



ETUDES COMPARATIVES DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET MECANIQUES DES BLOCS DE LATERITE TAILLEE (BLT) DE LA REGION DU SUD- OUEST (BURKINA FASO)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 22 Janvier 2018 par

Nebnoma Hassane Clauvis SAVADOGO

Travaux dirigés par : **Adamah MESSAN, Maître de Conférence**
Abdou LAWANE GANA, Maître Assistant
Moussa LO, Ingénieur

Enseignants-Chercheurs à la Fondation 2iE
Laboratoire Eco-Matériaux de Construction
(LEMC)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. David Latifou BELLO

Membres et correcteurs : Mme. Marie Thérèse MBENGUE

Mr. Issa MADOUGOU

Promotion [2017/2018]

DEDICACE



A mes parents

*Aucune dédicace ne saurait exprimer
mon respect, mon amour éternel et ma
considération pour les sacrifices que
vous avez consenti pour mon instruction
et mon bien être.*

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce stage pour l'obtention du diplôme d'ingénieur, il nous tient à cœur de remercier vivement tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail. Nous remercions particulièrement pour leur disponibilité, les conseils et efforts consentis à notre égard tout au long de notre stage pratique, les personnes qui suivent :

Dr. Adamah MESSAN, Maître de Conférences, Responsable du Laboratoire Eco-Matériaux de Construction ; Dr. Abdou LAWANE GANA, Maître Assistant, Enseignant chercheur à 2iE ; Mr Moussa LO, Ingénieur, Enseignant à 2iE qui m'ont proposé ce stage et m'ont initié à la recherche. Leurs rigueurs scientifiques, disponibilités, esprit de travail conseils ont contribué à l'accroissement de ma culture scientifique. Je ne saurais leur montrer toute ma gratitude ;

Dr. Seick Omar SORE, Mme Marie Thérèse Marame MBENGUE Mr. Salif KABORE et Mr. Amidou ALAZA, ainsi que tout le personnel du LEMC pour leurs assistances et leurs aides inestimables.

A mes camarades du laboratoire, Maliki DJENDJEME, Marcelle KOUAME TEGUI, Stanilas SAWADOGO, Sylvain RAMDE mais aussi au groupe VERITAS comptant Damien DUSSEY, Enoch TOE, Junior KABORE, Salomon ZOUNGRANA, pour leur aide, l'ambiance de collaboration et d'apprentissage.

Enfin, je témoigne toute ma sympathie à mes promotionnaires du Cycle Master GCH/ROA 2016-2018 qui d'une manière inestimable, m'ont soutenu.

RESUME

Les latérites sont l'un des matériaux les plus utilisés dans le génie civil (route et bâtiment etc.) en Afrique tropicale depuis des siècles. Les Blocs de Latérite Taillée (BLT) issus des carrières latéritiques sont utilisés en bâtiment pour réaliser des murs de remplissage ou des murs porteurs mais quelquefois en murs de soutènement et éléments de maçonnerie des ponts. L'utilisation de BLT dans le bâtiment doit en toute rigueur obéir à des règles ; règles qui sont en cours de formulation au Burkina dans le but d'une valorisation des matériaux locaux de construction. Ce présent mémoire se donne pour objectif de faire une étude comparative des caractéristiques des BLT de la région du Sud-Ouest du Burkina. A travers une étude minéralogique nous avons eu la composition chimique des BLT ;elles contiennent en majorité du silice (SiO_2), l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) et de l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La caractérisation physique nous montre que la porosité des BLT est élevée (environ 35% en moyenne) ce qui peut être un avantage en isolation thermique des bâtiments mais participe à la fragilisation des BLT quand on parle de résistance de structure. Une étude des absorption d'eau nous montre que les BLT seaturent au bout de 5 jours avec un coefficient d'absorption capillaire compris entre 5,82 et 8,02 kg/m^2 et un coefficient de saturation 14 à 20 %. La qualité première d'un matériau de construction est sa résistance en compression. La caractérisation mécanique nous montre que nous pouvons utiliser les BLT de Diébougou et Dano (4 -7m et 9-11m) qui ont une contrainte de compression moyenne de 4,65 MPa dans la construction selon le CRATerre (4 MPa) et les normes indiennes IS :3620-1979, 1998 (3,5 MPa), en revanche toutes les autres couches étudiées (Dano :1,5-4m 7-9m ; Gaoua) donnent une moyenne de 2,85 MPa, Il y'a nécessité d'améliorer leurs performances avant l'emploi.

Mots Clés :

-
- 1 - Blocs de latérite Taillée (BLT)
 - 2 – Caractérisation Physico-Chimique
 - 3 – Propriété Mécanique
 - 4 – Sud-Ouest du Burkina Faso

ABSTRACT

Laterites are one of the most used materials in civil engineering (road and building etc.) in tropical Africa for centuries. The Laterite Dimension Stones (LDS) from the lateritic quarries are used in building to make filling walls or load-bearing walls but sometimes in retaining walls and bricks masonry elements. The use of LDS in the building must strictly obey the rules; rules that are being formulated in Burkina for the purpose of valuing local building materials. This paper aims to make a comparative study of the characteristics of the LDS of the South-West region of Burkina Faso. Through a mineralogical study we have had the chemical composition of the LDS, which mainly contain silica (SiO_2), aluminum oxide (Al_2O_3) and iron oxide (Fe_2O_3). The physical characterization shows us that the porosity of the LDS is high (about 35% on average) which can be a good thing in thermal insulation of buildings but a bad thing when we talk about resistance of the structure. A water study shows that the LDS saturate after 5 days with a capillary absorption coefficient of between 5.82 and 8.02 kg/m^2 and a saturation coefficient of 14 to 20%. The prime quality of a building material is its compressive strength. The mechanical characterization shows us that we can use the Diébougou and Dano LDS (4-7m and 9-11m) which have a compressive stress of 3,32 to 5,58 MPa in the construction according to the CRATerre and the Indian norms (IS :3620-1979, 1998), on the other hand all other layers (Dano : 1.5-4m 7-9m, Gaoua) constrained from 2.07 to 2.96 require an improvement in their performances before use.

Key words:

-
- 1 - Laterite Dimension Stones (LDS)**
 - 2 - Physico-chemical characterization**
 - 3 - Mechanical property**
 - 4 – Southwest Burkina Faso**

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de normalisation
AFPC : Association Française des Pôles de Compétitivité
BLT : Blocs de latérite Taillée
BM : Banque Mondiale
BTC : Blocs de Terre Comprimée
BTP : Bâtiment Travaux Publics
BUMIGEB : Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso
CCTA : Commission coopération technique en Afrique au sud du Sahara
CRATerre : Centre de Recherche et d'Application en Terre
DGAHC : Direction Générale de l'Architecture, de l'Habitat et de la Construction
DGPC : direction générale des pôles de croissance et de l'appui
DRX : Diffractométrie de Rayon X
EN : Norme Européenne
ENA : Enquête nationale sur l'accès des ménages aux ouvrages d'assainissement
FMI : Fonds Monétaire International
HIMO : Haute Intensité de Main d'œuvre
ICDD : The International Centre for Diffraction Data
LBS : The laterite Dimension Stones
LOCOMAT : Projet de Promotion de l'Utilisation des Matériaux Locaux
MUH : Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat
PNH DU : d'une Politique Nationale de l'Habitat et du Développement Urbain
RGPH : Recensement général de la population et de l'habitation

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES CARTES	viii
LISTE DES GRAPHIQUES	viii
LISTE DES IMAGES	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES	3
Introduction.....	3
I.1 La latérite.....	3
I.1.1 Définition des latérites	3
I.1.2 Processus de latérisation.....	5
I.1.2.1 Le climat.....	5
I.1.2.2 La topographie.....	6
I.1.2.3 La végétation	6
I.1.2.4 La roche-mère.....	6
I.1.3 Les différentes composantes des massifs latéritiques.....	7
I.1.4 Les formations latéritiques	8
I.1.4.1 Répartition à travers le monde	8
I.1.4.2 Répartition au Burkina Faso	9
I.2 Les Blocs de Latérite Taillée (BLT)	11
I.2.1 Historique de l'utilisation BLT au Burkina Faso	11
I.2.2 Mode d'extraction des BLT	12
I.2.2.1 Exploitation artisanale	12
I.2.2.2 Exploitation mécanisée.....	12
I.2.3 Mode d'utilisation des BLT	13
I.2.3.1 Les contraintes dues à l'utilisation du BLT au Burkina	13
I.2.3.2 Les règles d'utilisation des latérites.....	14
I.2.3.3 Réalisation en Blocs de Latérite	15
I.3 Les parpaings de ciment	15
Conclusion	17
CHAPITRE II : MATERIELS ET PROCEDURE EXPERIMENTALE.....	18
Introduction.....	18
II.1 Matériels	18
II.1.1 Présentation de la région du Sud-Ouest.....	18
II.1.2 Présentation des carrières étudiées	19
II.1.2.1 La Carrière de Dano	19
II.1.2.2 La carrière de Diébougou	19

II.1.2.3	La carrière de Gaoua	19
II.2	Procédures expérimentales	20
II.2.1	Caractérisation Chimique	20
II.2.2	Caractéristiques physiques	21
II.2.2.1	Porosité accessible à l'eau des BLT	21
II.2.2.2	Détermination du poids spécifique du matériau	22
II.2.3	Caractéristiques hydriques (Essais d'absorption d'eau)	23
II.2.3.1	Absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique	23
II.2.3.2	Absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique	24
II.2.4	Caractéristiques mécaniques	25
II.2.4.1	Résistance à la compression	25
II.2.4.2	Résistance à la flexion sous charge centrée	26
CHAPITRE III :	RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
III.1	Caractérisation chimique	29
III.2	Caractéristiques physiques.....	30
III.2.1	Porosité accessible à eau	30
III.2.2	Poids spécifique	33
III.3	Caractéristiques hydriques (Essais d'absorption d'eau)	33
III.3.1	Absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique	34
III.3.2	Absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique	35
III.4	Caractéristiques mécaniques.....	37
III.4.1	Résistance en compression	38
III.4.2	Résistance en flexion	40
Conclusion		42
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES		43
BIBLIOGRAPHIE		45
IV. ANNEXES		49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les critères pouvant faire l'objet d'une première normalisation	14
Tableau 2 : Résistance des parpaings de béton	16
Tableau 3 : Résultats compression Parpaing artisanale	17
Tableau 4: Composition chimique des carrières	29
Tableau 5 : Masse volumique apparente en gcm³	31
Tableau 6 : Porosité accessible à l'eau en %.....	31
Tableau 7 : Poids spécifique des échantillons de Dano en kN/m^3	33
Tableau 9: Absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique en kg/m^2	36
Tableau 10 : Classement hydrique des couches.....	37
Tableau 11 : Récapitulatif des résultats de résistance en compression des BLT en MPa.....	38
Tableau 12 : Récapitulatif des résultats de résistance en flexion des BLT en MPa.....	40
Tableau 13 : Classement mécanique des échantillons en MPa.....	42

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Schémas de répartition des couvertures latéritiques à la surface du globe.....	9
Carte 2: Carte géologique du Burkina Faso.....	9
Carte 3 : Carte géologique et minière du Burkina Faso.....	10
Carte 4 : Situation géographique des localités de la régions du Sud-Ouest.....	19
Carte 5 : Carte géologique des localités Dano, Diébougou et Gaoua.....	20

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 :Composition chimique des carrières	29
Graphique 2: Masse volumique apparente des couche de Dano en gcm³	31
Graphique 3 : Porosité accessible des couches de Dano en %.....	31
Graphique 4 : Récapitulatif absorption par immersion en %.....	34
Graphique 5: Comparaison des Coefficients d'absorption des carrières	36
Graphique 6 : Résistance en compression des échantillons de Dano selon la profondeur.....	38
Graphique 7: Résistance en flexion de Dano selon la profondeur.....	40

LISTE DES IMAGES

Image 1 : Coupe géologique d'une formation latéritique.....	8
Image 2 : Exploitation artisanale sur carrière de Dano.....	12
Image 3: Exploitation mécanisée de Diébougou.....	13
Image 4 : Ruines de Loropéni (Gaoua; Burkina).....	15
Image 5 : Cathédrale de Koudougou, Burkina, 1939,	15
Image 7 : Hôtel de ville de Dano	15
Image 8 : Ecole Primaire de Dano	15
Image 8 : Appareil XOLympus Delta pour DRX.....	21
Image 9 :Aperçu sur le dispositif de détermination de la porosité accessible à l'eau	22
Image 10 : pycnomètre à air	22
Image 11 : Aperçu du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau des BLT	23
Image 12 : Dispositif d'immersion et aperçu sur la remontée capillaire des échantillons de Diébougou.....	25
Image 13 : Dispositif de résistance en compression	25
Image 14: Aperçu sur le dispositif de résistance à la flexion sous charge centrée	27
Image 15 : Aperçue sur les 3 couches de Dano	39
Image 16 : Schéma du développement durable.....	52

INTRODUCTION GENERALE

Tous les Burkinabè, quel que soit leur rang social, aspirent à un toit décent. Selon le Recensement général de la population et de l'habitation 2006 ([RGPH, 2006](#)), La population burkinabè croît à un rythme de plus 3,4 % l'an et va atteindre une vingtaine de millions d'habitants à l'horizon 2025. L'explosion démographique au Burkina s'accompagne d'une urbanisation effrénée et décosue, posant dans le sillage un problème crucial, celui de l'accès à un logement décent pour des plus démunis.

Face aux difficultés d'ordre économique et sociale que rencontre le pays, nombreux sont ceux qui réclament une véritable promotion des ressources naturelles. En effet, la promotion de matériaux de construction dits « locaux » et des techniques appropriées peut être intéressante dans le cas du Burkina Faso pour les raisons suivantes :

- Lutter contre la pauvreté par la création d'emplois générés par les activités de la construction à faible coût ;
- Répondre à la demande d'habitat par la production des matériaux de construction à faible coût ;
- Lutter contre la précarité de l'habitat par le renforcement des compétences et l'amélioration des produits.

Parmi ces matériaux locaux, on distingue les latérites qui recouvrent une grande partie du pays (2/3) ([Wyss, 2005](#)). Cette ressource est utilisée dans divers domaines du génie civil (Routes, Digue et Bâtiments). Les latérites meubles sont facilement exploitables ; elles sont utilisées pour la confection de mortier, des Blocs de Terre Comprimée (BTC) et des Tuiles. Les latérites indurées, plus difficile à exploiter, sont utilisées dans la maçonnerie (BLT), canalisation et remplissage. Les BLT sont utilisés dans la construction mais les connaissances actuelles sur celui-ci en tant que matériau de construction sont encore insuffisantes. Lorsque la qualité de ce matériau est évoquée, la question aussitôt posée concerne généralement sa résistance, sa stabilité ou la qualité des ouvrages construits avec celui-ci. Il y a donc nécessité de créer un répertoire, une base de données sur les BLT et de réglementer l'utilisation de cette ressource.

Dans le domaine de l'habitat, des efforts sont engagés par l'Etat à travers le Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat (MUH), pour élaborer une Politique Nationale de l'Habitat et du Développement Urbain (PNH DU) assortie d'un plan d'actions (2009-2018) qui fait une place importante à la promotion des matériaux locaux de construction.

Le programme « 10.000 logements sociaux et économiques » du MUH et les projets de promotion et de vulgarisation des matériaux locaux de construction au Burkina Faso (LOCOMAT) devrait constituer des atouts institutionnels et techniques importants dans le processus de mise en œuvre de la PNHDU notamment dans la promotion des matériaux appropriés. Notons que le PNHDU est actuellement en cours de relecture. Le coût très élevé de la main d'œuvre et des matériaux de construction a amené les acteurs du bâtiment (Architectes, techniciens, formateurs, entreprises, ouvriers etc.), à se pencher vers des techniques de construction qui utilisent et valorisent nos ressources locales telle que la latérite.

C'est ainsi que le MUH à travers la Direction Générale de l'Architecture, de l'Habitat et de la Construction (DGAHC) dans sa mission de promotion de matériaux appropriés entend par une démarche participative organiser le secteur des Blocs de Latérite Taillée (BLT). Ce qui permettra l'élaboration d'un avant-projet de codification des BLT au Burkina Faso (pour leur intégration dans tous les projets de bâtiments) afin aboutir à sa normalisation.

L'objectif visé par ce travail, est de faire une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des BLT de la région du Sud-Ouest du Burkina Faso cela en vue de l'élaboration d'un avant-projet de codification des BLT au Burkina Faso, qui contribuerait à une stratégie et un plan de promotion et d'exploitation. Il s'agit spécifiquement de déterminer les caractéristiques : Chimiques et Minéralogiques, Physiques, Hydriques et Mécaniques du matériau BLT. Toutes ces caractéristiques nous permettront d'émettre des conclusions sur les BLT produits dans la région du Sud-Ouest du Burkina Faso.

Pour mener à bien cette étude, notre travail sera structuré de la manière suivante :

- Faire un état des lieux de l'utilisation de la latérite à travers une recherche bibliographique ;
- Présenter les matériaux et méthodes que nous utiliserons en vue de déterminer les caractéristiques chimiques et minéralogiques, physiques, hydriques et mécaniques des BLT ;
- Présenter et discuter les résultats des essais, ainsi que la comparaison
- Faire une conclusion, des recommandations et des perspectives sur les BLT

CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Introduction

La bibliographie actuelle sur la construction en terre est vaste et un grand nombre de document traitent particulièrement des problèmes relatifs à l'utilisation des latérites. Mais la plupart de ces documents sont très difficile à acquérir. La géologie des formations latéritiques, la composition chimique, les techniques architecturales, les techniques de mise en œuvre, les origines historiques des patrimoines en latérite sont les domaines les mieux traités. Cependant, les recherches sur l'identification et la caractérisation des latérites (BLT) en vue d'une normalisation pour la construction restent limitées.

I.1 La latérite

I.1.1 Définition des latérites

Le terme « latérite » vient du latin « later » qui signifie « brique » ; c'est une roche rouge ou brune. Le terme « latérite » a été utilisé, au tout début du XIXe siècle, précisément en 1807, par un Ecossais du nom de Francis Buchanan-Hamilton pour désigner un matériau servant à la construction, exploité dans les régions montagneuses de Malabar (Inde). [Buchanan \(1807\)](#) indique que « ce matériau a l'aspect d'un dépôt ferrugineux à morphologie vésiculaire. Il est apparemment non stratifié et se situe à faible profondeur dans les sols. Lorsqu'il est frais, il peut être facilement découpé en blocs réguliers à l'aide d'un instrument tranchant. Exposé à l'air, il 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). Ce terme a ensuite servi à qualifier tout matériau rouge se formant en pays tropical. Mais, au fil du temps, plusieurs définitions ont été données au terme « latérite » rendant ainsi difficile sa compréhension. On est ainsi passé d'une définition liée à la morphologie à une définition liée à la pédologie en passant par une définition minéralogique.

Pour [Neustruev \(cité par Lacroix 1913\)](#) une latérite doit contenir plus de 86% de Fe_2O_3 . [Fermor \(1911\)](#) lui porte cette limite à 90%, bien qu'il signale que les constituants des latérites sont des oxydes de fer, d'aluminium, de titane et de manganèse. Mais la présence d'oxyde de fer reste obligatoire. Cet avis de la définition de la latérite selon sa teneur en oxyde n'est pas partagé par les pédologues.

En effet tous les pédologues à l'image de [Slansky et al. \(1964\)](#) emploient le mot « latérite » dans le sens très général d'« ensemble des produits d'altération de la zone intertropicale ».

Le mot latérite couvre alors selon eux des aspects très variés de la pédogenèse tropicale et a une trop grande généralité. Pour [Guerassimov \(1962\)](#) le terme englobe l'ensemble des sols des régions intertropicales. Aussi, bon nombre d'entre eux pour éliminer tout risque de confusion, cherchent à éliminer le terme latérisation. [Sirivonvor \(1930\)](#), [Vine \(1949\)](#), [G.W. Robinson \(1949\)](#) remplacent « latérisation » par le mot connotatif « ferrallitisation » qui évoque le fait que les accumulations alumineuses vont le plus souvent de pair avec des accumulations à dominante ferrique, [Bohelo Da Costa](#) qui abonde 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 élevée.

[Alexander et Cady \(1962\)](#) quant à eux 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.

Aussi à la définition de [Walther \(1989\)](#) : « qui ressemble aux briques » du fait de la couleur rouge qui est comparable à celle des briques des régions tropicales s'oppose celle de [T. R. PATON and M. A. J. Williams \(1972\)](#) qui estiment que le climat tropical n'est pas une donnée « essentielle dans la formation des latérites » et que cette vue trop « simpliste de la corrélation entre le type du sol et le climat est due en grande partie à la confusion née de la définition de la latérite et de sa formation ». Il faut noter que [Walther \(1989\)](#) a proposé 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.

Dans la littérature récente, la latérite « rocheuse » ou « indurée » qui fait l'objet de notre étude, a été définie comme étant le produit d'une altération intense subaérienne dans laquelle les teneurs des composés de fer et d'aluminium sont supérieures à celles des composés siliceux. Elle est composée essentiellement d'un ensemble des minéraux tels que la goethite, l'hématite, les hydroxydes d'aluminium, la kaolinite et le quartz ([Schellmann, 1986](#)).

Retenons un sens plus large qui est admis et désigne « la latérite » comme l'ensemble des matériaux, meubles ou indurés, riches en hydroxydes de fer ou d'alumine, constituant des sols des horizons superficiels et des horizons profonds des profils d'altération.

I.1.2 Processus de latérisation

Le processus de latérisation est le phénomène qui engendre la latérite. Plusieurs théories tentent d'expliquer la genèse de ce matériau, On a :

- *La théorie des résidus*, le développement de la latérite se fait sur une roche mère saine après une très longue période d'altération et d'exposition à un climat aride (Nécessite une très grande quantité de roche). Cette théorie est la plus reconnue.
- *La théorie des horizons de sol* qui consiste en la précipitation directe au-dessus de la zone de fluctuation de la nappe d'eau. Cependant, cette théorie n'explique pas le cas des latérites très épaisses ;
- *La théorie des dépôts* consiste en un dépôt de fer et d'aluminium à partir d'ions en solution. Elle n'explique pas le cas des latérites massives ;
- *La théorie des nappes influencées par les conditions de surface* consiste en l'altération de la roche mère, du fait d'eaux acides issues de marécages, ou enrichies en acides organiques.

La vérité serait une conjonction de ces théories, jouant chacune à plus ou moins grande importance. Ainsi nous pourrions dire que le phénomène de la latérisation est un processus de formation des sols spécifiques aux régions tropicales chaudes et humides. Il s'agit d'une altération de la roche mère dont la caractéristique essentielle réside dans la mise en solution puis le départ de la silice. Ce phénomène de lessivage s'accompagne d'un enrichissement en fer et en aluminium sous forme d'oxyde Fe_2O_3 et Al_2O_3 . En conclusion, certains facteurs ont une influence prépondérante sur l'altération des roches et la formation des sols latéritiques qui en découlent. Ces facteurs font l'unanimité entre les chercheurs et ont été résumés par (De Graft-Johnson et Bhatia, 1969). Ce sont des conditions liées :

I.1.2.1 Le climat

Le climat est considéré comme le plus important des facteurs, qui influence le processus de formation des sols. Les climats tropicaux humides donnent lieu au genre d'altération qui est

essentielle à la formation des oxydes de fer et d'aluminium, ainsi qu'au lessivage de la silice soluble, qui sont caractéristiques des latérites et des sols latéritiques. L'influence du climat sur la formation des latérites est multiforme :

- La **température** intervient dans la réaction physique et chimique nécessaire à la formation des sols. [Maignien \(1966\)](#) remarque que la majorité des sols latéritiques contemporains se développent sous des températures moyennes annuelles qui avoisinent 25 °C, Il n'a cependant pas été possible d'établir un critère thermique définitif pour la formation des latérites.
- Les **précipitations** nécessaires à la formation des latérites relevées dans la bibliographie sont très variables. Cela se justifie par la présence de formation latéritique sur une grande étendue, étendue qui n'a pas la même pluviométrie. Mais toujours est-il que de l'eau en abondance sous forme de pluies est essentielle pour l'altération chimique en dessous des tropiques. Le rôle de l'eau étant surtout de lessiver le matériau. L'efficacité de son action dépend de la nature de la roche.

I.1.2.2 La topographie

Le relief conditionne le drainage et contrôle la vitesse des écoulements qui est aussi la vitesse de l'altération. Les différents auteurs ([Stephens C.G.](#) ; [Persons B.S.](#) ; [Bramao D.L.](#)) sont d'accord que la latérite durcie est habituellement associée avec des régions plates et avec des plateaux élevés ou ayant des ondulations douces, mais très rarement avec des pentes raides.

I.1.2.3 La végétation

On ne peut pas parler de sol et de climat sans parler du couvert végétal. C'est dans ce sens que [Gluka et Eshart](#), cités par [Maignien \(1966\)](#), soutiennent que la latérite ne peut se former que sous végétation forestière et que l'induration suivrait la disparition du couvert forestier. C'est ainsi que les latérites durcies sont plus répandues dans les régions de savane. Les formes nodulaires sont très courantes dans les régions forestières. [Alexander et Cady \(1962\)](#) ont noté le changement de la latérite molle en latérite durcie en Guinée, quelque temps après que la forêt fut coupée.

I.1.2.4 La roche-mère

Les résultats de recherches, faites à travers toute la terre, ont montré que l'on trouve des sols latéritiques sur différents types de roches. Elles ont été trouvées sur des roches basiques ignées, telles que les basaltes, les norites et les diabases, ainsi que sur des roches acides telles que les granites, les granulites, les gneiss, les phyllades et les schistes à séricite. [Stephens \(1946\)](#) et

Marbut (1932) ont noté des gîtes de sols latéritiques sur des schistes de grés et sur d'autres roches sédimentaires, y compris des roches calcaires, et sur des alluvions associées à des nappes phréatiques.

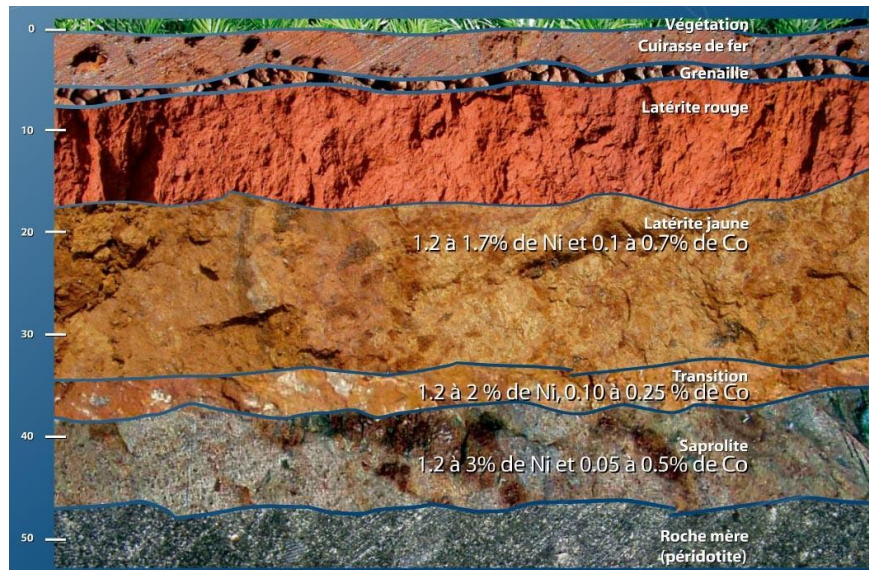
I.1.3 Les différentes composantes des massifs latéritiques

Les auteurs qui se sont intéressés à la géologie des zones tropicales (Leprun, 1979 ; Blot, 2004 ; Maignien, 1966b) décrivent un profil typique de latérite par des différents horizons qui sont représentés (Image 1), de la surface jusqu'à la roche-mère par:

- Une région riche en humus ;
- Une couche abondante de latérite grossière sans aucune stratification et résistance ;
- Une cuirasse et carapace qui est une formation massive à oxydes de fer et d'aluminium ; on y retrouve aussi du quartz et de la kaolinite
- Une couche de latérite avec une structure « vermiculaire » et avec une teneur plus élevée de kaolinite (latérite rouge ou jaune) ;
- Une couche de latérite tachetée ou bariolée à veines blanchâtres ou jaunes ; qui est une zone de transition saturée d'eau à quartz marquée par la dominance des minéraux secondaires d'altération
- Une zone riche en kaolinite (alors que les oxydes de fer sont plus abondants à la surface)
- Un niveau altéré de la roche-mère, quelquefois fracturée ;
- La roche-mère saine.

Plus on est haut dans le profil, plus le taux d'altération chimique est élevé et plus la présence d'argile est marquée. Les épaisseurs des profils ont des tailles variables.

Image 1 : Coupe géologique d'une formation latéritique



Source : <http://www.valeinco.nc/pages/geologie/plateau.htm>

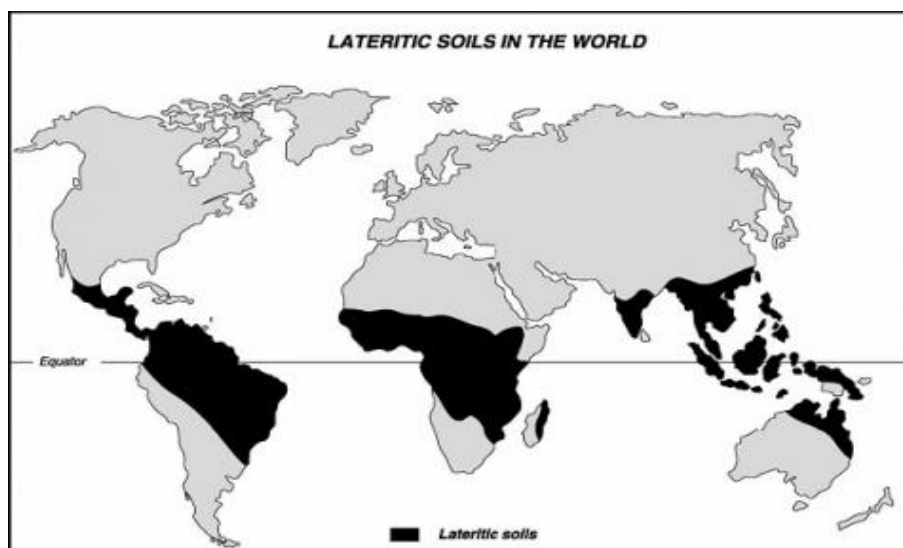
I.1.4 Les formations latéritiques

I.1.4.1 Répartition à travers le monde

Dans la plupart des littératures, il est signalé que les latérites sont très répandues dans le monde ; elles représenteraient 33 % des continents (Persons, 1970). On les retrouve particulièrement dans les zones intertropicales (Carte 1). Prescott et Pendleton (1952) ont tenté les premiers une synthèse mondiale sur la répartition des latérites. Depuis cette étude, de nombreuses prospections ont été effectuées, particulièrement en Afrique et en Amérique du Sud :

- Pour l'Afrique, on peut citer la carte des sols du Service pédologique Interafricain (de la Commission coopération technique en Afrique au sud du Sahara (CCTA)), dont une version a été présentée par D'Hoore en 1964. Il s'agit d'une synthèse à l'échelle d'un continent qui tient compte de l'ensemble des résultats acquis par des pédologues ayant œuvré en Afrique.
- En Amérique du Sud, les études cartographiques sont moins poussées, mais permettent d'avoir une assez bonne idée de la répartition des formations latéritiques (Bramao et Lemos, 1960) ;
- Pour l'Asie du Sud-Ouest, les études sont au même niveau qu'en Amérique du Sud
- En Australie, les travaux sont également fort avancés (Stephens, 1961).

Carte 1 : Schémas de répartition des couvertures latéritiques à la surface du globe

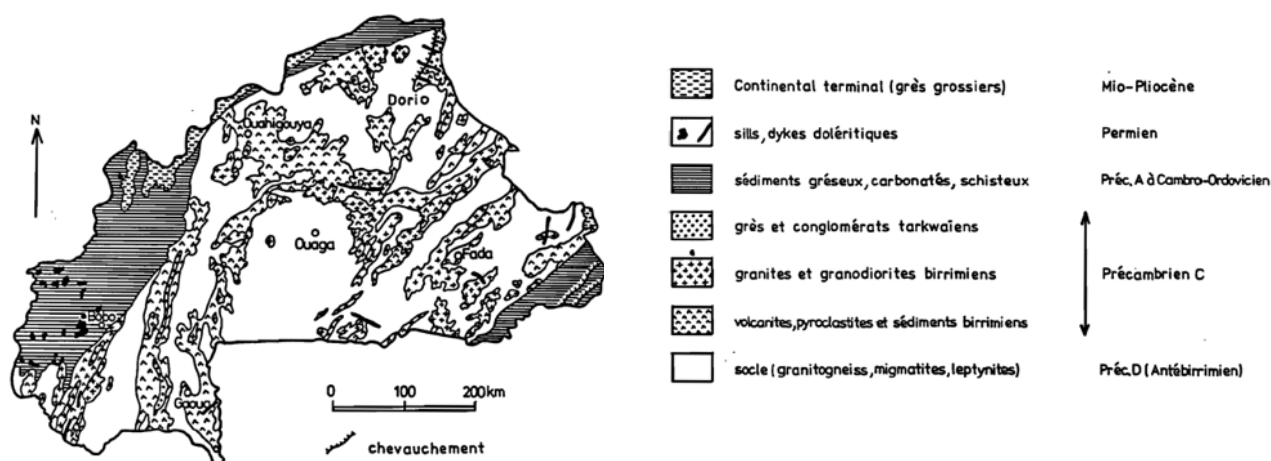


Source : Nahon, 2003

I.1.4.2 Répartition au Burkina Faso

Le Burkina Faso est un pays sahélien situé au cœur de l'Afrique occidentale. Du fait de sa position géographique a hérité d'une grande disponibilité de ce matériau sur toute l'étendue de son territoire. Le degré de concentration de la latérite et sa nature diffèrent selon la région dans laquelle on se situe ce qui est essentiellement causé par les différents aléas climatiques entre les différentes régions du pays. En 1975, les données géologiques du Burkina ont été synthétisées par (Hottin et Ouedraogo,1975) sur une carte : Carte 2.

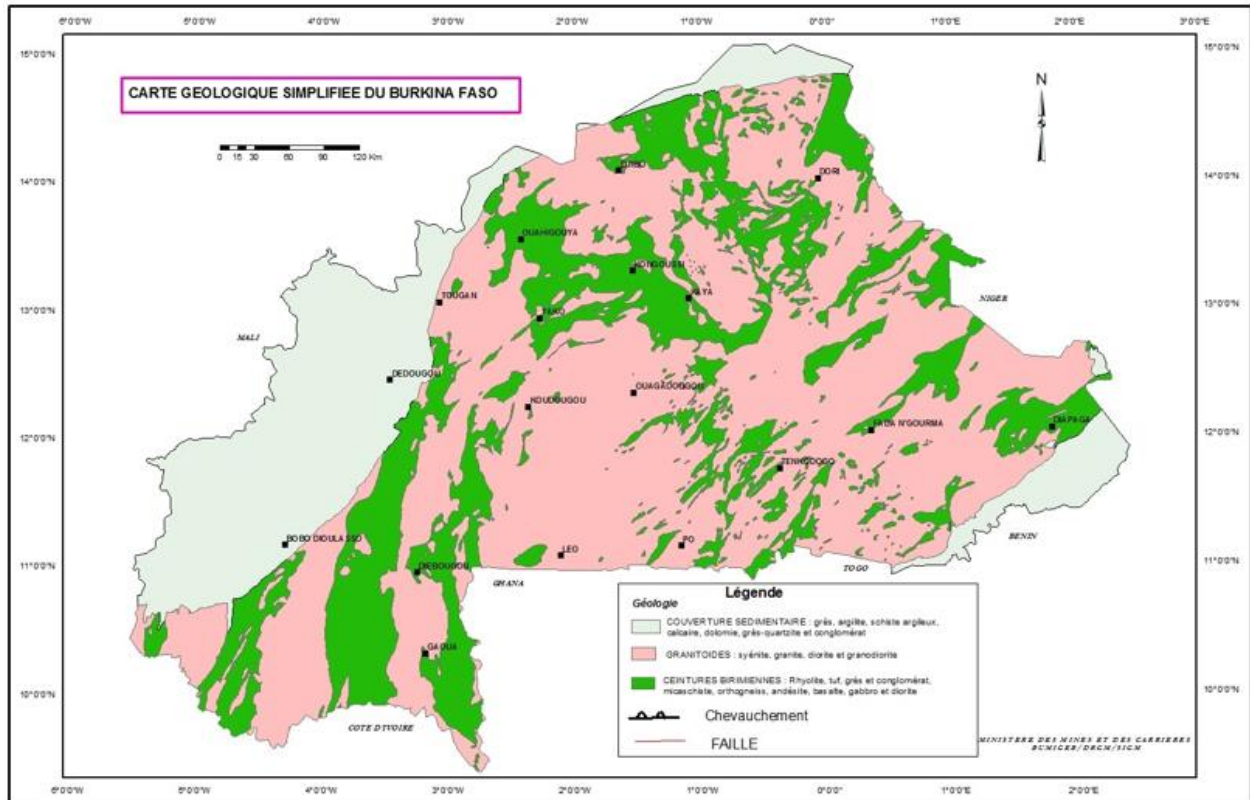
Carte 2: Carte géologique du Burkina Faso



Source : Hottin et Ouedraogo, 1975

Une meilleure illustration de cette carte (Carte 3) fut plus tard donnée par le Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso (BUMIGEB) :

Carte 3 : Carte géologique et minière du Burkina Faso



Source : Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso : BUMIGEB

Cette carte (Carte 3) nous permet de voir que les formations géologiques du BURKINA FASO sont localisées dans le domaine Baoulé-Mossi, partie orientale de la dorsale de Léo située à l'extrême Sud du craton Ouest Africain. Elles se regroupent en trois (03) grands ensembles qui sont :

- Un socle Paléoproterozoïque qui couvre la majeure partie du territoire et est envahi par de vastes batholites de granitoïdes ;
- Une couverture sédimentaire tabulaire qui recouvre les limites Ouest, Nord et Sud-Est du pays et appartient au Néoproterozoïque et Paléozoïque inférieur ;
- Les formations cénozoïques terrigènes du continental terminal réduites aux extrémités Nord-Ouest et à l'extrême Est.

Le socle paléoproterozoïque est composé de ceintures (sillons) birimiennes encore appelé ceintures de roche vertes intrudées de granitoïdes éburnéens.

A l'Ouest et au Nord du Burkina, la couverture sédimentaire correspond aux formations sédimentaires du bassin de Taoudéni d'âges néoproterozoïques à cambrien possible et au Sud-Est à celles du bassin des volta.

Les formations géologiques ont subi, au Burkina Faso comme ailleurs en Afrique de l'Ouest, une forte altération latéritique qui explique la rareté ou la mauvaise qualité des affleurements rocheux de roches mères sur de vastes zones.

I.2 Les Blocs de Latérite Taillée (BLT)

Les BLT sont des latérites compactés et durcis à une faible profondeur pendant plusieurs années. C'est une roche poreuse taillée en bloc rectangulaire ou carrée dont les performances varient selon sa carrière et sa position d'extraction. Elle présente une coloration rouge, parfois marron à cause de la présence des oxydes des fers dans la latérite. Les BLT sont considérés comme des roches tendre et se cassent facilement à cause de leurs taux élevés d'argile.

I.2.1 Historique de l'utilisation BLT au Burkina Faso

Les latérites sont utilisées depuis des millénaires dans le génie civil, de vieux ouvrages sont retrouvés un peu partout où il y a la présence de latérite. On peut citer :

- Les ruines de Lorépeni à Gaoua, vestiges d'une civilisation florissante éteinte,
- Les infrastructures en blocs de latérite au Cambodge datant du 8^{ème} siècle (par exemple le pont Angkorien en blocs de latérite à Kampung Kdei, large de 16 m et toujours en service,

De nos jours, la tendance est plus à l'utilisation des BLT plus faciles à manier. L'utilisation des BLT au Burkina Faso remonte à l'époque de la colonisation et a connu une évolution par phases (Wyss, 2005) :

- Le début marquait la construction d'édifices administratifs, militaires et de culte, notamment à Bobo-Dioulasso sous le régime colonial. A cette époque, le travail se faisait essentiellement par régime de travaux forcés et la matière première était extraite dans des carrières pour ce qui est du grès et en partie de la latérite, mais aussi à partir de pierres latéritiques, les « cailloux sauvages », extrêmement durs à tailler.
- **La deuxième phase**, après la décolonisation, était essentiellement caractérisée par un rapport direct entre le client et le producteur. En fait, l'église catholique, pratiquement l'unique client pendant cette phase, engageait elle-même des jeunes pour l'extraction de la pierre, la taille et la mise en œuvre. Ces hommes ne travaillaient pas selon les lois du marché, mais en tant qu'employés directs de l'utilisateur.
- **La troisième phase** est celle d'ouvertures de carrières « libres » un peu partout dans le pays où la pierre est connue de la population. Cette phase a initié l'extraction de ce

matériau dans certaines régions, par exemple à Toussiana, dans les années '80 suivie successivement par d'autres régions.

I.2.2 Mode d'extraction des BLT

Les procédés d'extraction des BLT sont différents 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.

I.2.2.1 *Exploitation artisanale*

La production artisanale fait des BLT un matériau parfaitement écologique. Le peu d'outils (**Image 2**) utilisés proviennent des forgerons locaux, à la limite même produits avec de la ferraille récupérée. Le travail ne fait intervenir que la force musculaire. En outre, l'exploitation artisanale des carrières de BLT est une seconde activité pour les tailleurs qui sont en majorités agriculteurs.

La production artisanale n'est pas optimale pour un développement à l'échelle du pays du fait de sa faible productivité. On pourra faire nettement mieux et tirer beaucoup plus de bénéfice de l'importante ressource naturelle que représentent les pierres au Burkina Faso. Notons simplement que les meilleures couches de latérite ne sont pas utilisées, parce que trop dures à la taille artisanale.

Image 2 : Exploitation artisanale sur carrière de Dano



I.2.2.2 *Exploitation mécanisée*

L'exploitation artisanale n'étant pas assez productive à l'échelle du pays ; il faut donc apporter des modifications sur le mode d'extraction pour répondre aux problèmes de disponibilité et de qualité mécanique et dimensionnelle du produit. Le développement d'une industrie de pierres

de taille s'impose alors. Les impératifs économiques et techniques imposent la mécanisation du processus de taille des pierres (**Image 3**). Ce propos est partagé par tous les professionnels du secteur et des estimations démontrent que le potentiel économique d'une industrialisation est très important et le nombre d'emplois créés est supérieur à celui de la situation actuelle

Image 3: Exploitation mécanisée de Diébougou



I.2.3 Mode d'utilisation des BLT

I.2.3.1 Les contraintes dues à l'utilisation du BLT au Burkina

Les contraintes liées à l'utilisation du BLT sont d'ordre socio-culturel :

- D'abord le sol latéritique est perçu comme « l'habitat éternel » dans la culture burkinabè. Tout le monde y repose après la mort. C'est pourquoi, vivre dans une maison en latérite est perçu comme une anticipation à la mort, un mauvais sort, ou une pauvreté extrême ;
- Une deuxième tentative de la valorisation de la latérite a également été initiée pendant la révolution de 1983 souvent avec des méthodes semblables à celle de l'époque coloniale comme la réalisation de chantiers publics par travaux forcés. Cela a renforcé certaines croyances qui considèrent la latérite comme « matériau de malheur » ;
- Pour les générations récentes, une construction en BLT est synonyme de construction éphémère contrairement à ceux en parpaings de ciment ou en béton. Cette contrainte sociale a beaucoup contribué à la fin de certains projets nationaux initié à partir des années 80 avec le LOCOMAT.
- La construction en BLT est très souvent comparée aux constructions en adobe qui sont elles associées à la pauvreté contrairement à ceux en parpaings de ciment qui reflète la réussite sociale.

1.2.3.2 Les règles d'utilisation des latérites

Suite aux études faites sur la latérite meuble, plusieurs règles régissant son utilisation sont établies. C'est pourquoi, on retrouve une bibliographie enrichissante et des normes (tel que [ARS670 à ARS683](#) rédigé par l'ARSO), pour son utilisation aussi bien dans le bâtiment que dans les travaux publics.

La latérite indurée, par contre, n'a pas bénéficié de la même attention que celle meuble ; on retrouve tout de même des études surtout dans les régions où son utilisation est fréquente (Inde et Burkina Faso). Si en Inde, un certain nombre d'études ont abouti à l'élaboration d'une norme d'utilisation des blocs de latérites, il en est autrement au Burkina Faso et dans les autres pays africains. Au vu de l'hétérogénéité des latérites selon la position géographique, de l'industrialisation de son exploitation et des conditions socio-économiques, il est nécessaire de normaliser l'utilisation de ce matériau.

Au Burkina Faso, l'élaboration d'une norme doit découler d'une discussion entre les acteurs. ([Dauphin, 2007](#)), a identifié quelques critères, en se basant sur la norme indienne et les résultats d'enquête auprès des acteurs. Il s'agit entre autres de la résistance à la compression simple, de l'absorption de l'eau, la masse volumique des grains solides et du module d'élasticité. Il serait intéressant d'ajouter à cette liste la dureté du bloc de latérite, les résistances après cycle de chargement-déchargement et humification-séchage, le coefficient de Poisson et le gonflement en présence d'eau ([Lawane, 2014](#)). Après les discussions et les enquêtes, les acteurs burkinabés s'accordent sur : les dimensions, la dureté, la masse volumique et la résistance à la compression et à l'eau. Les deux derniers critères pourraient être fastidieux à déterminer faute de disponibilité de matériels. C'est pourquoi seuls les deux premiers peuvent d'abord être pris en compte et les autres introduits progressivement. Le [Tableau 1](#) présente la situation actuelle concernant ces critères ([Lawane, 2014](#)).

Tableau 1 : Les critères pouvant faire l'objet d'une première normalisation

Critères	Acteurs			Observations
	Carrières informelles	Carrières formelles	Expert	
Dimensions usuelles LxlxH (cm)	30 x 15 x 15	40 x 20 x 15 40 x 20 x 20	40 x 20 x 15	La plupart des producteurs informels font des briques aux dimensions des clients
Dureté	Aucune mention	Aucune mention	Aucune mention	Appréciation non conventionnelle (par le son en cognant, par l'aspect)
Masse volumique	Aucune mention	Disponible dans les carrières exploitées	Aucune mention	Aucune valeur n'est proposée mais les études ont déjà pu en donner quelques valeurs

Résistance à la compression	Aucune mention	Disponible dans les carrières exploitées	Aucune mention	Aucune valeur n'est proposée mais les études ont déjà pu en donner quelques valeurs
Résistance à l'eau	Aucune mention	Aucune mention	Aucune mention	La plupart des acteurs disent que le matériau est résistant à la pluie

1.2.3.3 Réalisation en Blocs de Latérite

Il est question de ressortir ici quelques constructions en BLT dans certaines régions du Burkina Faso. Les ouvrages conçus en BLT font l'objet d'esthétique dans la construction. Une album photo vous sera proposé en **Annexe 2**.

Image 4 : Ruines de Loropéni (Gaoua; Burkina)



Source : Direction Générale des Pôles de Croissance DGPC Burkina Faso

Image 6 : Hôtel de ville de Dano



Image 5 : Cathédrale de Koudougou, Burkina, 1939,



Source : Wyss et sauret, 2007

Image 7 : Ecole Primaire de Dano



1.3 Les parpaings de ciment

Il est bien connu qu'un type de bâtiment fait « le rêve de tout Burkinabè ». Interrogés sur le matériau qu'ils choisiraient afin de réaliser les murs de leur futur habitat, deux tiers des mille personnes ayant répondu à la question indiquent le parpaing de ciment, suivi en deuxième

position par le BLT à 18%, ensuite le BTC à 13%. Seuls 4% opteront pour la terre (Wyss etsauret, 2007). C'est vers la fin du XIXème siècle, que les premiers blocs béton sont réalisés manuellement. L'agglomère est un bloc de béton de forme parallélépipédique creux ou non, constitué d'un mélange de ciment, de sable, et graviers. On comptabilise plus de 150 références de blocs de béton différents, en forme comme en composition. Les premières machines apparaissent aux environs de la première guerre mondiale, avec une cadence de fabrication assez lente. Aujourd'hui la production est entièrement automatisée, depuis l'asservissement de la centrale à béton jusqu'à la palettisation. Au Burkina Faso la mécanisation du processus de fabrication de parpaings gagne du terrain, mais la production reste en majorité artisanale. La production artisanale n'est pas règlementée.

La maçonnerie de parpaing est particulièrement employée pour l'exécution des murs de façades, ainsi que pour les murs de porteur. Les parpaings pleins lourds, sont utilisés pour la construction des murs intérieurs devant offrir une certaine résistance mécanique et phonique, tandis que les parpaings creux seront de préférence utilisés pour les murs de façades (meilleure isolation thermique). Le cloisonnement exigeant des qualités d'isolation phonique, peut être réalisé par des parpaings pleins de faible épaisseur. Le **Tableau 2** nous donne un aperçu de la résistance en compression des agglomères de ciment.

Tableau 2 : Résistance des parpaings de béton

Catégories de blocs	Types de granulats	Identification	Types de blocs	Classes de résistance					
Résistances nominales garanties en MPa				4	6	8	12	16	20
A enduire	courant	B	creux	B40	B60	B80			
			perforés			B80	120	B160	
			pleins			B80	120	B160	B200
Apparents	courant	P	creux		P60	P80	P120		
			Perforés				120	B160	
			pleins				120	B160	B200

Catégories de blocs	Types de granulats	Identification	Types de blocs	Classes de résistance					
Résistances nominales garanties en MPa				2,5	3,5	4	4,5	5,5	7
A enduire	Léger	L	creux	L25		L40			
			perforés		L35		L45		L70
			pleins		L35		L45		L70
Apparents	Léger	LP	creux			L40			
			Perforés				L45		L70
			pleins				L45		L70

Source : Cours de BTS en Bâtiment, les murs en maçonnerie Fabien Lagier et Augustin Parret-Freaud)

Les lettres B, L, P, LP signifient :

- B : blocs en béton de granulats courants ;
- L : blocs en béton de granulats légers ;

- P : blocs apparents en béton de granulats courants ;
- LP : blocs apparents en béton de granulats légers.

Des tests de résistance en compression ont été réalisés sur des parpaings en ciment artisanale de dimension $15 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$. Les résultats de cet essai sont présentés dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Résultats compression Parpaing artisanale

<i>Parpaing</i>	<i>Valeur compression</i>	<i>Calculs</i>			
		<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>	<i>CO-Variance</i>
1	1,248	1,36	0,30	0,96	13%
2	1,563	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Maximale</i>	
3	1,418	0,18	0,14	1,56	
4	1,458	<i>Variance</i>	<i>K_s pour 5</i>	<i>Valeur minimale</i>	
5	1,104	0,13	2,46	1,10	

Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que le Burkina Faso possède un énorme potentiel en latérite. Ce matériau qui provient de l'altération superficielle des roches silicatées ou carbonatées sous l'action des agents atmosphériques, en climat chaud et humide est utilisé dans bien de domaines du Génie Civil. L'utilisation de cette ressource dans les bâtiments sous forme des Blocs de Latérite Taillée peut être un facteur de développement (**Annexe 1**) car elles peuvent remplacer les parpaings de ciment.

CHAPITRE II : MATERIELS ET PROCEDURE EXPERIMENTALE

Introduction

Pour une meilleur connaissance et utilisation des BLT au Burkina, il est nécessaire de déterminer expérimentalement les caractéristiques de ce matériau suivant certaines normes. Le présent chapitre a pour objet d'exposer la méthode et l'approche qui ont été utilisées pour mener à bien nos travaux de recherche. Ce chapitre présente dans une première partie les différentes carrières de provenance des échantillons utilisés pour l'étude. La deuxième partie décrit la méthodologie pour les différents essais réalisés.

II.1 Matériels

II.1.1 Présentation de la région du Sud-Ouest

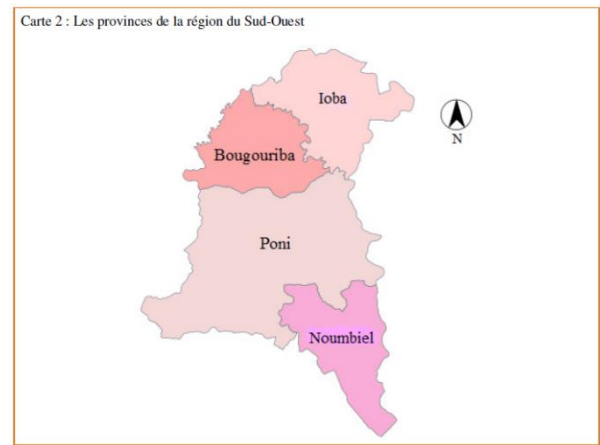
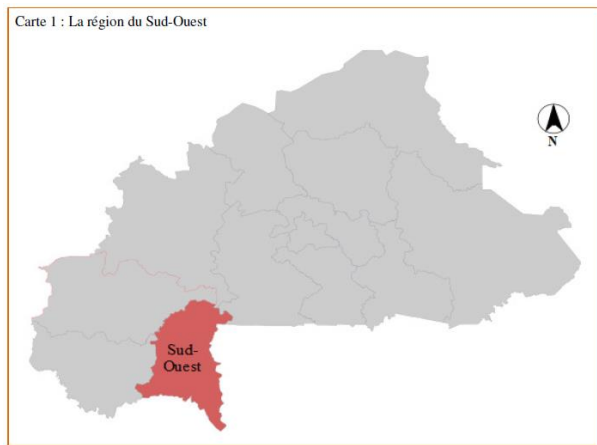
Située dans la partie sud-ouest du Burkina Faso (**Carte 4**), la région du Sud-Ouest s'étend sur une superficie d'environ 16 533km², soit 6,1% du territoire national (*Profil des régions du Burkina Faso, DGAT-DLR/MEF, 2010*). Elle est limitée à l'est par la République du Ghana et la région du Centre-Ouest, au sud par la République de Côte d'Ivoire, à l'ouest par les régions des Hauts-Bassins et des Cascades et au nord par les régions de la Boucle du Mouhoun, du Centre-Ouest et des Hauts-Bassins.

La région du Sud-Ouest est subdivisée en 4 provinces, 4 communes urbaines, 28 départements, 24 communes rurales et 1 047 villages. Les provinces de la région et leurs chefs-lieux cités entre parenthèses sont les suivantes : la Bougouriba (Diébougou), le Ioba (Dano), le Nounbiel (Batié) et le Poni (Gaoua). Le chef-lieu de la région est Gaoua. Au Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 la région avait une population de 620 767 habitants, soit 4,4% de la population du pays. La population féminine est majoritaire dans la région avec une proportion de 51,8%.

La région du Sud-Ouest se caractérise par un relief très accidenté, une topographie définie par des collines birrimiennes érodées et d'assez grandes étendues plates sillonnées de petits cours d'eau saisonniers. La vue d'ensemble donne une pénéplaine monotone mollement ondulée oscillant entre 250 m et 400 m d'altitude. On y rencontre des sols hydromorphes, des sols de type sablo-argileux, des sols ferrugineux, des sols ferralitiques très épais.

Le climat de la région est de type soudanien avec une pluviométrie comprise entre 900 mm et 1 200 mm.

Carte 4 : Situation géographique des localités de la régions du Sud-Ouest



(ENA 2010 – Monographie régionale du Sud-Ouest)

II.1.2 Présentation des carrières étudiées

II.1.2.1 La Carrière de Dano

La localité de Dano se situe dans la partie Nord de la région du Sud-ouest, sur la RN12 au Sud de la ville de Pâ et à 60 km de la frontière du Ghana (**Carte 4**). La carrière étudiée se situe à proximité de la ville de Dano dans sa partie Est et Sud-Est. Il s'agit d'une carrière de « Dakola », elle est exploitée artisanalement par les habitants. Il faut noter que les latérites de la carrière de Dano reposent sur un substratum identifié comme des roches volcaniques (laves et pyroclastites) comprenant essentiellement des **andésites** le plus souvent associées aux **basaltes** et, plus localement, aux **dacites** (**Carte 5**) .

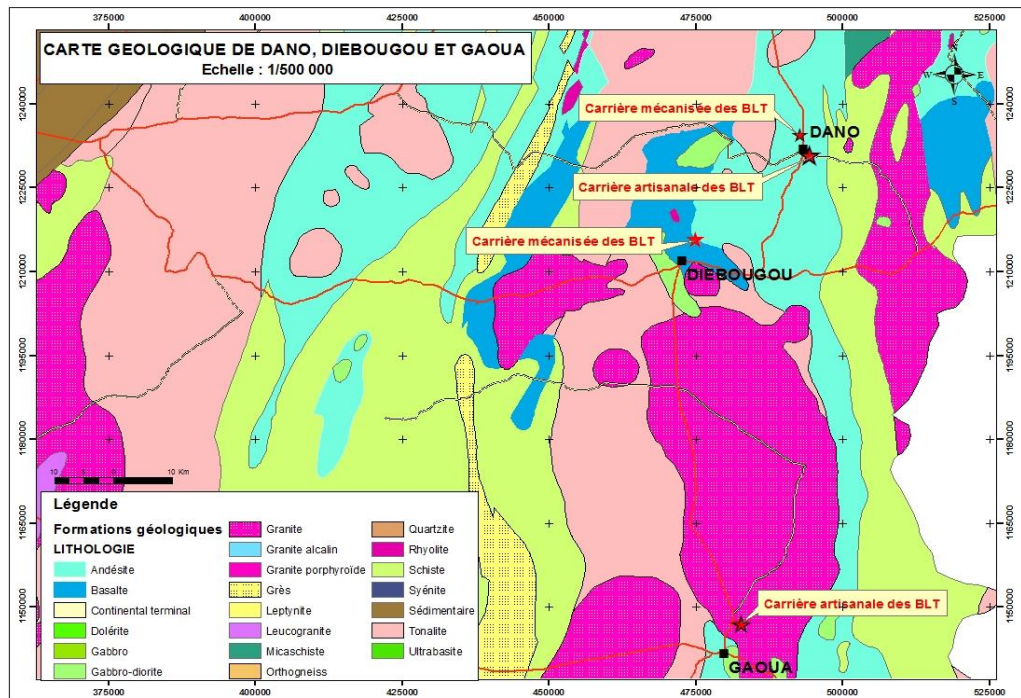
II.1.2.2 La carrière de Diébougou

La localité de Diébougou se situe dans la partie Nord de la région du Sud-ouest, sur la RN12 à 135 Km à l'Est de Bobo-Dioulasso et à 72 km au Nord de Gaoua. (**Carte 4**) La carrière de « Kpologo » que nous étudions est située à proximité de la ville dans sa partie Nord à 4,5 km environ. Ce site est exploité de façon mécanique par la structure **ITAL BRICK**. La carrière de Diébougou se pose sur des formations de roches volcaniques essentiellement, ces laves et pyroclastites sont faites de **basaltes** en association aux **andésites** et localement aux **dacites**. (**Carte 5**)

II.1.2.3 La carrière de Gaoua

La carrière des BLT de « Tankades » se situe au Nord de la ville de Gaoua à 2,5 km de la RN 12. Cette carrière est exploitée de manière artisanale par le **Cabinet d'Architecture TOE LASSINA**. Dans la zone d'étude de la carrière de Gaoua, les latérites reposent sur un substratum identifié comme des **granites à biotite** (Carte 5).

Carte 5 : Carte géologique des localités Dano, Diébougou et Gaoua



(Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso : BUMIGEB)

II.2 Procédures expérimentales

II.2.1 Caractérisation Chimique

La Diffractométrie de Rayon X (DRX), est une puissante technique sans effets destructeurs destinée à caractériser les matériaux cristallins. Elle donne des informations sur les structures, les phases, les orientations privilégiées du cristal (texture) et d'autres paramètres structuraux comme la taille moyenne du grain, la cristallinité, la tension et les défauts des cristaux. Les pics de diffraction des rayons X sont produits par interférence constructive d'un faisceau monochromatique de rayons X diffusé à des angles spécifiques de chaque jeu de plans réticulaires compris dans un échantillon. Les intensités des pics sont déterminées par la distribution des atomes à l'intérieur du réseau. Par conséquent, le schéma de diffraction des rayons X est l'empreinte digitale du dispositif atomique périodique dans un matériau donné. Une recherche dans la base de données standard de : The International Centre for Diffraction Data (ICDD) des schémas de diffraction des rayons X permet de faire une identification rapide

de phase dans une grande quantité d'échantillons cristallins. L'étude minéralogique a été réalisée par le BUMIGEB avec un Xolympos Delta ([Image 8](#)).

[Image 8 : Appareil XOlympus Delta pour DRX](#)



II.2.2 Caractéristiques physiques

II.2.2.1 Porosité accessible à l'eau des BLT

On distingue à 3 types de pores : les pores ouverts ou connectés, les pores fermés ou occlus et la porosité totale. Les pores ouverts sont ceux qui communiquent avec l'atmosphère, soit directement, soit de proche en proche, et qui peuvent être pénétrés naturellement par un fluide (gaz ou liquide). Les pores fermés sont ceux qui ne peuvent pas être pénétrés par un fluide. La porosité totale comme son nom l'indique est la somme de la porosité ouverte et fermée. Seule la porosité accessible à l'eau des échantillons a été déterminée dans cette étude pour faute de disponibilité de certains matériels.

La mesure de porosité accessible à l'eau a été réalisée par pesée hydrostatique sur 6 échantillons de petite taille ($45 \times 45 \times 45 \text{ mm}$) et 6 échantillons de grande taille ($45 \times 45 \times 90 \text{ mm}$), suivant le mode opératoire recommandé par [l'AFPC-AFREM](#). Le principe de la méthode consiste à saturer le réseau poreux du matériau avec un liquide ayant une densité connue (l'eau a été utilisée dans cette étude), puis procéder à la détermination de trois pesées sur chacun des échantillons soumis à l'épreuve. Ceci permet d'évaluer la porosité accessible à l'eau (ε) et la masse volumique apparente (ρ) des différents échantillons en utilisant les équations:

$$\rho = \frac{m_{sec} * \rho_e}{m_{sat.air} - m_{sat.eau}}$$

$$\varepsilon = \frac{m_{sat.air} - m_{sec}}{m_{sat.air} - m_{sat.eau}} * 100$$

Avec :

- ε : Porosité accessible à l'eau en (%)
- ρ_e : la masse volumique de l'eau

- ρ : Masse volumique apparente de l'échantillon sec (g/cm^3)
- $m_{sat.air}$: Masse de l'échantillon saturé dans l'air (g)
- $m_{sat.eau}$: Masse de l'échantillon dans l'eau (g)
- m_{sec} : Masse de l'échantillon séché à 105 C (g), chaque échantillon ayant été séché dans un four a 105 C jusqu'à ce qu'il atteigne un poids stable (une différence de moins de 0,1% entre 2 pesées à l'intervalle de 24 heures.

Image 9 :Aperçu sur le dispositif de détermination de la porosité accessible à l'eau



II.2.2.2 Détermination du poids spécifique du matériau

Le poids spécifique est la masse volumique des particules solides. Elle est déterminée à l'aide d'un pycnomètre à air. L'essai est conduit selon la norme [NF EN 1097-7](#).

Le pycnomètre est constitué de deux enceintes de volumes V_1 et V_2 connus et qui communiquent à l'aide d'une soupape. Le matériau à étudier est introduit dans la deuxième enceinte comme présenté à la Figure 10. Le poids spécifique du matériau est déterminé en appliquant la loi de Boyle-Mariotte à l'air contenu dans le pycnomètre comme suit :

$$P_1V_1 + P_{atm}V_2 = PV$$

L'essai est repris trois fois puis la moyenne est considérée comme le poids spécifique du matériau.

Image 10 : pycnomètre a air



II.2.3 Caractéristiques hydriques (Essais d'absorption d'eau)

II.2.3.1 Absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique

La détermination de l'absorption d'eau par immersion à la pression atmosphère, méthode d'essai pour pierres naturelles, est faite selon la norme [EN 13755 \(2001\)](#).

L'essai consiste après séchage jusqu'à masse constante, à saturer l'éprouvette par absorption d'un liquide (eau) dans le milieu poreux de l'échantillon. Les échantillons utilisés pour ce test sont cubique de dimension $70 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Pour déterminer l'absorption d'eau par immersion, on place les éprouvettes dans une bassine sur les supports prévus tout en prenant soin de laisser un écart d'au moins 15 mm entre éprouvettes adjacentes. Puis l'on verse de l'eau de la manière suivante :

- A t_0 verser l'eau jusqu'à mi-hauteur
- A $t_0 + 60 \pm 5 \text{ minutes}$ ajouter l'eau jusqu'aux $3/4$ de la hauteur des éprouvettes
- A $t_0 + 120 \pm 5 \text{ minutes}$ immerger complètement les éprouvettes ($25 \pm 5 \text{ mm}$)

Les premières mesures commencent à $t_0 + 48 \pm 2 \text{ heures}$, les éprouvettes sont sorties de l'eau rapidement essuyées avec un linge humide puis pesées dans la minute à 0,01 g près (m_1).

On immerge à nouveau les éprouvettes dans l'eau et continue le test tous les $24 \pm 2 \text{ heures}$, on note les masses successives des éprouvettes (m_i) et on poursuit le test jusqu'à la masse constante soit 0,1% de la masse de l'éprouvette. Le résultat de la dernière pesée correspond à la masse de l'échantillon saturée m_h .

Image 11 : Aperçu du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau des BLT



$$H_p = \frac{m_h - m_{sec}}{m_{sec}} * 100$$

Avec : H_p = Teneur en eau (%); m_h = Masse humide ; m_{sec} = Masse sèche

II.2.3.2 Absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique

L'absorption est un phénomène physique par lequel un liquide migre de l'extérieur vers l'intérieur d'un milieu poreux grâce à un phénomène de remonté capillaire. Elle entraîne un gain de masse du matériau. Cependant, l'absorption n'est possible que si les capillaires du réseau poreux communiquent pour permettre le transfert de l'eau. L'essai d'absorption de l'eau est destiné à déterminer la quantité d'eau absorbée par capillarité par les échantillons.

Les essais ont été réalisés sur les échantillons des BLT de taille $140 \times 125 \times 280 \text{ mm}$ en s'inspirant du [protocole AFPC-AFREM](#) et de la norme [XP P13-901- 2001 AFNOR](#).

Ils consistent à mesurer l'accroissement de la masse de l'éprouvette placée dans un récipient dont le niveau d'eau est de 5mm au-dessus de la face inférieure de l'éprouvette.

En pratique, cette condition est obtenue en disposant les trois échantillons de taille $110 \times 140 \times 280 \text{ mm}$ sur un lit de gravillons (que nous avons préalablement saturé) et à les immerger sur une profondeur de 5 mm environ. Le niveau d'eau doit être maintenu constant durant toute l'opération. Après 1 min, retirer chaque bloc de l'eau, l'essuyer avec un linge humide et noter sa masse. On répète l'opération à 4, 9, 16, 36, 64 minutes. On calcule :

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} * 100 \text{ et } C_{ac} = \frac{m_h - m_{sec}}{S_h}$$

Avec :

- C_{ac} : Coefficient d'absorption capillaire (Kg/m^2)
- A_b : Absorption capillaire en (%)
- m_h : Masse de l'éprouvette humide après absorption d'eau (g)
- m_{sec} : Masse de l'éprouvette séchée à 105C (g)

- S_h : Section de l'éprouvette en contact avec l'eau (m^2)

Image 12 : Dispositif d'immersion et aperçu sur la remontée capillaire des échantillons de Diébougou



II.2.4 Caractéristiques mécaniques

II.2.4.1 Résistance à la compression

La détermination de la résistance en compression des BLT a été conduite suivant les prescriptions de la norme [EN 1926 \(1999\)](#) « Méthodes d'essai pour pierres naturelles - Détermination de la résistance en compression » qui spécifie la caractérisation de la résistance en compression des pierres naturelles.

Les éprouvettes de dimension $70 \times 70 \times 70 \text{ mm} \pm 7$, après la rectification des faces de compression (surfaçage), nous déterminons les dimensions de la section transversale à partir de mesures effectuées à 0,1mm près. Ces mesures nous ont permis de calculer la surface de la section transversale. La hauteur de l'éprouvette doit être aussi mesurée à 0,1mm près. Puis nous procédons à la mise en place de l'éprouvette sur la presse tout en n'oubliant pas d'enlever toute particule prête à se détacher des faces supérieures et inférieures de l'éprouvette. Une charge uniformément répartie (0,5mm/min) est appliquée et augmentée de façon continue jusqu'à la rupture. S'en suivra le calcul de la résistance à la compression uniaxiale en MPa par la formule :

$$R = \frac{F}{S} \text{ avec } \begin{cases} F = \text{charge de rupture en N} \\ S = \text{Surface de la section transversale en mm}^2 \end{cases}$$

Image 13 : Dispositif de résistance en compression



II.2.4.2 Résistance à la flexion sous charge centrée

La détermination de la résistance à la flexion sous charge centrée, méthode d'essai pour pierres naturelles est faite selon la Norme Européenne [EN 12372 \(2006\)](#).

Le principe de cette méthode consiste à placer l'éprouvette sur deux rouleaux et à la soumettre en son milieu à une charge ponctuelle progressive. On mesure la force de rupture appliquée et on calcule la résistance à la flexion. La norme [EN 12372 \(2006\)](#) recommande d'utiliser des échantillons de taille de 50 mm x 50 mm x 300 mm pour les pierres dont la plus grande taille de cristaux est inférieure à 25 mm.

D'autres dimensions sont possibles, mais elles doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- L'épaisseur h doit être comprise entre 25 mm et 100 mm et doit être supérieure à deux fois la plus grande taille des cristaux constitutifs de la pierre ;
- La longueur totale L doit être égale à six fois l'épaisseur ;
- La largeur b doit être comprise entre **50 mm** et trois fois l'épaisseur ($50 \text{ mm} \leq b \leq 3 h$) et, en aucun cas, elle ne doit être inférieure à l'épaisseur.

L'écartement des rouleaux d'appui doit être égal à cinq fois l'épaisseur.

Dans le souci de respecter la norme et n'ayant pas reçu de BLT permettant de réaliser des échantillons présentant les dimensions prescrites par la norme (50 mm x 50 mm x 300 mm), nous avons procédé à un changement des dimensions de nos éprouvettes en considérant les dimensions suivantes : 45 mm x 45 mm x 270 mm.

Une fois les dimensions de notre échantillon obtenu, nous les taillons à la scie, puis les laissons à l'étuve pendant 24h ; l'opération de détermination de la force de rupture peut alors commencée, nous positionnons les éprouvettes de manière symétrique par rapport aux rouleaux d'appui et plaçons le rouleau de chargement au milieu de l'éprouvette. L'application d'une

contrainte augmentée uniformément à la vitesse de 0,2 mm/min nous permet d'avoir la force de rupture arrondie à 10 N près et on note également l'emplacement de la rupture. La largeur et l'épaisseur de l'éprouvette sont mesurées au droit du plan de rupture, ces dimensions étant exprimées en millimètres à 0,1 mm près. La résistance à la flexion est alors calculée par la formule :

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Avec : F = Force de rupture en N ; L = Distance entre les rouleaux d'appui en mm ; b = largeur de l'éprouvette au droit du plan de rupture en mm ; h = épaisseur de l'éprouvette au droit du plan de rupture en mm.

NB : Cette méthode d'essai a été utilisée seulement pour déterminer la résistance à la flexion sous charge centrée des échantillons provenant de Diébougou. Cela parce que les échantillons venant de Gaoua ne résistaient pas à la scie. Elles ne pouvaient donc pas être taillées aux dimensions exigées par la norme.

Pour déterminer la résistance à la flexion sous charge centrée des échantillons provenant de Gaoua, nous avons utilisé une ancienne méthode qui consistait à utiliser de grand bloc de BLT (120 mm x 100 mm x 270 mm) pour l'essai de flexion en 3 points.

Image 14: Aperçu sur le dispositif de résistance à la flexion sous charge centrée



Une étude statistique a été réalisée pour chacun des tests afin de mieux apprécier les résultats. Cette étude consistait à déterminer les différentes valeurs suivantes :

$$\text{Valeur moyenne: } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$$

$$\text{Ecart Type } S = \pm \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\text{Variance } V = \frac{S}{\bar{X}}$$

Valeur moyenne logarithmique : $\bar{X}_{ln} = \frac{1}{n} \sum \ln X_i$

Ecart Type logarithmique $S_{ln} = \pm \sqrt{\frac{\sum (\ln X_i - \bar{X}_{ln})^2}{n - 1}}$

Valeur minimale attendue $E = e^{\bar{X}_{ln} - K_s S_{ln}}$

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Plusieurs essais sont nécessaires pour caractériser les BLT. Dans ce chapitre, notre objectif principal sera de présenter, analyser et interpréter des résultats des différents essais réalisés au chapitre II.

III.1 Caractérisation chimique

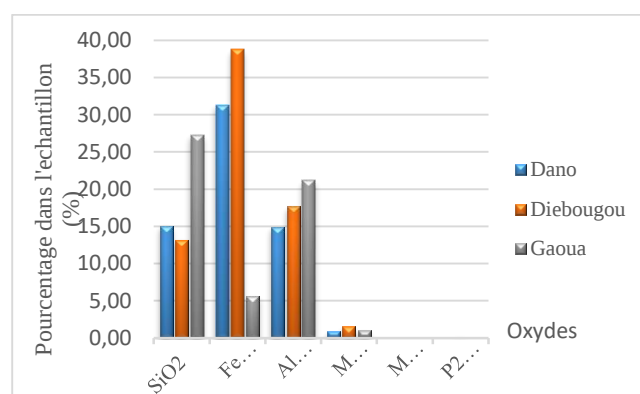
Les études minéralogiques du BUMIGEB au DRX sur les échantillons, a révélé la composition chimique qui figure sur le

Tableau 4 ainsi qu'un graphique de comparaison des carrières **Graphique 1**.

Tableau 4: Composition chimique des carrières

Oxydes	Dano	Diébougou	Gaoua
SiO_2	15,04	13,18	27,24
Fe_2O_3	31,29	38,75	5,64
Al_2O_3	14,89	17,70	21,18
MgO	0,90	1,56	0,98
MnO	0,03	0,04	0,01
P_2O_5	0,09	0,12	-
K_2O	-	-	-

Graphique 1 :Composition chimique des carrières



- **La carrière de Dano:** l'analyse réalisée grâce au dispositif DRX montre un pourcentage élevé des oxydes de fer ($Fe_2O_3 = 31,28\%$) vis-à-vis de la silice (SiO_2) qui est à 15,04 %, les oxydes d'aluminium ($Al_2O_3 = 14,89\%$), de magnésium ($MgO = 0,90\%$), de phosphate ($P_2O_5 = 0,09\%$) et de manganèse ($MnO : 0,03\%$).
- **La carrière de Diébougou** nous donne une forte teneur en oxydes de fer ($Fe_2O_3 = 38,7\%$) vis-à-vis de la silice (SiO_2) qui est à 13,18%, l'alumine qui est à 17,70%, les oxydes de magnésium ($MgO = 1,56\%$), de phosphate ($P_2O_5 = 0,11\%$), de et de manganèse ($MnO = 0,042\%$).
- **La carrière de Gaoua** quant à elle révèle un taux élevé de silice ($SiO_2 = 27,40\%$) par rapport aux oxydes d'aluminium ($Al_2O_3 = 21,18\%$), oxyde de fer ($Fe_2O_3 = 5,64\%$) et de magnésium ($MgO 0,98\%$).

(LAWANE, 2014) nous fait savoir que dans toutes les analyses chimiques effectuées sur les latérites, quelle que soit leur origine géographique, les éléments chimiques retrouvés sont dans l'ordre de prédominance :

- SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (éléments dominants) ;

- Mn_3O_4 , CaO , Na_2O , P_2O_5 (éléments secondaires)
- Cr , Zr , $Ti(TiO_2)$, V (éléments accessoires).

Les résultats chimiques du BUMIGEB montre les mêmes proportions des éléments constitutif des latérites. (LAWANE, 2014) Parmi ces éléments, trois jouent un rôle important dans le processus d'induration des latérites. Il s'agit :

- Du fer qui se trouve sous forme d'hématite de formule chimique Fe_2O_3 qui confère aux latérites la couleur rouge mais aussi sous forme de goethite ($\alpha Fe_2O(OH)$) ;
- De l'aluminium, sous forme d'alumine dont la formule chimique est Al_2O_3 . Elle se présente sous plusieurs formes de gibbsite ($\delta Al(OH)_3$) et de boehmite ($\delta Al(OH)$) ;
- De la silice de formule chimique SiO_2 qui est souvent sous forme combinée dans les latérites : kaolinites ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) ou les halloysites.

L'analyse chimique permet de déterminer la teneur en éléments nocifs tels que les sulfates. Le sulfate le plus fréquemment rencontré dans les sols naturels est le sulfate de calcium (anhydrite et gypse). On associe sa présence à des dégradations de construction en terre. Le fort gonflement lié à l'hydratation de l'anhydrite et la solubilité de différents composés sont alors mis en cause. Il n'existe pas de sulfate sur les carrières étudiées, il n'y donc pas de risque pour les constructions. Aussi nous avons noté l'absence d'éléments nocifs à l'homme. Quelles sont les conséquences de cette composition chimique sur les caractéristiques physiques et mécaniques des BLT ?

III.2 Caractéristiques physiques

III.2.1 Porosité accessible à eau

La présence des vides, qu'il s'agisse des microfissures ou des pores, réduit considérablement la résistance de la roche. Les résultats des essais de détermination de la porosité accessible à l'eau sont consignés dans le **Tableau 5** et **Tableau 6**

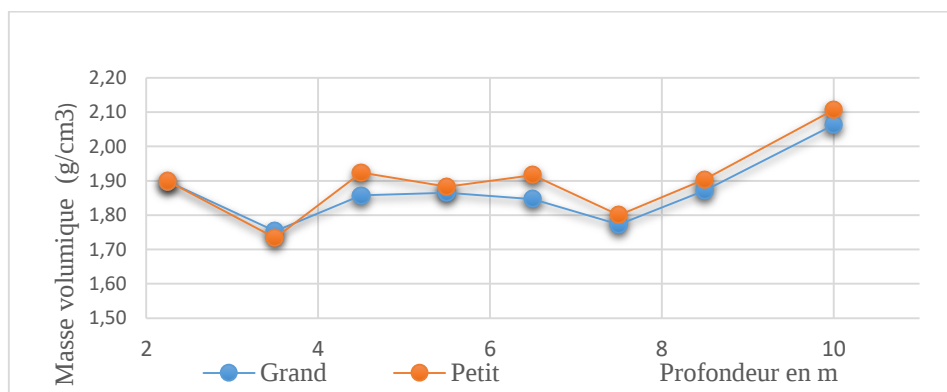
Tableau 5 : Masse volumique apparente en g/cm^3

Couche		Grand (45x45x90 mm ³)				Petit (45x45x45 mm ³)			
		Max.	Moy. (Ec type)	Variance	Val. Min. att.	Max	Moy. (Ec type)	Variance	Val. Min. att.
Diébougou		2,00	1,93(±0,05)	2,59	1,82	2,02	1,99(±0,02)	1,01	1,95
Gaoua		1,97	1,87(±0,06)	3,21	1,73	1,85	1,82(±0,02)	1,10	1,78
Dano	1,5-3m	2,06	1,90(±0,10)	5,26	1,68	2,13	1,90(±0,13)	6,84	1,62
	3-4m	1,89	1,75(±0,08)	4,57	1,73	1,81	1,73(±0,04)	2,31	1,63
	4-5m	1,95	1,86(±0,05)	2,69	1,74	1,99	1,92(±0,07)	3,65	1,77
	5-6m	1,93	1,87(±0,04)	2,14	1,78	1,92	1,88(±0,03)	1,60	1,81
	6-7m	1,94	1,85(±0,06)	3,24	1,71	1,94	1,92(±0,02)	1,04	1,88
	7-8m	1,88	1,77(±0,07)	3,95	1,61	1,88	1,80(±0,05)	2,78	1,69
	8-9m	1,92	1,87(±0,03)	1,60	1,81	2,02	1,90(±0,08)	4,21	1,73
	9-11m	2,17	2,06(±0,10)	4,85	1,85	2,16	2,11(±0,06)	2,84	1,97

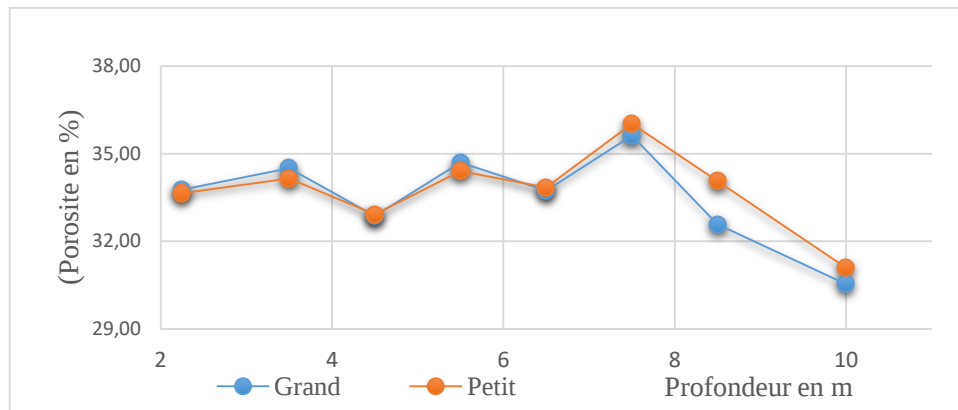
Tableau 6 : Porosité accessible à l'eau en %

Couche		Grand (45x45x90 mm ³)				Petit (45x45x45 mm ³)			
		Max.	Moy. (Ec type)	Variance	Val. Min. att.	Max.	Moy. (Ec type)	Variance	Val. Min. att.
Diébougou		31,54	28,89(±1,60)	5,54	25,42	25,94	25,19(±0,79)	3,14	23,39
Gaoua		31,90	30,00(±1,26)	4,20	27,19	33,73	30,70(±2,10)	6,84	26,10
Dano	1,5-3m	36,27	33,76(±2,90)	8,59	27,27	38,92	33,65(±1,62)	4,81	26,75
	3-4m	36,50	34,50(±2,58)	7,48	36,60	38,68	34,15(±2,33)	6,82	31,33
	4-5m	35,15	32,87(±1,57)	4,78	29,37	34,73	32,92(±1,09)	3,31	30,48
	5-6m	35,43	34,70(±0,85)	2,45	32,74	35,01	34,40(±0,88)	2,56	32,02
	6-7m	34,36	33,73(±0,57)	1,69	32,42	34,75	33,84(±0,57)	1,68	32,52
	7-8m	36,61	35,62(±0,90)	2,53	33,55	37,47	36,02(±1,25)	3,47	33,19
	8-9m	35,16	32,59 (±2,43)	7,46	27,23	34,97	34,06(±0,79)	2,32	32,25
	9-11m	33,25	30,54(±2,16)	7,07	25,86	32,27	31,10(±1,33)	4,28	27,03

Graphique 2: Masse volumique apparente des couche de Dano en g/cm^3



Graphique 3 : Porosité accessible des couches de Dano en %



La masse volumique apparentes des BLT varie entre 1,88 et 2,16 g/cm^3 . Cette variation est fonction de la composition minéralogique de la roche-mère et selon la porosité. La porosité des BLT varie selon le

Tableau 6 entre 25 à 36%. Il existe une corrélation entre la porosité et la masse volumique, cela se remarque à travers l'allure contraire des graphiques (**Graphique 3** et **Graphique 4**) : plus la masse volumique est grande plus la porosité sera petite. La taille de l'échantillon influence également les résultats de la porosité accessible à l'eau. Cela peut être vue à travers une comparaison des 2 échantillons. Plus l'échantillon est grand moins sera sa porosité accessible à l'eau. Cette conséquence est liée à l'existence de pore occlus (inaccessible à l'eau) qui sont ouvert lorsque la taille de l'échantillon est réduite à la scie. Remarquons qu'avec les écarts types, les 2 tailles d'échantillons ont sensiblement les mêmes résultats.

L'analyse de la porosité, nous montre que les échantillons de Dano ont une plus grande porosité que celle des autres carrières, mais cette porosité reste élevée pour toute les carrières étudiées dans ce mémoire (valeur supérieure à 30% en moyenne).

Il est à noter que les résultats des échantillons de Gaoua ne sont pas très représentatifs de la réalité puisque les matériaux que nous avons utilisés pour le test étaient de meilleure qualité que tous ceux utilisés dans les autres tests. La très grande disparité des résultats sur une le site de Dano s'explique par la différence de profondeur d'extraction et le niveau de métamorphose subi par la roche. Enfin, les matériaux qui absorbent l'eau moins facilement, peuvent parfois aussi avoir des difficultés à la restituer (encore plus lorsque les pores du matériau ne sont pas en contact direct avec l'extérieur). Cela peut occasionner une détérioration rapide des BLT réduisant au passage la durée de vie des ouvrages, il y a donc lieu de créer une stratégie pour rendre les BLT moins sensible à l'eau.

III.2.2 Poids spécifique

Le poids spécifique a été déterminé uniquement sur les échantillons provenant de Dano faute de matériaux pour les autres sites. Les résultats obtenus sont consignés dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 : Poids spécifique des échantillons de Dano en kN/m^3

<i>couche</i>	<i>Numéro</i>	<i>Masse matériaux</i>	<i>Volume eau</i>	<i>Pression</i>	<i>Volume lu</i>	<i>yskN/m3</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart type</i>
1,5-3m	1	1024,06	443,52	1,076	789,41	29,61	29,14	0,58
	2	1041,19	436,68	1,106	802,09	28,49		
	3	1022,1	437,76	1,069	786,34	29,32		
4-5m	1	982,52	448,83	1,114	805,35	27,56	26,98	0,51
	3	1009,12	437,99	1,14	815,59	26,72		
	4	977,44	429,83	1,093	796,69	26,64		
7-8m	2	942,61	433,15	1,016	761,55	28,70	28,87	0,19
	3	965,6	425,19	1,013	760,06	28,83		
	4	953,07	438,17	1,025	765,96	29,08		

En général, le poids spécifique est variable d'une carrière à une autre. Au sein même d'une carrière, la dispersion est élevée comme l'indiquent les valeurs du **Tableau 7**. En somme le poids spécifique sur une même carrière est dépendant de la zone d'extraction et de la profondeur à laquelle le matériau a été extrait. Ces remarques restent aussi vraies pour les poids volumiques secs. Ces valeurs élevées du poids spécifique sont dues à la présence d'une fraction importante d'oxydes de fer dans la composition chimique des latérites de la carrière de Dano. En effet les analyses minéralogiques sur les échantillons de cette carrière ont révélé une grande proportion d'oxydes de fer (Fe_2O_3 : 31,28%). Selon [LAWANE \(2014\)](#) Les carrières de Ouagadougou (Tigaldégué et Balkouin) qui ont de faible teneur en fer présentent naturellement de faibles poids volumiques. Nous pouvons donc déduire de cette analyse que la carrière de Gaoua dont l'étude chimique a révélé une faible teneur en oxyde de fer va avoir un poids spécifique relativement bas par rapport celle de la carrière de Gaoua. Aussi la carrière de Diédougou aura un poids spécifique plus élevé que celle de Dano vue sa grande proportion d'oxyde de fer.

III.3 Caractéristiques hydriques (Essais d'absorption d'eau)

L'absorption d'eau reflète la capacité des BLT à capter de l'eau dans son réseau de pores par effet de capillarité. Cette caractéristique est à considérer pour les usages où les éléments en pierre sont susceptibles d'entrer en contact avec l'eau. C'est le cas de toutes les applications

extérieures. L'absorption d'eau peut être déterminée de deux façons différentes : par capillarité ou par immersion sous pression atmosphérique.

III.3.1 Absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique

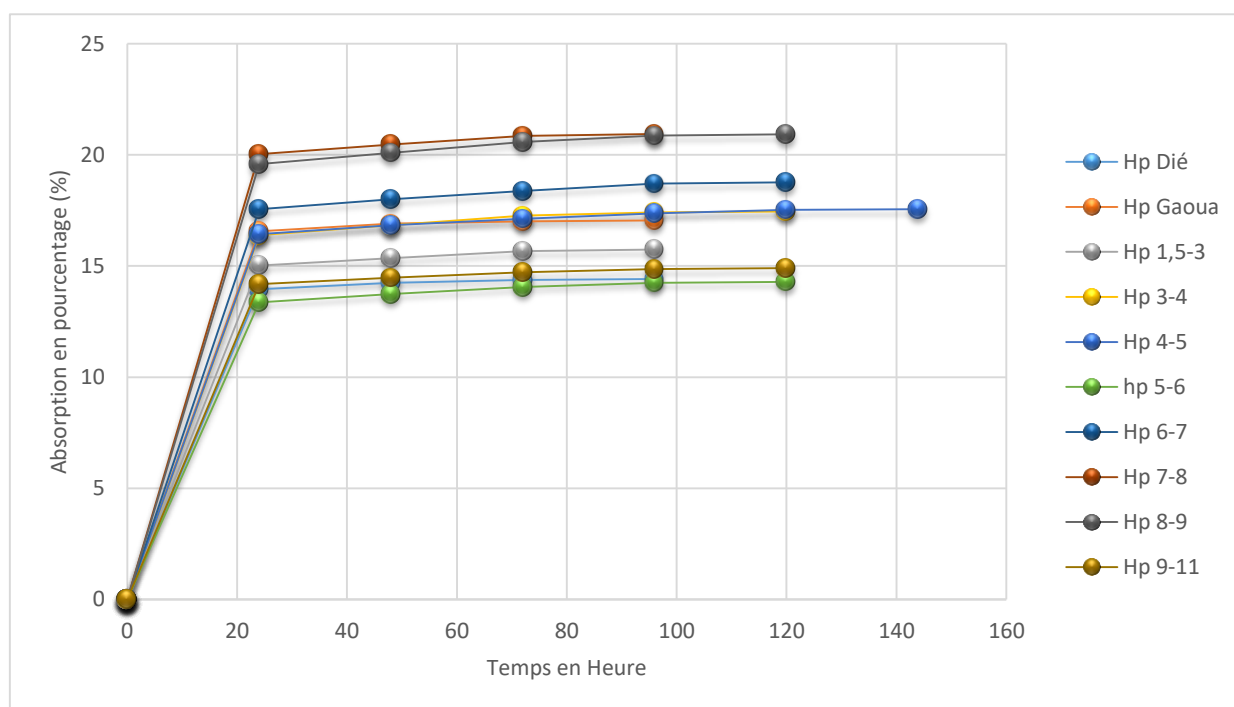
Les tests d'absorption capillaire et de capacité d'absorption sont des approximations raisonnables à ce qui se passe dans la réalité. En revanche les blocs sont rarement submergés.

Les résultats sont consignés dans le **Tableau 8** et le **Graphique 4**

Tableau 8 : Récapitulatif absorption par immersion en %

	<i>Diébougou</i>	<i>Gaoua</i>	<i>Dano</i>							
<i>Heures</i>	<i>H_p</i>	<i>H_p</i>	<i>H_{pD1,5-3}</i>	<i>H_{pD3-4}</i>	<i>H_{pD4-5}</i>	<i>H_{pD5-6}</i>	<i>H_{pD6-7}</i>	<i>H_{pD7-8}</i>	<i>H_{pD8-9}</i>	<i>H_{pD9-11}</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	13,96	16,56	15,02	16,39	16,43	13,37	17,56	20,03	19,59	14,18
48	14,24	16,91	15,35	16,83	16,83	13,74	18,00	20,46	20,09	14,47
72	14,37	17,00	15,67	17,26	17,12	14,05	18,38	20,86	20,58	14,72
96	14,42	17,05	15,74	17,42	17,36	14,24	18,70	20,94	20,86	14,86
120				17,46	17,52	14,28	18,76		20,93	14,91
144					17,55					

Graphique 4 : Récapitulatif absorption par immersion en %



Le phénomène d'absorption est une augmentation de la masse apparente lié à une augmentation de l'humidité au voisinage du matériau, le phénomène contraire étant une désorption. Ces deux

phénomènes caractérisent la sensibilité à l'eau d'un matériau de construction. L'exposition à l'eau fait partie des facteurs qui influent considérablement sur la résistance et la dégradation des matériaux poreux. La teneur en eau est étroitement liée à la porosité et à la nature du matériau. Elle évolue en fonction du temps d'immersion du matériau plus ou moins rapidement avant de se stabiliser. D'après le [Graphique 4](#), l'absorption d'eau des BLT varie suivant trois phases :

- **La première phase** (le 24 premières heures) est celle dont l'absorption est rapide avec une pente très raide. Dans cette phase l'eau remplit les pores de plus grand diamètre ou les macropores.
- **La seconde phase** (durée variable selon la couche : entre 24 – 72 h) admet une pente moins forte. Dans cette phase l'eau arrive à pénétrer dans la plupart des vides interstitiels du matériau grâce au réseau de connexion qui existe entre elles.
- **La troisième phase** (les 24 dernières heures) est la phase de saturation, on assiste à une variation infinie de l'absorption entre 2 pesées : l'ensembles des pores est saturé par l'eau.

L'absorption d'eau par immersion varie suivant la couche de 14,52 à 20,94%. Si la porosité du matériau est importante, l'absorption de l'eau est grande, mais l'absorption est toujours inférieure à la porosité du matériau dans notre cas. L'eau ne remplit donc pas tous les pores du matériau. Aussi le temps de saturation (5 à 7 jours) est un renseignement très précieux en ce sens qu'il nous permet d'avoir une petite idée sur la compacité du matériau. Plus le temps de saturation est grand, plus le matériau est compact et qui parle de compacité fait allusion à la résistance à la compression. Le volume total des vides (ou pores) dans un bloc est étroitement lié à la quantité d'eau qu'il peut absorber. La plus grande valeur de la capacité d'absorption d'eau observée s'explique alors par l'existence de nombreux pores. En général, moins est l'absorption d'eau d'un bloc, meilleure est sa performance mécanique ([Kerali, 2001](#)).

III.3.2 Absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique

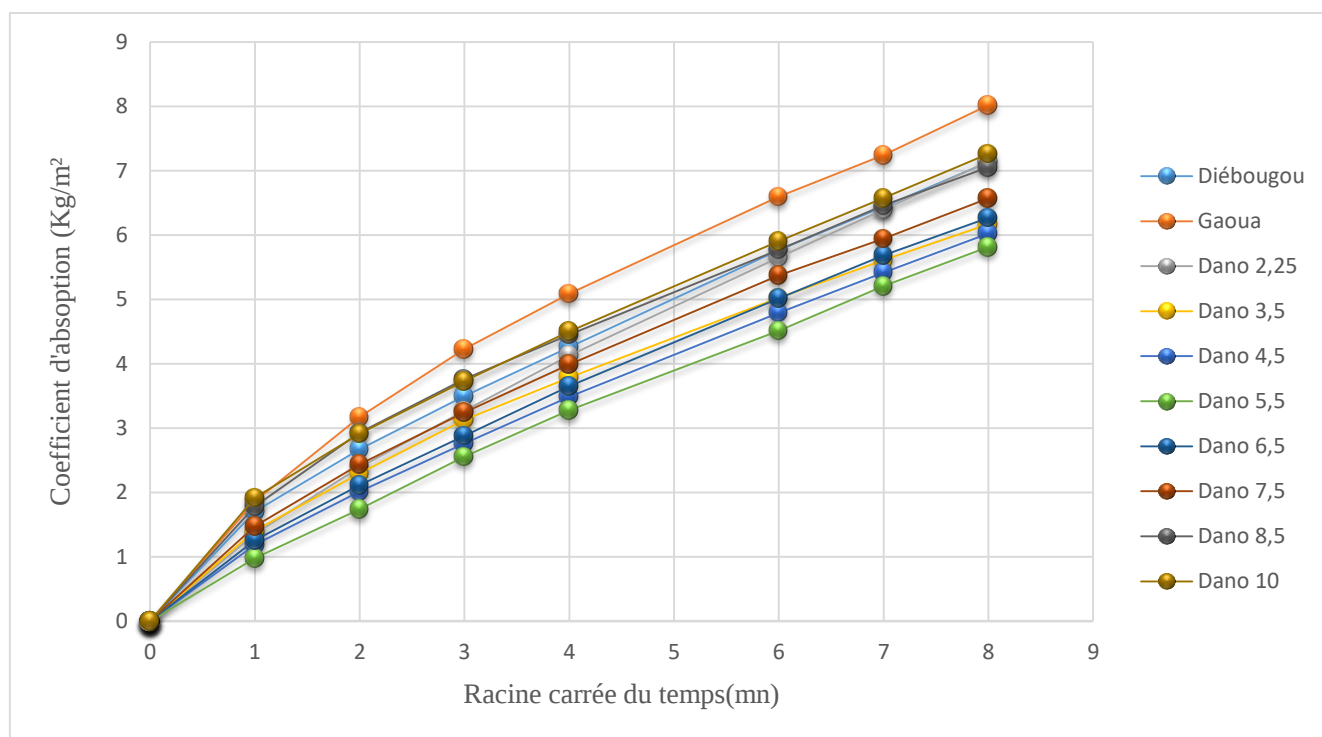
Les résultats obtenus sur le coefficient d'absorption sont résumés dans le [Tableau 9](#) et sur le [Graphique 5](#). La carrière de Gaoua présente un plus grand coefficient d'absorption capillaire ($8,02\text{kg}/\text{m}^2$) comparativement à celle de Diébougou $7,14\text{kg}/\text{m}^2$ et de Dano qui donne une moyenne $6,44\text{kg}/\text{m}^2$. Ce résultat est en accord avec les résultats obtenus sur la porosité accessible à l'eau. En outre dans une même carrière le coefficient d'absorption capillaire varie

selon la profondeur d'extraction comme ce qui avait déjà été démontré au niveau de la porosité accessible à l'eau. Ce coefficient va de 5,82 à 7,26 kg/m^2 .

Tableau 9: Absorption d'eau par capillarité a la pression atmosphérique en kg/m^2

$\sqrt{\text{Temps}}$	Ca Diébougou	Ca Gaoua	Ca Dano 1,5-3m	Ca Dano 3-4m	Ca Dano 4-5m	Ca Dano 5-6m	Ca Dano 6-7m	Ca Dano 7-8m	Ca Dano 8-9m	Ca Dano 9-11m
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1,71	1,86	1,36	1,40	1,19	0,98	1,26	1,48	1,78	1,92
2	2,67	3,17	2,39	2,30	2,02	1,74	2,11	2,44	2,93	2,92
3	3,50	4,23	3,27	3,13	2,76	2,56	2,88	3,24	3,76	3,73
4	4,26	5,09	4,13	3,79	3,49	3,28	3,65	3,99	4,45	4,50
6	5,77	6,60	5,65	5,02	4,79	4,51	5,01	5,38	5,77	5,91
7	6,44	7,25	6,40	5,61	5,42	5,21	5,69	5,95	6,46	6,58
8	7,14	8,02	7,15	6,17	6,02	5,82	6,27	6,57	7,05	7,26

Graphique 5: Comparaison des Coefficients d'absorption des carrières



A cause de leur porosité, les matériaux rocheux ont la capacité d'échanger de l'humidité ou de l'eau avec le milieu environnant. Cet échange, lorsqu'il est cyclique ou prolongé dans le temps, entraîne la détérioration des propriétés des BLT. La détérioration se manifeste par la modification de l'aspect physique et de la cohérence des forces de liaison, la perte de dimensions ou le changement du comportement chimique du matériau. Tous ces processus entraînent la perte de la résistance mécanique du matériau, voire sa détérioration complète.

Cette détérioration est une loi de la nature (cycle de vie du matériau) et seul son ralentissement peut être envisagé par des interventions efficaces (Feilden, 2003).

La résistance des BLT n'est donc pas seulement tributaire de sa structure interne et de sa composition pétrographique, mais elle dépend aussi de l'environnement auquel elle est exposée. Les matériaux ayant les plus grands coefficients d'absorption capillaire sont ceux qui vont se saturer ; le plus vite au niveau du test d'absorption par immersion. Plus le coefficient d'absorption capillaire est important plus on a des risques de voir la structure moléculaire des BLT se fragiliser. Les échantillons de Gaoua ont le coefficient de d'absorption capillaire les plus élevés, cela se vérifie aussi avec le temps de saturation au test d'immersion qui est moindre, comparer aux autres. La capacité d'absorption des parpaings en ciment est nettement meilleure que celles du BLT à cause du revêtement (enduit) qui est mis sur cette dernière. A l'issue de la caractérisation hydrique un classement des couches selon leur faible absorption est proposé au **Tableau 10**.

Les parpaings de ciment sont généralement peu hygroscopiques, Il se comporte très bien dans en milieu humide. De plus, cette maçonnerie reçoit un crépissage, ou un enduit, destiné à protéger les éléments constitutifs et à améliorer l'aspect extérieur. L'esthétique est l'un des atouts majeurs des BLT, pour la conserver on n'évite de mettre d'enduit sur les constructions en BLT, ce qui a l'avantage d'être économique mais laisse les BLT à la merci des eaux donc aux risques de lessivage.

Tableau 10 : Classement hydrique des couches

<i>Couche</i>	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Classement</i>
<i>Dano 5-6m</i>	5,82	1
<i>Dano 4-5m</i>	6,02	2
<i>Dano 3-4m</i>	6,17	3
<i>Dano 6-7m</i>	6,27	4
<i>Dano 7-8m</i>	6,57	5
<i>Dano 8-9m</i>	7,05	6
<i>Diédougou</i>	7,14	7
<i>Dano 1,5-3m</i>	7,15	8
<i>Dano 9-11m</i>	7,26	9
<i>Gaoua</i>	8,02	10

III.4 Caractéristiques mécaniques

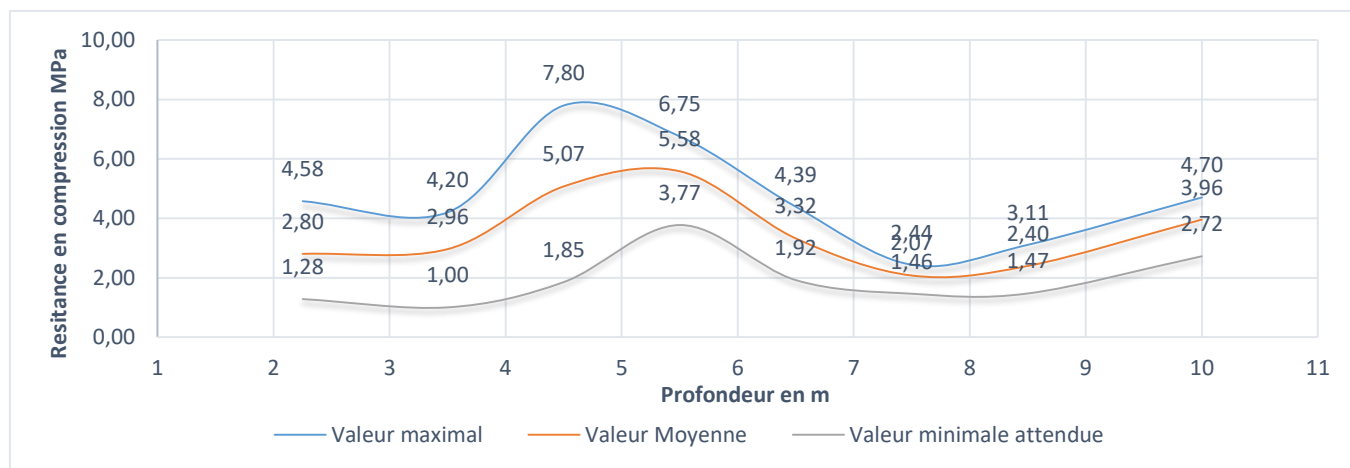
III.4.1 Résistance en compression

La connaissance de cette caractéristique est indispensable pour des applications structurales où les BLT seront utilisés comme des éléments porteurs. Les résultats obtenus à l'issue de l'essai sont présentés dans le **Tableau 11** ainsi qu'une illustration au **Graphique 7**.

Tableau 11 : Récapitulatif des résultats de résistance en compression des BLT en MPa

Couche		Valeur maximale	Valeur minimale	Valeur Moyenne	Ecart Type	Valeur minimale attendue
Diédougou		7,64	3,18	4,56	$\pm 1,65$	2,06
Gaoua		3,51	2,03	2,81	$\pm 0,68$	1,53
Dano	1,5-3m	4,58	1,84	2,80	$\pm 0,97$	1,28
	3-4m	4,20	1,32	2,96	$\pm 1,08$	1,00
	4-5m	7,80	3,09	5,07	$\pm 2,00$	1,85
	5-6m	6,75	4,50	5,58	$\pm 0,92$	3,77
	6-7m	4,39	2,21	3,32	$\pm 0,71$	1,92
	7-8m	2,44	1,75	2,07	$\pm 0,30$	1,46
	8-9m	3,11	1,85	2,40	$\pm 0,86$	1,47
	9-11m	4,70	3,40	3,96	$\pm 0,62$	2,72

Graphique 6 : Résistance en compression des échantillons de Dano selon la profondeur



Pour l'ensemble des carrières la valeur moyenne de la résistance en compression varie entre 2,07 et 5,58 MPa. Ces résultats, si on les analyse couche par couche et carrière par carrière donnent de meilleures contraintes que celles obtenues avec les latérites Indiennes (0,5 à 3 MPa) (Kasthurba et al., 2008 ; Kasthurba, 2006 ; Kasthurba et Santhanam, 2005). Les échantillons de Gaoua et de la couche 7-8 m de la carrière de Dano affichent de faibles résistances. Ces valeurs sont par contre du même ordre de grandeur que celles des autres pierres naturelles utilisées dans

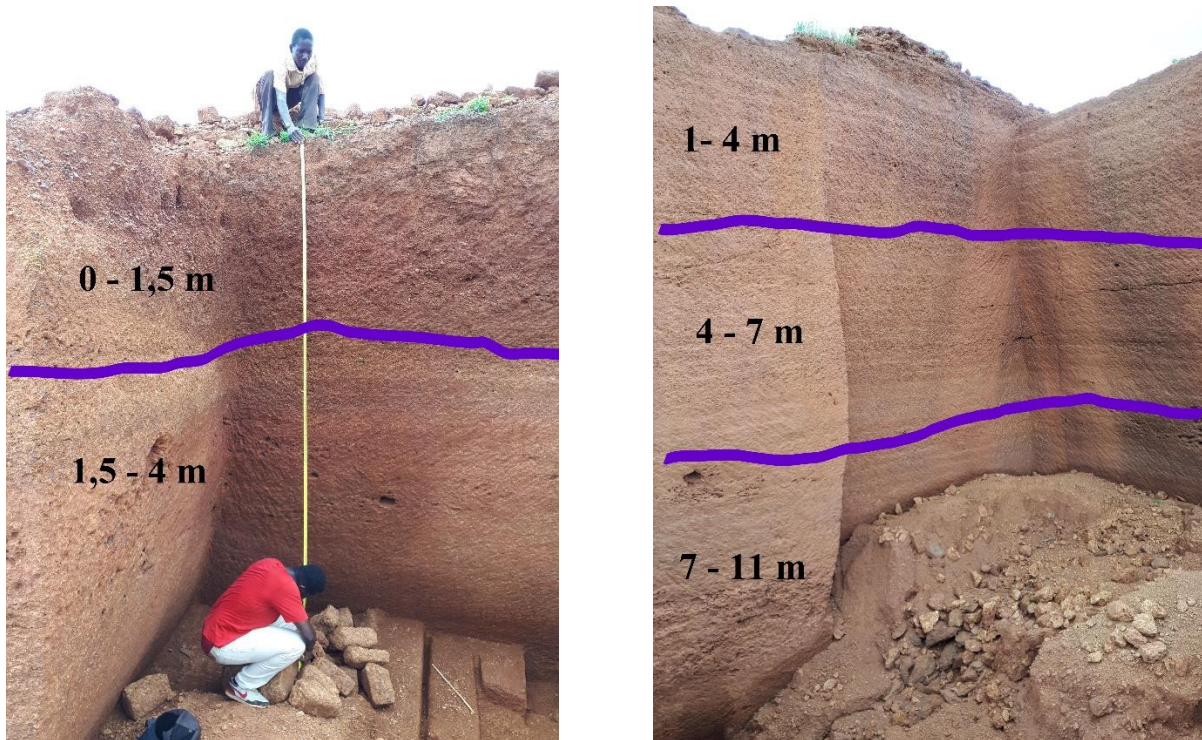
la construction d'habitats en Turquie telle que les dépôts quaternaires de caliche (2,03 à 10,4 MPa) (Dinger et al., 2008).

L'allure du

Graphique 6 nous permet de remarquer l'existence de 3 couches à savoir :

- **Couche A** : c'est la couche immédiatement en contact avec le sol meuble. Elle s'étend de 1,5 à 4 m de profondeur et possède une contrainte de compression 2,8 et 2,96 MPa.
- **Couche B** : qui va de 4 à 7 m est la plus résistante en compression avec une contrainte de 3,32 à 5,96 MPa.
- **Couche C** : a une contrainte de 2,07 à 3,96 MPa et s'étend de 7 à 11 m

Image 15 : Aperçue sur les 3 couches de Dano



Le Centre de Recherche et d'Application en Terre (CRATerre) recommande un seuil de 4 MPa pour les constructions en briques de terre, ce qui est supérieur à la prescription de la norme indienne (IS :3620-1979, 1998) qui préconise 3,5 MPa pour la maçonnerie. Il est difficile d'avoir des BLT de bonne qualité comme le recommande les différentes normes ; nous avons donc de la bonne laterite sur l'ensemble des sites sauf à Gaoua et à Dano (7 -8m). Des tests réalisés sur les parpaings venant de la production artisanale ont donnés des résistances de l'ordre de 1,3 MPa. Les BLT dans l'ensemble sont de meilleure qualité que ces parpaings en ciment du commerce.

Les valeurs de résistance à la compression sont très dispersées au sein d'une même carrière et d'une carrière à l'autre avec des écart-types très élevés (Tableau 11). Ceux-ci pourraient s'expliquer par plusieurs facteurs : La composition minéralogique, la porosité qui varie sur une même carrière, l'irrégularité des surfaces, les conditions d'exploitation, la géologie des couches.

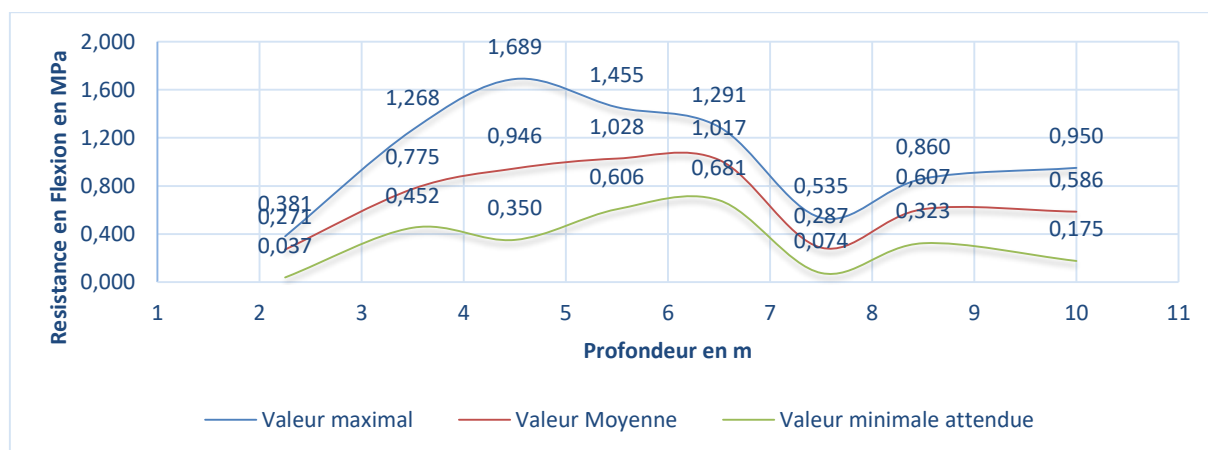
III.4.2 Résistance en flexion

La connaissance de cette caractéristique permet de déterminer les dimensions maximales des BLT pour leur possible utilisation en flexion. Les valeurs moyennes, maximales et minimales, obtenues avec l'essai de flexion 3 points sur les échantillons de dimensions 45 x 45 x 270 mm, sont présentées dans Tableau 12.

Tableau 12 : Récapitulatif des résultats de résistance en flexion des BLT en MPa

Couche		Valeur maximale	Valeur minimale	Valeur Moyenne	Ecart Type	Valeur minimale attendue
Diébougou		1,03	0,13	0,50	$\pm 0,34$	0,07
Gaoua		0,19	0,05	0,12	$\pm 0,06$	0,02
Dano	1,5-3m	0,38	0,03	0,27	$\pm 0,11$	0,04
	3-4m	1,27	0,60	0,78	$\pm 0,21$	0,45
	4-5m	1,69	0,44	0,95	$\pm 0,39$	0,35
	5-6m	1,46	0,70	1,03	$\pm 0,24$	0,60
	6-7m	1,29	0,79	1,02	$\pm 0,18$	0,68
	7-8m	0,54	0,09	0,29	$\pm 0,14$	0,07
	8-9m	0,86	0,39	0,61	$\pm 0,16$	0,32
	9-11m	0,95	0,27	0,59	$\pm 0,28$	0,17

Graphique 7: Résistance en flexion de Dano selon la profondeur



A l'issue des essais nous avons une résistance à la flexion sur tous les échantillons qui varie moyennement de 0,12 à 1,03 MPa ; les échantillons de Gaoua ont les plus faibles résultats ce qui prouve une fois de plus leur mauvaise qualité. En comparaison, on a une résistance en

flexion 1,02 MPa pour la carrière de Koubri et 0,44 MPa pour la carrière de Tigaldégué (LAWANE, 2017). Pour ce qui est de la répartition couche par couche de la carrière de Dano, nous avons une plage moyenne qui va de 0,28 à 1,03 MPa, les couches 3-7m donnant les meilleurs résultats. Le **Graphique 7** nous permet également de distinguer les 3 couches (A, B et C) à l'image de la résistance en compression.

On remarque ici aussi une disparité des résultats liés aux mêmes causes. Le plus grand risque vient de la préparation des échantillons, tant au niveau de son extraction dans les carrières (mécanisées ou artisanales) qu'au passage à la scie par souci de conformité avec la norme **EN 12372**. En effet nous avons eu la preuve de la mauvaise qualité des échantillons de Gaoua dès l'étape d'échantillonnage. Ces échantillons ne résistaient pas à la scie, et pour pallier à un manque de résultat nous avons effectué les tests sur des échantillons de taille non réglementaires ($120 \times 100 \times 270 \text{ mm}^3$). Sur d'autres échantillons bien compact au départ, apparaissaient des microfissures après le passage à la scie. En assimilant le passage à la scie comme un mode d'extraction des BLT, cela nous amène à la conclusion que le mode d'extraction des BLT a une influence sur la résistance de ses dernières. Cette conclusion est corroborée par les recherches de (LAWANE, 2014) et (Kasthurba, 2006). De la création de microfissures, il en résulte un écart type important lors des essais. La résistance à la compression est fortement liée aux propriétés physiques, telles que la porosité, les microfissures, la masse volumique, la teneur en eau . . .

Il ne faut cependant pas exclure le fait que les artisans tailleurs des carrières ont la tendance à choisir des carrières à la portée de leur force physique. La résistance à la flexion, également désignée comme résistance à la flexion traction ou résistance à la traction indirecte, indique la charge maximale que le matériau peut supporter pour ce type spécifique de contrainte. Pour les BLT cette résistance est très faible comparée à celle de la compression, de ce fait, leur utilisation dans les parties tendues des ouvrages est fortement déconseillée.

Les blocs, qui par définition servent à construire des murs, doivent assurer une fonction de portance. Il en résulte que l'une de leurs propriétés essentielles est la résistance à l'écrasement. Nous avons donc classé les BLT et certains parpaings en fonction de leur résistance à la compression.

Tableau 13 : Classement mécanique des échantillons en MPa

<i>Couche</i>	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Classement</i>
<i>Dano 5-6m</i>	5,58	1
<i>Dano 4-5m</i>	5,07	2
<i>Diédougou</i>	4,56	3
<i>Parpaing B40</i>	4	4
<i>Dano 9-11m</i>	3,96	5
<i>Parpaing L35</i>	3,5	6
<i>Dano 6-7m</i>	3,32	7
<i>Dano 3-4m</i>	2,96	8
<i>Gaoua</i>	2,81	9
<i>Dano 1,5-3m</i>	2,8	10
<i>Parpaing L25</i>	2,5	11
<i>Dano 8-9m</i>	2,4	12
<i>Dano 7-8m</i>	2,07	13

Conclusion

Ce chapitre avait pour but de comparer les caractéristiques des BLT de la région du Sud-Ouest. Ainsi nous pouvons dire que

- Sur le plan chimique les BLT sont composés en majorité de : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Les proportions de ces éléments chimiques ne sont cependant pas les mêmes sur toute les carrières. A Dano et Diédougou nous avons de forte teneur en Fe_2O_3 ; mais a Gaoua c'est plutôt la SiO_2 qui domine.
- Sur le Plan physique les BLT sont des matériaux poreux (environ 30%) .
- L'étude hydrique nous montre que le nombre important des pores favorise l'absorption d'eau tant capillaire que par immersion.
- Sur le plan mécanique, les BLT sont très résistants selon la norme indienne (IS :3620-1979, 1998) et les prescriptions du CRATerre. Cette résistance confère au BLT la possibilité d'être utilisé dans la construction de bâtiment. Cependant, Il est nécessaire d'améliorer certaines couches : Gaoua, Dano 1,5-4m et 7-9m.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Face aux difficultés d'ordres économique et sociale que rencontre le Burkina, il y a lieu de promouvoir les matériaux locaux pour espérer voir le bout du tunnel. Les BLT puisqu'il s'agit d'eux, sont utilisés depuis des années pour la construction de l'enveloppe des bâtiments, mais force est de reconnaître que cette utilisation ne respecte aucune norme dans notre pays. Ce présent mémoire apporte sa pierre à l'élaboration de l'avant-projet de codification des BLT au Burkina Faso, assortie d'une stratégie et d'un plan de promotion et d'exploitation. Pour ce faire nous avons procédé à une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des BLT de la région du Sud-Ouest du Burkina Faso.

A travers une analyse chimique sur les échantillons des carrières, nous avons trouvé les constituant chimique majoritaire des BLT (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) et secondaire. L'absence de sulfate dans les éléments constituant le BLT nous a permis d'écarter la thèse de la toxicité pour l'homme. Cette étude nous a permis également de comprendre le lien entre la composition chimique des BLT et leur comportement mécanique ; compréhension qui pourrait être amélioré dans les prochaines études à travers des études chimiques, minéralogiques et environnementales (essais de lixiviation) couche par couche.

Les essais de caractérisation physiques sur les BLT nous ont permis d'obtenir un poids spécifique moyen de $28,38 \text{ kN/m}^3$ pour la carrière étudié de Dano. La porosité dans l'ensemble des carrière donne une moyenne de 35%. Le poids spécifique est conditionné par la nature de la roche mère des latérites. Il est donc possible à travers la carte géologique d'une région de choisir un site d'affleurement provisoire de latérite pour l'exploitation. Ces valeurs de porosité n'ont pas pu être approchées au prosimètre au mercure qui donne des valeurs plus représentatives de la porosité. Il faut donc faire cette étude sur les échantillons à l'avenir. Une étude thermique doit être réaliser pour avoir une idée du gain énergétique que peut permettre cette grande porosité des BLT.

La qualité des BLT n'est pas seulement tributaire de sa structure interne et de sa composition pétrographique, mais elle dépend aussi de l'environnement auquel elle est exposée. La caractérisation hydrique nous montre que les BLT se saturent au bout de 5 jours avec un coefficient d'absorption capillaire compris entre $5,82$ et $8,02 \text{ kg/m}^2$ et un coefficient de

saturation 14 à 20 %. Plus le coefficient d'absorption capillaire est important plus on a des risques de voir la structure moléculaire être fragilisée. La fragilité des BLT face à l'eau impacte sur leur durabilité. Des traitements à base de matériaux locaux (Karité, Néré) ou de chaux pour améliorer le comportement hydrique (réduction de 25-45%) et au passage améliorer certaines caractéristiques des BLT sont en expérimentation.

Enfin la qualité première des matériaux de construction est de résister à la pression sans se déformer, elles doivent assurer une fonction de portance. La résistance à la compression est variable au sein d'une carrière en fonction de l'état hydrique du matériau, de la profondeur, de la porosité, de la densité et du mode d'exploitation des BLT. Dans l'ensemble les BLT des différentes carrières peuvent être tous utilisés pour la construction d'élément non porteur, Les couche de Diébougou et Dano (4 -7m et 9-11m) avec une résistance moyenne de 4,65 MPa peuvent utiliser en bâtiment selon le CRA Terre et les normes indiennes ([IS :3620-1979, 1998](#)).

La caractérisation des carrières de Diébougou, Gaoua et celle de Dano couche par couche nous a permis de comprendre qu'il est difficile de dire que l'on caractérise une carrière. Il y'a au sein d'une même carrière une grande plage de donnée. Ainsi nous devons revoir les caractérisations de carrières. Pour toute nouvelle étude sur les BLT, Il est souhaitable de combiner les points de vue de la géotechnique, de la géologie des minéraux et de la pédologie pour que l'analyse soit complète. La présence d'une géologue est fortement recommandée lors de la phase d'échantillonnage. Les BLT doivent avoir les dimensions suivante : $35 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ pour faciliter les essais.

BIBLIOGRAPHIE

R. Maignien : Compte rendu de recherches sur les latérites. Recherches sur les ressources naturelles. Unesco, 1966a.

R. Maignien: Review of research on laterites. Numéro 22 in Natural resources research UNESCO, 1966b.

F.H. Buchanan: A journey from Madras through the Countries of Mysore, Kanara and Malabar. v 1-3 East India Co- 2 vols London, 1807.

Slansky M., Lallemand A., Millot G. (1964). La sédimentation et l'altération latéritique des formations phosphatées du gisement de Taïba. Bulletin du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, pp. 311-324.

J. Wather : Bericht Über die Resultate einer Reisenache Ostindien in Winter. Verh.Gesellsch. Erdk., pages 318–328, 1989.

T. R. PATON and M. A. J. Williams (March 1972), The concept of laterite, Annals of Association of American Géographes, vol. 62, No 1, PP 42-56, published by Taylor and Francis, Ltd.

W. Schellmann: A new definition of laterite. In Banerji P.K (Ed)laterisation processes, volume 120 de LNCS, pages 1–7. Memoir of the Geological Survey India, 1986.

L.T. Alexander et J.G. Cady: Genesis and hardening of laterite in soils. Technical bulletin (United States. Dept. of Agriculture). U.S. Dept. of Agriculture, 1962.

Stephens, C.G, 1946. Pedogenesis following the dissection of lateritic regions in southern Australlia. C.S.I.R.O, Bull. No. 206.

Stephens C.G. (1961). Laterite at the type locality, Angadipuram, Icerala, India. Journal of Soil Science, vol. 12, n°2, pp. 214-217.

Marbut, C.F., 1932. Morphology of laterites, Proc. Second Int. Cong. Soil Sci., Vol. 9 :76-80.

J.C. Leprun : Les surfaces ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse - Transformation - Dégradation. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg - Institut de Géologie, 1979.

A. Blot : Caractérisation des chapeaux de fer en milieu latéritique cuirassé. Comptes Rendus Géoscience, 336(12):1473–1480, 7 2004.

B. S. Persons: Laterite: genesis, location, use. Monographs in geoscience. New York: Plenum Press, 1970.

J.A. Perscott et P.L. Pendleton: Laterite and lateritic soils. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1952.

J.L. D'Hoore et La Commission de Coopération technique en Afrique au sud du Sahara : La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000 : mémoire explicatif. Commission de coopération technique en Afrique. Publication. Commission de coopération technique en Afrique, 1964.

D.L Bramaio et L. Petezval : Soil map of South America. In 7th International congress of soil Sc., volume V1, pages 1–10. Madison, 1960.

D. Nahon : Altérations dans la zone tropicale. Signification à travers les mécanismes anciens et/ou encore actuels. Comptes Rendus Geoscience, 2003. ISSN 1631-0713.

U. Wyss : La construction en “matériaux locaux” : État d'un secteur à potentiel multiple. Rapport technique, ICI, Ouagadougou, 2005.

G. Hottin et O.F. Ouedraogo : Notice explicative de la carte géologique au 1.000.000 ème de la République de la Haute-Volta. Edition BRGM, 1975.

Agence pour le Developpement International. (1971). Les sols lateritiques et d'autres sols difficiles d'Afrique, Kumasi, GHANA : Lyon Associates, INC

A. Lawane, A. Pantet, R. Vinai et J.H. Thomassin : Etude géologique et géomécanique des latérites de dano (Burkina Faso) pour une utilisation dans l'habitat. Annales du Bâtiment et des Travaux Publics, 2011. ISSN 1270-9840.

A. Lawane, R. Vinai, A. Pantet, J.H. Thomassin et A. Messan : Hygrothermal features of laterite dimension stones for sub-saharan residential building construction. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 2014. ISSN 0899-1561.

YAYA, S. B. (2010). ANALYSE DES COMPORTEMENTS HYDRIQUES ET THERMIQUES DES BLT DE LA CARRIERE DE DANO. Ougadougou (Burkina Faso): 2iE.

Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, « Enquête nationale sur l'accès des ménages aux ouvrage d'assainissement-2010 Monographie régionale Sud-Ouest » Novembre 20011.

Profil des régions du Burkina Faso, Direction générale de l'aménagement du territoire et du développement local et régional, Ministère de l'Economie et des Finances, 2010.

İ. Dinçer, A. Acar et S. Ural: Estimation of strength and deformation properties of quaternary caliche deposits. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(3):353–366,

2008. ISSN 1435-9529.

A.K. Kasthurba : Characterization and Study of Weathering Mechanisms of Malabar Laterite for Building Purposes. Thèse de doctorat, Indian Institute of Technology Madras, 2006.

A.K. Kasthurba et M. Santhanam: A re-look into the code specifications for the strength evaluation of laterite stone blocks for masonry purposes. Journal of The Institution of Engineers (India), 86:1 – 6, 2005.

A.K. Kasthurba, M. Santhanam et H. Achyuthan: Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala, SW India - Chemical analysis and microstructure studies. Construction and Building Materials, 22(12):2400 – 2408, 2008. ISSN 0950-0618.

IS :3620-1979: (reaffirmed 1998). indian standard specification for laterite stone block for masonry. Bureau of Indian Standards, New Delhi, Indian, 86:1 – 8, 1998.

B. Feilden : Conservation of Historic Buildings. Technical studies in the arts, archeology and architecture. Taylor & Francis, 2003. ISBN 9780750658638.

Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité’, Compte-rendu des Journées Techniques AFPC-AFREM "Durabilité des Bétons", 11-12 déc. 1997, Toulouse, France, (LMDC, 1998).

Kerali AG. Durability of Compressed and Cement-Stabilised Building Blocks. Ph.D. Thesis, Development Technology Unit, Warwick University, 2001.

DDC, BUCO Ouagadougou, Étude de marché sur la diffusion et l’utilisation des matériaux locaux dans la construction d’habitat au Burkina Faso, Rapport définitif, TAMS Consult, Août 2005

Recensement général de la population et de l’habitation 2006 (RGPH 2006), Analyse des résultats définitifs, Thème 2 « Etat et structure de la population », Comité national du recensement, Ministère de l’Economie et des Finances, août 2009.

Recensement général de la population et de l’habitation 2006 (RGPH 2006), Monographie de la région du Sud-Ouest, Comité national du recensement, Ministère de l’Economie et des Finances, décembre 2009.

Normes

NF EN 12372 : Méthodes d’essai pour pierres naturelles - Détermination de la résistance à la flexion sous charge centrée. AFNOR, Mai 2007.

NF EN 14617-15 : Pierre agglomérée - Méthodes d’essai - Partie 15 : détermination de la résistance en compression. AFNOR, Décembre 2005.

NF EN 1936 : Méthodes d'essai pour pierres naturelles - Détermination des masses volumiques réelle et apparente et des porosités ouvertes et totale. AFNOR, Mai 2007.

NF EN 1097-7 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 7 : Détermination de la masse volumique du filler – Méthode au pycnomètre. AFNOR, Juin 2008.

NF P 18-554 : Granulats – Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux. AFNOR, Décembre 1990.

NF P 18-560 : Granulats – Analyse granulométrique par tamisage. AFNOR, Septembre 1990.

NF P 94-051 : Sols : reconnaissance et essais – Détermination des limites d'Atterberg – Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau. AFNOR, Mars 1993.

NF P 94-057 : Sols : reconnaissance et essais – Analyse granulométrique des sols – Méthode par sédimentation. AFNOR, Mai 1992.

NF P 94-410-3 « Roches. Essais pour déterminer les propriétés physiques des roches. Partie 3 : Détermination de la porosité », mai 2001, ISSN 0335- 3931.

Sites internet

<http://www.valeinco.nc/pages/geologie/plateau.htm>

<http://whc.unesco.org/fr/list/1225>

http://hterre.org/index.php?option=com_phocagallery&view=detail&catid=2:realisations-en-blocs-de-laterite-taillee&id=4:duplex-a-pouni&tmpl=component&phocadownload=2&Itemid=54

https://static1.squarespace.com/static/52dedadce4b03220917728d5/531c43eee4b0b3bd2920f5d6/531c4553e4b0045325885fe2/1394362802919/bafor_eglise.jpg?format=750w

<http://1.bp.blogspot.com/-nZ5BH8eV3yY/VaUIQiwjVmI/AAAAAAAAV4M/NEmrVNAHGS4/s1600/Construction%2Bexemplaire%2B%25C3%25A0%2BOuagadougou.PNG>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Pre_Rup%2C_Angkor%2C_Camboya%2C_2013-08-16%2C_DD_04.JPG/220px-Pre_Rup%2C_Angkor%2C_Camboya%2C_2013-08-16%2C_DD_04.JPG

<http://roches-ornementales.com/Site-Cambodge/CAMBODGE.HTML>

IV. ANNEXES

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Forces des BLT.....</i>	<i>50</i>
<i>Annexe 2 : Album de réalisations en blocs latéritiques taillés.....</i>	<i>53</i>
<i>Annexe 3 : Tableaux résultats des essais de résistance en compression.....</i>	<i>56</i>
<i>Annexe 4 : Tableaux résultats des essais de résistance en flexion.....</i>	<i>60</i>
<i>Annexe 5 : Tableaux résultats des essais d'absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique.....</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 6 : Tableau détaillé de la composition par éléments chimiques.....</i>	<i>68</i>
<i>Annexe 7 : Tableaux résultats des essais d'absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique.....</i>	<i>69</i>
<i>Annexe 8 : Tableaux résultats des essais de détermination de la porosité accessible à l'eau.....</i>	<i>73</i>

Liste de Photo annexe 2

<i>Photo A 1: Vue partielle des 30 logements sociaux en BLT construit à Dédougou.....</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 2 : Construction d'une maison modèle effectuée par KAMAPIERRE en 2008</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 3 : Les briques de la clôture du Marché de Fruits de Bobo-Dioulasso proviennent de KAMAPIERRE (2010).....</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 4 : Hôpital construction effectuée par KAMAPIERRE en 2009.....</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 5 : Duplex à Pouni.....</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 6 : Monastère des cisterciennes de Banfora Province des Cascades.....</i>	<i>53</i>
<i>Photo A 7: Locaux construit par la Maisons du Sahel à Ouagadougou.....</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 8: Pont angkorien en latérite à Kampung Kdei, large de 16 m et toujours en service</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 9 : Pre Rup, Angkor, Camboya</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 10 : Bâtiment administratif du collège Saint-Viateur de Ouagadougou.....</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 11 : Maison de la femme de Dassoui Province du Kouritenga</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 12 : Villa F4 à Nanoro Province du Boulkiemdé.....</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 13 : Villa F2 à Dano.....</i>	<i>54</i>
<i>Photo A 14 : Ecole primaire à Dano.....</i>	<i>55</i>
<i>Photo A 15 : Vue sur la ville de Dano.....</i>	<i>55</i>
<i>Photo A 16 : Eglise catholique de Dano</i>	<i>55</i>
<i>Photo A 17 : Assainissement pluvial de Dano.....</i>	<i>55</i>
<i>Photo A 18 : Villa R+1 à Dano.....</i>	<i>55</i>

Annexe 1 : Forces des BLT

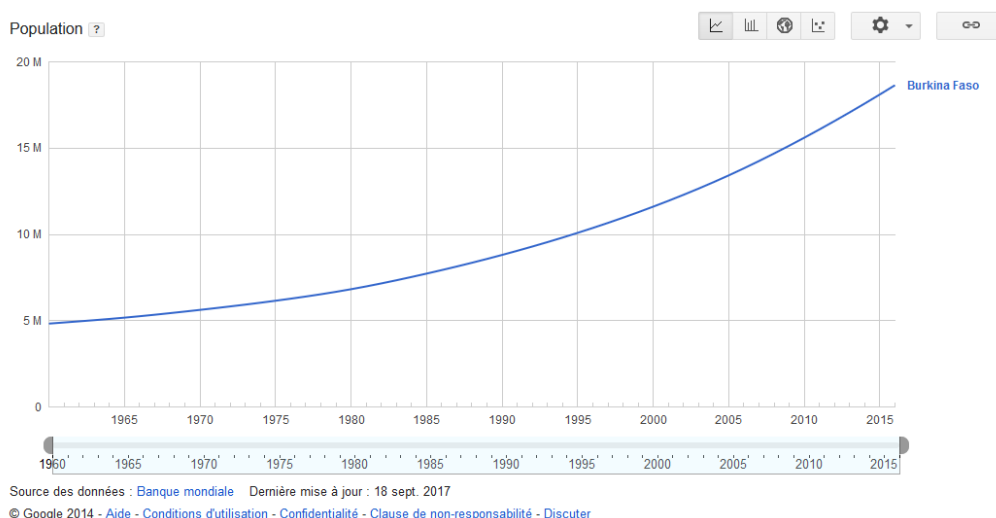
Main d'œuvre

La population burkinabé croît à un rythme de plus 2,4 pour cent l'an et va atteindre une vingtaine de millions d'habitants à l'horizon 2025. La frange jeune représente un peu plus de la moitié de la population et est âgée de moins de 20 ans. L'économie du pays est dominée par l'agriculture et l'élevage qui constituent les deux principales sources d'emploi et de revenus. En effet, ces secteurs occupent près de 80% de la population active. Ces activités sont pratiquées dans des conditions agro-climatiques difficiles et selon un système d'exploitation traditionnel extensif. Depuis 1991 le gouvernement a entrepris avec l'appui de la Banque Mondiale (BM) et du Fonds Monétaire International (FMI) des réformes économiques afin de créer les conditions pour une économie libérale (par la promotion de l'initiative privée) et de réaliser une croissance durable.

Le secteur des Bâtiment Travaux Publics (BTP) est en plein essor depuis ces dernières années. L'utilisation des matériaux locaux dans l'édification d'édifices publics et privés est non seulement un facteur essentiel de la valorisation du patrimoine national.

L'activité de la construction induit des effets économiques qui varient dans une certaine mesure en fonction des matériaux et techniques utilisés, ainsi que des relations de ceux-ci aux savoir-faire et à la culture des communautés locales.

La construction en BLT réduit la fuite des devises par une substitution aux matériaux importés (ciment, acier, bois etc.). La production est surtout manuelle et caractérisée par une Haute Intensité de Main d'œuvre (HIMO), favorise l'économie locale, la création d'emplois (Tailleurs de BLT, maçons) et participe concrètement à la lutte contre la pauvreté. Le coût de la main d'œuvre dans de telles constructions varie entre 40 à 50 % du coût total contre 30% au mieux pour les constructions en ciment. La construction en BLT peut être qualifié d'**économique**.



Disponibilité

La latérite est disponible en quantité quasiment illimitée dans la plupart des régions du Burkina Faso (confère I.1.4.2). La disponibilité des BLT minimise l'impact écologique du transport et le coût de la construction. Cette disponibilité de la matière première doit néanmoins être suivie par la présence de structure exploitation tant artisanale que mécanisée c'est seulement à ce prix que l'on améliorerait le revenu de certains ménages. Des formations dans l'art de taillée et construire en BLT doivent donc être initiées par l'Etat, ce qui résoudra au passage le problème de disponibilité de main d'œuvre qualifiée dans la filière BLT.

Ecologique

Les BLT sont un matériau respectant parfaitement l'environnement qui de plus possède des propriétés intrinsèques extrêmement intéressantes. En effet, sa bonne capacité d'isolation est un atout dans la construction de maisons ce qui renforce son côté environnemental et permet la réduction du bilan énergétique des maisons. En outre la production du ciment selon les techniques est responsable de 5% de l'émission mondiale du CO_2 . Or, l'usage des matériaux locaux est sans émissions nocives. La production des BLT, en majorité artisanale, ne produit pas de CO_2 ce qui est un apport considérable dans un monde où les changements climatiques font des ravages. Enfin l'exploitation informelle respecte peu l'environnement par contre, les exploitants industriels sont obligés de recueillir des données sur l'environnement et de reboucher les trous d'exploitation pour avoir l'agrément. Mais dans un pays comme le Burkina où l'eau se fait rare dans certaines régions, l'étang d'eau laissé suite à l'exploitation des matériaux locaux constitue un abreuvoir pour les animaux domestiques.

Confortable et Esthétique

Les BLT ont le potentiel d'être un véritable outil de développement et proposent des solutions aux problèmes des logements décentes au Burkina Faso en ce sens qu'ils permettent du point de vue :

Confort : On obtient une atténuation de l'amplitude et de la rapidité des variations climatiques, grâce à une grande inertie thermique du matériau et une conception bioclimatique. Les matériaux locaux permettent aussi une autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations.

Esthétique : Les maisons familiales de même que les édifices publics construits avec les BLT ont des murs très réguliers avec de multiples options décoratives comme des arches, des murs courbés, etc. Le côté extérieur des murs est d'une grande beauté naturelle et, contrairement aux murs de béton, ne nécessite aucun traitement contre les éléments du climat.

Durabilité

Le développement durable est composé de trois piliers : le social, l'environnemental et l'économique (Image 16). L'intersection de ces trois composantes majeures permet d'accéder au durable. Notons également que l'intersection entre deux composantes majeures donne naissance à une sous composante (viable, vivable, équitable) qui peut croiser entre elle donne le durable. Cette définition de la durabilité est un modèle théorique, qui peut s'appliquer à notre cas de la construction en BLT.

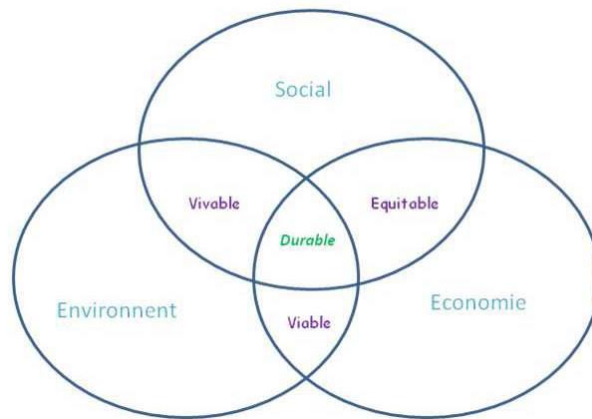


Image 16 : Schéma du développement durable

Les bâtiments faits de BLT traversent les ans sans détérioration. Contrairement aux constructions en béton, les bâtiments de BLT se renforcent avec l'âge. En Birmanie, des temples construits en blocs de latérite en l'an 1 200 sont toujours en place. En outre les résistances en compression sont très bonne. D'après les forces énumérer si dessus la construction en BLT est en accord avec les 3 fondements principaux du développement durable : l'économie, le social et l'environnement

Annexe 2 : Album de réalisations en blocs latéritiques taillés



Photo A 1: Vue partielle des 30 logements sociaux en BLT construit à Dédougou



Photo A 4 : Hôpital construction effectuée par KAMAPIERRE en 2009



Photo A 2 : Construction d'une maison modèle effectuée par KAMAPIERRE en 2008



Photo A 5 : Duplex à Pouni



Photo A 3 : Les briques de la clôture du Marché de Fruits de Bobo-Dioulasso proviennent de KAMAPIERRE (2010)



Photo A 6 : Monastère des cisterciennes de Banfora Province des Cascades

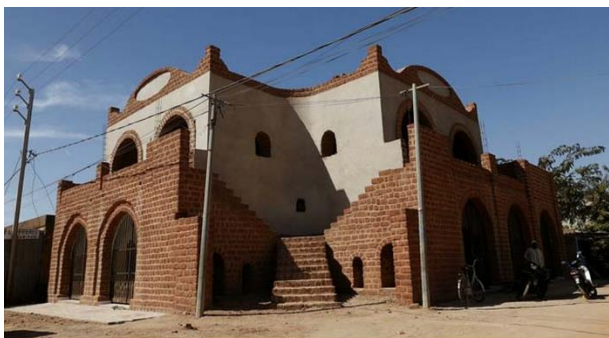


Photo A 7: Locaux construit par la Maisons du Sahel à Ouagadougou



Photo A 8: Pont angkorien en latérite à Kampung Kdei, large de 16 m et toujours en service

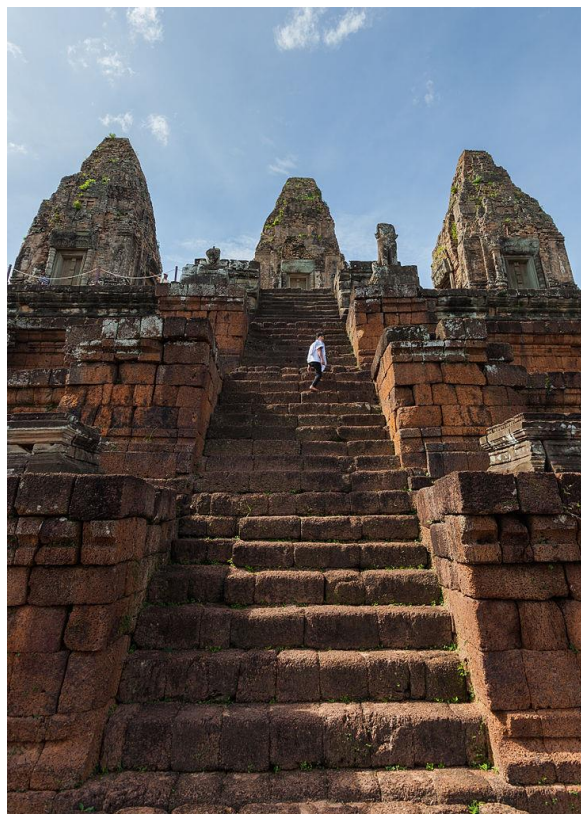


Photo A 9 : Pre Rup, Angkor, Camboya



Photo A 10 : Bâtiment administratif du collège Saint-Viateur de Ouagadougou



Photo A 11 : Maison de la femme de Dassoui Province du Kouritenga



Photo A 12 : Villa F4 à Nanoro Province du Boulkiemdé



Photo A 13 : Villa F2 à Dano



Photo A 14 : Ecole primaire à Dano



Photo A 16 : Eglise catholique de Dano



Photo A 15 : Vue sur la ville de Dano



Photo A 17 : Assainissement pluvial de Dano



Photo A 18 : Villa R+1 à Dano

Annexe 3 : Tableaux résultats des essais de résistance en compression

Echantillons de DIEBOUGOU

<i>Echantillons</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture F (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
	<i>Hauteur (mm)</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Longueur (mm)</i>							
<i>DC1</i>	71	71	71	767,74	25,77	5041	5,11	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
<i>DC2</i>	71	71	70	722,2	19,27	5041	3,82	4,56	1,47	2,07
<i>DC3</i>	71	71	71	758,11	38,50	5041	7,64	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Maximale</i>
<i>DC4</i>	70	71	70	645,86	17,47	4970	3,51	1,65	0,32	7,64
<i>DC5</i>	69	70	71	625,46	19,74	4830	4,09	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur minimale</i>
<i>DC6</i>	71	71	70	625,22	16,01	5041	3,18	0,36	2,34	3,18

Echantillons de GAOUA

<i>Echantillons</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture F (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
	<i>Hauteur (mm)</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Longueur (mm)</i>							
<i>GC1</i>	72	70	72	717,72	16,28	5040	3,23	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
<i>GC2</i>	71	71	71	673,32	10,90	5041	2,16	2,81	1,01	1,54
<i>GC3</i>	70	75	70	696,25	18,33	5250	3,49	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
<i>GC4</i>	71	71	71	667,67	12,24	5041	2,43	0,68	0,25	3,51
<i>GC5</i>	71	70	71	718,72	17,45	4970	3,51	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
<i>GC6</i>	70	71	71	701,21	10,11	4970	2,0343	0,24	2,34	2,03

Echantillon de DANO

	Ech.	Mesures exactes			Masse (g)	Charge de Rupture (kN)	Surface A (mm²)	Résistance à la compression (MPa)	Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)		
		Hau .	Lar.	Lon.							
1,5-3m	1	70	70	70	646,27	11,01	4900	2,25	Valeur Moyenne	Moyenne Logarithmique	Valeur minimale attendue
	2	70	70	72	618,49	8,99	4900	1,84	2,80	0,99	1,28
	3	71	70	70	755,7	11,50	4970	2,31	Ecart Type	Ecart Type Logarithmique	Valeur Max
	4	70	70	70	796,96	14,20	4900	2,90	0,97	0,32	4,58
	5	70	70	71	750,96	22,42	4900	4,58	Variance	K_s pour $n = 6$	Valeur min
	6	70	71	70	667,26	14,61	4970	2,94	0,34	2,34	1,84

	Ech.	Mesures exactes			Masse (g)	Charge de Rupture (kN)	Surface A (mm²)	Résistance à la compression (MPa)	Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)		
		Hau .	Lar.	Lon.							
3-4m	1	70	71	71	610,73	20,89	4970	4,20	Valeur Moyenne	Moyenne Logarithmique	Valeur minimale attendue
	2	71	70	71	629,98	6,54	4970	1,32	2,96	1,02	1,00
	3	70	70	71	610,69	19,13	4900	3,90	Ecart Type	Ecart Type Logarithmique	Valeur Max
	4	71	70	70	568,24	14,20	4970	2,86	1,08	0,43	4,20
	5	70	70	70	563,9	10,68	4900	2,18	Variance	K_s pour $n = 6$	Valeur min
	6	70	71	71	598,39	16,50	4970	3,32	0,37	2,34	1,32

	Ech.	Mesures exactes			Masse (g)	Charge de Rupture (kN)	Surface A (mm²)	Résistance à la compression (MPa)	Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)		
		Hau .	Lar.	Lon.							
4-5m	1	70	71	71	688,65	31,04	4970	6,25	Valeur Moyenne	Moyenne Logarithmique	Valeur minimale attendue
	2	71	71	70	639,77	17,93	5041	3,56	5,07	1,56	1,85
	3	70	70	71	709,53	16,28	4900	3,32	Ecart Type	Ecart Type Logarithmique	Valeur Max
	4	71	71	70	661,01	39,30	5041	7,80	2,00	0,40	7,80
	5	71	71	71	747,6	15,59	5041	3,09	Variance	K_s pour $n = 6$	Valeur min
	6	70	70	71	694,84	31,50	4900	6,43	0,39	2,34	3,09

	<i>Ech.</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
		<i>Hau .</i>	<i>Lar.</i>	<i>Lon.</i>							
5-6m	1	70	70	70	623,41	22,03	4900	4,50	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
	2	71	70	70	665,7	24,46	4970	4,92	5,58	1,71	3,77
	3	70	70	68	603,77	25,56	4900	5,22	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
	4	71	70	70	622,81	32,95	4970	6,63	0,92	0,16	6,75
	5	70	71	69	655,16	27,20	4970	5,47	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
	6	69	70	70	615,23	32,63	4830	6,75	0,16	2,34	4,50

	<i>Ech.</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
		<i>Hau .</i>	<i>Lar.</i>	<i>Lon.</i>							
6-7m	1	70	70	71	589,44	10,85	4900	2,21	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
	2	71	71	72	637,18	17,83	5041	3,54	3,32	1,18	1,92
	3	70	71	71	641,24	21,82	4970	4,39	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
	4	70	68	71	639,91	15,95	4760	3,35	0,71	0,23	4,39
	5	70	71	70	695,62	14,95	4970	3,01	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
	6	70	71	70	611,74	17,06	4970	3,43	0,21	2,34	2,21

	<i>Ech.</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
		<i>Hau .</i>	<i>Lar.</i>	<i>Lon.</i>							
7-8m	1	72	71	73	655,87	11,67	5112	2,28	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
	2	70	71	71	679,83	11,31	4970	2,28	2,07	0,72	1,46
	3	73	72	73	630,46	9,20	5256	1,75	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
	4	71	71	71	621,34	12,29	5041	2,44	0,30	0,15	2,44
	5	71	70	71	614,72	9,68	4970	1,95	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
	6	71	70	71	613,21	8,68	4970	1,75	0,14	2,34	1,75

	<i>Ech.</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
		<i>Hau .</i>	<i>Lar.</i>	<i>Lon.</i>							
8-9m	1	73	71	73	756,04	13,34	5183	2,57	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
	2	71	70	71	722,07	9,66	4970	1,94	2,40	0,86	1,47
	3	71	71	71	689,57	11,12	5041	2,21	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
	4	71	71	71	74152	15,68	5041	3,11	0,48	0,20	3,11
	5	70	70	70	669,09	13,20	4900	2,69	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
	6	71	70	71	681,74	9,19	4970	1,85	0,20	2,34	1,85

	<i>Ech.</i>	<i>Mesures exactes</i>			<i>Masse (g)</i>	<i>Charge de Rupture (kN)</i>	<i>Surface A (mm²)</i>	<i>Résistance à la compression (MPa)</i>	<i>Paramètres de Calcul de la Résistance (Etude Statistique)</i>		
		<i>Hau .</i>	<i>Lar.</i>	<i>Lon.</i>							
9-11m	1	71	70	70	721,55	17,02	4970	3,42	<i>Valeur Moyenne</i>	<i>Moyenne Logarithmique</i>	<i>Valeur minimale attendue</i>
	2	72	71	70	713,95	17,37	5112	3,40	3,96	1,37	2,72
	3	71	69	70	699,05	20,36	4899	4,16	<i>Ecart Type</i>	<i>Ecart Type Logarithmique</i>	<i>Valeur Max</i>
	4	70	70	73	672,75	22,71	4900	4,63	0,62	0,16	4,70
	5	70	71	73	750,81	17,04	4970	3,43	<i>Variance</i>	<i>K_s pour n = 6</i>	<i>Valeur min</i>
	6	70	70	73	714,16	23,05	4900	4,70	0,16	2,34	3,40

Annexe 4 : Tableaux résultats des essais de résistance en flexion

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Longueur (mm)			Largeur (mm)	Epaisseur (mm)			
Diébougou	DF1	45	45	270	1157,88	0,201	45	45	0,787	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	DF2	45	45	272	917,11	0,063	44	45	0,244	0,503	-0,935
	DF3	46	45	270	1163,68	0,166	46	45	0,613	Ecart type	Ecart type logarithmique
	DF4	44	45	272	1131,06	0,190	44	45	0,735	0,336	0,800
	DF5	45	46	273	1012,77	0,039	45	46	0,140	Variance	ks pour 8
	DF6	45	45	270	1112,46	0,273	45	45	1,032	0,113	2,19
	DF7	46	45	270	1012,77	0,093	45	46	0,336	Valeur mini attendue	
	DF8	45	46	270	972,92	0,037	45	46	0,134	0,0681	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Longueur (mm)			Largeur (mm)	Epaisseur (mm)			
Gaoua	G1	120	100	268	5239	0,298	120	100	0,086	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	G2	120	100	269	5284	0,183	120	100	0,053	0,118	-2,252
	G3	121	100	270	5663	0,503	121	100	0,143	Ecart type	Ecart type logarithmique
	G4	120	100	269	5754	0,659	120	100	0,190	0,061	0,567
										Variance	ks pour 4
										0,004	2,68
										Valeur mini attendue	
										0,023	

DANO

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
1,5-3m	1	45	45	273	1086,08	0,06	45	45	0,21	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	45	273	1140,76	0,01	46	45	0,03	0,27	-1,49
	3	45	45	269	1063,19	0,08	45	45	0,32	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	269	1040,88	0,08	45	45	0,30	0,11	0,82
	5	46	45	269	1109,04	0,09	46	45	0,34	Variance	ks pour 8
	6	44	44	271	896,77	0,06	44	44	0,24	0,01	2,19
	7	44	45	271	1001,21	0,09	44	45	0,34	Valeur minimale attendue	
	8	44	45	270	969,85	0,10	44	45	0,38	0,04	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
3-4m	1	45	45	270	968,49	0,18	45	45	0,67	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	44	44	270	866,31	0,19	44	44	0,76	0,78	-0,28
	3	45	45	271	945,52	0,19	45	45	0,68	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	271	955,38	0,19	45	45	0,73	0,21	0,23
	5	45	45	270	945,8	0,34	45	45	1,27	Variance	ks pour 8
	6	46	45	272	991,61	0,16	46	45	0,60	0,05	2,19
	7	45	45	273	960,64	0,23	45	45	0,85	Valeur minimale attendue	
	8	45	45	271	968,05	0,18	45	45	0,67	0,45	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
4-5m	1	45	45	273	1044,11	0,18	45	45	0,70	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	45	269	1010,8	0,17	45	44	0,69	0,94	-0,13
	3	46	45	270	1164,93	0,46	46	45	1,69	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	46	45	270	1053,71	0,30	46	45	1,11	0,39	0,42
	5	45	45	273	1058,6	0,26	45	45	0,96	Variance	ks pour 8
	6	45	46	270	1111,06	0,34	45	46	1,23	0,16	2,19
	7	46	44	272	913,26	0,21	46	45	0,76	Valeur minimale attendue	
	8	45	45	272	996,24	0,12	45	45	0,44	0,35	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
5-6m	1	45	45	270	1061,39	0,30	45	45	1,15	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	45	45	270	1008,59	0,29	45	45	1,09	1,03	0,004
	3	45	45	269	1137,16	0,24	45	45	0,90	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	269	1013,18	0,21	45	45	0,81	0,24	0,23
	5	45	45	270	1171,45	0,18	45	45	0,70	Variance	ks pour 8
	6	45	45	269	1030,3	0,38	45	45	1,46	0,06	2,19
	7	45	45	270	1007,22	0,30	45	45	1,14	Valeur minimale attendue	
	8	45	45	270	1009,51	0,26	45	45	0,97	0,61	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
6-7m	1	45	45	270	997,52	0,21	45	45	0,79	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	45	270	934,44	0,26	46	45	0,97	1,02	0,003
	3	45	44	271	955,87	0,30	45	44	1,18	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	270	1048,49	0,28	45	45	1,06	0,18	0,18
	5	45	45	271	996,41	0,29	45	45	1,11	Variance	ks pour 8
	6	45	45	270	1089,23	0,21	45	45	0,80	0,03	2,19
	7	45	46	270	988,93	0,36	45	46	1,29	Valeur minimale attendue	
	8	45	43	270	948,91	0,22	45	43	0,93	0,68	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
7-8m	1	45	46	272	824,28	0,02	45	46	0,09	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	45	270	854,41	0,05	46	45	0,17	0,29	-1,37
	3	45	45	272	971,75	0,09	45	45	0,35	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	270	1052,21	0,06	45	45	0,23	0,14	0,5601
	5	45	45	270	1064,7	0,09	45	45	0,33	Variance	ks pour 8
	6	45	45	270	1004,64	0,06	45	45	0,21	0,02	2,19
	7	46	45	271	1009,76	0,10	46	45	0,38	Valeur minimale attendue	
	8	45	45	270	992,38	0,14	45	45	0,53	0,07	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
8-9m	1	46	45	270	1035,41	0,15	46	45	0,57	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	46	270	1080,27	0,20	46	46	0,72	0,61	-0,53
	3	45	45	270	1040,38	0,23	45	45	0,86	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	46	45	271	1022,53	0,13	46	45	0,46	0,16	0,27
	5	45	45	270	1063,05	0,10	45	45	0,39	Variance	ks pour 8
	6	45	44	270	1119,09	0,20	45	44	0,78	0,03	2,19
	7	42	46	272	1040,98	0,13	42	46	0,51	Valeur minimale attendue	
	8	45	46	272	1035,92	0,16	45	46	0,58	0,32	

	Echantillons	Mesures exactes			Masse (g)	Force de rupture en (kN)	Rupture		Résistance à la flexion (MPa)	Paramètres de Calcul	
		Largeur	Epaisseur	Longueur			Largeur	Epaisseur			
9-11m	1	46	45	272	1327,57	0,09	46	45	0,35	Valeur Moyenne	Valeur moyenne logarithmique
	2	46	45	280	1116,4	0,26	46	45	0,95	0,58	-0,64
	3	44	45	270	1097,06	0,14	44	45	0,54	Ecart type	Ecart type logarithmique
	4	45	45	272	1148,09	0,07	45	45	0,27	0,2792	0,50
	5	45	45	280	1092,3	0,25	45	45	0,95	Variance	ks pour 8
	6	45	45	273	1014,76	0,08	45	45	0,30	0,08	2,19
	7	45	46	275	1274,37	0,15	45	46	0,54	Valeur minimale attendue	
	8	45	45	276	1262,4	0,21	45	45	0,79	0,18	

Annexe 5 : Tableaux résultats des essais d'absorption d'eau par capillarité à la pression atmosphérique

Temps	D1				D2				D3				Moyenne	
	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Ab	Ca
0	8010	0	0	0	7879	0	0	0	8170	0	0	0	0	0
1	8095	0,09	1,06	2,38	7932	0,05	0,67	1,48	8216	0,05	0,56	1,26	0,77	1,71
4	8145	0,14	1,69	3,78	7961	0,08	1,04	2,29	8241	0,07	0,87	1,94	1,2	2,67
9	8186	0,18	2,2	4,93	7985	0,11	1,35	2,97	8265	0,1	1,16	2,59	1,57	3,5
16	8221	0,21	2,63	5,91	8013	0,13	1,7	3,75	8284	0,11	1,4	3,11	1,91	4,26
36	8288	0,28	3,47	7,79	8058	0,18	2,27	5,01	8335	0,17	2,02	4,5	2,59	5,77
49	8318	0,31	3,85	8,63	8076	0,2	2,5	5,51	8360	0,19	2,33	5,18	2,89	6,44
64	8349	0,34	4,23	9,5	8098	0,22	2,78	6,13	8382	0,21	2,59	5,78	3,2	7,14

Temps	G1				G2				G3				Moyenne	
	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Ab	Ca
0	7978	0	0	0	7851	0	0	0	8067	0	0	0	0	0
1	8006	0,03	0,35	0,84	7928	0,08	0,98	2,2	8152	0,09	1,05	2,55	0,8	1,86
4	8047	0,07	0,86	2,06	7962	0,11	1,41	3,18	8210	0,14	1,77	4,29	1,35	3,17
9	8082	0,1	1,3	3,11	7995	0,14	1,83	4,12	8249	0,18	2,26	5,46	1,8	4,23
16	8111	0,13	1,67	3,97	8025	0,17	2,22	4,98	8278	0,21	2,62	6,32	2,17	5,09
36	8158	0,18	2,26	5,38	8075	0,22	2,85	6,41	8334	0,27	3,31	8	2,81	6,6
49	8178	0,2	2,51	5,97	8095	0,24	3,11	6,98	8360	0,29	3,63	8,78	3,08	7,25
64	8211	0,23	2,92	6,96	8125	0,27	3,49	7,84	8376	0,31	3,83	9,26	3,41	8,02

Temps	1,5-3 m (1)				1,5-3 m (2)				1,5-3 m (3)				Moyenne	
	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Ab	Ca
0	9402	0	0	0	9483	0	0	0	8079	0	0	0	0	0
1	9454	0,05	0,55	1,2	9533	0,05	0,53	1,13	8155	0,08	0,94	1,75	0,67	1,36
4	9495	0,09	0,99	2,14	9580	0,1	1,02	2,19	8203	0,12	1,53	2,85	1,18	2,39
9	9532	0,13	1,38	3	9619	0,14	1,43	3,07	8242	0,16	2,02	3,74	1,61	3,27
16	9568	0,17	1,77	3,82	9658	0,18	1,85	3,95	8280	0,2	2,49	4,62	2,03	4,13
36	9633	0,23	2,46	5,32	9728	0,25	2,58	5,53	8345	0,27	3,29	6,11	2,78	5,65
49	9663	0,26	2,78	6,01	9762	0,28	2,94	6,3	8379	0,3	3,71	6,89	3,14	6,4
64	9696	0,29	3,13	6,77	9796	0,31	3,3	7,07	8410	0,33	4,1	7,6	3,51	7,15

Temps	3 -4 m (1)				3 -4 m (2)				3 -4 m (3)				Moyenne	
	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Ab	Ca
0	9468	0	0	0	9896	0	0	0	8693	0	0	0	0	0
1	9531	0,06	0,66	1,45	9963	0,07	0,68	1,53	8748	0,06	0,63	1,23	0,66	1,4
4	9570	0,1	1,07	2,35	10003	0,11	1,08	2,44	8787	0,09	1,08	2,11	1,08	2,3
9	9611	0,14	1,49	3,29	10040	0,14	1,46	3,28	8818	0,13	1,44	2,8	1,46	3,13
16	9644	0,18	1,82	4,06	10064	0,17	1,7	3,83	8848	0,16	1,78	3,48	1,77	3,79
36	9693	0,23	2,32	5,18	10124	0,23	2,3	5,2	8902	0,21	2,4	4,69	2,34	5,02
49	9709	0,24	2,48	5,55	10158	0,26	2,65	5,97	8930	0,24	2,73	5,32	2,62	5,61
64	9740	0,27	2,79	6,27	10180	0,28	2,87	6,48	8950	0,26	2,96	5,76	2,87	6,17

Temps	4 -5 m (1)				4 -5 m (2)				4 -5 m (3)				Moyenne	
	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Masse g	Masse eau kg	Ab	Ca	Ab	Ca
0	9458	0	0	0	9603	0	0	0	9732	0	0	0	0	0
1	9508	0,05	0,53	1,15	9658	0,06	0,57	1,23	9788	0,06	0,58	1,19	0,56	1,19
4	9544	0,09	0,91	1,97	9695	0,09	0,96	2,06	9827	0,1	0,98	2,02	0,95	2,02
9	9579	0,12	1,28	2,78	9726	0,12	1,28	2,75	9862	0,13	1,34	2,76	1,3	2,76
16	9610	0,15	1,61	3,49	9759	0,16	1,62	3,49	9896	0,16	1,69	3,48	1,64	3,49
36	9666	0,21	2,2	4,78	9816	0,21	2,22	4,76	9960	0,23	2,34	4,84	2,25	4,79
49	9692	0,23	2,47	5,37	9845	0,24	2,52	5,41	9990	0,26	2,65	5,48	2,55	5,42
64	9718	0,26	2,75	5,97	9871	0,27	2,79	5,99	10020	0,29	2,96	6,11	2,83	6,02

<i>Temps</i>	<i>5 - 6 m (1)</i>				<i>5 - 6 m (2)</i>				<i>5 - 6 m (3)</i>				<i>Moyenne</i>	
	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>
<i>0</i>	9166	0	0	0	9320	0	0	0	9021	0	0	0	0	0
<i>1</i>	9219	0,05	0,58	1,2	9351	0,03	0,33	0,7	9064	0,04	0,48	1,03	0,46	0,98
<i>4</i>	9252	0,09	0,94	1,95	9379	0,06	0,63	1,34	9102	0,08	0,9	1,93	0,82	1,74
<i>9</i>	9294	0,13	1,4	2,9	9408	0,09	0,94	2	9137	0,12	1,29	2,77	1,21	2,56
<i>16</i>	9330	0,16	1,79	3,72	9436	0,12	1,24	2,64	9167	0,15	1,62	3,48	1,55	3,28
<i>36</i>	9385	0,22	2,39	4,96	9483	0,16	1,75	3,71	9225	0,2	2,26	4,86	2,13	4,51
<i>49</i>	9426	0,26	2,84	5,89	9504	0,18	1,97	4,18	9254	0,23	2,58	5,55	2,46	5,21
<i>64</i>	9453	0,29	3,13	6,5	9527	0,21	2,22	4,71	9283	0,26	2,9	6,25	2,75	5,82

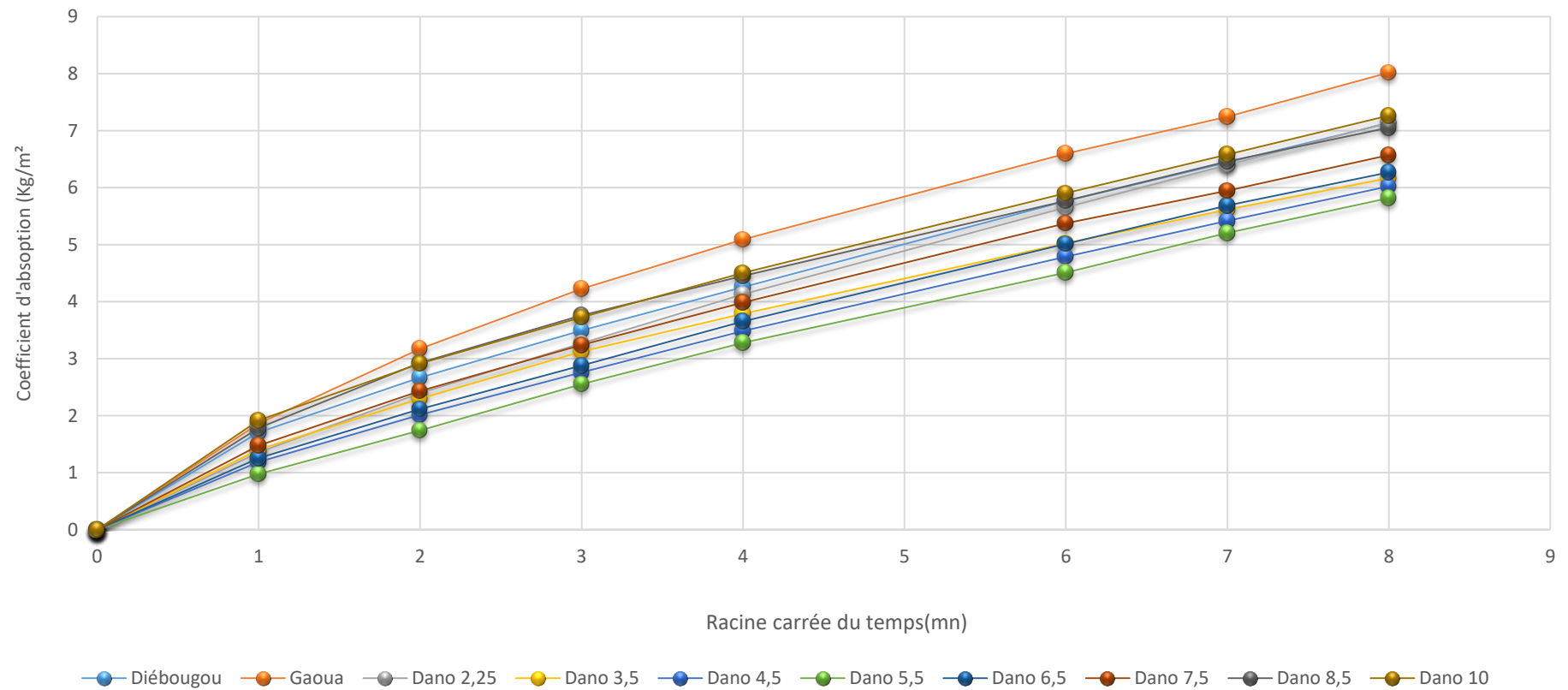
<i>Temps</i>	<i>6 - 7 m (1)</i>				<i>6 - 7 m (2)</i>				<i>6 - 7 m (3)</i>				<i>Moyenne</i>	
	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>
<i>0</i>	9108	0	0	0	8469	0	0	0	8145	0	0	0	0	0
<i>1</i>	9158	0,05	0,55	1,15	8523	0,05	0,64	1,22	8203	0,06	0,71	1,39	0,63	1,26
<i>4</i>	9195	0,09	0,96	2	8560	0,09	1,07	2,06	8240	0,1	1,17	2,28	1,07	2,11
<i>9</i>	9233	0,13	1,37	2,88	8592	0,12	1,45	2,78	8269	0,12	1,52	2,98	1,45	2,88
<i>16</i>	9260	0,15	1,67	3,5	8631	0,16	1,91	3,66	8303	0,16	1,94	3,79	1,84	3,65
<i>36</i>	9316	0,21	2,28	4,79	8694	0,23	2,66	5,09	8360	0,22	2,64	5,16	2,53	5,01
<i>49</i>	9342	0,23	2,57	5,39	8724	0,26	3,01	5,77	8391	0,25	3,02	5,91	2,87	5,69
<i>64</i>	9368	0,26	2,85	5,99	8750	0,28	3,32	6,35	8414	0,27	3,3	6,46	3,16	6,27

<i>Temps</i>	<i>7 - 8 m (1)</i>				<i>7 - 8 m (2)</i>				<i>7 - 8 m (3)</i>				<i>Moyenne</i>	
	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>
<i>0</i>	9393	0	0	0	8867	0	0	0	8844	0	0	0	0	0
<i>1</i>	9450	0,06	0,61	1,29	8929	0,06	0,7	1,43	8921	0,08	0,87	1,72	0,73	1,48
<i>4</i>	9480	0,09	0,93	1,96	8975	0,11	1,22	2,49	8972	0,13	1,45	2,85	1,2	2,44
<i>9</i>	9511	0,12	1,26	2,66	9008	0,14	1,59	3,25	9015	0,17	1,93	3,81	1,59	3,24
<i>16</i>	9537	0,14	1,53	3,25	9041	0,17	1,96	4,01	9055	0,21	2,39	4,7	1,96	3,99
<i>36</i>	9589	0,2	2,09	4,43	9098	0,23	2,61	5,32	9130	0,29	3,23	6,38	2,64	5,38
<i>49</i>	9611	0,22	2,32	4,92	9120	0,25	2,85	5,83	9162	0,32	3,6	7,09	2,92	5,95
<i>64</i>	9631	0,24	2,53	5,37	9150	0,28	3,19	6,52	9195	0,35	3,97	7,83	3,23	6,57

<i>Temps</i>	<i>8 - 9 m (1)</i>				<i>8 - 9 m (2)</i>				<i>8 - 9 m (3)</i>				<i>Moyenne</i>	
	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>
<i>0</i>	10955	0	0	0	9250	0	0	0	9518	0	0	0	0	0
<i>1</i>	11044	0,09	0,81	1,92	9322	0,07	0,78	1,66	9596	0,08	0,82	1,77	0,8	1,78
<i>4</i>	11090	0,14	1,23	2,91	9378	0,13	1,38	2,95	9647	0,13	1,36	2,93	1,32	2,93
<i>9</i>	11124	0,17	1,54	3,64	9426	0,18	1,9	4,06	9676	0,16	1,66	3,59	1,7	3,76
<i>16</i>	11153	0,2	1,81	4,27	9458	0,21	2,25	4,79	9707	0,19	1,99	4,3	2,01	4,45
<i>36</i>	11220	0,27	2,42	5,71	9511	0,26	2,82	6,01	9764	0,25	2,58	5,59	2,61	5,77
<i>49</i>	11245	0,29	2,65	6,25	9550	0,3	3,24	6,91	9792	0,27	2,88	6,23	2,92	6,46
<i>64</i>	11272	0,32	2,89	6,83	9577	0,33	3,54	7,53	9817	0,3	3,14	6,8	3,19	7,05

<i>Temps</i>	<i>9 - 11 m (1)</i>				<i>9 - 11 m (2)</i>				<i>9 - 11 m (3)</i>				<i>Moyenne</i>	
	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Masse g</i>	<i>Masse eau kg</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>	<i>Ab</i>	<i>Ca</i>
<i>0</i>	11124	0	0	0	9822	0	0	0	10899	0	0	0	0	0
<i>1</i>	11256	0,13	1,19	3,03	9886	0,06	0,65	1,52	10953	0,05	0,5	1,21	0,78	1,92
<i>4</i>	11307	0,18	1,65	4,2	9928	0,11	1,08	2,51	10990	0,09	0,83	2,03	1,19	2,92
<i>9</i>	11344	0,22	1,98	5,05	9964	0,14	1,45	3,36	11023	0,12	1,14	2,77	1,52	3,73
<i>16</i>	11378	0,25	2,28	5,83	10000	0,18	1,81	4,21	11054	0,16	1,42	3,46	1,84	4,5
<i>36</i>	11435	0,31	2,8	7,14	10063	0,24	2,45	5,71	11117	0,22	2	4,87	2,42	5,91
<i>49</i>	11466	0,34	3,07	7,86	10089	0,27	2,72	6,32	11148	0,25	2,28	5,57	2,69	6,58
<i>64</i>	11492	0,37	3,31	8,45	10125	0,3	3,08	7,17	11175	0,28	2,53	6,17	2,98	7,26

Tableau de comparaison des Coefficients d'absorption par capillarité



Annexe 6 : Tableau détaillé de la composition par éléments chimiques

<i>Elément chimique</i>	<i>Dano</i>	<i>Diébougou</i>	<i>Gaoua</i>
<i>Mg</i>	0,54	0,94	0,59
<i>Mg +/-</i>	0,13	0,14	0,07
<i>Al</i>	7,88	9,37	11,21
<i>Al +/-</i>	0,11	0,12	0,09
<i>Si</i>	14,00	12,27	25,38
<i>Si +/-</i>	0,08	0,08	0,09
<i>P</i>	0,04	0,0504	ND
<i>P +/-</i>	0,00	0,0042	
<i>Ti</i>	0,36	0,6997	0,4284
<i>Ti +/-</i>	0,01	0,0105	0,009
<i>V</i>	0,06	0,0552	0,0101
<i>V +/-</i>	0,00	0,0034	0,0029
<i>Cr</i>	0,07	0,0224	0,0172
<i>Cr +/-</i>	0,00	0,0026	0,0022
<i>Mn</i>	0,03	0,0329	0,0099
<i>Mn +/-</i>	0,00	0,0022	0,0011
<i>Fe</i>	24,32	30,12	4,385
<i>Fe +/-</i>	0,10	0,12	0,0151
<i>Ni</i>	ND	ND	0,003
<i>Ni +/-</i>			0,0004
<i>Cu</i>	0,00	0,007	0,0009
<i>Cu +/-</i>	0,00	0,0007	0,0002
<i>Zn</i>	0,00	ND	0,0011
<i>Zn +/-</i>	0,00		0,0002
<i>As</i>	ND	ND	0,0005
<i>As +/-</i>			0,0001
<i>Rb</i>	0,00	0,0008	0,0003
<i>Rb +/-</i>	0,00	0,0002	0,0001
<i>Sr</i>	0,00	ND	0,0033
<i>Sr +/-</i>	0,00		0,0001
<i>Y</i>	0,00	0,0006	0,0017
<i>Y +/-</i>	0,00	0,0001	0,0001
<i>Zr</i>	0,04	0,022	0,0335
<i>Zr +/-</i>	0,00	0,0003	0,0002
<i>Nb</i>	0,00	ND	0,0021
<i>Nb +/-</i>	0,00		0,0001
<i>Mo</i>	ND	ND	0,0004
<i>Mo +/-</i>			0,0001
<i>Pb</i>	0,01	0,0076	0,0011
<i>Pb +/-</i>	0,00	0,0008	0,0001
<i>Bi</i>	ND	0,0061	ND
<i>Bi +/-</i>		0,001	
<i>LE</i>	52,65	46,4	57,93
<i>LE +/-</i>	0,20	0,21	0,13

Annexe 7 : Tableaux résultats des essais d'absorption d'eau par immersion à la pression atmosphérique

Heures	Diébougou1		Diébougou2		Diébougou3		Diébougou4		Diébougou5		Diébougou6		Hp_{Diébougou}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	92,72	12,39	94,95	12,92	99,22	13,498	103,14	15,211	92,21	15,75	99,75	13,99	13,96
48	94,3	12,6	96,19	13,09	100,49	13,67	105,51	15,561	94,36	16,12	102,62	14,4	14,24
72	95,12	12,71	97,13	13,21	101,37	13,79	106,93	15,77	95,1	16,24	103,33	14,5	14,37
96	95,54	12,77	97,21	13,22	101,55	13,815	107,33	15,829	95,62	16,33	103,59	14,53	14,42

Heure	Gaoua1		Gaoua2		Gaoua3		Gaoua4		Gaoua5		Gaoua6		Hp_{Gaoua}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	129	18,96	71,74	10,15	116,5	16,942	149,74	23,579	77	11,16	123,02	18,55	16,56
48	131,7	19,36	74,5	10,55	118,77	17,272	151,66	23,881	79,37	11,5	125,29	18,89	16,91
72	131,9	19,4	75,23	10,65	118,98	17,302	152,61	24,031	80,46	11,66	125,91	18,98	17,00
96	132	19,41	75,51	10,69	119,34	17,355	152,9	24,076	80,77	11,7	126,47	19,07	17,05

Heure	Dano1,5-3 1		Dano1,5-3 2		Dano1,5-3 3		Dano1,5-3 4		Dano1,5-3 5		Dano1,5-3 6		Hp_{Dano 1,5-3}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	92,61	14,71	96,24	15,3	102,9	15,289	103,28	15,043	97,19	15,05	97,91	14,74	15,02
48	94,66	15,04	98,62	15,68	105,09	15,614	105,52	15,369	98,83	15,31	100,04	15,06	15,35
72	97,8	15,54	99,24	15,78	107,57	15,983	107,58	15,669	101,3	15,69	102,13	15,38	15,67
96	97,91	15,55	99,81	15,87	107,86	16,026	108,16	15,753	101,9	15,79	102,72	15,47	15,74

Heure	Dano3-4 1		Dano3-4 2		Dano3-4 3		Dano3-4 4		Dano3-4 5		Dano3-4 6		Hp_{Dano3-4}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	105,3	17,17	110,2	16,23	101,81	16,163	104,65	15,495	100,3	15,7	107,8	17,55	16,39
48	108,1	17,63	113,3	16,69	105,59	16,763	106,84	15,82	102,2	15,99	111,13	18,1	16,83
72	110,8	18,07	116,6	17,17	107,44	17,056	109,65	16,236	104,1	16,3	114,93	18,72	17,26
96	111,4	18,17	119,4	17,59	108,52	17,228	110,01	16,289	105,2	16,47	115,12	18,75	17,42
120	111,6	18,19	119,5	17,6	108,73	17,261	110,34	16,338	105,9	16,57	115,27	18,77	17,46

Heure	Dano4-5 1		Dano4-5 2		Dano4-5 3		Dano4-5 4		Dano4-5 5		Dano4-5 6		Hp_{Dano4-5}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	113,8	16,63	101,3	15,9	105,38	15,40	101	16,35	108,7	17,13	111,67	17,19	16,43
48	116,1	16,97	103,9	16,3	107,85	15,76	103,29	16,72	111,4	17,56	114,71	17,66	16,83
72	118,5	17,33	106,5	16,71	109,36	15,99	105,62	17,10	112,3	17,71	116,15	17,88	17,12
96	120,5	17,62	107,6	16,9	111,28	16,27	106,84	17,29	113,9	17,95	117,88	18,15	17,36
120	122,4	17,9	108,7	17,07	112,63	16,46	107,35	17,38	114,7	18,08	118,61	18,26	17,52
144	122,7	17,94	108,8	17,08	112,59	16,46	107,58	17,41	114,8	18,1	118,88	18,3	17,55

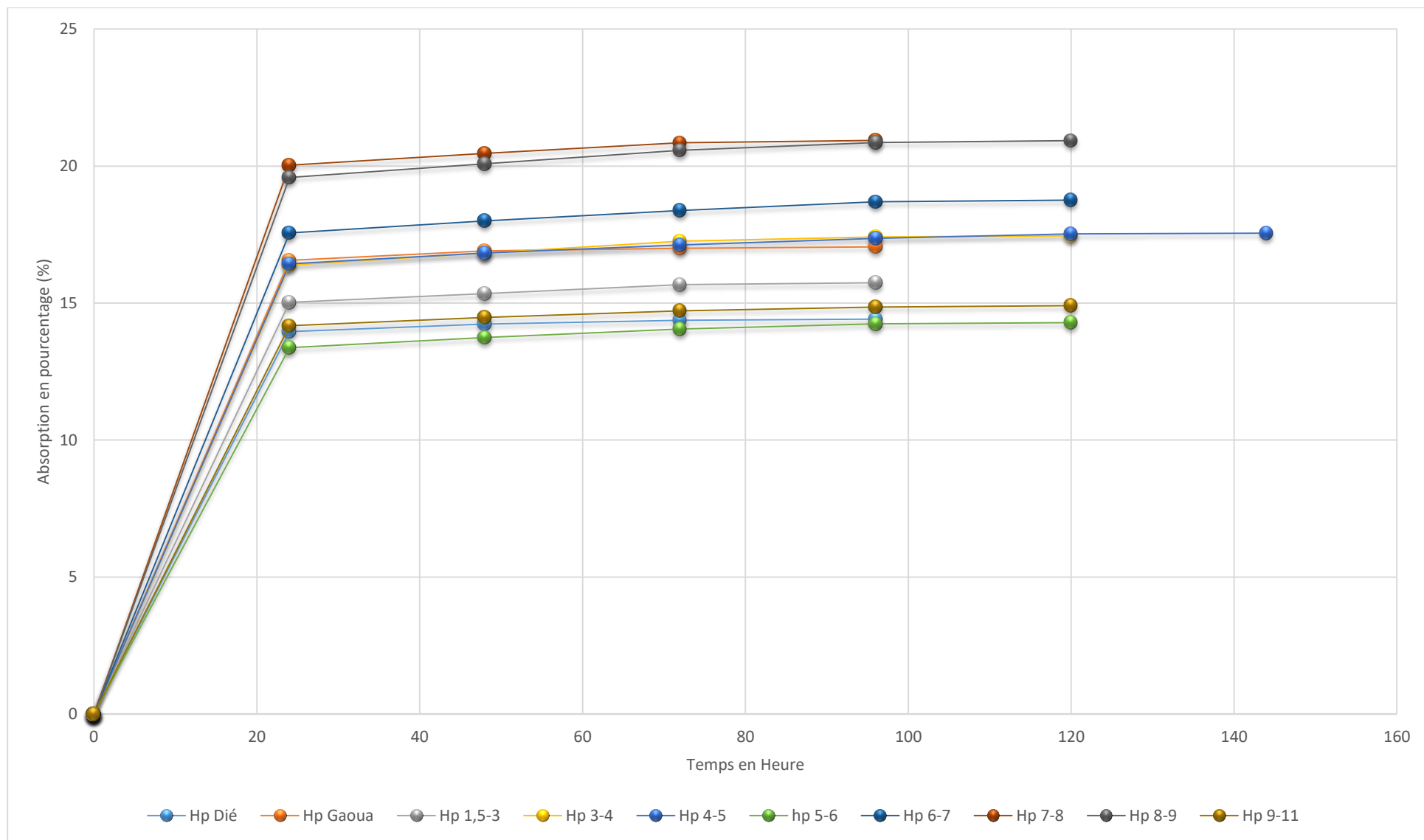
Heure	Dano5-6 1		Dano5-6 2		Dano5-6 3		Dano5-6 4		Dano5-6 5		Dano5-6 6		Hp_{Dano5-6}
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	89,62	12,39	103,3	16,16	91,28	13,11	68,64	10,352	69,96	10,45	108,84	17,75	13,37
48	91,64	12,67	105,6	16,52	92,87	13,34	72,42	10,922	71,81	10,73	112,17	18,3	13,74
72	93,54	12,93	105,8	16,55	94,91	13,63	74,27	11,201	74,08	11,07	115,97	18,92	14,05
96	94,35	13,04	106,3	16,63	95,72	13,75	76,35	11,514	75,84	11,33	117,56	19,18	14,24
120	94,5	13,06	106,6	16,68	95,93	13,78	76,63	11,557	75,98	11,35	118,08	19,26	14,28

Heure	Dano6-7 1		Dano6-7 2		Dano6-7 3		Dano6-7 4		Dano6-7 5		Dano6-7 6		$Hp_{Dano6-7}$
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	120,3	17,73	108,8	17,69	125,06	19,81	100,66	15,498	113,8	16,22	120,47	18,4	17,56
48	123,9	18,26	111,7	18,16	128,87	20,41	102,74	15,818	115,8	16,5	123,4	18,85	18,00
72	126,4	18,64	115,2	18,73	131,07	20,76	104,33	16,063	116,8	16,65	127,29	19,45	18,38
96	127,9	18,85	117,7	19,13	133,34	21,12	107,01	16,475	118,1	16,84	129,47	19,78	18,70
120	128,5	18,95	118	19,18	133,97	21,22	107,01	16,475	118,7	16,92	129,62	19,8	18,76

Heure	Dano7-8 1		Dano7-8 2		Dano7-8 3		Dano7-8 4		Dano7-8 5		Dano7-8 6		$Hp_{Dano7-8}$
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	116,2	19,25	125,1	21,72	115,67	19,55	128,49	20,743	122,6	20,11	109,08	18,81	20,03
48	118,8	19,68	126,1	21,89	118,06	19,95	130,7	21,099	126,6	20,75	112,59	19,41	20,46
72	120,8	20,01	128,3	22,27	120,41	20,35	133,03	21,476	129,5	21,23	114,8	19,79	20,86
96	121,3	20,1	128,8	22,37	120,56	20,38	133,66	21,577	130	21,31	115,34	19,89	20,94

Heure	Dano8-9 1		Dano8-9 2		Dano8-9 3		Dano8-9 4		Dano8-9 5		Dano8-9 6		$Hp_{Dano8-9}$
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	117,6	18,76	116,2	17,82	111,27	18,855	118,46	23,21	110,5	19,14	113,34	19,75	19,59
48	120,5	19,22	120,6	18,49	114,15	19,343	120,9	23,69	113,5	19,67	115,4	20,11	20,09
72	123,5	19,69	123,1	18,86	117,05	19,834	124,57	24,4	116,1	20,12	117,9	20,55	20,58
96	126,3	20,15	124,4	19,07	118,58	20,093	125,55	24,60	117,6	20,37	119,78	20,88	20,86
120	126,4	20,16	124,5	19,09	119,2	20,198	126,13	24,72	118,2	20,48	120,13	20,94	20,93

Heure	Dano9-11 1		Dano9-11 2		Dano9-11 3		Dano9-11 4		Dano9-11 5		Dano9-11 6		$Hp_{Dano9-11}$
	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	M_{eau}	Hp	
24	108,6	15,44	104,9	15,33	106,4	15,06	97,75	14,32	83,53	11,68	94,3	13,26	14,18
48	110,8	15,75	107,6	15,71	108,01	15,29	99,54	14,58	85,6	11,97	96,4	13,55	14,47
72	112,5	15,99	109,8	16,04	110,4	15,62	101,5	14,87	86,7	12,12	97,21	13,66	14,72
96	113,9	16,19	110,4	16,12	111,56	15,79	102,56	15,02	87,67	12,25	97,9	13,76	14,86
120	114,3	16,25	110,8	16,18	111,58	15,79	103,05	15,09	88,15	12,32	98,22	13,81	14,91



Annexe 8 : Tableaux résultats des essais de détermination de la porosité accessible à l'eau

Lieu	N	Masse _{sec}	Masse _{Sat eau}	Masse _{Sat air}	Masse volumique apparente			Porosité accessible à l'eau		
Diébougou	1G	351,54	223,42	400,75	1,98	Moyenne	1,93	27,75	Moyenne	28,89
	2G	339,60	215,59	396,72	1,87	Ecart type	0,05	31,54	Ecart type	1,60
	3G	348,02	217,42	398,49	1,92	Valeur min	1,87	27,87	Valeur min	27,75
	4G	304,02	192,10	352,43	1,90	Valeur max	2,00	30,19	Valeur max	31,54
	5G	356,80	228,11	406,27	2,00	K _s	2,34	27,77	K _s	2,34
	6G	316,99	198,26	363,63	1,92	Valeur min attendue	1,82	28,20	Valeur min attendue	25,42
	1	186,47	117,83	210,41	2,01	Moyenne	1,99	25,86	Moyenne	25,19
	2	173,50	108,52	195,72	1,99	Ecart type	0,02	25,49	Ecart type	0,79
	3	182,64	113,67	204,27	2,02	Valeur min	1,96	23,87	Valeur min	23,87
	4	160,72	99,95	180,65	1,99	Valeur max	2,02	24,69	Valeur max	25,94
	5	164,68	102,88	185,63	1,99	K _s	2,34	25,32	K _s	2,34
	6	170,97	106,51	193,54	1,96	Valeur min attendue	1,95	25,94	Valeur min attendue	23,39

Lieu	N	Masse _{sec}	Masse _{Sat eau}	Masse _{Sat air}	Masse volumique apparente			Porosité accessible à l'eau		
Gaoua	1G	389,16	244,09	450,09	1,89	Moyenne	1,87	29,58	Moyenne	30,00
	2G	328,35	202,56	385,1	1,80	Ecart type	0,06	31,09	Ecart type	1,26
	3G	409,41	260,56	468,57	1,97	Valeur min	1,80	28,44	Valeur min	28,44
	4G	310,76	197,91	363,62	1,88	Valeur max	1,97	31,90	Valeur max	31,90
	5G	338,77	212,58	391,64	1,89	K _s	2,34	29,53	K _s	2,34
	6G	361,80	220,76	420,65	1,81	Valeur min attendue	1,73	29,44	Valeur min attendue	27,19
	1	163,59	100,61	190,08	1,83	Moyenne	1,82	29,60	Moyenne	30,70
	2	161,56	99,91	189,21	1,81	Ecart type	0,02	30,96	Ecart type	2,10
	3	152,68	96,69	181,18	1,81	Valeur min	1,81	33,73	Valeur min	27,65
	4	194,08	121,92	228,21	1,83	Valeur max	1,85	32,11	Valeur max	33,73
	5	160,12	96,26	184,53	1,81	K _s	2,34	27,65	K _s	2,34
	6	154,66	96,42	179,82	1,85	Valeur min attendue	1,78	30,16	Valeur min attendue	26,10

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 1,5-3</i>	1G	294,04	191,23	352,55	1,82	<i>Moyenne</i>	1,90	36,27	<i>Moyenne</i>	33,76
	2G	352,05	228,24	415,84	1,88	<i>Ecart type</i>	0,10	34,00	<i>Ecart type</i>	2,90
	3G	362,58	237,26	423,13	1,95	<i>Valeur min</i>	1,79	32,58	<i>Valeur min</i>	28,53
	4G	354,48	233,16	421,44	1,88	<i>Valeur max</i>	2,06	35,56	<i>Valeur max</i>	36,27
	5G	377,74	246,73	430,03	2,06	<i>K_s</i>	2,34	28,53	<i>K_s</i>	2,34
	6G	299,94	192,13	359,67	1,79	<i>Valeur min attendue</i>	1,68	35,65	<i>Valeur min attendue</i>	27,27
	1	175,51	113,54	202,94	1,96	<i>Moyenne</i>	1,90	30,68	<i>Moyenne</i>	34,54
	2	185,74	124,38	211,6	2,13	<i>Ecart type</i>	0,13	29,65	<i>Ecart type</i>	3,62
	3	168,49	110,31	202	1,84	<i>Valeur min</i>	1,78	36,55	<i>Valeur min</i>	29,65
	4	176,32	112,10	211,08	1,78	<i>Valeur max</i>	2,13	35,12	<i>Valeur max</i>	38,92
	5	165,32	108,90	197,5	1,87	<i>K_s</i>	2,34	36,32	<i>K_s</i>	2,34
	6	159,46	105,74	193,7	1,81	<i>Valeur min attendue</i>	1,62	38,92	<i>Valeur min attendue</i>	26,75

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 3-4</i>	1G	323,69	202,98	374,45	1,89	<i>Moyenne</i>	1,75	29,60	<i>Moyenne</i>	34,50
	2G	318,86	198,92	386,86	1,70	<i>Ecart type</i>	0,08	36,18	<i>Ecart type</i>	2,58
	3G	322,70	201,44	387,26	1,74	<i>Valeur min</i>	1,68	34,74	<i>Valeur min</i>	29,60
	4G	299,88	190,31	356,34	1,81	<i>Valeur max</i>	1,89	34,01	<i>Valeur max</i>	36,50
	5G	319,86	200,51	386,99	1,72	<i>K_s</i>	2,34	36,00	<i>K_s</i>	2,34
	6G	311,05	193,36	378,7	1,68	<i>Valeur min attendue</i>	1,58	36,50	<i>Valeur min attendue</i>	28,63
	1	156,98	97,55	191,21	1,68	<i>Moyenne</i>	1,73	36,54	<i>Moyenne</i>	36,60
	2	161,37	104,29	196,82	1,74	<i>Ecart type</i>	0,04	38,31	<i>Ecart type</i>	2,33
	3	161,03	102,87	197,712	1,70	<i>Valeur min</i>	1,68	38,68	<i>Valeur min</i>	32,42
	4	167,55	104,86	197,63	1,81	<i>Valeur max</i>	1,81	32,42	<i>Valeur max</i>	38,68
	5	162,35	104,52	197,63	1,74	<i>K_s</i>	2,34	37,89	<i>K_s</i>	2,34
	6	172,08	108,40	207,52	1,74	<i>Valeur min attendue</i>	1,63	35,75	<i>Valeur min attendue</i>	31,33

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
Dano 4-5	1G	351,37	221,35	416,1	1,80	Moyenne	1,86	33,24	Moyenne	32,87
	2G	346,76	223,41	413,61	1,82	Ecart type	0,05	35,15	Ecart type	1,57
	3G	367,54	232,70	428,18	1,88	Valeur min	1,80	31,02	Valeur min	31,02
	4G	348,54	220,48	410,57	1,83	Valeur max	1,95	32,63	Valeur max	35,15
	5G	357,94	230,51	423,35	1,86	K_s	2,34	33,92	K_s	2,34
	6G	327,86	212,36	380,46	1,95	Valeur min attendue	1,74	31,29	Valeur min attendue	29,37
	1	206,74	136,09	240,65	1,98	Moyenne	1,92	32,43	Moyenne	32,92
	2	203,98	132,89	239,07	1,92	Ecart type	0,07	33,05	Ecart type	1,09
	3	209,27	136,58	244,53	1,94	Valeur min	1,81	32,66	Valeur min	31,44
	4	178,60	114,14	212,91	1,81	Valeur max	1,99	34,73	Valeur max	34,73
	5	204,41	134,05	236,67	1,99	K_s	2,34	31,44	K_s	2,34
	6	182,43	118,52	214,21	1,91	Valeur min attendue	1,77	33,21	Valeur min attendue	30,48

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
Dano 5-6	1G	332,80	215,86	390,58	1,90	Moyenne	1,93	33,07	Moyenne	32,31
	2G	369,08	240,91	432,57	1,93	Ecart type	0,03	33,13	Ecart type	1,48
	3G	340,13	221,12	395,42	1,95	Valeur min	1,90	31,72	Valeur min	30,57
	4G	349,48	228,69	412,89	1,90	Valeur max	1,97	34,42	Valeur max	34,42
	5G	340,12	219,76	394,04	1,95	K_s	2,34	30,94	K_s	2,34
	6G	353,55	228,84	408,46	1,97	Valeur min attendue	1,87	30,57	Valeur min attendue	29,01
	1	184,22	120,90	217,65	1,90	Moyenne	1,88	34,56	Moyenne	34,04
	2	171,98	112,58	202,19	1,92	Ecart type	0,03	33,71	Ecart type	0,88
	3	168,21	106,67	197,94	1,84	Valeur min	1,84	32,57	Valeur min	32,57
	4	185,56	121,83	219,89	1,89	Valeur max	1,92	35,01	Valeur max	35,01
	5	176,48	113,29	208,74	1,85	K_s	2,34	33,79	K_s	2,34
	6	172,60	112,92	204,18	1,89	Valeur min attendue	1,81	34,61	Valeur min attendue	32,02

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 6-7</i>	1G	330,35	208,26	380,96	1,91	<i>Moyenne</i>	1,94	29,31	<i>Moyenne</i>	30,19
	2G	352,59	230,27	405,18	2,02	<i>Ecart type</i>	0,04	30,07	<i>Ecart type</i>	1,01
	3G	361,57	235,68	420,9	1,95	<i>Valeur min</i>	1,91	32,03	<i>Valeur min</i>	29,22
	4G	337,06	214,69	390,13	1,92	<i>Valeur max</i>	2,02	30,25	<i>Valeur max</i>	32,03
	5G	332,33	210,31	382,71	1,93	<i>K_s</i>	2,34	29,22	<i>K_s</i>	2,34
	6G	333,35	213,21	385,47	1,94	<i>Valeur min attendue</i>	1,86	30,26	<i>Valeur min attendue</i>	27,93
	1	167,92	109,98	196,47	1,94	<i>Moyenne</i>	1,94	33,01	<i>Moyenne</i>	33,11
	2	180,80	118,52	212,46	1,92	<i>Ecart type</i>	0,03	33,70	<i>Ecart type</i>	1,16
	3	175,34	114,66	203,68	1,97	<i>Valeur min</i>	1,90	31,83	<i>Valeur min</i>	31,77
	4	191,18	125,86	225,96	1,91	<i>Valeur max</i>	1,98	34,75	<i>Valeur max</i>	34,75
	5	181,13	118,80	210,15	1,98	<i>K_s</i>	2,34	31,77	<i>K_s</i>	2,34
	6	167,89	109,14	197,63	1,90	<i>Valeur min attendue</i>	1,86	33,61	<i>Valeur min attendue</i>	30,49

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 7-8</i>	1G	355,261	228,713	422,87	1,83	<i>Moyenne</i>	1,78	34,82	<i>Moyenne</i>	36,18
	2G	342,168	220,995	410,51	1,81	<i>Ecart type</i>	0,04	36,06	<i>Ecart type</i>	0,80
	3G	333,419	212,802	400,83	1,77	<i>Valeur min</i>	1,72	35,85	<i>Valeur min</i>	34,82
	4G	358,154	232,712	430,45	1,81	<i>Valeur max</i>	1,83	36,56	<i>Valeur max</i>	37,14
	5G	325,588	206,894	395,73	1,72	<i>K_s</i>	2,34	37,14	<i>K_s</i>	2,34
	6G	340,328	217,961	411	1,76	<i>Valeur min attendue</i>	1,70	36,61	<i>Valeur min attendue</i>	34,32
	1	158,365	100,333	190,14	1,76	<i>Moyenne</i>	1,80	35,38	<i>Moyenne</i>	35,69
	2	170,216	108,584	201,01	1,84	<i>Ecart type</i>	0,05	33,32	<i>Ecart type</i>	1,41
	3	168,083	106,982	204,08	1,73	<i>Valeur min</i>	1,73	37,07	<i>Valeur min</i>	33,32
	4	165,833	106,825	200,15	1,78	<i>Valeur max</i>	1,84	36,77	<i>Valeur max</i>	37,07
	5	166,854	109,083	200,12	1,83	<i>K_s</i>	2,34	36,54	<i>K_s</i>	2,34
	6	179,741	115,954	214,134	1,83	<i>Valeur min attendue</i>	1,69	35,03	<i>Valeur min attendue</i>	32,47

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 8-9</i>	1G	375,17	241,85	442,09	1,87	<i>Moyenne</i>	1,87	33,42	<i>Moyenne</i>	33,72
	2G	368,75	239,14	431,98	1,91	<i>Ecart type</i>	0,04	32,79	<i>Ecart type</i>	1,01
	3G	359,98	231,32	428,29	1,83	<i>Valeur min</i>	1,81	34,68	<i>Valeur min</i>	32,66
	4G	339,33	220,21	397,12	1,92	<i>Valeur max</i>	1,92	32,66	<i>Valeur max</i>	35,16
	5G	342,62	222,03	403,73	1,89	<i>K_s</i>	2,34	33,63	<i>K_s</i>	2,34
	6G	348,61	224,03	416,15	1,81	<i>Valeur min attendue</i>	1,77	35,16	<i>Valeur min attendue</i>	31,45
	1	179,64	115,96	211,77	1,87	<i>Moyenne</i>	1,90	33,53	<i>Moyenne</i>	33,05
	2	180,48	117,33	208,32	1,98	<i>Ecart type</i>	0,06	30,60	<i>Ecart type</i>	2,01
	3	176,71	114,18	210,33	1,84	<i>Valeur min</i>	1,84	34,97	<i>Valeur min</i>	30,47
	4	188,96	122,89	224,05	1,87	<i>Valeur max</i>	1,98	34,69	<i>Valeur max</i>	34,97
	5	168,12	108,43	194,27	1,96	<i>K_s</i>	2,34	30,47	<i>K_s</i>	2,34
	6	171,56	111,42	202,62	1,88	<i>Valeur min attendue</i>	1,77	34,05	<i>Valeur min attendue</i>	28,55

<i>Lieu</i>	<i>N</i>	<i>Masse_{sec}</i>	<i>Masse_{Sat eau}</i>	<i>Masse_{Sat air}</i>	<i>Masse volumique apparente</i>			<i>Porosité accessible à l'eau</i>		
<i>Dano 9-11</i>	1G	413,68	274,13	469,62	2,12	<i>Moyenne</i>	2,06	28,62	<i>Moyenne</i>	30,54
	2G	394,65	263,87	445,91	2,17	<i>Ecart type</i>	0,10	28,16	<i>Ecart type</i>	2,16
	3G	397,76	266,85	453,97	2,13	<i>Valeur min</i>	1,94	30,04	<i>Valeur min</i>	28,16
	4G	375,05	248,96	429,43	2,08	<i>Valeur max</i>	2,17	30,13	<i>Valeur max</i>	33,25
	5G	353,44	231,85	414,01	1,94	<i>K_s</i>	2,34	33,25	<i>K_s</i>	2,34
	6G	369,13	242,28	431,67	1,95	<i>Valeur min attendue</i>	1,85	33,02	<i>Valeur min attendue</i>	25,86
	1	232,80	156,02	264,95	2,14	<i>Moyenne</i>	2,11	29,52	<i>Moyenne</i>	29,97
	2	210,56	140,49	241,23	2,09	<i>Ecart type</i>	0,06	30,45	<i>Ecart type</i>	1,33
	3	221,16	147,88	250,45	2,16	<i>Valeur min</i>	1,99	28,56	<i>Valeur min</i>	28,56
	4	202,50	135,95	231,19	2,13	<i>Valeur max</i>	2,16	30,12	<i>Valeur max</i>	32,27
	5	187,85	124,05	218,24	1,99	<i>K_s</i>	2,34	32,27	<i>K_s</i>	2,34
	6	210,73	140,54	239,29	2,13	<i>Valeur min attendue</i>	1,97	28,92	<i>Valeur min attendue</i>	27,03