriers.

Après extraction, les blocs sont stockés à la carrière superposés les uns sur les autres dans l'attente des clients pour la vente. Une fois arrivés au chantier les blocs peuvent être taillés à des dimensions spécifiques à l'aide d'un finisseur.

Les pertes des blocs sont estimées entre 5 à 10% pour les extractions automatisées et à environ 30% pour les techniques traditionnelles. Cet écart important entre les deux techniques peut s'expliquer d'une part par les matériels de haute technologie utilisés par les entreprises et d'autre part par le professionnalisme de ces techniciens

II.3. Les traitements sur les latérites

Selon l'usage que l'on va faire de briques, il peut être utile, voire nécessaire de les traiter. Une brique de latérite taillée non traitée a de très bonnes propriétés d'échanges thermiques et hygrométriques et une résistance suffisante à la compression pour être utilisée telle que dans la construction. Dans les régions très pluvieuses, il est parfois nécessaire de traiter les briques de latérite taillée : l'humidité contenue dans les briques entraîne leur émiettement

Le traitement est un ensemble de procédés chimiques visant à améliorer les propriétés thermiques, hydriques et aussi mécaniques d'une brique, en particulier sa résistance portante, sa conductivité thermique, sa sensibilité à l'eau et sa durabilité. Il permet de créer des liens ou d'améliorer les liaisons existant entre les particules. L'amélioration de ces propriétés doit garder un caractère irréversible.

Dans la plus part des littératures, nous rencontrons plus souvent la stabilisation mécanique, la stabilisation physique, la stabilisation par le ciment et aussi la stabilisation par cuisson qui concernent plus la latérite non indurée. Ces techniques de mélange ne sont pas naturellement applicables pour les blocs de latérite taillée car il s'agit d'une roche compacte. Pourtant les caractéristiques mécaniques des blocs de latérite taillée diminuent en profondeur, il ya donc un problème d'optimisation de ces derniers. Pour palier à ce problème, d'autres solutions doivent être envisagées, les traitements par les adjuvants.

Dans le cadre de ce mémoire, nous allons nous pencher à la stabilisation chimique des blocs de latérite taillée. Cette méthode consiste à faire modifier les propriétés physiques d'une brique de terre par l'intermédiaire des certains adjuvants. Afin de diminuer la sensibilité à l'eau, on a souvent recours à l'adjonction des produits, rendant les briques traités moins hydrophiles.

Nous nous envisageons de renforcer nos blocs de latérite taillée par des solutions de traitement. Les traitements choisis sont basés d'une part par la pertinence de leurs résultats observés par le passé sur la latérite meuble, et d'autre part par le souci de mettre en pratique ou expérimenter les informations collectées lors des enquêtes. C'est ainsi qu'on retient le Néré et le Cissus populnea

3.1. Le Néré

Arbre des zones sèches du continent africain mais présent aussi en Asie et en Amérique latine.

LE NÉRÉ est un arbre africain de la famille des Mimosacée ou des Fabacée selon la classification phylogénétique, le nom scientifique est *Parkia biblogosa*. Il symbolise l'arbre sous lequel s'effectue les palabres et veut dire aussi "c'est bien".

Arbre nourricier, il pousse dans les zones de savane et du Sahel. Ses fruits apparaissent au bout de 6 ans. Ce sont de longues gousses d'environ vingt centimètres et larges de 15 à 20 millimètres aplaties de couleur brun foncé, suspendues en grappes et contenant de nombreuses graines noires enrobées de pulpe jaune très sucrée et acidulée. Un pied peut produire 25 à 100 kg de fruits par an. Celle-ci est très appréciée des enfants, mais aussi des adultes, qui la consomment telle quelle ou délayée dans de l'eau. Arbre haut de 10 à 20 mètres, son tronc est recouvert d'une écorce grisâtre et striée. Les Feuilles multi-pennées ressemblent plus aux celles du mimosa.

De ces gousses, est extrait un condiment à l'odeur très forte qui se présente sous forme de boule de pâte. Il est utilisé dans presque toute l'Afrique de l'Ouest pour son intérêt aromatique et nutritionnel. On l'appelle soubala au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali, nététou au Sénégal, dawa-dawa ou iru au Nigéria et au Ghana, afiti au Togo et au Bénin.

Les fruits du Néré sont très riches en protéines (la farine de Néré apporte la totalité des acides aminés essentiels à l'organisme) et en fer (de l'ordre de 15,5 mg/100 g), mais aussi en vitamines C et en iode.

Le Néré est réputé en Afrique pour sa capacité à résoudre les problèmes de goitre chez certaines populations et pour prévenir l'hypertension voire la diminuer.

Plus généralement, on attribue au soubala un pouvoir de renforcement de défenses immunitaires.

Photographie 1 : le Néré



Proverbe africain :

J'ai mon néré et je connais les graines de ses fruits (on connaît bien ce dont on a l'expérience ou qui est devenu familier).

Les écorces sont vendues sur le marché pour les ostéopathies, les oreillons et autres maladies, la pulpe comme laxatif. Les cosses peuvent servir d'engrais, elles sont aussi utilisées comme poison pour la pêche ou encore comme crépi pour enduire les murs des cases. La poudre extraite des gousses est, le plus souvent, consommée sous forme de boules de pâte à l'odeur très forte. Cet aliment traditionnel est un condiment utilisé en Afrique dans la plupart des sauces, pour son intérêt aromatique et nutritionnel. Cet arbre nourricier pourrait apporter une solution efficace aux graves problèmes de nutrition que connaît l'Afrique. Les graines contenues dans le fruit du Néré sont très riches en protéines (la farine de Néré apporte la totalité des acides aminés essentiels à l'organisme) et en fer (de l'ordre de 15,5 mg/100 g), mais aussi en vitamines C, ce qui permet de limiter les risques de scorbut. Réputé en Afrique pour sa capacité à résoudre les problèmes de goitre chez certaines populations, le Néré contient aussi de l'iode.

Autrefois, largement utilisé dans les sauces, le soubala, commence à disparaître de la cuisine traditionnelle. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette tendance :

- ✓ la disparition des arbres, de plus en plus utilisés comme bois de chauffage
- ✓ la fabrication du soubala requiert un procédé artisanal long et complexe.
- ✓ La forte odeur du soubala
- ✓ le développement parmi les jeunes des bouillons-cubes appelé « le Sumbala des Blancs ».

3.1.1. Préparation

La méthode d'obtention de la décoction de néré est la suivante :

- la collecte : cueillette et ramassage des gousses de néré dans les champs et la brousse ;
- la séparation : les gousses et les graines de Néré sont séparées ;
- le broyage : les gousses de néré sont pilées et broyées ;
- la poudre obtenue est ensuite bouillie dans de l'eau en raison d'une concentration égale à 20 grammes par litre pour l'absorption et à 60 grammes par litre pour les propriétés thermiques ;
- la solution obtenue est filtrée.

3.2. Le *Cissus populnea*

Le *Cissus populnea* est une liane de la famille de **Vitacées** (ampélidacées) à tige verte pâtissant avec l'âge et devenant blanchâtre, glabre et légèrement ligneuse. Les feuilles sont légèrement dentées, largement ovées pentagonales, brièvement acuminées en triangle au sommet et largement cordées à la base. Glabres, avec des nervures principales rayonnantes depuis la base. Les fleurs sont peu nombreuses en cymes lâches. Les fruits sont de petites baies vertes devenant pourpre noirâtre à maturité, d'environ 2,5 cm de long qui sont récoltés pour être cuits dans divers brouets et dans des soupes.

Plantes méridionale, des lianes sont tirés de la tige pour attacher les toits des huttes et résistent bien aux termites. L'écorce de la racine ou simplement la tige sont macérées dans l'eau qu'on utilise ensuite à la boue utilisée pour construire les huttes et aussi pour lui donner un beau poli. On utilise cette boue pour stabiliser les cours, crépir les murs intérieurs, les fosses à colorant et cet...

CHAPITRE III : MESURES DES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DES BLT

La fabrication de la plus part des matériaux de bâtiment consomme beaucoup d'énergie provoquant ainsi des effets néfastes pour l'environnement. Cependant, les matériaux locaux permettent d'éviter une grande partie de ces problèmes liés à leur fabrication et contribuent à la création d'une ambiance saine à l'intérieure d'une maison. L'estimation des propriétés thermophysiques des matériaux de construction joue un rôle primordial dans certains domaines scientifiques. Notre choix se porte sur la latérite qui connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise d'énergie et à celle du logement dans la plus part de nos pays africains où le revenu d'une grande majorité d'habitants ne leur permet de construire que des logements sociaux économiques. La latérite, disponible en abondance ; il n'implique souvent ni achat, ni transport énorme, ni transformation importante.

Contrairement aux matériaux et produits semi-finis dont la fabrication industrielle exige énormément d'énergie, le matériau latérite nécessite très peu d'énergie et les avantages comme matériaux de construction sont connus. Toutes les performances des BLT en termes d'isolation thermique des bâtiments restent encore peu connues. Nous entendons par isolation thermique un matériau, qui par sa composition ou sa nature ralentit le transfert de l'énergie calorifique. La détermination des propriétés thermophysiques des BLT pourrait être d'une grande utilité pour l'évaluation de leur efficacité dans l'isolation thermique des bâtiments.

Les paramètres thermiques que nous allons examiner pour les blocs de latérites taillés sont :

- La conductivité thermique
- La diffusivité thermique
- La chaleur massique

A. La conductivité thermique

La conductivité thermique est l'une des propriétés thermophysiques la plus recherchée pour les matériaux de construction. En régime permanent, dans le cas le plus simple de l'écoulement unidimensionnel de chaleur à travers un mur homogène d'épaisseur e et de températures uniforme T_1 et T_2 , ce flux de chaleur Φ en W s'exprime sous la forme :

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} (T_1 - T_2) S$$
 Où S est l'aire des faces latérales en m^2 ; λ conductivité thermique et T_1 et T_2 respectivement température de la face chaude et température de la face froide.

La conductivité thermique mesure donc la faculté qu'a la chaleur de traverser plus ou moins aisément un corps en régime permanent. Elle dépend de la nature du corps et de sa température.

B. Diffusivité thermique

Lorsque la température du milieu est fonction du temps et que la conductivité dépend de la température et des coordonnées spatiales, l'équation du Fourier s'écrit :

$$\rho \times C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\overrightarrow{\text{grad}} T)$$

Lorsque les paramètres thermiques sont indépendants de la température, la relation ci-dessus devient :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \times C_p} \times \Delta T \text{ avec } \Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}$$

Cette relation fait apparaître le rapport $a = \frac{\lambda}{\rho \times C_p}$ qui représente la diffusivité thermique du milieu.

On peut donc écrire : $\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T$

La diffusivité thermique, lorsqu'elle est définie est donc liée à la conductivité thermique à la chaleur massique et à la masse volumique. Elle caractérise la vitesse de propagation d'une onde dans un corps et intéresse tous les problèmes d'inertie thermique des matériaux.

C. Chaleur massique

L'équation calorimétrique classique : $Q = m C_p (T_2 - T_1)$ montre que la quantité de chaleur absorbée par un corps est proportionnelle à la chaleur massique C_p du solide considéré. Pratiquement, la chaleur massique C_p d'un corps correspond à la quantité de chaleur dont il a besoin pour que la température d'une unité de sa masse s'élève d'un degré.

3.1. Les principales méthodes de mesure des propriétés thermophysiques

La conductivité thermique λ , la chaleur spécifique C_p et la diffusivité thermique a sont des paramètres thermophysiques importants dans l'étude des transferts de chaleur dans les matériaux ; c'est ainsi qu'ils sont essentiels en thermique du bâtiment.

Ces paramètres peuvent être mesurés par diverses méthodes, mais la connaissance de deux d'entre eux entraîne la détermination de l'autre à l'aide des relations :

$$a = \frac{\lambda}{\rho \times C_p} \text{ et } Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

La mesure de la conductivité thermique est d'une grande importance quant on désire étudier les échanges de chaleur dans un système. Un grand nombre de méthodes ont été déjà utilisées pour déterminer la conductivité thermique de différents matériaux. Quelques-unes d'entre elles développent des théories basées sur les équations de conduction de la chaleur.

Les méthodes de mesure de la conductivité thermique peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes à état stable et les méthodes à état transitoires.

Dans la présente étude nous nous intéresserons plus aux méthodes à état stable.

3.1.1. Les méthodes en régime permanent

Ces méthodes nécessitent un long temps de manipulation et la variation de l'humidité au cours temps entraîne ainsi des résultats entachés d'erreurs. Cependant parmi celles-ci, la méthode de Lee (Avery et Ingan,1976) donne des résultats satisfaisants, mais elle exige plus de temps surtout pour des matériaux à faible conductivité thermique.

3.1.1.1. Méthode de la plaque chaude gardée

Le principe du montage expérimental consiste à maintenir une différence de température ΔT entre deux plaques, A et B, planes, parallèles et portées respectivement aux températures constantes T_A et T_B . Un échantillon du matériau à étudier, solide faiblement conducteur, est placé entre les deux plaques. La méthode de la plaque chaude gardée a été développée pour la mesure de faibles conductivités thermiques (Gustafson et al 1981 ; Pradhan et al 1991).

Soit e l'épaisseur de l'échantillon et ϕ le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, transféré d'une plaque à l'autre. La conductivité thermique λ du matériau est donnée par :

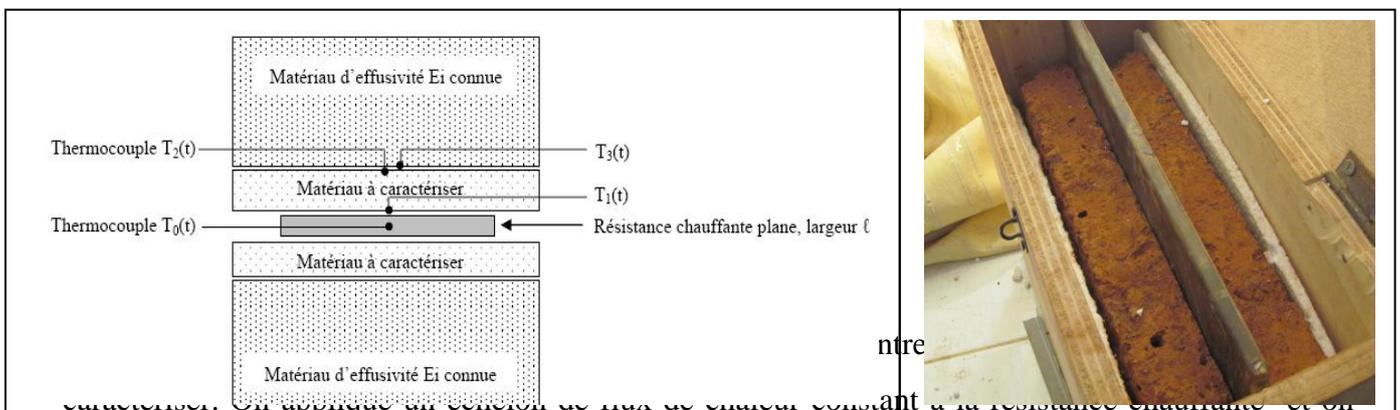
$$\lambda = \frac{\phi \times e}{\Delta T} \text{ avec } \Delta T = T_A - T_B$$

Pour les matériaux nécessitant des échantillons représentatifs de surface relativement importante, tels que les isolants utilisés dans le bâtiment, cette technique est la plus souvent utilisée.

3.1.1.2. Méthode du plan chaud

1.1.1.3.1 Principe de la mesure

Figure 3 : Schéma du montage de la méthode du plan chaud avec deux échantillons



On relève l'évolution de la température $T_0(t)$ au centre de cette même résistance dans ou sur laquelle a été placé un thermocouple. On peut également relever la température $T_2(t)$ de la face non-chauffée d'un échantillon sur le quel on aura fixé un thermocouple. Si les dimensions transversales de la

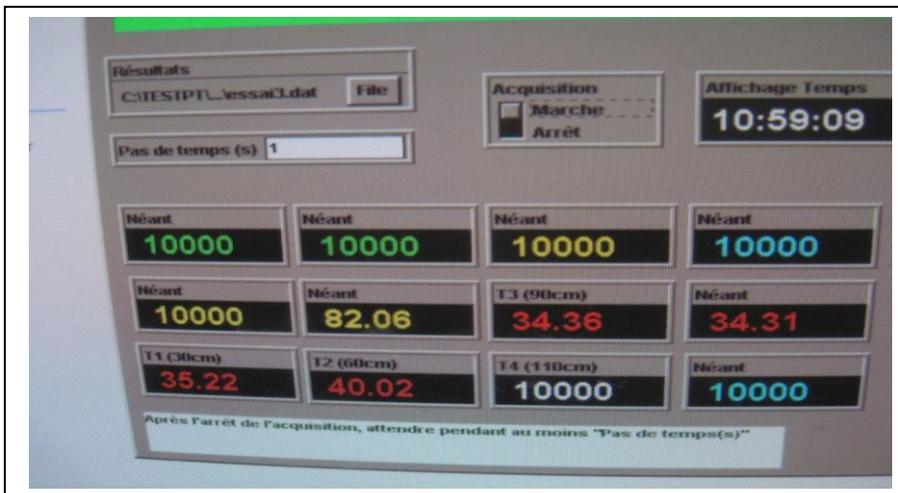
résistance sont grandes devant l'épaisseur de l'échantillon, on peut considérer que le transfert de chaleur reste unidirectionnel au centre et le modéliser à l'aide de la méthode des quadripôles. On applique en suite une méthode d'estimation des paramètres pour calculer les valeurs de :

- ✓ L'effusivité thermique $E = \sqrt{\lambda \rho C p}$, et dans certains cas de la conductivité thermique du matériau à caractériser ;
- ✓ La capacitance thermique $(mc)_s$ de l'ensemble sonde + résistance ;
- ✓ Les résistances de contact R_{c1} à l'interface sonde/échantillon et R_{c2} à l'interface échantillon matériau connue.

3.1.1.3. Choix d'une méthode de mesure

La méthode qui sera utilisée est celle du plan chaud, un dispositif similaire à été monté dans le Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE) de l'Université de Ouagadougou. Un programme d'acquisition de cinq températures a été élaboré. Ce programme sur TestPoint permet d'enregistrer les températures mesurées par cinq thermocouples toutes les secondes, et en même temps de visualiser ces mêmes températures en temps réel. Le choix de cette méthode se justifie par la disponibilité du dispositif.

Photographie 2: photo de l'interface



3.2. Caractérisation des paramètres thermiques des BLT

Les paramètres thermiques du BLT dont les méthodes de mesure ont été présentées dans la partie précédente seront déterminés expérimentalement dans cette partie. Pour chaque paramètre, nous essayerons d'abord de décrire le dispositif expérimental, présenter les résultats puis les analyser.

3.2.1. Caractéristiques du matériau utilisé

Les matériaux utilisés sont des blocs de latérite taillée extraits de la carrière exploitée par la société Pierres Naturelles dans la ville de Dano. Ils ont été taillés aux dimensions exigées par le laboratoire de physique et chimie de l'environnement de l'Université de Ouagadougou. La longueur est de 33cm, la largeur est de 24,6 cm et la hauteur varie entre 4 et 5cm

Photographie 3: blocs de latérite taillée pour la mesure thermique



Les échantillons non traités

Les échantillons traités au Néré

3.3. Mesure des propriétés thermophysiques

3.3.1. Méthodologie expérimentale

3.3.1.1. Dispositif expérimental

Nous avons quand à utilisé la méthode dite du plan chaud. Un dispositif a été mis au Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement de Ouagadougou.

Cette méthode peut être mise en œuvre de manière extrêmement simple en utilisant une résistance chauffante plate (rectangulaire ou circulaire) de surface suffisante au moins 25 cm². On fixe au centre de cette résistance un thermocouple réalisé en fils fins (diamètre < 0,1 mm).

La principale source d'incertitude est la valeur de densité de flux de chaleur $\frac{\varphi}{S}$, la mesure de la puissance électrique est précise, mais il faut utiliser une source de chauffage suffisante pour diminuer l'incertitude sur S. la mise en œuvre de la méthode nécessite en outre une alimentation stabilisée et un dispositif d'enregistrement de la tension délivrée aux bornes du thermocouple. Un enregistrement entre 30 et 60 secondes après le début du chauffage permet d'obtenir une bonne précision sur l'effusivité thermique E. Un pas de temps inférieur ou égal à 1 seconde pour l'enregistrement de la température donne des résultats satisfaisants.

L'échantillon est placé entre la capacité isotherme et la source à flux constant : il est supposé traverser par un flux thermique unidirectionnel. La mesure du gradient de température qui s'établit entre les deux faces, lorsque celui-ci devient constant, c'est-à-dire en régime permanent, permet de mesurer la conductivité thermique apparente. Celle-ci est donnée par l'équation suivante :

$$\lambda = \frac{e}{\left(\frac{S}{R} \times \Delta T \right) + \left(R \times I^2 + C \times \Delta T' \right)}$$

Où R est la résistance de la plaque chauffante en Ohm

I est l'intensité du courant fournit à la plaque chauffante en Ampère

ΔT est l'écart de température entre les ambiances extérieure et intérieure

$\Delta T'$ est l'écart de température entre les faces chaude et froide de l'échantillon

e est l'épaisseur de l'échantillon

S est surface de l'échantillon traversé par le flux de chaleur

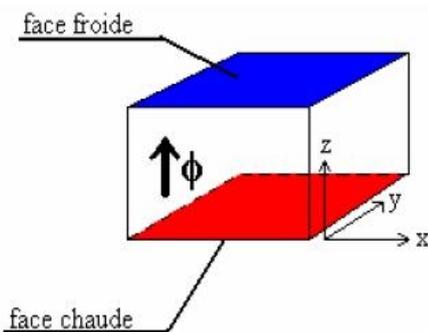
C est coefficient de déperdition thermique

Cette équation se détermine par les calculs suivants :

On peut définir le flux thermique par : $\phi = -\lambda \times S \times |\text{grad T}|$

On suppose que les blocs de latérite dont nous disposons sont homogènes et isotropes, ce qui nous permet de supposer la conductivité λ constante dans toutes les directions.

Figure 4: milieu homogène isotrope



On peut écrire l'équation de la chaleur dans un milieu isotrope dont les caractéristiques thermophysiques sont constantes :

$$\Delta T - \left(\frac{c_p \times \rho}{\lambda} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{q}{\lambda}$$

De plus nous nous plaçons en régime permanent ($\partial T / \partial t = 0$), et il n'y a aucune source interne de chaleur ($q=0$), donc l'équation s'écrit : $\Delta T=0$

Plaçons-nous à une dimension pour résoudre cette équation :

$$d^2T/dz^2 = 0$$

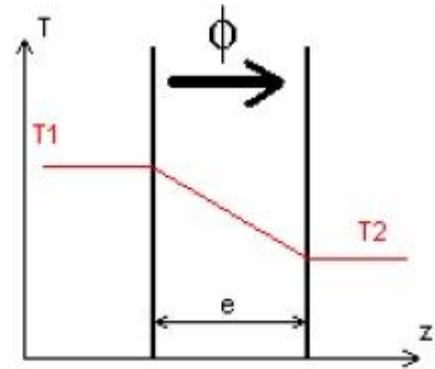
Figure 5: flux unidirectionnel

En intégrant, on obtient : $T = T_1 - (T_1 - T_2) \frac{z}{e}$

On en déduit $|\text{grad } T| = -\frac{T_1 - T_2}{e}$

D'où l'expression du flux thermique :

$$\phi = -\frac{\lambda \times S}{e} (T_1 - T_2)$$



Dans notre présente étude, on prendra T_1 pour la température de la face chaude, et T_2 pour la température de la face froide.

En réalité, le dispositif n'est pas complètement calorifugé, il existe des déperditions thermiques. L'échantillon ne reçoit pas la totalité du flux de chaleur issu de la source chaude, des pertes sont enregistrées. Ces pertes sont appelées pertes thermiques latérales dues au dispositif. Nous désignons par P_l cette puissance perdue. En résumé le flux reçu est égal à la puissance fournie P par la source chaude diminuée des pertes latérales P_l .

$$\phi = P - P_l$$

Les pertes latérales sont proportionnelles à l'amplitude de l'écart entre la température extérieure et la température interne du dispositif, l'expression de P_l est donc définie comme suit : $P_l = C \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$

Où C est le coefficient de déperdition thermique en W/K .

De plus la puissance fournie par la source P s'écrit : $P = R \times I^2$

Où R est la résistance de la plaque chauffante en Ohm

I est l'intensité du courant fournit à la plaque chauffante en Ampère

Donc l'expression de la conductivité thermique s'écrit : $\lambda = \frac{e}{S \times \Delta T} \left(R \times I^2 - C \times \Delta T' \right)$

Calcul du coefficient des déperditions thermiques du dispositif

Les pertes thermiques sont déterminées en fonction de différentes couches que comportent chaque face et le couvercle.

La conservation du flux à travers les deux parois internes S_1 , S_2 permet d'établir les relations suivantes :

$$\phi = -\lambda_{pol} \times S_1 \frac{T_1 - T_2}{e_1} = -\lambda_{bo} \times S_2 \frac{T_2 - T_3}{e_2}$$

Où λ_{pol} est la conductivité du polystyrène

λ_{bo} est la conductivité du bois

Or dans le cas présent $S_1 = S_2 = S$

De plus $(T_1 - T_3) = (T_1 - T_2) + (T_2 - T_3)$

$$= (\phi / S) \times (e_1 / \lambda_{pol} + e_2 / \lambda_{bo})$$

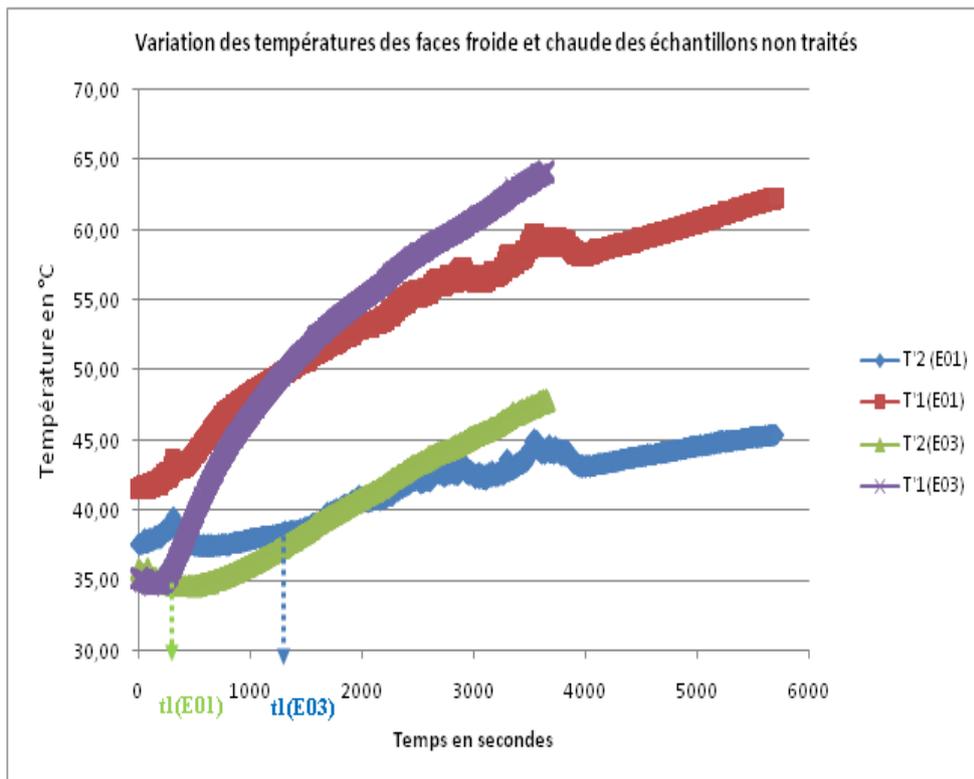
On en déduit l'expression des pertes thermiques : $Pl = S \times (T_1 - T_3) \times (e_1 / \lambda_{pol} + e_2 / \lambda_{bo})$

Le coefficient de déperdition thermique s'exprime de la manière suivante :

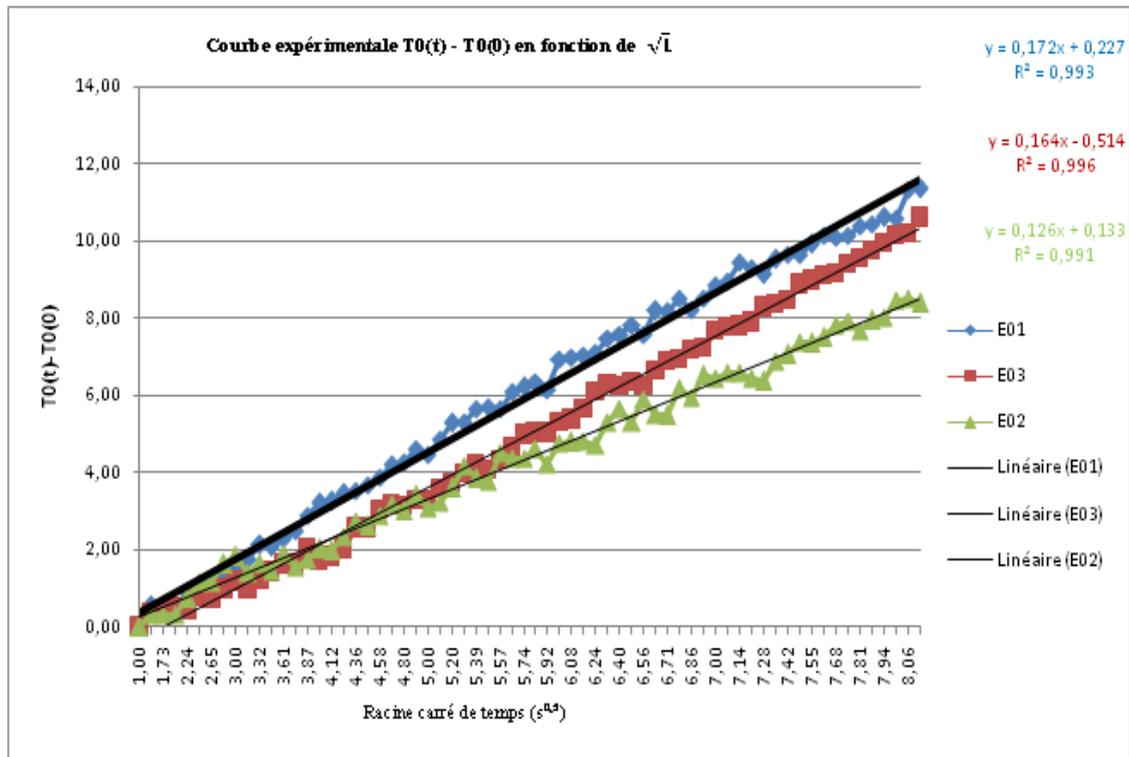
$$C = \frac{S}{e_1 / \lambda_{pol} + e_2 / \lambda_{bo}}$$

3.3.1.2. Résultats obtenus après analyse des mesures

Figure 6 : variation des températures des faces chaude et froide en fonction du temps



Comme le témoigne ce graphe ci-dessus, au début des mesures on enregistre quelques perturbations dû à la stabilisation des thermocouples. Pour une meilleure approximation des paramètres on ne prend pas en compte les températures enregistrées entre 30 à 60 premières secondes. On souligne aussi que pour la détermination de la conductivité thermique, l'écart de température entre les faces chaude et froide est la moyenne des écarts du régime permanent.

Figure 7: Courbe expérimentale $T_0(t) - T_0(0)$ en fonction de racine carrée du temps

L'hypothèse du transfert unidirectionnel est valable pendant un temps t_1 à déterminer. C'est le temps pendant lequel la température sur la face froide commence à varier. On tient compte des pertes thermiques sur les faces latérales de l'échantillon qu'après ce temps t_1 . Ce temps t_1 devra dans ce cas être suffisamment long pour permettre une estimation de l'effusivité thermique E .

L'effusivité est estimée en traçant la courbe expérimentale $T_0(t) - T_0(0)$ en fonction de \sqrt{t} . On observe sur le graphe ci-dessus qu'après une période initiale influencée par l'inertie de la sonde, cette courbe est assimilable à une droite tout le temps que l'hypothèse du milieu semi-infini reste valable. La pente de cette droite est égale à $\frac{\varphi}{ES\sqrt{\pi}}$. Il suffit donc de déterminer la pente α par régression linéaire sur un intervalle de temps adapté (tel que le coefficient de régression soit supérieur à 0,98) et l'on en déduit : $E = \frac{\varphi}{\alpha S\sqrt{\pi}}$

Dans notre cas présent, les coefficients de corrélation pour les trois courbes sont supérieurs à 0,99, ce qui nous donne une meilleure approximation des valeurs de l'effusivité. Mais l'écart-type entre les pentes de ces échantillons est relativement grand, ce qui ne permet pas de conclure sur les valeurs des effusivités trouvées.

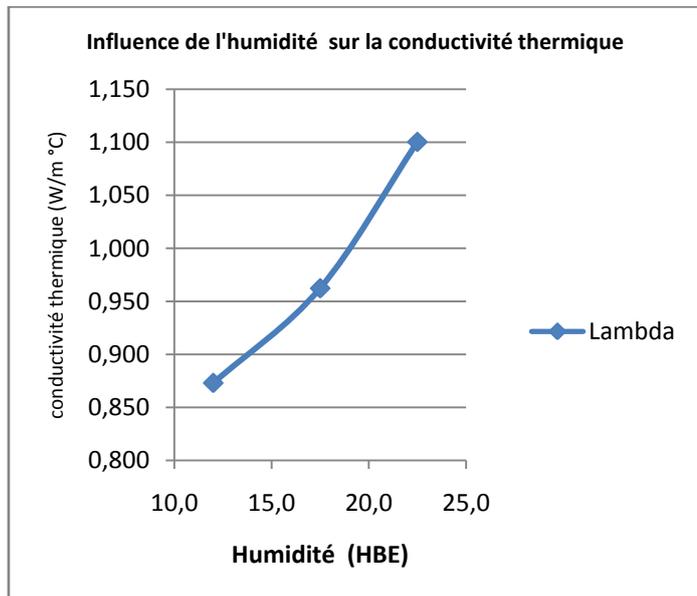
Les résultats de calcul des propriétés thermophysiques sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Les paramètres thermophysiques des BLT

	échantillons non traités			Echantillons humidifiés		échantillons traités au Néré	
	E01 12HBE	E02	E03 12HBE	E01 (17,5HBE)	E02 (22,5HBE)	E01 12	E02
Epaisseur e (cm)	4	5	4	4	4	4	4
Puissance utile (W)	23,57	23,57	23,57	23,57	23,57	48,11	48,11
ΔT (°C)	16,68	42,06	16,06	24,54	21,46	38,11	38,81
Conductivité λ ($W m^{-1}K^{-1}$)	0,856	0,425	0,889	0,962	1,100	0,375	0,368
Pente α (%)	0,172	0,126	0,164	0,367	0,375	0,301	0,282
effusivité E ($W.s^{0,5}/m^2 \text{ } ^\circ C$)	1171,44	1599,11	1228,59	907,56	888,19	687,67	662,79
diffusivité a ($10^7.m^2/s$)	5,34	0,70	5,24	11,24	15,35	2,97	3,08
Masse volumique ρ (Kg/m^3)	2271,66	2271,66	2271,66	2271,66	2271,66	2271,66	2271,66
Chaleur massique C_p ($J kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$)	705,36	2651,49	747,02	376,79	315,59	555,36	525,37

Tableau 4 : Le coefficient de conductivité thermique des quelques matériaux de construction

Matériau	Masse volumique (Kg/m^3)	Conductivité thermique ($W m^{-1}K^{-1}$)
Bloc de terre comprimée	1700-1900	1,05
Terre cuite	1700-2100	1-1,35
Béton plein	1600-2400	0,8-1,75
Béton cavernaux	1000-2000	0,35-0,7
Béton de pouzzolane	1000-1200	0,35
Béton perlite	400-800	0,24-0,31
Béton de bois	250-650	0,1-0,16
Béton cellulaire traité à l'autoclave	350-825	0,16-0,33


Figure 8 : Influence de l'humidité sur la conductivité thermique

Après plusieurs échecs de nos expériences, nous avons réussi à obtenir quelques résultats sur des échantillons témoins, traités au néré et humidifiés. On déplore de ne pas avoir un échantillon de brique donc on connaît la conductivité afin de pouvoir valider nos résultats.

D'après les résultats ci-dessus, la conductivité thermique des BLT est comprise entre 0,856 et 0,889 w/m°C, cette valeur est inférieure aux conductivités thermiques de bloc de terre comprimée et de brique de terre cuite. La conductivité thermique du béton léger est trop proche de celle des BLT trouvée ce qui nous pousse à faire une étude comparative entre les conductivités thermiques de ceux matériaux.

On définit un coefficient C_λ le rapport entre la conductivité thermique et la porosité. La porosité des BLT est $\eta_{BLT} = 29,92\%$ (voir annexe 3) ce qui donne $C_\lambda = 2,92$, par contre le $C_\lambda = 2,02$. Ces deux valeurs sont assez proches, ceci justifié d'une part les valeurs des conductivités thermiques trouvées et d'autre part une porosité 30% environ peut être la cause de la faible conductivité thermique des BLT par rapport aux briques de terre comprimée et briques de terre cuite qui sont assez compactes.

On constate aussi que le traitement à base des décoctions de néré améliore la conductivité thermique des BLT. Cette amélioration est très intéressante car on arrive par simple badigeonnage à faire chuter la conductivité thermique de plus de 60%. Ce résultat reste à confirmer ou à infirmer avec d'autres études plus approfondies et avec des dispositifs plus performants.

L'influence de l'humidité sur la conductivité reste très faible, mais le graphe ci-dessus montre que la conductivité croît avec l'humidité. Par contre l'humidité modifie considérablement la capacité thermique massique et la diffusivité thermique en se basant sur les résultats obtenus.

En observant ces résultats, nous supposons que l'humidité contenue dans le bloc de latérite influe sur conductivité thermique, celle-ci diminuerait avec l'humidité. Mais malheureusement, nous ne pouvons pas approfondir notre interprétation des résultats du fait de nos nombreux échecs consécutifs aux coupures de courant alimentant le dispositif d'enregistrement et notre manque de connaissances en géologie.

Les courbes des températures en fonction du temps et les courbes expérimentales $T_0(t) - T_0(0)$ en fonction de racine carrée du temps, pour chaque expérience se situent en annexe. Elles permettent de déterminer l'établissement du régime permanent au cours de l'expérience et d'estimer l'effusivité thermique au temps court.

CHAPITRE IV: CARACTERISATION HYDRIQUE ET MECANIQUE DES BLT

Les matériaux de construction subissent des efforts et réagissent aux efforts simples de compression. Ils subissent en tout premier lieu les effets de leur propre poids puis des charges qu'ils supportent. Ils réagissent dans la mesure où le sol offre une force de réaction qui les empêche de s'enfoncer. Le poids tend à écraser les matériaux, à les compresser. La qualité première d'un matériau de construction est donc de résister à cette pression sans se déformer. En effet, la résistance du poids provoquée par la réaction du sol entraîne dans le corps d'un cylindre du matériau les efforts de compression. Le cylindre résiste tant que les éléments qui le composent restent compacts. La résistance d'une colonne se mesure par sa capacité à supporter une charge sans se déformer. La résistance en compression intéresse les chercheurs en raison de son importance dans la construction.



Photographie 4 : Presse de traction-compression

Afin de nous assurer que les BLT dont nous avons déterminés les paramètres thermiques sont bien adaptés à la construction de bâtiments, nous avons réalisé des essais de résistance en compression et aussi déterminé les propriétés hydriques en vue de mesurer les ambiances à l'intérieur des habitats .

Les écrasements ont été effectués avec la Presse de traction-compression ci-contre de Force de rupture maximale de 160 kN.

4.1. Caractérisation mécanique des blocs de latérite taillée

L'une des caractéristiques les plus essentielles des BLT est la résistance mécanique en compression. Le bloc de latérite taillée est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages quelque soit son affectation dans un bâtiment.

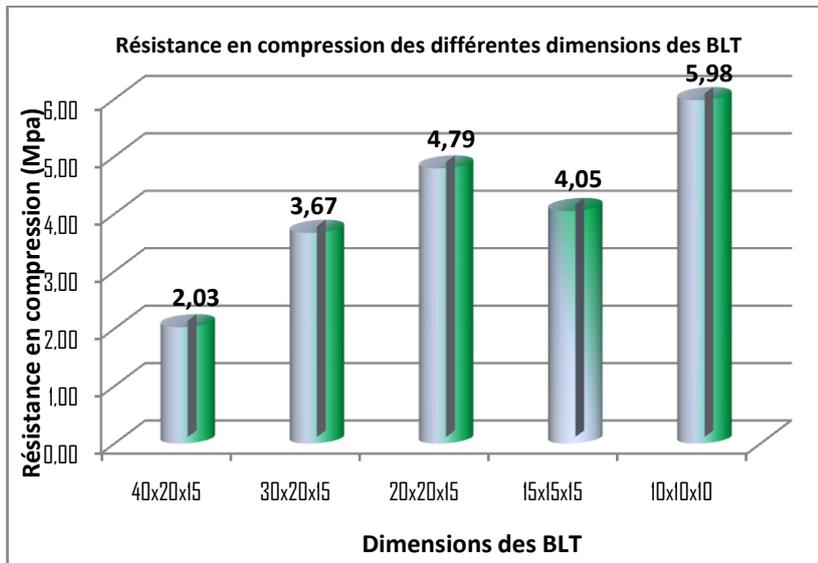
Lorsqu'ils sont soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, les blocs de latérite taillée se comportent comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et, d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression.

On se préoccupe assez peu de sa durabilité. Très souvent les blocs de résistances mécaniques élevées sont durables, de durabilité limitées, mais possédant cependant les résistances en compression exigées. L'essai mécanique retenu est donc l'essai de compression et se fera sur des blocs cubiques et parallélépipédiques des dimensions : **40x20x15 cm** ; **30x20x15 cm** ; **20x20x15 cm** ; **15x15x15 cm** ; **10x10x10 cm**.

4.1.1. Essais de Résistance en compression

Nous avons procédé à des essais de résistance en compression des différentes dimensions des BLT. Les échantillons choisis pour les traitements sont essentiellement cubiques et de dimension **15x15x15 cm**. Les graphes ci-dessous récapitulent les résultats des écrasements faits sur les échantillons non traités.

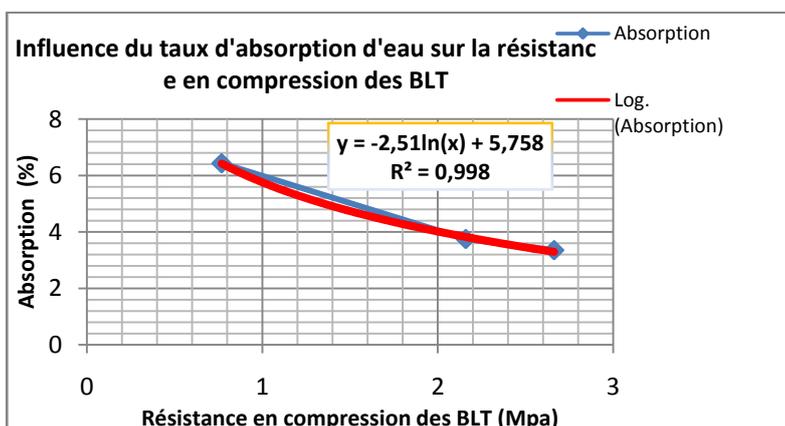
Figure 9: Résistance en compression des BLT



Il ressort de ces essais que la résistance en compression augmente lorsque que la dimension des BLT diminue, ceci est vrai uniquement pour les blocs cubiques et les blocs parallélépipédiques dont la largeur et la hauteur sont constantes et que seule la longueur diminue.

4.1.2. Influence de l'humidité sur la résistance en compression

Figure 10 : Résistance en compression en fonction de l'absorption



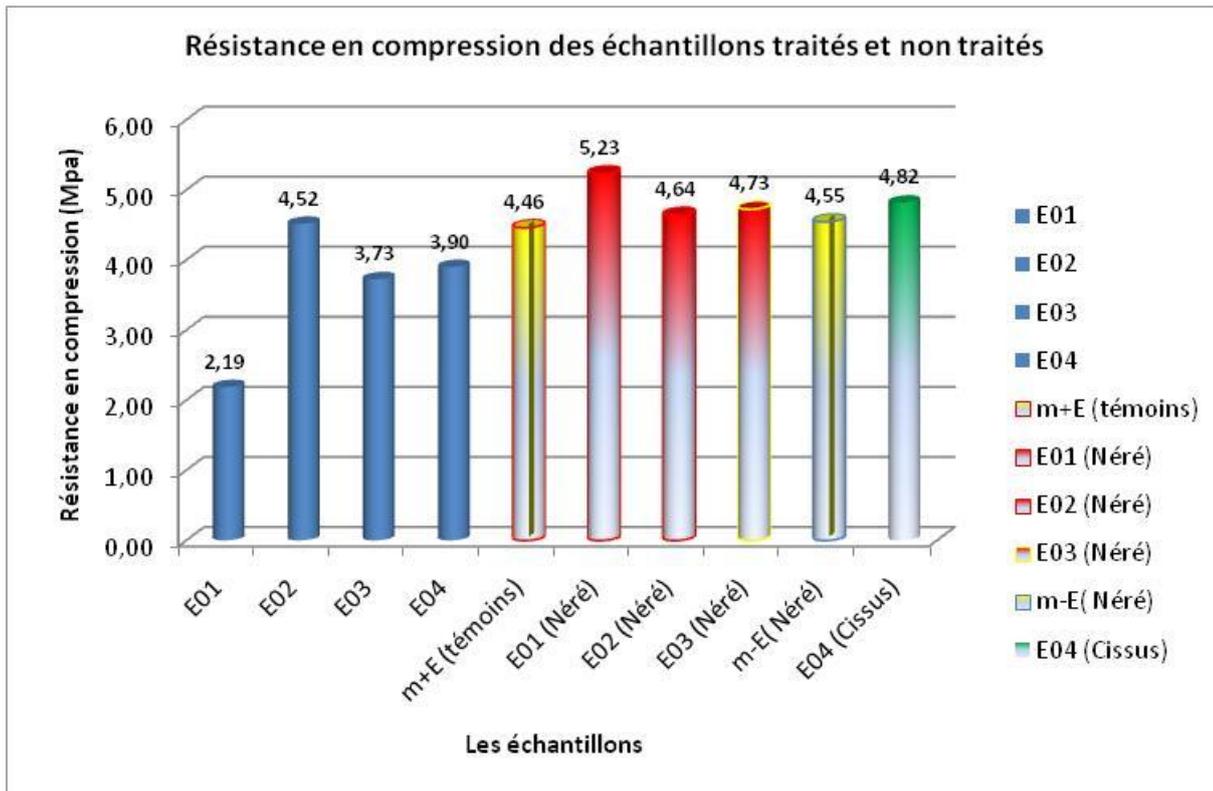
Nous proposons ci-après succinctement une étude expérimentale sur l'influence de la durée d'immersion dans l'eau sur la résistance en compression des BLT. Cette durée est représentée ici par le taux d'absorption d'eau des blocs.

Comme le témoin le graphe ci-dessus, la valeur moyenne des résistances en compression des BLT traités au Néré reste supérieure à la valeur maximale des résistances en compression des échantillons témoins. Ce qui nous permet de dire avec beaucoup de réserve que les traitements superficiels par le Néré sur les BLT augmentent légèrement ses propriétés mécaniques superficielles. Ceci est aussi valable pour le *Cissus populnea*.

4.1.3. Influence des traitements par le Néré et le *Cissus populnea* sur les propriétés mécaniques

L'influence des traitements superficiels par le Néré ou le *Cissus* sur les propriétés mécaniques des blocs de latérite taillée reste faible et les résultats obtenus ne permettent pas de tirer une conclusion claire. Cependant on observe une augmentation relative de la résistance en compression des blocs traités au Néré et au *Cissus*.

Figure 11: Influence de Néré sur la résistance en compression des BLT



Comme le témoin le graphe ci-dessus, la valeur moyenne des résistances en compression des BLT traités au Néré reste supérieure à la valeur maximale des résistances en compression des échantillons témoins. Ce qui nous permet de dire avec beaucoup de réserve que les traitements superficiels par le Néré sur les BLT augmentent légèrement ses propriétés mécaniques superficielles. Ceci est aussi valable pour le *Cissus populnea*.

4.2. Caractérisation hydrique des blocs de latérite taillée

4.2.1. Absorption de l'eau

L'absorption de l'eau du matériau est la capacité de conserver des échantillons quand ils sont immergés au sein de l'eau à température de 20,5 °C et à la pression atmosphérique. A cette condition l'eau peut pénétrer dans la plupart des vides interstitiels du matériau. Si la porosité du matériau est importante, l'absorption de l'eau est plus grande, mais l'absorption est toujours inférieure à la porosité du matériau.

On peut déterminer le degré d'absorption de deux manières:

a) L'absorption calculée suivant la masse du volume apparent d'échantillon notée H_v (%)

$$H_v = \frac{G_{ab} - G_s}{V_0} \%$$

b) L'absorption calculée suivant la masse de l'échantillon notée H_p (%) $H_p = \frac{G_{ab} - G_s}{G_s} \%$

Où

H_v (%) – le degré d'absorption

G_{ab} – est la masse absorbante.

G_s – est la masse sèche d'échantillon.

V_0 – est le volume apparent du matériau.

Degré de Saturation (Teneur en eau)

La résistance mécanique des matériaux dépend de plusieurs facteurs. Un des plus importants facteurs influençant la résistance est le degré de saturation. On a remarqué que les matériaux absorbants de l'eau, ont une résistance certainement diminuée. C'est pourquoi on doit déterminer le degré de saturation de matériaux.

Lorsque tous les vides d'un corps sont remplis d'eau, on dit qu'il est saturé. Le degré de saturation est le rapport du volume de vide rempli d'eau au volume total de vide. Il joue un grand rôle dans les phénomènes de destruction des matériaux poreux par le gel.

Le degré de saturation est l'absorption maximale de matériaux sous les conditions de pression et de température. Il y a deux moyens pour réaliser la saturation des échantillons de matériaux: l'immersion des échantillons dans l'eau bouillante et la saturation en pression d'air.

Pour déterminer le degré de saturation en pression d'air, on a la démarche suivante:

- Immerger les échantillons dans l'eau.
- Donner la pression de base de 20 mm Hg jusqu'au moment où on peut éliminer toutes les bulles d'air.
- Ensuite on fait baisser la pression de base de 20 mm Hg à la pression atmosphérique. À ce moment là, presque tout le vide est rempli d'eau et dans ce cas-là on dit que les échantillons sont saturés.

Le degré de saturation peut se calculer par la formule suivante: $BH = \frac{G_{sat} - G_s}{\gamma_w \times V_v}$

Où

BH – est le degré de saturation (%)

G_{sat} – est la masse d'échantillon au moment de saturation.

G_s – est la masse sèche d'échantillon.

V_v – est le volume total de vide du matériau et γ_w poids volume de l'eau

A la place de la saturation, on utilise aussi la teneur en eau d'un matériau. Elle est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

Où

E – Poids d'eau dans le matériau.

P_s – Poids du matériau sec.

P_h – Poids matériau humide

Si W est exprimé en % : $W(\%) = 100 \frac{P_h - P_s}{P_s}$

A partir des définitions données plus haut, on peut écrire les relations :

$$E = \frac{W\%}{100} P_s \quad P_h = P_s + E = \left(1 + \frac{W\%}{100}\right) P_s \quad E = \frac{W\%}{100 + W\%} P_h \quad P_s = \frac{P_h}{1 + \frac{W\%}{100}}$$

L'eau et les matériaux pierreux (Divers états de l'eau dans un matériau poreux)

On distingue trois grandes catégories d'eau:

- L'eau absorbée: qui se trouve dans le vide entre les particules de matière solide;

- L'eau adsorbée: qui se trouve à la surface des particules solides; Plus les particules sont petites, plus cette eau joue un rôle important. La première couche moléculaire est orientée et présente des propriétés voisines de celles de l'état solide;
- L'eau chimiquement liée: qui fait partie des particules solides.

Ces distinctions ne sont pas toujours absolument claires.

Par exemple, dans le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et dans le plâtre $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, l'eau intervient dans l'édifice cristallin, mais tout en conservant son identité. Dans un spectre infrarouge du gypse et du plâtre, il apparaît les bandes anhydrite CaSO_4 et eau H_2O juxtaposées. On parle d'eau d'hydratation ou de cristallisation.

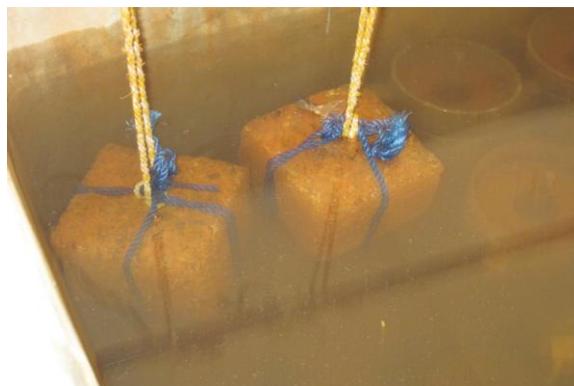
Par contre, dans la réaction $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$, l'eau se combine chimiquement en perdant son identité.

Nous allons essayer dans cette partie de déterminer l'absorption des blocs témoins et puis des blocs traités au néré et au cissus. L'essai consiste à immerger des blocs de latérite taillée de dimensions $15 \times 15 \times 15$ cm, de poids connu dans l'eau puis mesurer la variation du poids des blocs à des intervalles de temps réguliers (chaque 10 minutes). Le poids d'eau absorbé entre deux intervalles de temps correspond à la différence entre le poids initial de blocs avant immersion et le poids après immersion (voir les photos ci-dessous).

Photographie 5 : les blocs de latérite immergés



Les blocs de latérite avant immersion dans l'eau



Les blocs de latérite immergés dans l'eau

Les matériels nécessaires :

- ✓ Une corde de plus de 10 mètres de long
- ✓ Un récipient de grande capacité pour stocker l'eau
- ✓ Une barre de fer de 2 mètres de long
- ✓ Une balance d'une précision à l'ordre de gramme

4.2.1.1. Résultats et interprétations

4.2.2. Les BLT non traités

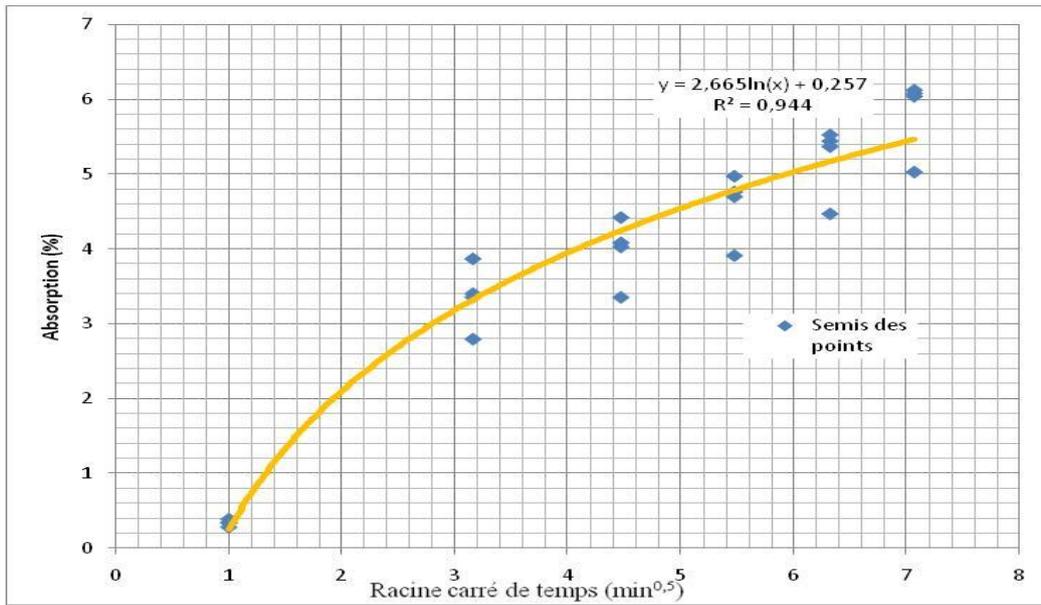
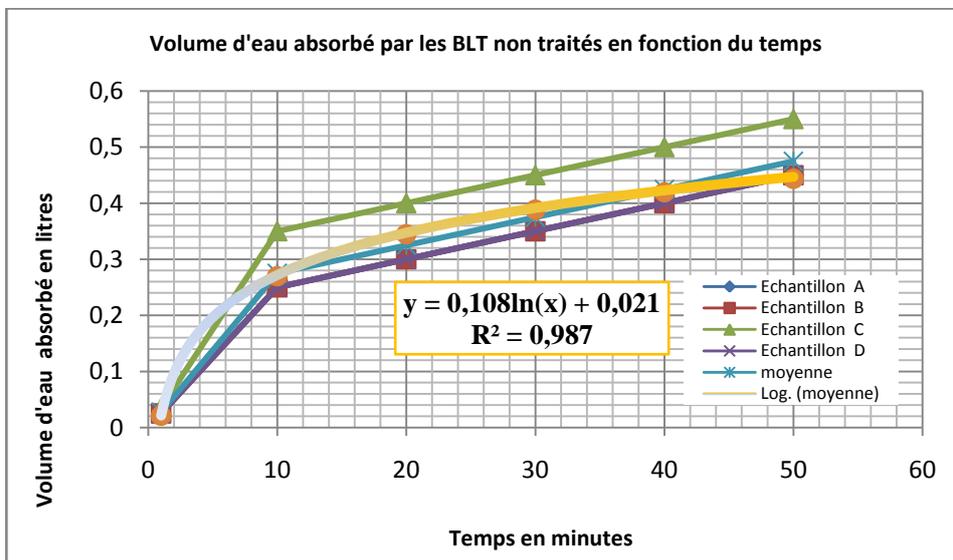


Figure 12: Ajustement de l'absorption des BLT non traités

Le graphe ci-dessus donne un ajustement logarithmique de l'absorption des quatre échantillons en fonction de la racine carré de temps. Les échantillons sont corrélés avec un coefficient $R^2 = 0,944$.

Figure 13: volume d'eau absorbée en fonction du temps



On constate en examinant le graphe ci-dessus que les volumes d'eau absorption par les échantillons C et D se diffèrent de 100 cl, ceci peut s'expliquer facilement d'une part par la différence de volume entre les deux échantillons et d'autre part la différence du degré de dessiccation de ces derniers. Néanmoins le volume d'eau absorbé par les deux échantillons reste le même en fonction du temps jusqu'à la saturation du 1^{er}. Ce graphique nous permet de déduire une corrélation entre le volume absorbé et le temps d'immersion des BLT non traités dans l'eau.

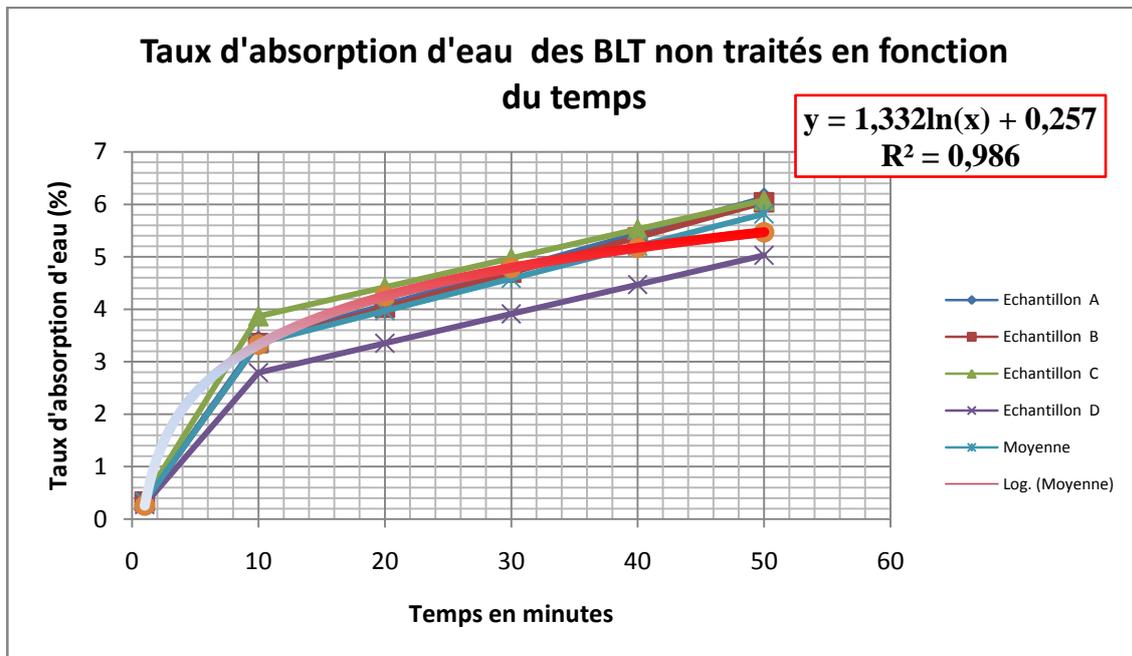


Figure 14 : Absorption des BLT non traités

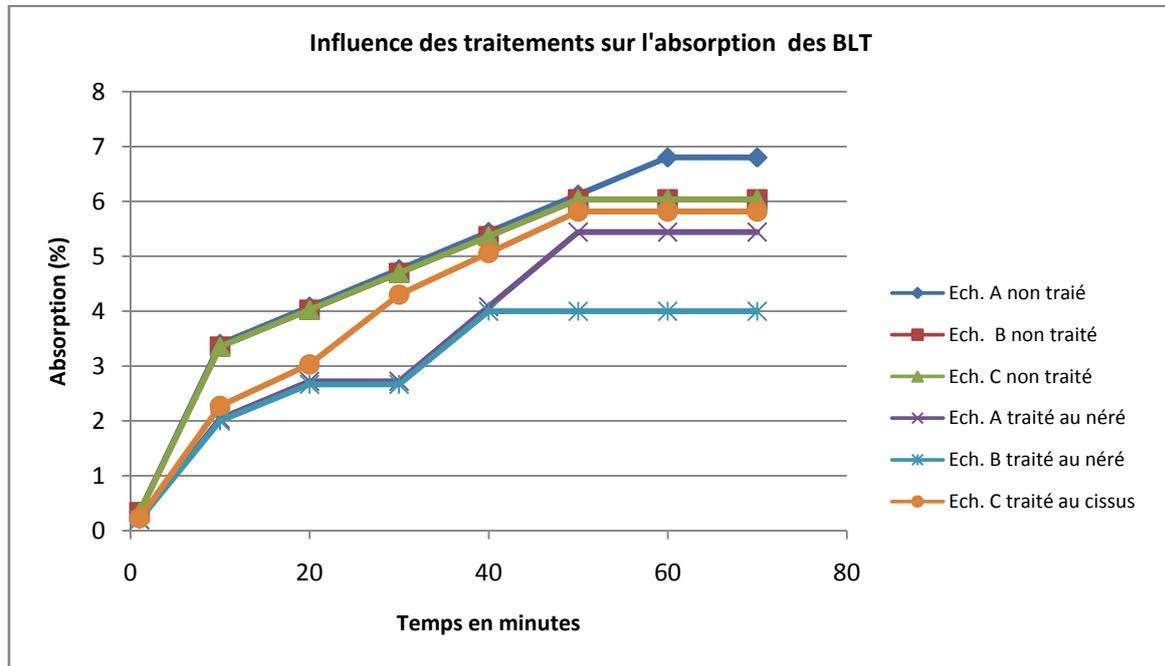
D'après le graphe ci-dessus, l'absorption d'eau des BLT varie suivant trois phases :

- ✓ **La première phase** est celle dont l'absorption est rapide avec une pente très raide dans cette phase l'eau remplit la porosité superficielle et elle dure dix minutes.
- ✓ **La seconde phase** admet une pente moins forte et elle dure entre trente et cinquante minutes le temps nécessaire pour atteindre la 1^{ère} saturation. Dans cette phase que l'eau arrive à pénétrer dans la plupart des vides interstitiels du matériau, elle précède la saturation.
- ✓ **La troisième phase** ou phase de saturation instantanée, on assiste à un taux d'absorption constant durant plusieurs heures (plus de trois heures). Cette phase n'est peut en aucun cas être considérée comme celle correspond à une porosité nulle.

Comme l'indique le graphique ci-dessous les quatre échantillons se comportent de la même manière, pour chaque phase d'absorption les pentes restent linéaires. La seule conclusion à tirer ici est que quelque soit les blocs de latérite taillée après dix minutes d'immersion dans l'eau les pores superficielles commencent à se remplir et la courbe d'absorption va changer de pente.

4.2.3. Les BLT traités au Néré et au Cissus

Figure 15 : Influence des traitements sur l'absorption



Le traitement est efficace pendant les trente premières minutes comme le témoigne ce graphique. Après traitement la pente d'absorption devient relativement forte. Les traitements avec le Néré et le Cissus ont à peu près les mêmes effets et permettent de réduire l'absorption de plus de 42% pendant les trente premières minutes. Le graphique ci-après met en exergue l'intérêt de ces traitements pour une durée moins de 30 minutes d'immersion dans l'eau.

Les graphes ci-dessus résument les résultats sur l'étude d'absorption des BLT traités et non traités. On constate deux sortes de saturation, la saturation partielle qui intervient juste une heure après l'immersion des blocs dans l'eau et ceci est manifesté par un taux d'absorption stationnaire pendant plus de trois heures et une saturation totale observée un jour après.

4.3. Influence de la pluie sur la dégradation des BLT

D'après le dictionnaire Robert, la pluie est définie comme « *Eau qui tombe en gouttes des nuages sur la terre* ». Il est évident que cette définition reste loin de résumer ce que c'est la pluie. Elle peut prendre les formes les plus diverses dans ses manifestations, être pour l'homme associée à une large gamme d'émotions. De la mélancolie romantique des pluies d'automne, au soulagement en période de sécheresse, elle occupe une place de premier ordre dans les préoccupations humaines.

Dans cette partie nous essayerons d'étudier succinctement l'incidence de la pluie sur la dégradation des blocs de latérite taillée. La pluie sera simulée par des asperseurs disposés de façon à arroser les blocs avec une pression approximant celle dont la pluie aurait produit.

Le pouvoir destructeur d'une averse violente et son pouvoir érosif sont directement tributaires de la puissance de l'averse. Cette puissance est fonction de l'intensité de l'averse mais aussi de la distribution spatiale selon la dimension des gouttes atteignant le sol. Des études expérimentales ont montré que la distribution selon la dimension des gouttes d'eau dans l'espace peut être ajustée par une loi exponentielle. A partir de cette loi on peut déterminer la forme de la distribution de la loi sur la surface réceptrice, ses caractéristiques en fonction de l'intensité de l'averse puis on calcule la puissance par unité de surface de l'averse associée à cette distribution (voir annexe 2).

4.3.1. La puissance d'une averse par unité de surface

La puissance d'une averse est fonction des plusieurs paramètres qui sont :

- La distribution des dimensions des gouttes atteignant le sol par unité de surface et de temps ;
- L'intensité de l'averse c'est le paramètre le plus important ;
- La fonction densité de probabilité de la distribution gamma ;
- Le type des précipitations

Pour arriver à établir une relation simple entre la puissance de l'averse et son intensité quelques hypothèses simplificatrices ont été prises dont nous avons détaillée dans la partie annexe.

La puissance totale par unité de surface est alors :

Pluie bruine (Equation 1)	Pluie étendue (Equation 2)	Averse de type convectif (Equation 3)
$P = 1,68.10^{-3} . i^{1,155}$	$P = 2,41.10^{-3} . i^{1,155}$	$P = 2,68.10^{-3} . i^{1,155}$

On constate immédiatement que la puissance croit beaucoup plus vite que l'intensité; pour une intensité de **10 mm/h**, elle est de **0.034 W/m²**; pour une intensité cinq fois plus grande (**50 mm/h**), la puissance correspondante est environ sept fois plus élevée (**0.246 W/m²**) ; pour une intensité dix fois plus grande (**100 mm/h**), la puissance est environ seize fois plus élevée (**0.548 W/m²**).

Nous allons plus nous intéresser à la 3^{ème} relation pour une averse de type convectif car c'est le cas le plus défavorable.

La relation qui nous intéressera est celle qui donne l'intensité en fonction de la pression des asperseurs. Connaissant le débit de nos asperseurs on établie aisément une relation entre la puissance et la pression des asperseurs puis on déduit l'intensité en fonction de la pression.

Soient i l'intensité, Q le débit, P la puissance et p la pression on a alors :

$$P = Q \times p \Rightarrow 2,68.10^{-3} . i^{1,155} = Q \times p ; p = \frac{2,68.10^{-3} i^{1,155}}{Q}$$

Pour un débit $Q= 1$ l/s, le tableau ci-dessous donne la pression en fonction des intensités

Intensité (mm/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Pression (bar)	0,605	0,844	1,092	1,348	1,611	1,879	2,153	2,432

Tableau 5 : Pression pour diverses intensités

Photographie 6 : Simulation de pluie



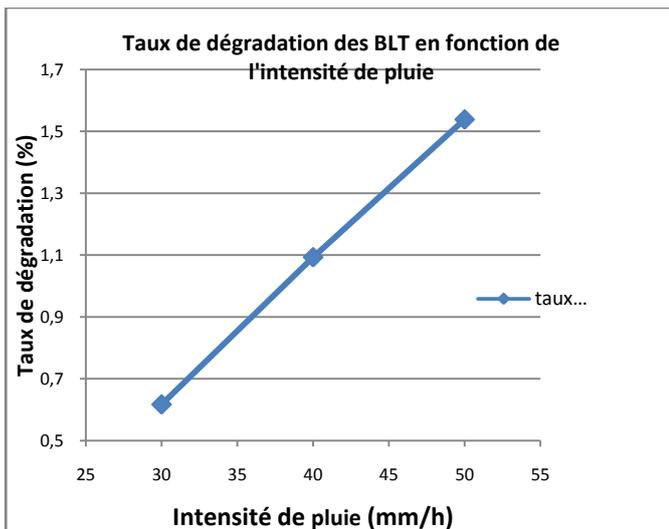
Une brique arrosée avec une pression de 0,6



La face d'une brique après simulation

4.3.2. Résultats et interprétation

Figure 16 : dégradation des BLT pour diverses intensités de pluie



La dégradation était visuelle, on identifie facilement la face dégradée par rapport aux autres. Elle est fonction de l'intensité et de la durée de la pluie. Le graphe ci-dessus montre que la dégradation des BLT en fonction de l'intensité de pluie est linéaire et pour une durée d'une heure la pente est de **0,046**. D'après les données hydrologiques que nous avons collectées, la durée maximale d'une averse avec une intensité constante au Burkina Faso est de 30 minutes.

Ceci nous permet avec le résultat obtenu d'affirmer que la pluie ne peut dégrader les maisons construites avec les BLT que pendant plusieurs années. Lors de notre visite sur le terrain nous avons témoigné des maisons en BLT construites il ya de cela 20 ans mais aucune dégradation visuelle n'a été observée.

4.4. Mesure de la perméabilité des BLT

Dans le domaine de la mécanique des sols, on réalise généralement cette mesure de perméabilité à l'eau. La mesure consiste à saturer en eau une éprouvette, à appliquer une pression d'eau progressivement croissante sur l'une des faces et à mesurer la quantité d'eau ayant traversé l'éprouvette lorsque le flux est constant.

Les mesures sont effectuées sur des échantillons de sol de forme cubique, non remaniés et orientés. On décrit successivement le prélèvement des échantillons sur le terrain, leur préparation au laboratoire et la mesure proprement dite. Pour minimiser le phénomène d'évapotranspiration pour chaque essai on ferme le trou avec du plastique.

4.4.1. Perméabilité in situ

En étant sur la carrière de Dano, nous avons profité pour mesurer la perméabilité in situ du notre matériau. Ceci va nous permettre d'avoir une idée claire et critique sur les résultats qui seront déterminés au Laboratoire. Nous avons utilisé la méthode de **Porchet** pour estimer la perméabilité in situ. La formule utilisée, le mode d'opération ont été bien explicité dans l'annexe 1. On a effectué trois essais différents, puis fait la moyenne.

Photographie 7 : perméabilité in situ



Trou juste après le remplissage d'eau



Trou rempli d'eau après un jour



Trou saturé après **2 jours 2heures et 45** minutes. On commence les mesures

4.4.2. Perméabilité au Laboratoire

4.4.2.1. Prélèvement et préparation des échantillons sur le terrain

✚ Prélèvement sur le terrain

Des blocs de latérite des dimensions 40×20×15 cm ont été taillés sur la carrière à l'aide d'un débiteur. Ces blocs sont transférés dans un chantier non loin de la carrière en vue d'être découpés plus aisément à des dimensions cubiques 15×15×15cm avec un finisseur prévu à cet effet, puis sont transportés au laboratoire.

✚ Préparation au laboratoire

Les éléments amenés au laboratoire pour l'essai de perméabilité doivent être avant tout préparés pour la mesure. On utilise deux procédés de détermination de perméabilité au laboratoire. Le premier consiste à creuser un petit trou de rayon r (pris entre 3 à 4 cm) et de profondeur h (dans une fourchette de 7 à 9 cm) dans le cube. Le second prévoit un tuyau de pvc de 80 mm diamètre et d'une hauteur 100 mm environ qui sera collé avec du plâtre sur l'une des faces du cube. Dans les deux cas on essaye de saturer le bloc avant de commencer la mesure.

Photographie 8 : perméabilité au labo



Un bloc de latérite taillée de dimension 15×15×15 cm sur lequel a été collé un tuyau pvc de 8 cm de diamètre.



Un bloc de latérite taillée de dimension 15×15×15 cm dont on a creusé un trou de 7 cm de diamètre et de 8 cm de profondeur.

4.4.2.2. Mesure au laboratoire

L'échantillon, prélevé vers la fin de la saison sèche exposé au soleil, arrive le plus souvent au laboratoire dans un état de dessiccation assez poussé. Une première partie de la mesure consiste à saturer l'échantillon; celui-ci étant en place, on emplit d'eau le trou ou le tuyau en pvc, on ajoute au fur et à mesure que ça diminue jusqu'à la saturation. Elle peut être considérée comme terminée lorsqu'un morceau de buvard posé sur l'échantillon se trouve imbibé d'eau. On procède ensuite à la mesure proprement dite de la perméabilité : on détermine la variation du niveau d'eau dans le trou ou le tuyau en pvc pendant un temps déterminé. Les mesures peuvent être répétées à des intervalles réguliers pour mettre en évidence une éventuelle variation de la perméabilité.

La note présentée ici n'a pas la prétention d'être une étude de la méthode, mais simplement une description succincte du procédé effectué au laboratoire.

On peut cependant immédiatement signaler les avantages et les inconvénients de cette technique :

- ✓ les mesures sont effectuées sur des échantillons assez volumineux,
- ✓ ces échantillons ne subissent aucune modification structurale,
- ✓ le manque de précisions sur la lecture de niveaux d'eau

La saturation de l'échantillon avant la mesure présente une importance particulière : elle doit se faire en immergeant complètement l'échantillon dans l'eau pour qu'elle soit lente et complète afin d'éliminer le maximum d'air.

De plus, les résultats ne concernent qu'un aspect de la perméabilité globale des sols. Les hydrogéologues utilisent couramment la notion de « perméabilité en grand » et « perméabilité en petit », qui peut être transposable dans une certaine mesure à l'étude des sols. Dans notre cas, seule la perméabilité en petit est mesurée et l'échantillonnage sur le terrain se heurte fréquemment à des difficultés lorsqu'il y a de grandes fentes de dessiccation (nécessité d'effectuer plusieurs répétitions).

4.4.3. Résultats et Interprétation

Perméabilité in situ par la méthode de Porchet

Tableau 6 : Résultats de perméabilité in situ

Lieu	Point	h1(cm)	h2(cm)	t2 - t1 (s)	R (cm)	K (m/s)	K _{moy} (m/s)
Mouteri, secteur 1 (DANO)	P1	1	0,2	1800	12	$4,04. 10^{-6}$	$2,75. 10^{-6}$
	P2	1,4	0,1	3600		$3,22. 10^{-6}$	
	P3	1,2	0,4	7200		$9,82. 10^{-7}$	

Perméabilité au Laboratoire par la méthode de Porchet

Lieu	Echantillon	Point	h1(cm)	h2(cm)	t2 - t1 (s)	R (cm)	K (m/s)	K _{moy} (m/s)
Laboratoire LEMC du ZiE	A (trou à l'intérieur du bloc)	P1	4,15	3,40	1800	3,5	$1,32. 10^{-6}$	$1,375. 10^{-6}$
		P2	3,30	2,40	2400		$1,43. 10^{-6}$	
	B (tuyau pvc collé sur le bloc)	P1	5,80	5,60	1800	4	$2,89. 10^{-7}$	$3,145. 10^{-7}$
		P2	5,50	5,20	2400		$3,40. 10^{-7}$	

Tableau 7 : Résultats de perméabilité au labo

La perméabilité in situ est supérieure à celle de Laboratoire de l'échantillon A mais la différence reste acceptable. Par contre la différence observée au laboratoire entre les échantillons A et B est considérable mais on peut l'expliquer par la nuance existante entre les deux procédures de mise en œuvre. Dans tous les cas la perméabilité moyenne, K_{moy} est inférieure à 10^{-5} m/s, on peut donc affirmer que la perméabilité des blocs de latérite taillée est faible.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les blocs de latérite taillée sont utilisés pour la construction de l'enveloppe des bâtiments. Dans notre présente étude, nous avons réalisé des traitements avec des produits végétaux (décoctions de néré et tiges de cissus populnea) en vue d'une amélioration de la performance de leur propriété hydrique. Nous avons voulu également obtenir des données concernant leur propriété thermophysique. Notre travail a donc consisté à déterminer un ensemble des propriétés hydriques, thermophysiques et mécaniques relatives à leur utilisation dans le bâtiment.

Il ressort de cette étude que les traitements des blocs de latérite à base des décoctions de néré et des tiges de cissus populnea réduisent l'absorption des blocs de latérite. Cette amélioration est peu significative pour le cissus populnea (réduction de 25% pendant les vingt premières minutes) et très intéressante pour le néré (réduction de 45% pendant les trente premières minutes). Pour une meilleure maîtrise des éléments chimiques qui produisent l'accroissement des propriétés hydriques, il serait pertinent de pousser les études sur les constituants chimiques des décoctions de néré et des tiges de cissus populnea afin de comprendre le processus chimique qui opère après l'application sur la latérite.

La latérite qu'on trouve en abondance au Burkina Faso permet de mettre sur le marché des briques de latérite taillée ayant une résistance mécanique suffisante pour la construction et des caractéristiques hydriques et thermiques remarquables. Sur le plan économique l'utilisation de ces matériaux contribue à diminuer la quantité des matériaux importés et sur le plan écologique à réduire l'émission de dioxyde de carbone.

Pour pouvoir utiliser les matériaux étudiés dans la construction des maisons, il est nécessaire de s'assurer qu'ils possèdent des propriétés mécaniques suffisantes. Les mesures de la résistance en compression faites sur les BLT donnent des résultats du même ordre que les BTS et les parpaings actuellement utilisés. Ces résultats montrent que les briques de latérite taillée peuvent être utilisées dans la construction des bâtiments sans présenter de grands risques de fissuration.

La nécessité de connaître les propriétés thermophysiques des BLT dans un délai limité, nous a conduits à choisir la méthode dite de plan chaud pour déterminer la conductivité thermique, la diffusivité thermique et la chaleur thermique massique. Cette méthode nous permet d'estimer une valeur de l'effusivité en traçant la courbe expérimentale $T_0(t) - T_0(0)$. Puis on en déduit la diffusivité thermique et la chaleur thermique massique en connaissant la conductivité thermique et l'effusivité par des relations mathématiques.

Pour obtenir une valeur plus fiable et justifiable de la diffusivité thermique, on devait faire une modélisation de la méthode flash, et en suite appliquer cette modélisation aux résultats expérimentaux.

Nous avons aussi procédé à la détermination des variations de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique des BLT avec l'humidité. La dépendance de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique des BLT en fonction de l'humidité reste faible.

Si l'on considère que les propriétés d'isolation, on peut trouver des matériaux plus performants que la brique de latérite taillée. Le polyuréthane est thermiquement plus isolant de même que la laine de roche qui absorbe mieux les bruits. Cependant ces isolants couramment utilisés avec des matériaux porteurs dans les pays occidentaux sont d'un prix de revient élevé par rapport aux BLT. En effet, ces derniers possèdent des propriétés qui peuvent justifier leur utilisation dans la construction des bâtiments. Les BLT peuvent être considérés comme le compromis idéal entre les trois exigences : le coût raisonnable, une résistance en compression satisfaisante et des caractéristiques hydriques et thermophysiques acceptables.

Bibliographie

- B., T. B. (2004). *Qualité des gisements de briques latéritiques en vue de l'amélioration de la filière de production*. Poitiers: ESIP.
- Baltimore, M. (1971). *Manuel pour le prelevement et les essais des latérites, des sols lateritiques et d'autres sols difficiles d'afrique*. Lyon: AID/csd-2164.
- BAROT M., H. O. (2009). *Effets des adjuvants végétaux sur les propriétés de matériaux du génie civil*. Poitiers: ISP.
- BONKOUNGOU. (1987). *Monographie du Néré (Parkia biglobosa)*. Ouaga: IRBET/CNRST.
- DIOP, A. N. (2004). *Etude corrélative entre les propriétés géotechniques et les caractéristiques géomécanique des latérites*. Dakar: Journal des sciences.
- Julien, N. N. (2009). *Etude de la résistance des blocs de latérite ayant subi un traitement de renforcement*. Ouaga: 2iE.
- M., K. (2005). *Matériaux de construction en terre cuite*. Paris: Septima.
- MAIGNIEN, R. (1964). *Compte Rendu des recherches sur les latérites*. Paris: UNESCO.
- NICKLES, M. (1950). *Carte géologique de l'A.E.F et du cameroun*. Paris: Imprimerie Nationale.
- R., M. (1964). *Compte rendu sur les recherches sur les latérites*. Paris: UNESCO.
- S., N. (2006). *Développement des matériaux locaux dans la construction au Burkina-Faso : perspectives d'avenir*. Ouaga: 2iE.
- Stéphan, A. D. (2003). *Etude technique et économique des briques de latérite taillée autour des agglomérations de Bobo-Dioulasso et Ouagadougou*. Ouaga: Groupe eier-etsher.
- Y., C. (1972). *Les sols ferrallitiques Tom 1*. Paris: ORSTOM.
- Yves, C. (2005). *Propriétés des matériaux de construction*. Paris: MONITEUR.

ANNEXES

ANNEXE 1 : PERMEABILITE

ANNEXE 2 : SIMULATION DE PLUIE

ANNEXE 3 : PROPRIETES PHYSIQUES DES BLT

ANNEXE 4 : GRAPHES SUR LES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES

ANNEXE 5 : RESISTANCE EN COMPRESSION DES BLT

ANNEXE 6 : PHOTOS

ANNEXE 1 : PERMEABILITE

Perméabilité in situ par la méthode de Porchet

1. Mode opératoire

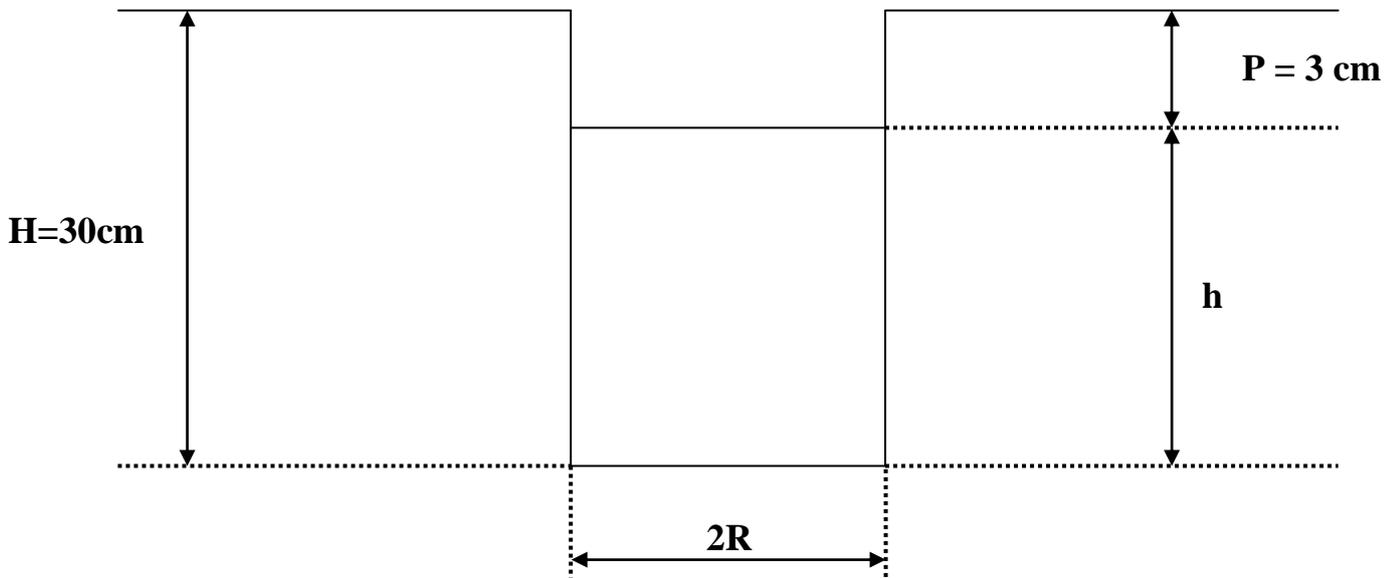
- ✚ On creuse un trou rond de 30cm de profondeur,
- ✚ Relever les dimensions exactes du trou
- ✚ On remplit le trou d'eau et on attend 3045 minutes soit 2 jours 2 heures 45 minutes afin de saturer le terrain en eau,
- ✚ On mesure entre deux instants t_1 et t_2 les lames d'eau h_1 et h_2 .

2. Interprétation

La formule utilisée est la suivante :

$$K = \frac{R}{2 \times (t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1 + \frac{R}{2}}{h_2 + \frac{R}{2}} \right)$$

C'est la formule dite de Porchet.



- ✓ $P=3\text{cm}$: profondeur directement mesurée sur le terrain,
- ✓ R : rayon du trou,
- ✓ $H=30\text{ cm}$: profondeur du trou,
- ✓ h : la lame d'eau dans le trou à l'instant t_i donné.

3. Résultats de la perméabilité

Lieu	Point	$h_1(\text{cm})$	$h_2(\text{cm})$	$t_2 - t_1$ (s)	R (cm)	K (cm/s)	K_{moy} (cm/s)
Mouteri, secteur 1 (DANO)	P1	1	0,2	1800	12	$4,04 \cdot 10^{-4}$	$2,75 \cdot 10^{-4}$
	P2	1,4	0,1	3600		$3,22 \cdot 10^{-4}$	
	P3	1,2	0,4	7200		$9,82 \cdot 10^{-5}$	

K_{moy} est inférieur à 10^{-5} m/s, on peut affirmer que la perméabilité est faible.

Perméabilité au Laboratoire par la méthode de Porchet

Lieu	Echantion	Point	h1(cm)	h2(cm)	t2 - t1 (s)	R (cm)	K (m/s)	Kmoy (m/s)
Laboratoire LGC du 2iE	A (trou à l'intérieur du bloc)	P1	4,15	3,40	1800	3,5	$1,32. 10^{-6}$	$1,375. 10^{-6}$
		P2	3,30	2,40	2400		$1,43. 10^{-6}$	
	B (tuyau pvc collé sur le bloc)	P1	5,80	5,60	1800	4	$2,89. 10^{-7}$	$3,145. 10^{-7}$
		P2	5,50	5,20	2400		$3,40. 10^{-7}$	

ANNEXE 2 : SIMULATION DE PLUIE

I. LA VITESSE TERMINALE DE CHUTE D'UNE GOUTTE DE PLUIE

La vitesse terminale de chute d'une goutte de pluie résulte de l'équilibre entre la force gravitationnelle et la résistance de l'air. Si l'on assimile la goutte de pluie à une sphère rigide et indéformable, sa vitesse terminale a pour expression :

$$V = \left(\frac{4 \times g \times \rho_s}{3 \times \rho \times K} \times r \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

ρ_s : masse volumique de la goutte (kg/m^3)

r : rayon de la goutte (mm)

ρ : masse volumique de l'air (kg/m^3) et K son coefficient de résistance l'entraînement, on lui attribue habituellement une valeur comprise entre 0,24 et 0,48 (Mason, 1957).

Les valeurs de la vitesse terminale de chute et de l'énergie cinétique de gouttes de pluie de divers rayons sont récapitulées dans le Tableau 1. ces valeurs ont été déduites de la relation (1) en attribuant à K la valeur centrale 0,36.

La vitesse terminale croît évidemment avec le rayon ; toutefois, le taux d'accroissement diminue graduellement. Les plus grosses gouttes ont une vitesse de l'ordre de 9 m/s. quant à l'énergie cinétique, elle augmente considérablement avec la grosseur des gouttes ; elle est six à sept cent fois plus élevée pour une goutte de 2,5mm de rayon que une goutte de 0,5mm de rayon.

Tableau 1 vitesses terminales et énergies cinétiques des gouttes de pluie de divers rayons		
rayon des gouttes (mm)	vitesse terminale (m/s)	Energie cinétique (joules)
0,25	2,75	$2,5 \times 10^{-7}$
0,50	3,89	$3,9 \times 10^{-6}$
0,75	4,77	$2,0 \times 10^{-5}$
1,00	5,50	$6,3 \times 10^{-5}$
1,50	6,74	$3,2 \times 10^{-4}$
2,00	7,78	$1,0 \times 10^{-3}$
2,50	8,70	$2,5 \times 10^{-3}$
2,75	9,12	$3,6 \times 10^{-3}$

II. LA DISTRIBUTION DES GOUTTES DE PLUIE SELON LEURS DIMENSIONS

Distribution dans l'espace

De nombreuses recherches expérimentales, citées notamment par Oguchi (1983) dans un article très documenté, conduisent à admettre que les dimensions des gouttes de pluie dans l'espace se distribuent suivant une loi exponentielle proposée par Marshall & Palmer (1948) :

$$n(r)dr = N_0 e^{-\lambda r} dr \quad (2)$$

Où $n(r)dr$ nombre est le nombre de gouttes de rayons compris entre $r - (dr/2)$ et $r + (dr/2)$ par unité de volume (m^{-3}), où N_0 est un paramètre exprimé m^{-4} et λ une fonction de l'intensité i ($mm.h^{-1}$) de la pluie de la forme :

$$\lambda = a i^{-0,21} \quad (m^{-1}) \quad (3)$$

Les valeurs moyennes des paramètres N_0 et a proposées par Joss et all. (1968) pour trois types de précipitations sont renseignées au Tableau 2.

Tableau 2 Valeurs des paramètres de la relation (2) pour divers types de pluie		
	$N_0 (m^{-4})$	$\lambda (m^{-1})$
Bruine	$6,0 \times 10^7$	$11,4 \times 10^3 i^{-0,21}$
Pluie étendue	$1,4 \times 10^7$	$8,2 \times 10^3 i^{-0,21}$
Averse de caractère convectif	$2,8 \times 10^6$	$6,0 \times 10^3 i^{-0,21}$

Il est clair que le spectre des gouttes de pluie auquel conduit la relation (2) dépend du type de précipitations et de l'intensité de la pluie. L'expérience montre par ailleurs que pour une intensité le spectre peut différer sensiblement d'une averse à une autre.

Distribution à la surface du sol

Le nombre $m(r)dr$ des gouttes de rayons compris entre $r - (dr/2)$ et $r + (dr/2)$ atteignent le sol, par unité de surface et de temps, n'est autre que le flux $n(r)dr \times v(r)$, ou plus explicitement,

$$m(r)dr = N_0 v(r) e^{-\lambda r} dr \quad (4)$$

La fréquence relative correspondante a pour expression, compte tenu de (1) :

$$\frac{m(r)dr}{\int_0^{\infty} m(r)dr} = \frac{\sqrt{r} e^{-\lambda r} dr}{\int_0^{\infty} \sqrt{r} e^{-\lambda r} dr} = \frac{2(\sqrt{\lambda})^3}{\sqrt{\pi}} \sqrt{r} e^{-\lambda r} dr$$

En posant : $\beta = 1/\lambda$ et $\alpha = 3/2$ on constate que l'expression (5) est de la forme

$f(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$ qui n'est rien autre que la fonction densité de probabilité de la distribution gamma de paramètres α et β .

Le paramètre d'échelle $\beta=1/\lambda$ est lié à l'intensité de la pluie. Il en va de même évidemment pour le rayon moyen $r_{\text{moyen}} = \alpha \beta = 3 / 2\lambda$ et pour le rayon médian $r_{\text{médian}} = 1,183 / \lambda$

Où 1,183 est le fractile 50 de la distribution gamma de paramètres $(3 / 2, \lambda)$ en variable réduite x / β . Le Tableau 3 donne leurs des rayons moyens et médian en fonction de l'intensité.

Intensité (mm h ⁻¹)	λ (mm ⁻¹)	Rayon médian (10 ⁻³ m)	Rayon moyen (10 ⁻³ m)
0,25	15,25	0,0776	0,0984
5	5,85	0,202	0,256
10	5,06	0,234	0,297
20	3,20	0,370	0,469
50	2,64	0,448	0,568
100	2,28	0,519	0,658

Même pour des pluies d'intensités élevées, les valeurs trouvées restent petites à cause du caractère très dissymétrique de la distribution. Cette forte dissymétrie apparaît nettement sur les courbes spectrales représentées à la figur1. Notons que si l'échelle des ordonnées était rapportée aux valeurs relatives des contenus en eau plutôt que des fréquences, les spectres seraient encore très dissymétriques.

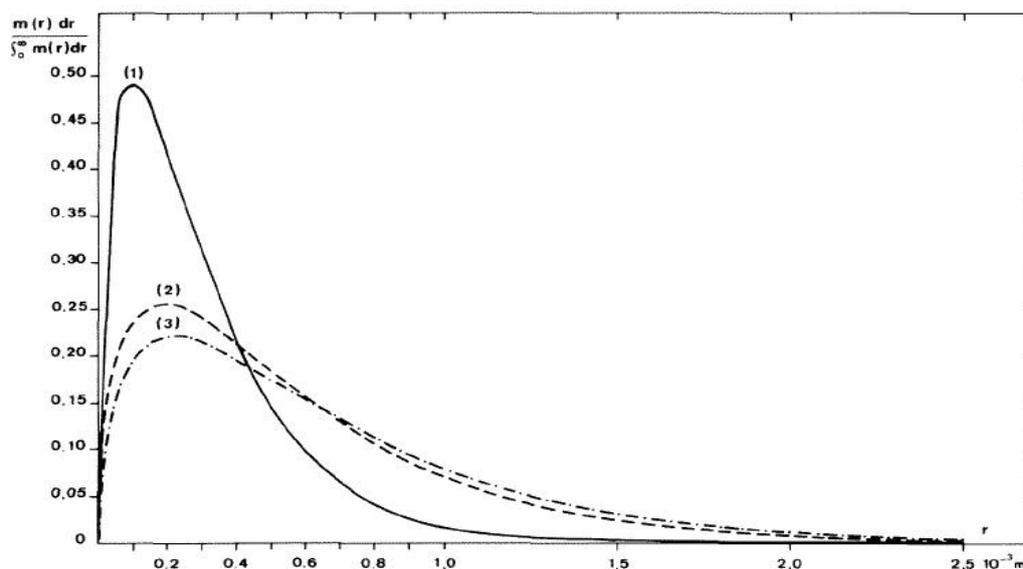


Figure 1 Distribution des dimensions des gouttes de pluie atteignant le sol par unité de surface et de temps : $m(r)dr / \int_0^\infty m(r)dr$ pour $dr = 0,2 \times 10^{-3}$ m et pour des intensités de 10 mm h⁻¹ (1), 50 mm h⁻¹ (2) et 100 mm h⁻¹ (3).

III. PUISSANCE D'UNE AVERSE PAR UNITE DE SURFACE

La puissance P des gouttes de pluie de rayons compris entre $r - (dr/2)$ et $r + (dr/2)$ atteignent le sol par unité de surface, s'obtient en multipliant le flux $m(r)dr$ par l'énergie cinétique $E(r)$ des gouttes de rayon r ; d'où, compte tenu de (4)

$$P = m(r)dr \times E(r) = N_0 v(r) e^{-\lambda r} E(r)dr \quad (6)$$

La puissance totale par unité de surface s'obtient en intégrant la fonction (6) ; d'où, compte tenu de (1)

$$P = \frac{16}{9\sqrt{3}} \pi g^{3/2} \rho_s^{5/2} \rho^{-3/2} K^{-3/2} N_0 \int_0^{\infty} r^{9/2} e^{-\lambda r} dr \quad (7)$$

$$\text{Sachant que } \int_0^{\infty} r^{9/2} e^{-\lambda r} dr = 52,34/\lambda^{11/2} \quad (8)$$

La relation (7) se réduit, pour $\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ (à 1000 hPa), à :

$$P = 1,247 \times 10^{11} K^{-3/2} N_0 / \lambda^{11/2} \quad (9)$$

dans la quelle la puissance P est exprimée en W m^{-2} à condition que N_0 et λ soient en m^{-4} et en m^{-1} (cf. Tableau 2). La relation (9) représente la puissance d'une pluie d'intensité constante. Elle dépend évidemment du type de précipitation et de son intensité (en mm h^{-1}) par l'intermédiaire du paramètre N_0 et λ et en adoptant pour K , le coefficient de résistance à l'entraînement, une valeur égale à sa valeur centrale 0,36, la relation (9) devient :

$$P = 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot i^{1,155} \quad \text{pour la bruine}$$

$$P = 2,41 \cdot 10^{-3} \cdot i^{1,155} \quad \text{pour la pluie étendue}$$

$$P = 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot i^{1,155} \quad \text{pour une averse de type convectif}$$

Le Tableau 4 donne les valeurs de la puissance par unité de surface en fonction de l'intensité. Soulignons que les mouvements ascendants et descendants de l'air peuvent modifier considérablement la vitesse terminale de chute des gouttes de pluie, et cela dans une mesure variable avec la dimension des gouttes. Par exemple, pour des valeurs de K égales à 0,24 ; 0,36 ; et 0,48, la puissance d'une pluie de 50 mm h⁻¹ vaudrait respectivement 0,452 W m^{-2} ; 0,246 W m^{-2} ; et 0,160 W m^{-2} .

Rappelons en outre que, pour une même intensité, le spectre des gouttes peut différer d'une averse à l'autre. Les valeurs de la puissance figurant au **Tableau 4** ne peuvent être considérées dès lors que comme des ordres de grandeur.

Tableau 4 puissance d'une pluie en fonction de l'intensité (averse de type convectif)							
Intensité (mm h⁻¹)	0,25	1	5	10	20	30	40
Puissance (W m⁻²)	0,34×10⁻³	0,241×10⁻²	0,155×10⁻¹	0,344×10⁻¹	0,854×10⁻¹	0,136	0,19
Intensité (mm h⁻¹)	50	60	70	80	90	100	
Puissance (W m⁻²)	0,246	0,304	0,363	0,424	0,485	0,548	

ANNEXE 3 : PROPRIETES PHYSIQUES DES BLT

Les propriétés physiques

1. La masse volumique apparente

Définition: C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105 ± 5 °C, notée γ et exprimée en (gr/cm^3 ; kg/m^3 ; T/m^3).

Détermination:

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la masse volumique apparente des matériaux de construction selon leur dimension et leur dispersion. Dans notre cas présent on considère nos blocs comme des matériaux qui n'ont pas de forme géométrique.

La détermination de la masse volumique apparente des matériaux avec cette forme peut se faire de façon indirecte. Dans ce cas, les échantillons étudiés doivent être enrobés de paraffine afin d'être protégés de la pénétration de l'eau, ensuite on va les peser dans l'eau. Mais à défaut de paraffine nous allons saturer les blocs.

Pour déterminer la masse volumique des matériaux de ce type on a:

M_s - Masse sèche d'échantillon (g)

V_L - volume d'eau déplacée

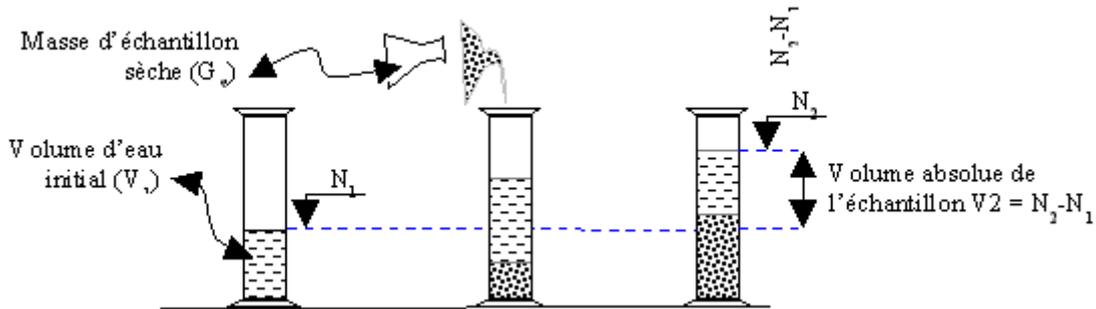
$$\gamma = \frac{M_s}{V_L} \quad \text{Après calcul on trouve } \gamma = 2211,66 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

2. La masse volumique absolue

Définition: C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, notée ρ et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou T/m^3).

Détermination:

Si les matériaux étudiés sont poreux, on doit les concasser et les broyer jusqu'à ce que la dimension des grains de matériaux (l'échantillon) devienne inférieure à 0,2 mm. Ceci afin d'éliminer les pores et les vides existants dans les matériaux. Ensuite, on verse l'échantillon dans un récipient, qui contient de l'eau pour pouvoir déterminer la masse volumique absolue (Voir la figure ci-dessous)



Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau

<p>Volume d'eau initiale</p>	<p>Volume d'eau + la masse de l'échantillon</p>

D'abord on va remplir le volumétre d'eau (N_1), ensuite on verse l'échantillon sec dans le volumétre et le niveau de l'eau va augmenter (N_2). La différence entre le niveau N_1 et N_2 est le volume absolu de l'échantillon. La masse volumique absolue peut se calculer:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{N_2 - N_1}$$

On trouve $\gamma_s = 3156 \text{ kg/m}^3$

3. Poids spécifique au pycnomètre à air

Le poids spécifique est le rapport du poids d'un corps à celui d'un égal volume d'eau. Il est parfois appelé "densité relative" ou "masse volumique". Tandis qu'en réalité, le poids spécifique désigne le poids par unité de volume, la densité relative est une valeur relative qui indique le nombre de fois qu'un matériau est plus lourd que l'eau, la masse volumique, par contre représente la quantité de matière par unité de volume. Toutefois, ces trois notions sont liées par des relations mathématiques permettant de passer de l'une à l'autre, d'où l'utilisation de l'une ou l'autre expression :

$$w = \rho \times g = d \times \rho_e \times g \quad \text{avec } w = \text{poids spécifique ;}$$

ρ = masse volumique du matériau ; g = accélération de la pesanteur ; d = densité spécifique du matériau ; ρ_e = masse volumique de l'eau.



Photographie x : Le pycnomètre à air.

La détermination du poids spécifique implique la prise en compte de toutes les porosités ; c'est ainsi qu'elle s'effectue sur de la poudre (latérite non indurée). Elle s'est faite à l'aide du pycnomètre à air.

Client :			Norme opératoire : - Voir fiche constructeur -					
Chantier :			Provenance (Forage/puit, échantillon n°, profondeur, ..) :					
Opérateur : YAYA Saleh, Mmadi Hassanati			DANO					
Date et heure début essai : 02/05/2010								
<p>A noter :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 mWs = 0,1 bar, - V_{lu} doit être supérieur à 600 cm³ ; sinon ajouter un volume d'eau d'environ 300 cm³, - La pression de démarrage de l'essai est, par convention, de 23mWs (pression de départ de la chambre), - L'étalonnage de pycnomètre ETSHER n° 96/01, donne la relation suivante entre \bar{P}' et V_{lu} : <p style="margin-top: 20px;">- La présente feuille Excel tiend compte pour les calculs de cet étalonnage.</p>								
Valeur à saisir \bar{P}'			$V_{lu} = \left(\frac{\bar{P}' - 4,4174}{\bar{P}' - 1} \right) \cdot 1\,214,7465$					
Remarques								
N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm ³)	Pression finale (P') cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur V_{lu} (cm ³)	y_s (KN/m ³)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	\bar{P}' , moyenne (mWs)		
E01	928 g	360 cm ³	8,45	8,30	8,28	8,34	649 cm ³	32,1 KN/m ³
E02	657 g	380 cm ³	7,60	7,65	7,60	7,62	587 cm ³	31,7 KN/m ³

4. La porosité, compacité, Indice de vide et teneur en eau

Porosité:

La porosité est le rapport du volume vide au volume total.

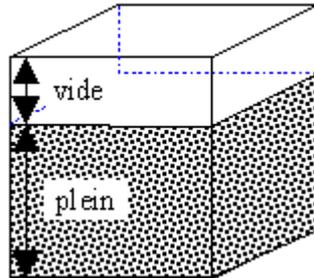


Fig 1.2: Volume quelconque

On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

$$\eta = \frac{\text{volume de vide}}{\text{volume total}}$$

Compacité:

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total.

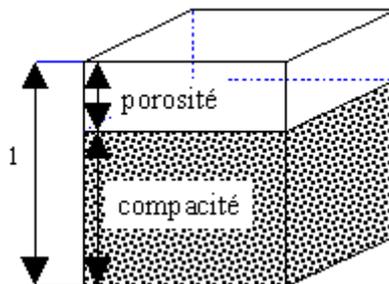


Fig 1.3: Volume initiale

Ou volume des pleins par unité de volume apparent.

$$c = \frac{\text{volume de plein}}{\text{volume total}}$$

La porosité et la compacité sont liées par relation:

$$c + \eta = 1$$

Porosité et compacité:

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 100%. En effet:

$$\eta + c = \frac{\text{volume de vide}}{\text{volume total}} + \frac{\text{volume de plein}}{\text{volume total}} = \frac{\text{volume total}}{\text{volume total}} = 1$$

Si l'on connaît la masse volumique γ et la masse spécifique γ_s d'un matériau, il est aisé de calculer sa compacité et porosité.

$$c = \frac{\text{volume de plein}}{\text{volume total}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparent}}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparent}}} \times \frac{M}{M} = \frac{M}{V_{\text{apparent}}} \times \left(\frac{1}{\frac{M}{V_{\text{absolu}}}} \right) = \frac{\gamma}{\gamma_s}$$

$$c \% = 100 \times \frac{\gamma}{\gamma_s}$$

D'où

$$\eta \% = 100 \times \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s} \right)$$

$$\text{Indice de vide } e = \frac{\eta}{1-\eta} = \frac{\eta}{c}$$

Teneur en eau

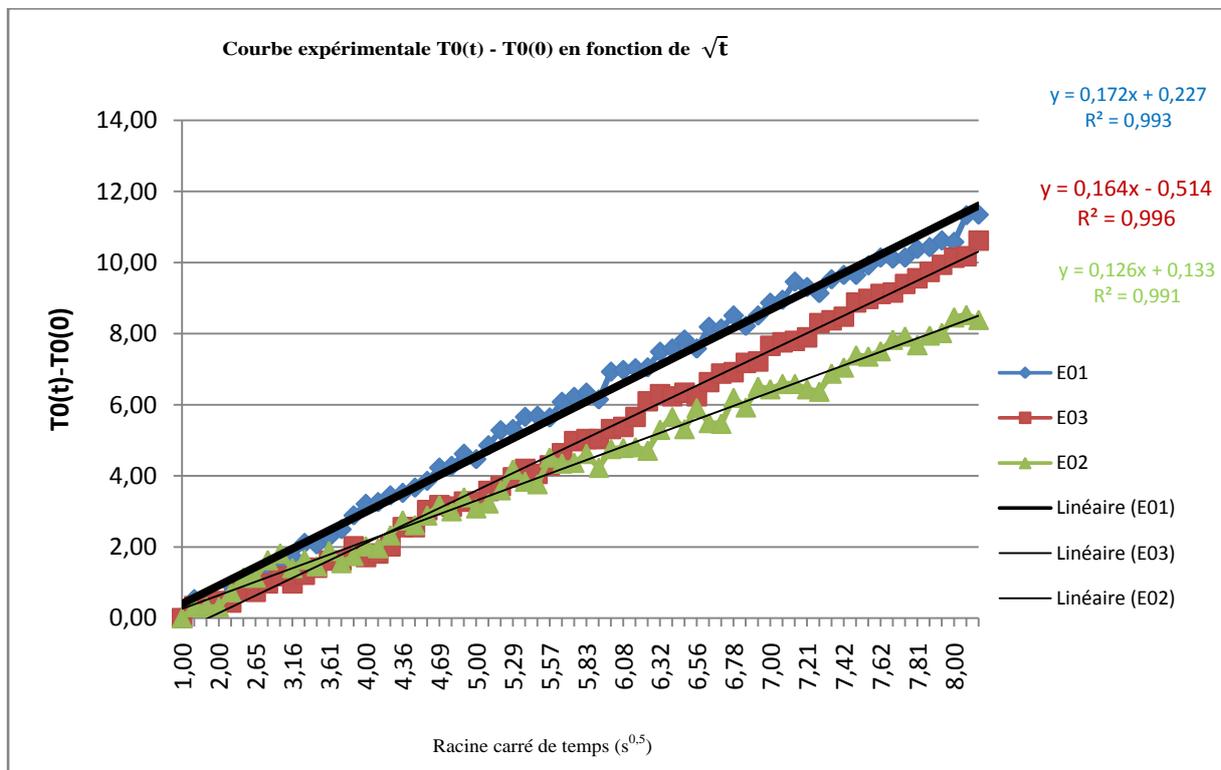
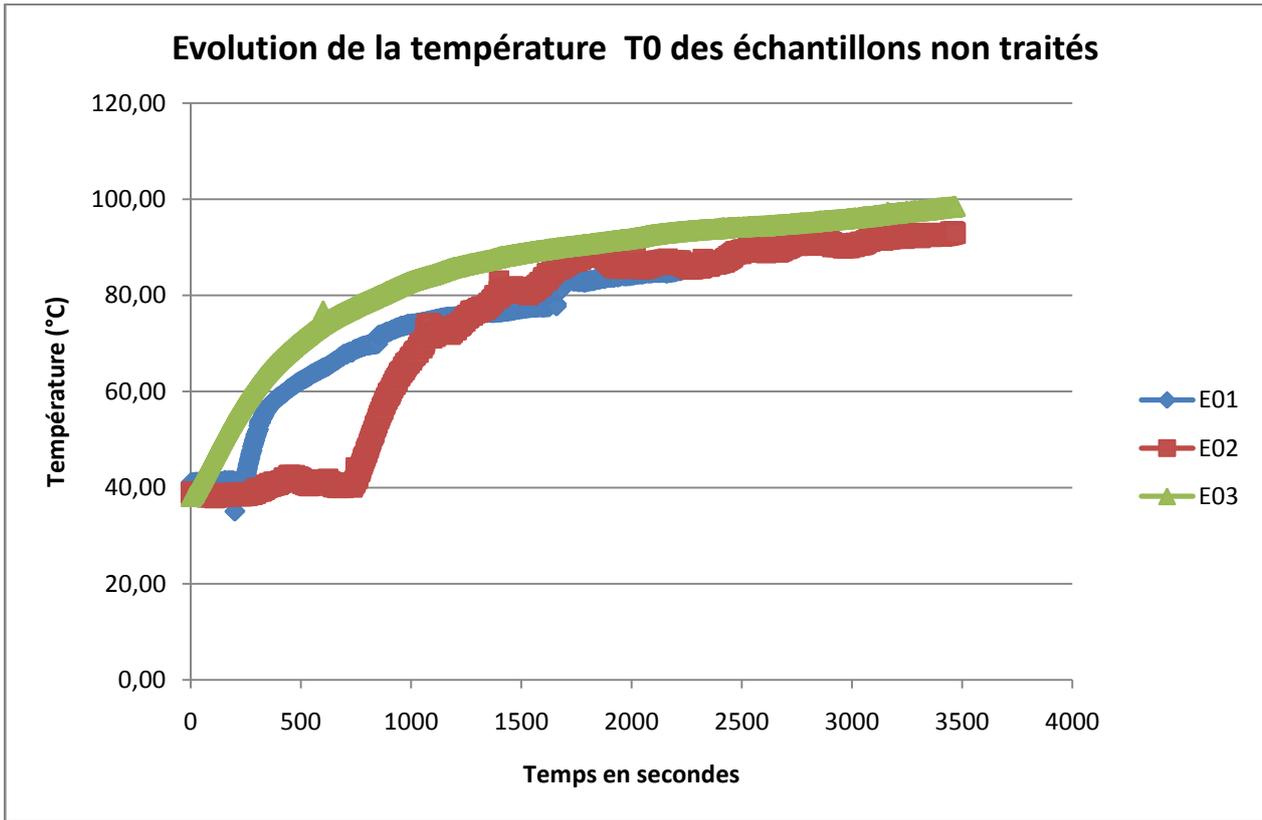
$$\text{Teneur en eau } w = \frac{\text{masse de l'eau}}{\text{masse totale sec}}$$

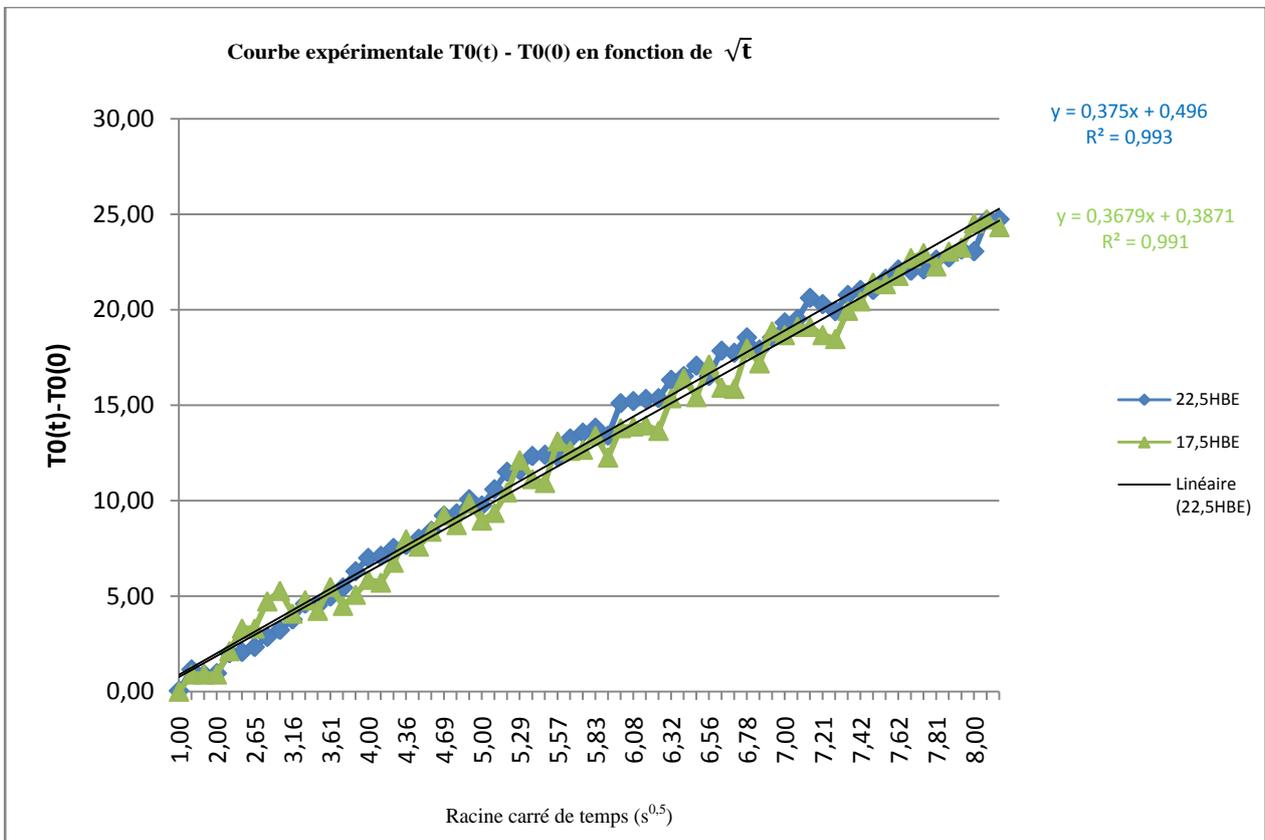
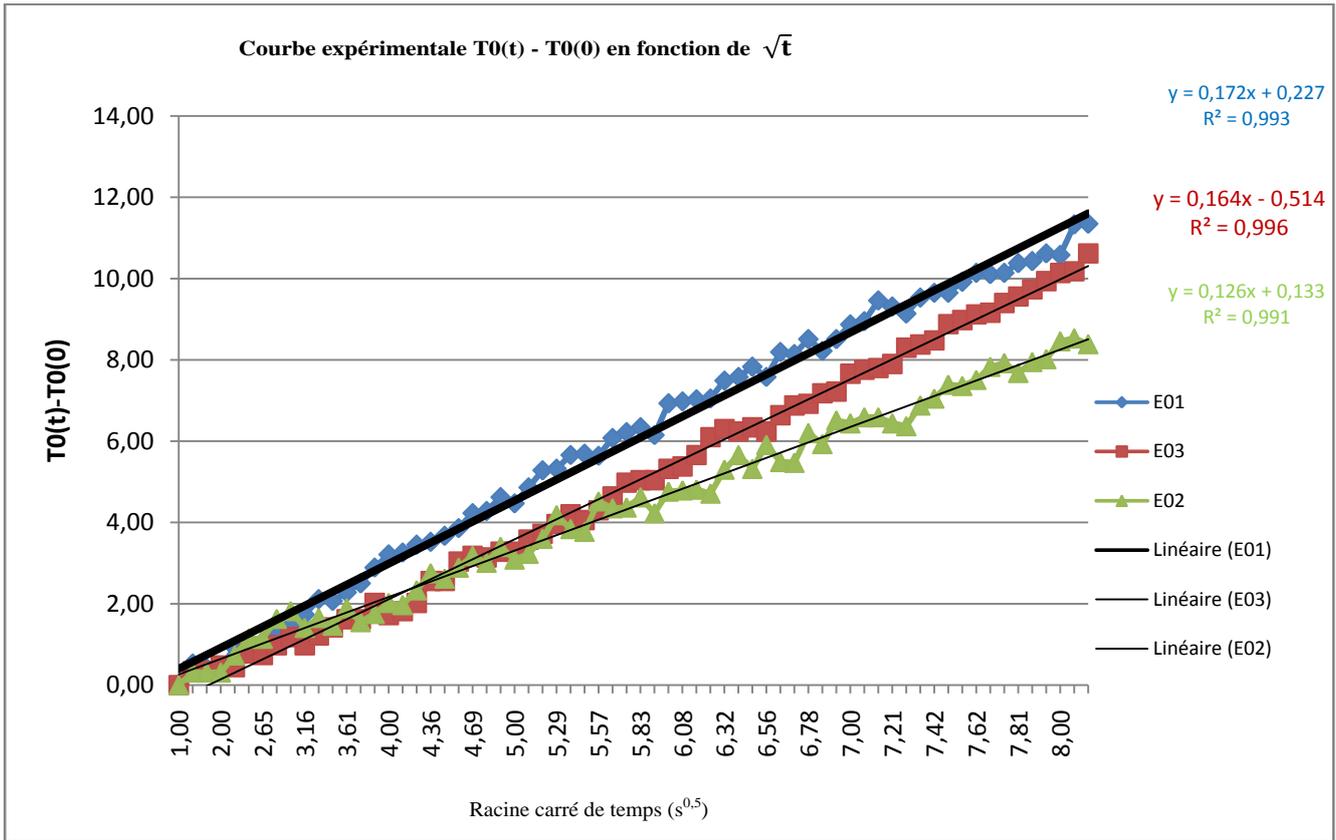
On a déterminé la teneur en eau de deux échantillons puis on a pris la moyenne comme la teneur en teneur de nos blocs.

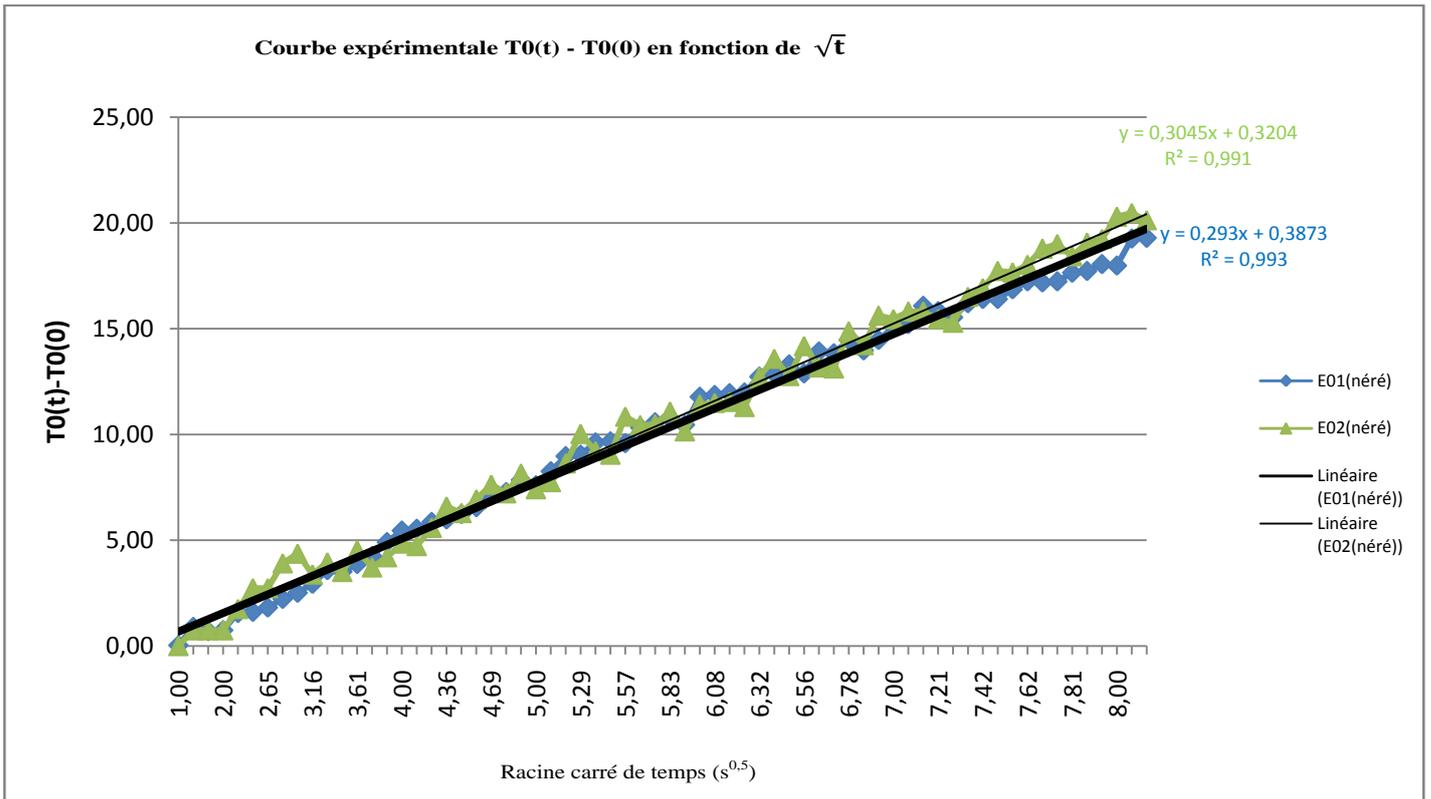
Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Poids volume apparent γ (KN/m ³)	22,12
Poids volume absolu γ_s (KN/m ³)	31,56
Porosité η (%)	29,92
Compacité c (%)	70,08
Indice de vide e (%)	42,69
Teneur en eau w (%)	2,27

ANNEXE 4 : GRAPHES SUR LES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES







ANNEXE 5 : RESISTANCE EN COMPRESSION DES BLT

RESISTANCE DES ECHANTILLONS DES DIFFERENTES DIMENSIONS					
Echantillons	Charge de rupture (kN)	Charge corrigée (kN)	Résistance (Mpa)	Masse (kg)	Mv bloc (kg/m ³)
40x20x15	121,59	121,62	2,03	24,90	20,75
30x20x15	165,18	165,21	3,67	20,75	23,06
20x20x15	143,75	143,78	4,79	13,35	22,25
15x20x15	157,69	157,72	5,26	6,85	15,22
15x15x15	101,66	101,69	4,52	2,55	12,75
10x10x10	59,79	59,82	5,98	3,55	17,75

RESISTANCE DES ECHANTILLONS TEMOINS								
Echantillons	Charge de rupture (kN)	Charge corrigée (kN)	Résistance (Mpa)	Résistance moyenne (Mpa)	Ecart-type	Dispersion	Masse (kg)	Mv bloc (kg/m ³)
E01	49,24	49,27	2,19	4,05	0,990	27,622	6,63	19,63
E02	101,66	101,69	4,52				8,25	24,44
E03	83,87	83,90	3,73				8,55	25,33
E04	87,80	87,83	3,90				6,85	20,30

RESISTANCE DES ECHANTILLONS IMBIBES								
Echantillon	Charge de rupture (kN)	Charge corrigée (kN)	Résistance (Mpa)	Résistance moyenne (Mpa)	Ecart-type	Dispersion	Masse (kg)	taux d'absorption (%)
E01	17,25	17,28	0,77	2,91	1,297	54,656	8,63	6,43
E02	48,56	48,59	2,16				8,00	3,75
E03	59,89	59,92	2,66				8,94	3,35
E04	87,80	87,83	3,90				8,87	4,45

RESISTANCE DES ECHANTILLONS TRAITES AU NERE ET AU CRAPAUD								
Echantillons	Charge de rupture (kN)	Charge corrigée (kN)	Résistance (Mpa)	Résistance moyenne (Mpa)	Ecart-type	Dispersion	Masse (kg)	Mv bloc (kg/m ³)
E01 (Néré)	117,77	117,80	5,92	5,83	0,442	7,580	8,95	26,52
E02 (Néré)	104,48	104,51	6,22				6,95	20,59
E03 (Néré)	106,38	106,41	5,35				8,95	26,52
E04 (Crapaud)	108,46	108,49	5,37				9,15	27,11

ANNEXE 5 : PHOTOS

Blocs de latérite taillée des dimensions : 15×15×15 cm



Le débiteur entrainé de découper les blocs



Le finisseur entrainé de tailler les blocs à des dimensions spécifiques



La plante *Cissus populnea*

