



**TITRE : ETUDE DU SYSTEME DE REPRISE DES EAUX
ET DE L'HYDROFUGATION DES CASES DE LA COUR
ROYALE DE TIEBELE AU BURKINA FASO**

TFE réalisé pour l'obtention du Master complémentaire
en conservation et restauration du patrimoine culturel immobilier
par **Charlène CHOUMIL**

Promoteurs : H. WILQUIN
G. BAVAY
Y.ROBERT

Année académique : 2011-2012



« Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ du MCC »

« Le présent document n'engage que son auteur »

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant du MCC.



TITRE : ETUDE DU SYSTEME DE REPRISE DES EAUX
ET DE L'HYDROFUGATION DES CASES DE LA COUR
ROYALE DE TIEBELE AU BURKINA FASO

TFE réalisé pour l'obtention du Master complémentaire
en conservation et restauration du patrimoine culturel immobilier
par **Charlène CHOUMIL**

Promoteurs : H. WILQUIN
G. BAVAY
Y.ROBERT

Année académique : 2011-2012



Remerciements

Je remercie Jean-Claude DIOMA et Barthélémy KABORE, du ministère de la culture du Burkina Faso pour leur aide sur place.

Je remercie mon promoteur, Hugues WILQUIN qui m'a permis de découvrir le site de Tiébélé et mes lecteurs Gérard BAVAY et Yves ROBERT qui m'ont aidé dans le cheminement de mes investigations.

Je remercie Issouf MISSION qui m'a guidé tout au long de mon séjour et m'a aidé à réaliser les essais avec l'aide d'Oscar KOUGNIRPE.

Je remercie Asséta IDOGO et Koumassi OUEMIKIGA avec qui j'ai pu réaliser des essais d'enduit et Alfred AVANHÔ, Ahouki ADJOUHITI pour m'avoir aidé à comprendre l'architecture kassena.

Je remercie Ann BOURGÈS, Ingénieur de recherche au LRMH Paris pour des renseignements sur les protocoles d'essai d'enduit.

Je remercie Sandrine HERINXCK du CSTC pour le prêt du matériel d'essai et les essais réalisés en laboratoire.

Je remercie Bakonirina RAKOTOMAMONJY, Architecte chez CRATerre pour les renseignements fournis.

Je remercie Nathalie DELABYE, Peintre décoratrice et formatrice à l'IPW pour son aide.

Je remercie Sylvain BADEY de l'INRAP de Tours pour les documents transmis.

Enfin, je remercie Judicael TAPSOBA et sa famille pour leur accueil ainsi que Alexandra et Arouna NIKIEMA.

RESUME

Le Burkina Faso est un pays multiethnique qui regroupe une partie de la population kassena répartie entre le Burkina Faso et le Ghana. Ce peuple s'est installé sur le site de Tiébélé au XVI^{ème} siècle. La concession royale de Tiébélé est représentative de la culture kassena au travers des formes architecturales construites en terre crue, des enduits de terre peints et des technique traditionnel de réalisation. Le site est un patrimoine matériel qui entretient un patrimoine immatériel.

Les récentes pluies diluviennes ont détruit une partie importante des cases qui composent le site. Dans le but de préserver ce patrimoine, le ministère de la culture burkinabé en partenariat avec Wallonie Bruxelles International a initié un programme visant à assainir la cour royale en vue du classement du site au patrimoine national et, si possible, au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Les recherches se sont articulées autour de deux points ayant pour dénominateur commun l'origine des dégradations de la concession royale : les intempéries. La perméabilité des enduits et les problèmes de ruissellement sont, en effet, deux facteurs qui peuvent augmenter la dégradation des cases lors de pluies importantes. Pour évaluer la perméabilité des enduits, des essais à la pipe en verre ont été mis en place dans le but de comparer l'absorption des deux types d'enduits existants suivant leur état de dégradation. Dans l'objectif d'estimer le ruissellement et d'obtenir un débit de pointe à la sortie de la concession, des essais de perméabilité de sol ont été réalisés. Les essais ont été accompagnés de différents relevés sur site permettant d'appréhender le problème lié à l'eau.

L'ensemble de l'étude a été réalisé avec peu de moyens et a fourni une première approche du problème dont nous pouvons tirer des propositions et des recommandations pour la conservation du site.

Mots clefs

Patrimoine en terre crue – Enduit en terre – Perméabilité – Ruissellement

ABSTRACT

Burkina Faso is a multi ethnical country which group together a part of kassena's population divide up among Burkina Faso and Ghana. This population was settled on Tiébélé's site in the 16th century. Raw earth architecture, forms, earth coatings and traditional techniques of Tiébélé royal concession are representative of kassena's culture. The site is a material heritage which looks after an intangible heritage.

Recent rainfalls are destroying an important part of site hut. To preserve this heritage, burkinan culture ministry with the partnership of Wallonie Bruxelles International introduces a program for draining the royal court. Their objective is to class the site to the national heritage and if it possible, to the World Heritage.

The research is joining to two points which a common denominator the origin of royal concession degradation: the bad weather. In fact, coating permeability and runoff problem are two factors which increase hut degradation when it's raining. To evaluate coating permeability, glass pipe test are setting to compare the absorption of the two different coating types according to their degradation. To estimate runoff and obtain the peak flow at the end of the concession, permeability soil test are realized. Tests were accompanied by various statements on site making it possible to apprehend the problem involved in water.

The study was realized with few means and gives a first approach of the water problem which we can draw proposals and recommendations for site conservation.

Keywords:

Raw earth heritage – Earth coating – Permeability – Runoff

TABLE DES MATIERES

RESUME	3
ABSTRACT	4
TABLE DES ILLUSTRATIONS	8
INTRODUCTION	11
PARTIE A : CARACTERISATION DU BURKINA FASO ET DU PAYS KASSENA	12
I. GENERALITES SUR LE BURKINA FASO	13
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	13
2. GEOGRAPHIE DU PAYS	13
2.1 Le relief	13
2.2 Les fleuves	13
2.3 Le climat	13
II. HISTOIRE & ARCHITECTURE DU BURKINA FASO	14
1. HISTOIRE	14
2. ARCHITECTURE TRADITIONNELLE	15
3. LE PATRIMOINE BURKINABE	17
4. UN PATRIMOINE MENACE	18
III. LE PAYS KASSENA ET LA COUR ROYALE DE TIEBELE	19
1. LOCALISATION	19
2. LE TOURISME DU PAYS KASSENA	20
3. HISTOIRE	21
4. ORGANISATION & ARCHITECTURE	21
4.1 Organisation sociale	21
4.2 Architecture	24
4.3 Symbolique des enduits	25
5. ENVIRONNEMENT ET HYDROLOGIE A TIEBELE	27
5.1 Topographie	27
5.2 Les types de sol du pays Kassena	27
5.3 Risques hydrologiques	28

PARTIE B : RAPPELS DE PERMEABILITE DES SOLS **30**

I. GENERALITES SUR LA PERMEABILITE DES SOLS **31**

1. LA PHASE LIQUIDE D'UN SOL 31

2. DEFINITION DE LA PERMEABILITE D'UN SOL 31

II. COMPORTEMENT DES SOLS SUIVANT LA LOI DE DARCY **31**

1. LOI DE DARCY 31

2. COEFFICIENT DE PERMEABILITE DU SOL 32

2.1 Théorème de Bernoulli 32

2.2 Loi de Poiseuille 33

2.3 Expression du coefficient de perméabilité 35

3. LIMITES DE LA LOI DE DARCY 36

4. ANISOTROPIE DES SOLS 36

5. CAPILLARITE DES SOLS 37

III. MESURE DU COEFFICIENT DE PERMEABILITE DES SOLS **38**

1. MESURE DE LA PERMEABILITE EN LABORATOIRE 38

1.1 Perméamètre à charge constante 38

1.2 Perméamètre à charge variable 39

2. MESURE DE LA PERMEABILITE DU SOL IN SITU : ESSAI LEFRANC 40

PARTIE C : ETUDE DE LA COUR ROYALE DE TIEBELE **42**

I. ETUDE DE LA CONCESSION **43**

1. LES CONSTRUCTIONS KASSENA 43

1.1 La structure 43

1.2 Vérification structurelle 45

1.3 Les enduits 46

2. CARACTERISATION DE LA TERRE 50

3. LES DIFFERENTS RELEVES 52

3.1 Relevé des différents types de sols 52

3.2 Relevé des différentes typologies de construction 52

3.3 Relevé des différents passages et des évacuations d'eau 52

II. ETUDE DE LA CASE DE CALLE **56**

1. RELEVÉ GEOMETRIQUE ET PATHOLOGIQUE 56

2. ANALYSE ET ORIGINE DES PATHOLOGIES	67
III. ESSAIS DE PERMEABILITE	84
1. ESSAIS IN SITU	84
1.1 Essai de perméabilité des sols en profondeur	84
1.2 Essai de perméabilité des sols en surface	87
1.3 Essai de perméabilité des enduits en surface	90
2. EVALUATION DE LA PERMEABILITE DES ENDUITS	92
3. EVALUATION DU RUISSELLEMENT	93
3.1 Les pertes avant ruissellement	93
3.2 Le ruissellement	94
PARTIE D : REFLEXIONS	100
I. PROPOSITION DE MESURES DE PREVENTION DU RISQUE HYDRIQUE	101
1. LE PROBLEME DU RUISSELLEMENT	101
2. LES ENDUITS	103
2.1 Protocole de caractérisation complète d'un enduit	104
2.2 Exemple de résultats obtenus après la caractérisation d'un enduit au goudron	105
II. LA DUALITE D'UN PATRIMOINE HABITE	106
1. SENS ET VALEUR PATRIMONIALE DU SITE POUR LES BURKINABE	106
2. NECESSITE DE LA CONSERVATION	106
III. RECOMMANDATIONS ET POSSIBILITES DE CLASSEMENT DU SITE	107
1. COMPARAISON ENTRE L'ETAT ACTUEL DU SITE ET LES RECOMMANDATIONS DU SPW POUR LE CLASSEMENT D'UN SITE	107
1.1 Les intérêts	107
1.2 Les critères	108
2. IMPACT TOURISTIQUE ET AUTRES RISQUES	108
3. RECOMMANDATIONS	109
CONCLUSION	111
BIBLIOGRAPHIE	112
ANNEXES	114

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Répartition traditionnelle des principales communautés du Burkina Faso, source Planète Burkina	14
Figure 2: Différentes typologies de construction, [KERE, 1995]	16
Figure 3: Différents types des structures au Burkina Faso, [KERE, 1995]	16
Figure 4: Localisation du pays Kassena	19
Figure 5: Case en Huit de la concession royale de Tiébélé	20
Figure 6: Entrée de la concession royale de Tiébélé, [DPC, 2008]	22
Figure 7: Organisation de la concession royale de Tiébélé, [DPC, 2008]	24
Figure 8: Architecture défensive, Cour royale de Tiébélé	25
Figure 9: Macramé à calebasse	25
Figure 10: Différents symboles se retrouvant sur les enduits de la concession	26
Figure 11: Exemple de motifs sur l'enduit traditionnel	26
Figure 12: Carte topographique de Tiébélé	27
Figure 13: Carte mondiale des sols, le cercle rouge indique la localisation de Tiébélé, [FAO, 1976]	27
Figure 14: Pluviométrie à Tiébélé de 2007 à 2011	28
Figure 15: Pluviométrie en août 2007 à Tiébélé	28
Figure 16: Case détruite	29
Figure 17: Illustration de la loi de Darcy, [CASSAN, 2005]	32
Figure 18: Ecoulement dans un tube cylindrique, [CASSAN, 2005]	33
Figure 19: Evolution radiale de la vitesse dans une section droite d'un tube, [CASSAN, 2005]	34
Figure 20: Filtration en terrain stratifié, [CASSAN, 2005]	36
Figure 21: Courbe de succion, [CASSAN, 2005]	38
Figure 22: Perméabilimètre à charge constante	39
Figure 23: Principe de l'essai Lefranc pour un sol saturé	40
Figure 24: Coefficient de forme, [CASSAN, 2005]	41
Figure 25: Fabrication de briques de terre crue	44
Figure 26: Toiture-terrasse traditionnelle, [DPC, 2008]	45
Figure 27: Modèle RDM	46
Figure 28: Matériaux et matériel servants à faire l'enduit traditionnel	47
Figure 29: Décoction des feuilles de Néré	48
Figure 30: Réalisation d'un enduit traditionnel en intérieur en dehors de la concession	48
Figure 31: Enduit au goudron en dehors de la concession	49
Figure 32: Test de la bouteille	50
Figure 33: Test des manipulations successives	51
Figure 34: Différenciation limon/argile	51
Figure 35: Vue en 3D de la case de Calle	56

Figure 36: Ph01	67
Figure 37: Ph 02-03	68
Figure 38: Ancienne porte de case, à l'extérieur de la case de Calle	68
Figure 39: Ph04	69
Figure 40: Ph05	69
Figure 41: Ph06	70
Figure 42: Ph07	71
Figure 43: Ph08	71
Figure 44: Ph09	72
Figure 45: Ph10	73
Figure 46: Ph11	73
Figure 47: Ph12-13	74
Figure 48: Ph 14	75
Figure 49: Ph15	75
Figure 50: Ph 16-17	76
Figure 51: Ph18	76
Figure 52: Ph19	77
Figure 53: Ph20	78
Figure 54: Essais de sels	79
Figure 55: Ph21	79
Figure 56: Ph22	80
Figure 57: Ph23	80
Figure 58: Ph24	81
Figure 59: Ph25	81
Figure 60: Ph26	82
Figure 61: Autres pathologies	82
Figure 62: Mouvements de l'eau dans les murs et à travers les enduits, Houben et Guillaud, 1989 [BADEY, 2001]	83
Figure 63: Les modes d'infiltration de l'eau dans les murs en terre crue, McIntosh, 1974 [BADEY, 2001]	83
Figure 64: Principe de l'essai de perméabilité des sols en profondeur réalisé	84
Figure 65: Taux d'infiltration maximaux recommandés en se basant sur la classification des sols USDA (adopté à Washington, 2005)	85
Figure 66: Courbe de l'essai in-situ	85
Figure 67: Coefficient de perméabilité du sol en fonction du type de sol, [FAO, 2006]	86
Figure 68: Infiltration en fonction du temps	87
Figure 69: Essai d'infiltration en simple anneau	88
Figure 70: Forme de la tâche d'humectation en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des horizons de sol	89

Figure 71: Essai à la pipe en verre sur un enduit traditionnel	91
Figure 72: Degré d'absorption selon les surfaces	92
Figure 73: Epaisseur d'une couche d'enduit sur une ancienne case	92
Figure 74: Mesure de la pente: $\tan\alpha = (b-a)/l$	94
Figure 75: Hyétoigrammes des trois plus fortes averses enregistrées au poste de Ouaga Aéro, [LE BARBE, 1982]	96
Figure 76: Courbes hauteur-durée-fréquence des averses dans leur intégralité, [LE BARBE, 1982]	97
Figure 77: Puits perdus récemment mis en place à la sortie de la concession	102
Figure 78: Puits perdu de cour intérieure	102
Figure 79: Définition de l'angle de microgoutte	105

INTRODUCTION

Dans le cadre des programmes de recensement des sites patrimoniaux en terre crue à travers le monde, l'association CRATerre de Grenoble liée à l'UNESCO s'est intéressée au site de Tiébélé au Burkina Faso.

La concession royale de Tiébélé est un site représentatif et témoin de la culture kassena. Son architecture de cases rondes, rectangulaires et en huit, en terre crue, enduites et peintes, font de ce lieu un espace organisé autour de la vie collective des habitants. L'établissement de la chefferie royale remonterait au XVI^{ème} siècle. Depuis lors la concession et son organisation spatiale n'ont cessé d'évoluer pour s'adapter aux besoins de ses habitants.

Ces dernières années, les pluies diluviennes qui se sont abattues sur la région ont détruit un grand nombre de cases dans la concession royale. La dernière datant de 2007 fut la plus dévastatrice. Les principales parties des cases affectées sont les murs et les enduits qui perdent leurs motifs décoratifs. L'origine des dégradations est due au ruissellement au sol et sur les murs.

Ces problèmes d'intempéries ont suscité le développement d'un programme visant à assainir la concession royale soutenu par Wallonie Bruxelles International. Dans le cadre de ce programme, le présent mémoire a été initié dans le but d'évaluer les problèmes liés aux intempéries. L'objectif de l'étude est d'évaluer la perméabilité des enduits existants et de quantifier le ruissellement au sol.

La première partie explique le contexte de l'étude c'est-à-dire le Burkina Faso et le pays Kassena. Ensuite, la seconde partie développe les aspects théoriques nécessaires aux études de sol et d'enduit qui se dérouleront dans la troisième partie. Enfin, la quatrième partie conclura les essais en ouvrant sur des propositions et des recommandations pour le site.

PARTIE A :
CARACTERISATION DU BURKINA FASO ET
DU PAYS KASSENA

La première partie situe le contexte et présente l'objet de l'étude : la concession royale de Tiébélé au Burkina Faso.

I. Généralités sur le Burkina Faso

1. Situation géographique

Le Burkina Faso qui signifie « le pays des hommes intègres » est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest qui se situe entre la Mali, le Niger, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Togo et le Ghana. Sa capitale est la ville de Ouagadougou et sa superficie est de 274 200 km² pour 14 millions d'habitants.

2. Géographie du pays

2.1 Le relief

Le Burkina Faso est un pays plat. Le Nord du Burkina Faso est une région sahélienne tandis que le Sud-ouest est plus vallonné avec notamment le mont Ténakourou de 749m qui représente le point culminant du pays. L'altitude moyenne du pays est de 400m.

2.2 Les fleuves

Le Burkina Faso possède trois principaux cours d'eau dont le plus long fait plus de 680 km. C'est un pays relativement peu arrosé mais qui possède un réseau hydrologique assez important.

2.3 Le climat

Le Burkina Faso a un climat tropical chaud. Il existe deux grandes saisons. La saison sèche qui dure d'octobre à avril et la saison des pluies, de mi-juin à septembre. Le Nord qui correspond à la région sahélienne est désertique tandis que le Sud possède une végétation plus dense. Les données à Ouagadougou donnent une pluviométrie annuelle de 930mm et l'évapotranspiration annuelle est de 2550mm. Le déficit hydrique en saison sèche est de 1920mm. En hiver, le climat est froid mais sans gelée tout en étant trop chaud pour des cultures comme le blé. La moyenne des minimums journaliers du mois le plus froid oscille

entre 13 et 18°C. Quant à l'été, la saison est suffisamment chaude pour le coton avec des moyennes des maximums journaliers moyens supérieures à 25°C. L'indice d'humidité est inférieur à 0.44 (rapport de la pluviosité sur l'évapotranspiration potentielle) en période de mousson sèche.

II. Histoire & Architecture du Burkina Faso

1. Histoire¹

Le pays regroupe une soixantaine d'ethnies. Il constitue une mosaïque de population ayant chacune leur histoire.



Figure 1: Répartition traditionnelle des principales communautés du Burkina Faso, source Planète Burkina

Le pays a connu une période préhistorique dès le premier millénaire avant l'ère chrétienne avec une population de chasseurs-cueilleurs au Nord-Ouest suivie de la sédentarisation des populations avec le développement de l'agriculture.

Des vagues d'immigrations des Mossi du XI^{ème} au XIV^{ème} siècle entraîne le développement de royaumes guerriers. L'empire Mossi qui est le dernier empire avant la période coloniale. La langue est le more et elle se diffuse dans une majorité du pays. Le chef des Mossi est le Morgho Naba. D'autres invasions (Gourmantché, Bwa, Senoufos, Gan, Touareg, Peuls Songhaïs, etc.) suivent et bouleversent le pays. Les invasions du XIX^{ème} siècle entraînent l'islamisation du Burkina.

Après de nombreuses expéditions françaises, telles que celles du capitaine Binger en 1888, la colonisation débute en 1896 où le pays est annexé par la France. Il est ensuite regroupé sous la colonie Haut-Sénégal/Niger. La Haute Volta a été créé en 1919 à la fin de la période

¹ [LARROUSSE, 2006], [AUFASO, 2009]

coloniale. La crise des années 30 divise la Haute Volta entre la Côte d'Ivoire, le Soudan et le Niger qui vont se servir de la population comme main-d'œuvre. Cette division est due au fait que le pays est sans ressources. En 1947, la Haute Volta est réunifiée. Le 5 août 1960, la Haute Volta obtient son indépendance et la république est gouvernée par le président Yaméogo. De 1966 à 1980, le pays est sous le régime du général Lamizana qui est arrivé au pouvoir suite à un coup d'état. Avec la révolution de 1983-84, la Haute Volta devient le Burkina Faso dirigée par Sankara après plusieurs coups d'état. En 1987, après un coup d'état militaire, le capitaine Compaoré prend le pouvoir. Des élections ont lieu en 1991, 1998 et 2005 et le président est maintenu au pouvoir.

2. Architecture traditionnelle²

L'architecture traditionnelle se présente sous forme de concessions qui sont des unités évolutives. Les principales typologies sont les concessions de type nomade, de formes circulaires, polygonales et irrégulières. Les premières sont des constructions liées à l'activité d'élevage qui se retrouvent dans le Nord sahélien. Elles sont transportables et faciles à monter. Généralement, elles ont un plan circulaire. Les suivantes sont des constructions sédentaires. Ces constructions sont réalisées en alternance avec l'activité agricole ; fait qui se vérifie de moins en moins avec l'évolution de la société actuelle. Les hommes construisent les cases tandis que les femmes réalisent les finitions (enduit, décoration, etc.). Les concessions de forme circulaire se rencontrent chez les Mossi et les Gourounsi, elles sont fermées sur l'extérieur avec un mur périphérique qui sert de protection et très peu d'ouvertures. Les concessions de forme polygonale se situent chez les Gourounsi, les Bobo et les Marka. Ce sont des concessions ouvertes qui sont orientées selon l'axe Nord-Ouest/Sud-Est pour se protéger contre le vent. Enfin les concessions de forme polygonale qui se retrouvent chez les Lobi, les Dagara et les Puguli ont peu d'ouvertures sur l'extérieur avec une seule entrée et sont composées de longs murs sinueux.

² [KERE, 1995], JC. DIOMA

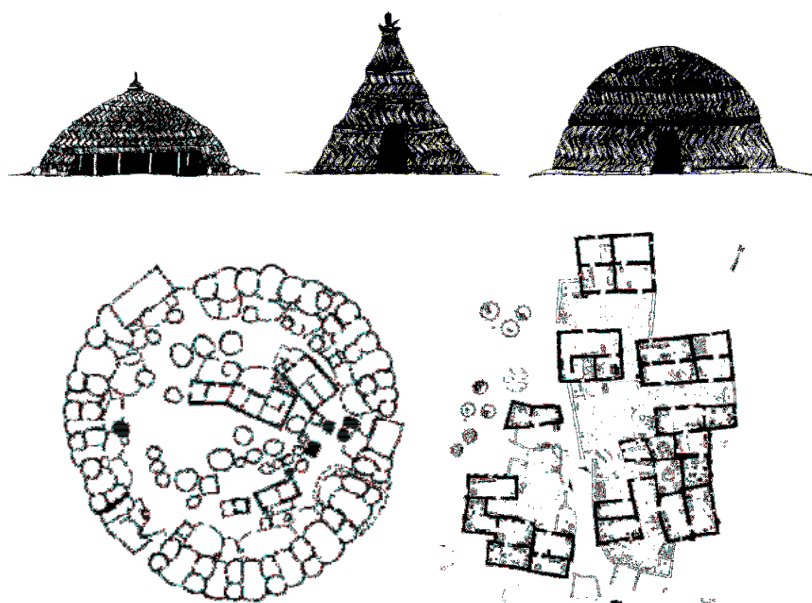


Figure 2: Différentes typologies de construction. En haut, habitat nomade (Peul), en bas, concession de type ronde et de type polygonale, [KERE, 1995]

L'architecture traditionnelle est principalement constituée de terre, de bois et de paille. Les matériaux utilisés pour la construction des murs sont la brique d'adobe, la paille, la terre façonnée ou la bauge. Pour les toitures, il existe différentes techniques de construction : les toitures plates en terre sur charpente bois ou sur voutain, les coupoles en terre, les toitures coniques ou plates en chaume et les toitures en taules ondulées. L'habitat nomade est composé d'une structure végétale et en voile. Le tableau suivant reprend les différentes structures existantes au Burkina Faso.

TYPE DE MUR \ TYPE DE TOITURES	MURS D'ADOBES	MURS DE BAUGE	MURS DE TERRE FAÇONNÉE	MURS DE PAILLE
TOITURES LÉGÈRES	TOUJOURS PORTEURS	RAREMENT PORTEURS	PORTEURS	JAMAIS PORTEURS
TOITURES LOURDES	TOUJOURS PORTEURS	JAMAIS PORTEURS	EN GÉNÉRAL NON PORTEURS	JAMAIS PORTEURS

Figure 3: Différents types des structures au Burkina Faso, [KERE, 1995]

La protection des cases contre les pluies et l'humidité est réalisée par les enduits et certaines dispositions constructives. Les enduits qui sont en terre reçoivent un vernis de Néré qui les rend étanche à l'eau. Les dispositions constructives concernent les fondations, les soubassements, les murs et les toitures. Les fondations pour les murs sont rares mais il est

possible d'avoir des tranchées dans lesquelles un lit de sable ou de gravier réalise la fondation et limite les remontées capillaires. Cependant, si le système structurel est réalisé avec des poteaux, ceux-ci ont des fondations qui seront décrites dans la partie C. Les soubassements des murs présentent une surépaisseur avec une inclinaison pour évacuer les eaux de ruissellement loin de la base du mur. Ils peuvent être prolongés par des socles qui peuvent servir de banquette. Les murs présentent un fruit pour casser la vitesse de ruissellement. Les cours intérieures et les toitures plates ont de légères pentes pour faciliter l'évacuation des eaux. En toiture, les acrotères évitent un écoulement anarchique de l'eau qui est évacuée par des gargouilles. La protection des greniers est réalisée par une surélévation de ceux-ci pour éviter les remontées capillaires et la perte des denrées stockées.

3. Le patrimoine burkinabé³

La notion de patrimoine est définie comme « *l'ensemble des biens culturels nationaux meubles, immeubles, matériels, immatériels, publics, privés, religieux, profanes qui présentent un intérêt artistique, légendaire, historique, pittoresque ou scientifique* »⁴ comme définie dans le décret de 2007⁵ sur la notion de patrimoine culturel. Au sein même de cette notion de patrimoine, le patrimoine culturel immatériel et le patrimoine culturel matériel sont distingués.

Le patrimoine culturel immatériel est le patrimoine le plus fragile. Il est composé de l'ensemble des pratiques, des représentations, des expressions, des connaissances, des savoir-faire et des instruments, objets, artefacts et espaces culturels qui leurs sont associés et sont reconnus par les groupes et les individus comme faisant parti de leur patrimoine. Il est subdivisé en cinq catégories : les domaines des traditions et des expressions orales ; les arts du spectacle ; les pratiques sociales, les rites et événements festifs ; les connaissances et les pratiques liées à la nature et l'univers ; les savoir-faire liés à l'artisanat professionnel.

Le patrimoine culturel matériel est subdivisé en quatre catégories : les sites naturels ; les sites archéologiques ; les monuments ; et le patrimoine architectural. Les sites naturels regroupent les réserves d'animaux et d'oiseaux, les forêts et les bois et les sites du domaine hydrique (marres, cascades et étangs). Cette catégorie fait appelle aux valeurs culturelles de la population dans un site naturel comme les croyances (les bois sacrés, les crocodiles sacrés,

³ Conférence de J-C Dioma, secrétaire général du ministère de la culture du Burkina Faso

⁴ Conférence de J-C Dioma, secrétaire général du ministère de la culture du Burkina Faso

⁵ Décret n°2007-816/PRES promulguant la loi n°024-2007/AN du 13 novembre 2007 portant sur la protection du patrimoine culturel au Burkina Faso

etc.). La deuxième catégorie regroupe notamment un site qui est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO : le site archéologique de Logopeni daté du XI^{ème} siècle. La troisième catégorie est la plus importante car elle regroupe tout ce qui perpétue la mémoire. C'est-à-dire les œuvres artistiques contemporaines (les monuments construits pour une occasion) et les monuments de mémoire (les baobabs, etc.). Enfin, la dernière catégorie regroupe l'ensemble des différents types et formes d'habitats des différentes ethnies du Burkina Faso. Ce type de patrimoine regroupe à la fois les architectures nomades et les architectures sédentaires comme l'architecture Kassena (le site de Tiébélé, etc.), l'architecture Senoufo ou bien l'architecture Lobi.

4. Un patrimoine menacé⁶

Le patrimoine culturel immatériel est menacé de disparition. Une des causes est la colonisation qui a impliqué des conversions religieuses, l'abandon des rites et coutumes païennes et a entraîné une baisse de la production artistique. Ensuite des causes sociologiques sont à l'origine de cette menace avec le départ des jeunes qui abandonnent leurs valeurs. La volonté d'industrialisation a eu des conséquences sur le patrimoine en déplaçant les populations. Enfin, le trafic d'œuvre d'art constitue l'une des menaces les plus importantes particulièrement sur les objets en bois et souvent il est mené par des acteurs locaux.

Les stratégies pour protéger ce patrimoine sont, d'une part, l'identification et la documentation de toutes les manifestations à travers un inventaire. D'autre part, un soutien est apporté aux initiatives locales de protection de ce patrimoine afin d'assurer la pérennité en assurant la pratique. La valorisation et la promotion des détenteurs et praticiens du patrimoine culturel immatériel qui sont voués à disparaître, est aussi une action menée consistant à identifier ces « *trésors humains vivants* »⁷ pour qu'ils obtiennent une reconnaissance de l'Etat et transmettent leur savoir aux plus jeunes. Enfin, promouvoir la transmission du patrimoine au sein des écoles et renforcer le lien école-lieu de vie est une stratégie supplémentaire pour réconcilier les burkinabés avec leur patrimoine.

Le patrimoine culturel matériel est menacé de destruction par l'action du temps, par les actions de l'homme et des animaux et par les intempéries qui produisent des inondations. Trois actions sont mises en place pour protéger ce patrimoine : le cadre juridique avec l'inscription et l'inventaire du patrimoine, les interventions directes et la mise en place

⁶ Conférence de J-C Dioma, secrétaire général du ministère de la culture du Burkina Faso

⁷ Conférence de J-C Dioma, secrétaire général du ministère de la culture du Burkina Faso

d'équipements et d'institutions chargées de gérer le patrimoine. Les interventions directes sont principalement basées sur un travail de renforcement de la capacité opérationnelle des différents acteurs et professionnels du patrimoine, l'entretien et la valorisation des sites patrimoniaux. Généralement, l'entretien et la valorisation des sites sont permis par des sources de financement externes.

III. Le pays Kassena et la cour royale de Tiébélé

1. Localisation

Le pays Kassena s'étend du Sud du Burkina Faso au Nord du Ghana entre les villes de Pô, Tiébélé, Ziou et Paga. Cette ethnie appartient aux Gourounsi. Elle est l'une des plus anciennes ethnies du Burkina car, grâce à son architecture défensive, elle a su se protéger de l'envahisseur. La population Kassena représente 100 000 personnes dont la majorité vivent dans la province du Nahouri.

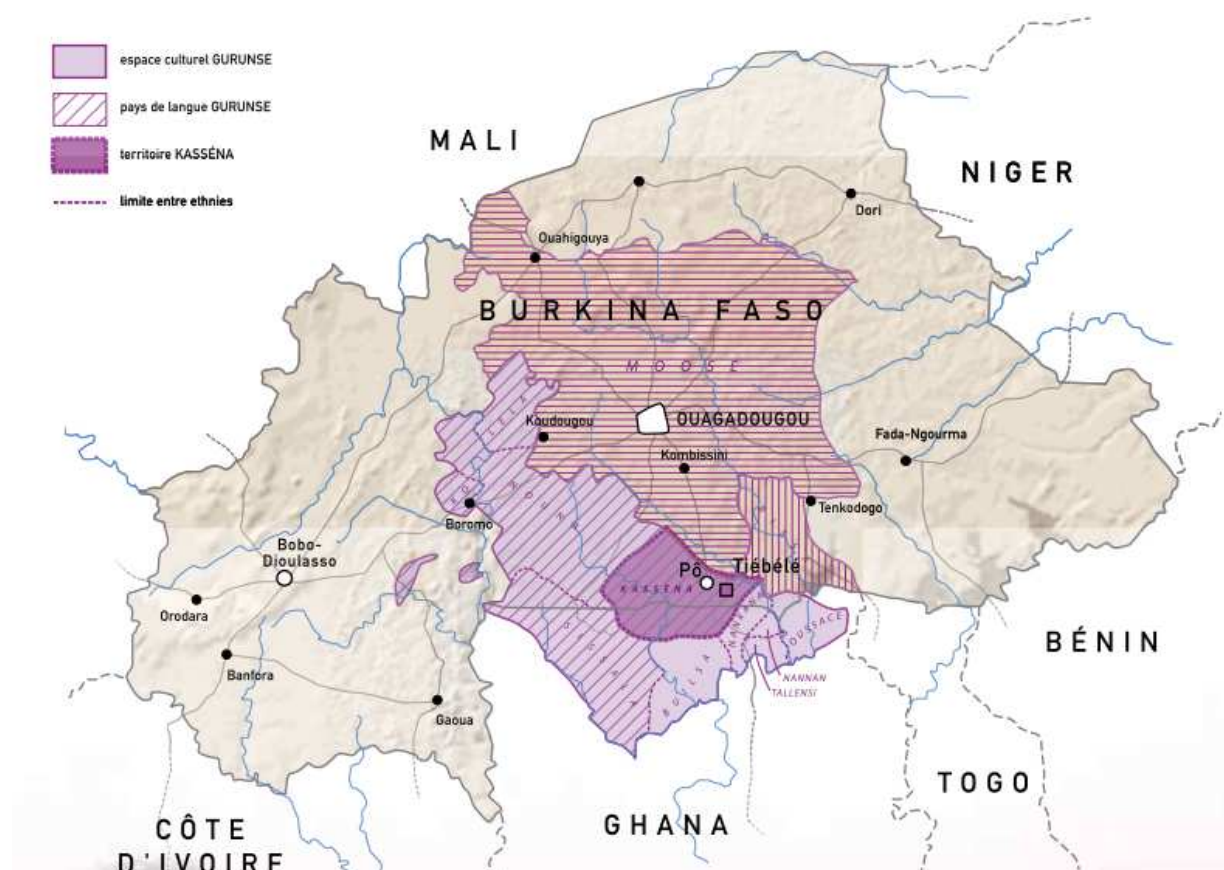


Figure 4: Localisation du pays Kassena

La concession royale se situe à côté de la ville de Tiébélé dans pays Kassena. Tiébélé est à 29 km à l'Est de Pô et sa population est de 13.300 habitants.



Figure 5: Case en Huit de la concession royale de Tiébélé

2. Le Tourisme du pays Kassena⁸

Les principaux sites touristiques du pays kassena sont les concessions royales de Tiébélé et de Tiakané. Le cas de Tiébélé faisant l'objet de ce mémoire sera développé par la suite. Le village de Tiakané est composé d'un groupement de maisons semi-enterrées en banco de différentes formes (rondes, rectangulaires, etc) avec des toitures terrasses ou des toits de chaume. Cet habitat évolue avec les changements sociaux. Le village de Tiakané inclut la case de Binger du nom de l'explorateur français qui y fit escale en 1887. Le village de Tangassoko est le village de la région où les décors sont les mieux préservés et la couleur utilisée contrairement à Tiébélé est un camaïeu de brun-sombre, de noir et de blanc. Les sites naturels touristiques de la région sont le parc national « Kaboré Tambi » qui s'étend sur 15.000 hectares et le ranch de Nazinga qui est une réserve naturelle de 100 000 hectares. Enfin, le festival de la culture et des arts de Tiébélé compte parmi les événements touristiques de la région. Cependant, le tourisme reste encore faible et il s'agit principalement de chercheurs. Mais depuis ces dernières années, les sites sont de plus en plus connus par les touristes venant au Burkina Faso et notamment le site de Tiébélé. Ce site est célèbre pour ces enduits peints. De nombreux touristes viennent voir la réalisation des enduits selon la technique traditionnelle. Le site de Tiébélé entretient ce patrimoine immatériel.

⁸ [DPC, 2008], [MCAT, 2002]

3. Histoire⁹

L'installation de la population kassena remonte à différents mouvements migratoires du XVI^{ème} siècle. Ils font partis des ethnies les plus anciennes du Burkina Faso appartenant au groupe des Gourounsi. La population kassena est issue des immigrations du pays Maoga, du village de Kasana de l'actuel Ghana ou encore du pays Bissa. L'installation de la population kassena est définitive au XVII^{ème} siècle et leur territoire est le Kasongo. Celui-ci représente actuellement la province du Nahouri et le Nord de Ghana. Les Kassena ont une organisation politique divisée en chefferie dont l'une des plus importantes est la chefferie de Tiébélé qui regroupe les villages de Tiébélé, Doulnia, Kaya, Tangassogo, Kollo, Bounkou, Guenon et Lô pour le Burkina et d'autres villages à la frontière nord de Ghana. L'installation de la chefferie à Tiébélé remonte au XVI^{ème} siècle. Les seules sources historiques qui sont pour la totalité orales racontent l'histoire de Tiébélé sous forme de mythe. Les Kassena de la région de Tiébélé étaient composés de deux groupes ethniques en perpétuels conflits : les Dougdjébié et les Koumboul. L'invasion Mossi au XVI^{ème} siècle a initié la création de la cour royale avec à la tête de la chefferie Patyringomie. A la mort de celui-ci, son fils Buikiété acquerra un fétiche du nom de Kwara grâce auquel il régna en maître sur la chefferie de Tiébélé. Il fonda alors son royaume englobant tous les petits groupes ethniques pour former le peuple kassena. Les habitants de Kollo, les Koumboul fuirent vers le Ghana. Le système défensif des concessions kassenas leur a permis de résister aux différentes invasions.

4. Organisation & Architecture¹⁰

4.1 Organisation sociale

Le Pé, le chef de Tiébélé est le représentant de l'autorité traditionnelle. Il a le pouvoir de décision face à des problèmes majeurs (famine, épidémie, etc.) et il préside les cérémonies coutumières. Il est épaulé par les chefs de quartier, les aînés de la lignée princière, les notables et les conseillers. Les chefs de terre s'occupent des différents rituels liés à la protection de la concession et de l'attribution des terres en accord avec le Pé. Les rituels religieux s'accompagnent de sacrifices principalement de poulets mais aussi de denrées alimentaires. Avec les multiples influences religieuses, un syncrétisme s'est développé permettant aux personnes de continuer la pratique de ces rituels en parallèle. Le préfet et le maire de la

⁹ [DPC, 2008], [MCAT, 2002]

¹⁰ [DPC, 2008] et Visite sur site avec I. MISSION, guide de la concession royale de Tiébélé

commune représentent, quant à eux, l'autorité moderne et s'occupent en parallèle des affaires communales et administratives. L'entrée de la cour royale possède différentes caractéristiques :

- Le « Pourrou » est un tumulus qui représente la tombe de l'ancêtre père, fondateur de la concession. Le placenta des nouveaux-nés est placé dans un pot en terre et enterré au pied du Pourrou. La hauteur du tumulus représente la puissance et l'ancienneté de la concession.
- Le figuier rouge est un arbre sacré, symbole de puissance qui abrite les sièges réservés au roi du village.
- Les pierres sacrées sont les sièges des différents notables du village devant la cour.
- Le « Nakongo » est le palais de justice où sont jugés les habitants de la concession selon le pouvoir traditionnel.
- Le cimetière des ancêtres est la basse-cour de la concession qui se situe derrière l'entrée où sont enterrés les habitants de la cour royale.

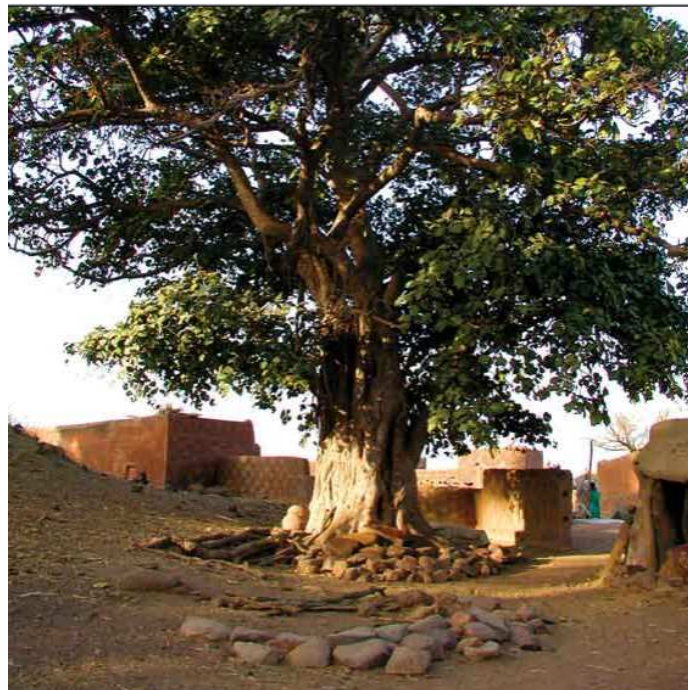






Figure 6: Entrée de la concession royale de Tiébélé, [DPC, 2008]

Le plan P01 présente l'ensemble de la concession.

Concession royale de Tiébélé (Ech: 1/500)

Présentation de la concession

LEGENDE

-  Cases détruites (2012)
-  Nouvelles constructions
-  Arbres
-  Cases détruites (2009)



La figure suivante présente l'organisation de la concession.

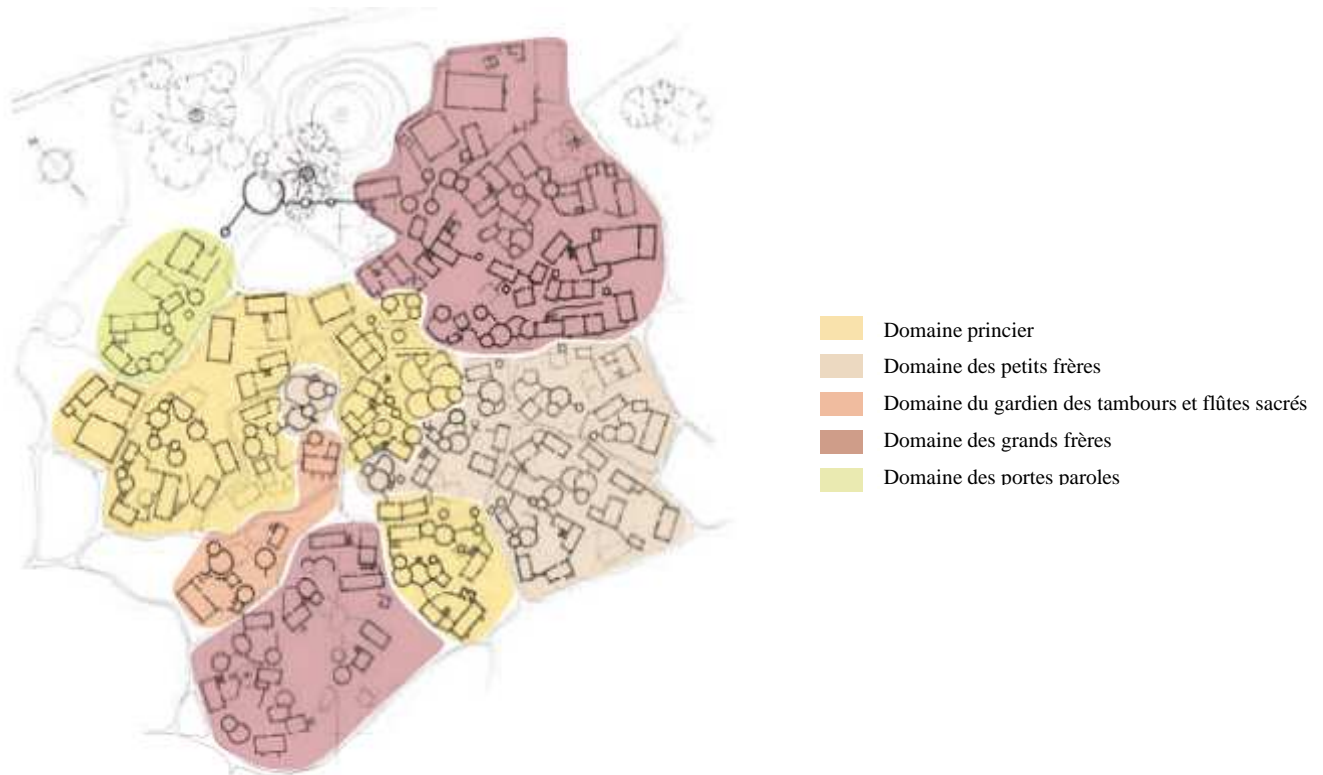


Figure 7: Organisation de la concession royale de Tiébélé, [DPC, 2008]

4.2 Architecture¹¹

La cour royale de Tiébélé regroupe trois typologies de case :

- Les cases rondes, les « *Draa* » sont réservées aux hommes célibataires. Dès 10 ans, les garçons quittent leur famille pour aller vivre dans ces cases selon la taille de la famille.
- Les cases rectangulaires ou carrées, les « *Mangolo* » sont réservées aux couples.
- Les cases en huit, les « *Dinian* » sont réservées aux personnes âgées, aux enfants et aux femmes célibataires.
- Les greniers servent de réserve pour les denrées.

La concession est évolutive selon les changements familiaux. Les circulations et les zones communes ont une place importante dans la concession.

L'architecture kassena est une architecture défensive. A l'origine, la concession est entourée d'une enceinte qui est reliée aux cases et présente une seule entrée. Les voies de circulation sont sinueuses et restreintes. L'ouverture des cases est basse et oblige les personnes à y entrer la tête la première, accroupi avant d'enjamber un muret permettant aux habitants de se

¹¹ [DPC, 2008] et Visite sur site avec I. MISSION, guide de la concession royale de Tiébélé

défendre contre les ennemis et empêcher l'intrusion d'animaux. La photo suivante montre l'entrée d'une case en huit protégée par un muret.



Figure 8: Architecture défensive, Cour royale de Tiébélé

4.3 Symbolique des enduits¹²

La figure 9 représente les motifs qui se retrouvent sur les enduits. Chaque motif a une signification et représente un symbole de la culture Kassena. Le paragraphe suivant présente une liste non exhaustive des différents motifs existants.

Les thématiques développées sont la musique avec le tambour (5), la crécelle(8) et la flûte. Ces instruments accompagnent le roi quand il est en déplacement et pour les fêtes. Nous avons aussi la thématique de la cuisine avec le filet à calabasse pour ranger les calabasses dans la cuisine (1) et la calabasse (2) qui est l'ustensile principal de cuisine.



Figure 9: Macramé à calabasse

¹² Visite sur site avec I. MISSION, guide de la concession royale de Tiébélé

Puis les symboles relatifs à l'agriculture et à la chasse comme l'épi de mil (6), le filet de pêche (9), la flèche (4) : la flèche noire représente la flèche non empoisonnée pour la chasse tandis que la flèche rouge représente la flèche empoisonnée utilisée pour la guerre. Le thème des animaux et animaux sacrés a une place importante dans les décors comme l'aile de l'épervier (3), la patte de la poule qui marche (12) ; la poule étant l'animal servant aux sacrifices, le python (10) qui est l'incarnation de la grand-mère qui rend visite à la famille et le margouillat (11) ; il faut attendre le passage d'un margouillat avant d'habiter une case. Enfin, nous retrouvons tous les motifs liés directement à l'Homme avec le pagne traditionnel qui protège le roi lors de ses déplacements et la canne pour parler du troisième pied d'une personne âgée.



Figure 10: Différents symboles se retrouvant sur les enduits de la concession

D'autres thèmes peuvent être développés selon les propriétaires de la case et les femmes qui réalisent les enduits. La figure suivante montre un exemple d'enduit traditionnel.



Figure 11: Exemple de motifs sur l'enduit traditionnel

La carte ci-dessus permet de caractériser la région de Tiébélé (Bv2). C'est un sol pauvre en matière organique qui a une bonne réserve minérale : calcium, potassium et sodium. Le sol est difficile à labourer mais quand il reçoit une bonne irrigation, la culture de coton, par exemple, y est possible. La couche géologique sous-jacente est composée du complexe de base granité (granit et gneiss).

5.3 Risques hydrologiques¹⁵

Les pluies s'étalant sur la période de mai à septembre sont généralement courtes et diluviennes. Les données météorologiques ci-dessous donnent la pluviométrie journalière à Tiébélé de 2007 à 2011.

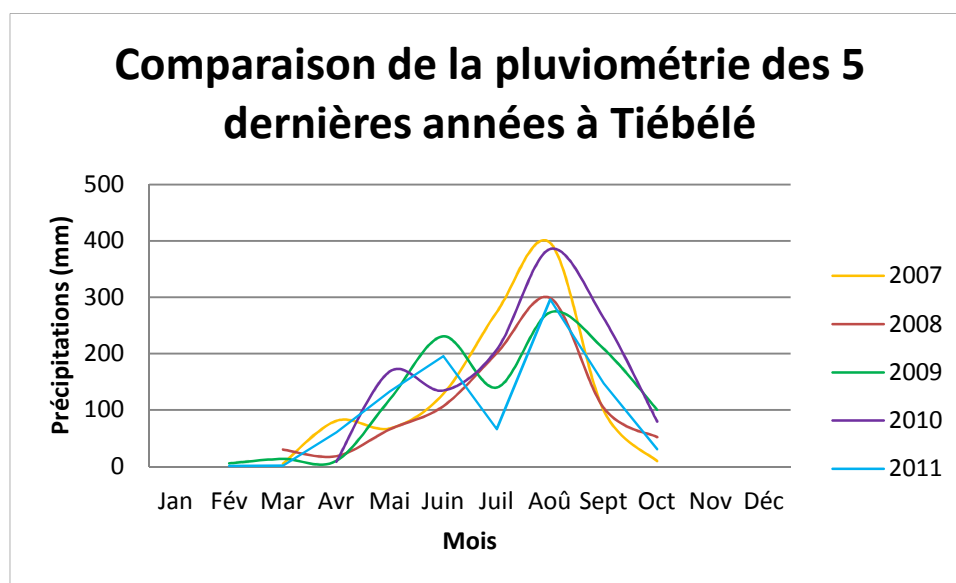


Figure 14: Pluviométrie à Tiébélé de 2007 à 2011

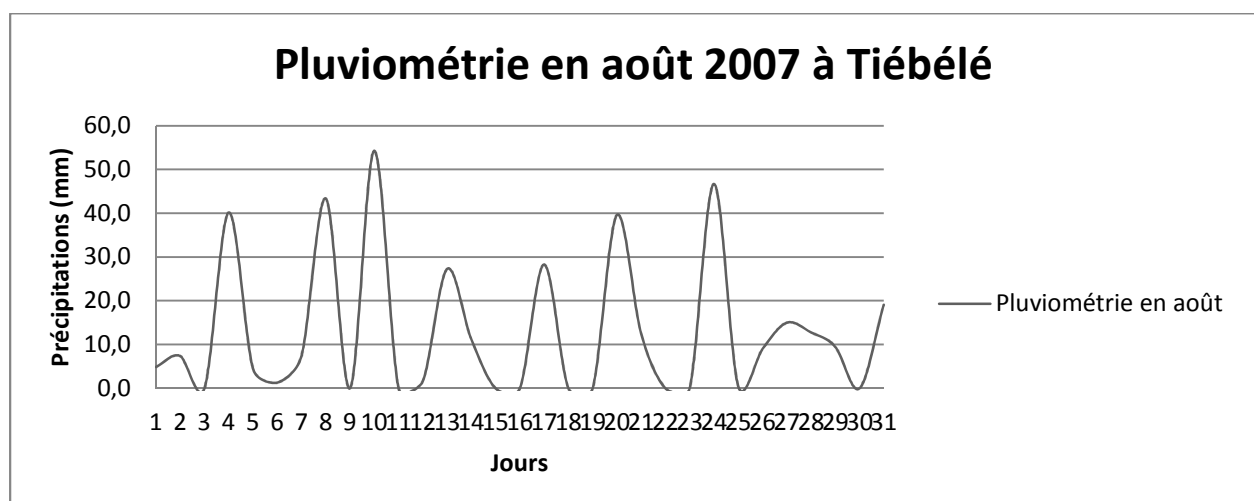


Figure 15: Pluviométrie en août 2007 à Tiébélé

¹⁵ Données issues de l'institut météorologique du Burkina Faso. Contact : Ernest K. OUEDRAOGO, Directeur de la Climatologie et du Réseau Météorologique

Ces dernières années, les pluies avaient une intensité plus importante et le sol étant sec, peu perméable et érodé, elles ont créé d'importants ruissellements. En 2007, suite aux pluies diluviennes qui se sont abattus sur le pays Kassena, une partie importante de la concession a été détruite. Le risque hydrique constitue donc un problème majeur pour la préservation de ce patrimoine.



Figure 16: Case détruite

PARTIE B :
RAPPELS DE PERMEABILITE DES SOLS

La seconde partie présente l'ensemble de la théorie relative à la perméabilité des sols nécessaire à la compréhension des essais qui se dérouleront dans la troisième partie.

I. Généralités sur la perméabilité des sols

1. La phase liquide d'un sol¹

La phase liquide dans le sol peut se présenter sous trois formes :

- L'eau de constitution (ou l'eau de cristallisation) qui entre dans la composition chimique des minéraux.
- L'eau absorbée ou hygroscopique qui forme autour des grains solides une pellicule fortement adhérente qui a une viscosité très élevée et une certaine rigidité.
- L'eau capillaire ou de rétention que se trouve uniquement dans les sols non saturés. Elle ne peut pas s'écouler librement et reste au contact des particules de sol.
- L'eau libre ou de gravité ou encore eau interstitielle qui remplit les interstices du sol.

C'est essentiellement, l'eau libre et l'eau capillaire qui nous intéresse.

2. Définition de la perméabilité d'un sol

La perméabilité des sols est la capacité des sols à être parcourus par des circulations de fluides.

II. Comportement des sols suivant la loi de Darcy

1. Loi de Darcy²

L'eau libre comme définie précédemment s'écoule dans le sol en suivant des trajectoires appelées lignes de courants. Ces lignes de courants forment des courbes quelconques qui sont fermées et constituent des tubes de courant.

Les expériences réalisées par H. Darcy en 1856 montrent qu'il existe une proportionnalité entre le gradient hydraulique et la vitesse d'écoulement entre deux points M et M' appartenant à une même ligne de courant. Le gradient hydraulique étant la perte de charge par unité de longueur.

La loi de Darcy est la suivante:

¹ [CASSAN, 2005], [FAUGERAS, 2008]

² [CASSAN, 2005], [FAUGERAS, 2008]

$$v = k \frac{dh}{ds} = k j$$

Avec $j = \frac{dh}{ds}$: gradient hydraulique sans unité

v : la vitesse d'écoulement en m.s^{-1}

k : le coefficient de perméabilité en m.s^{-1}

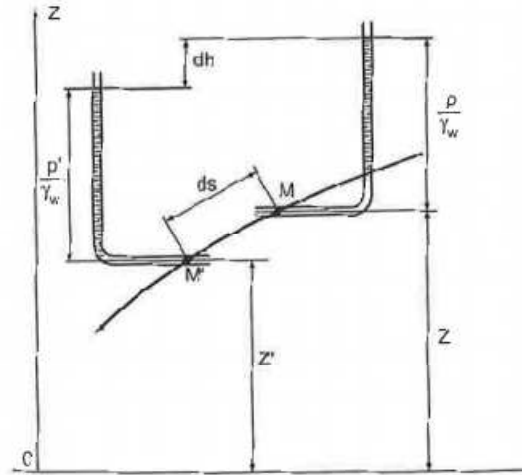


Figure 17: Illustration de la loi de Darcy, [CASSAN, 2005]

La vitesse v est une vitesse fictive. En effet, soit A la section de droite d'un tube de courant et A' l'aire de la section des vides. Nous avons $A' < A$.

Soit n la porosité :

$$n = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}} = \frac{A'}{A}$$

Soit v_r la vitesse réelle, le débit de percolation est :

$$Q = A v = A' v_r = n A v_r$$

D'où :

$$v_r = \frac{v}{n}$$

2. Coefficient de perméabilité du sol³

2.1 Théorème de Bernoulli

Soit p la pression en M et v la vitesse en M de côte z , l'équation de Bernoulli donne l'énergie potentielle par unité de poids de liquide :

$$H = z + \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

Avec H : la charge hydraulique

³ [CASSAN, 2005], [FAUGERAS, 2008]

g : l'accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$

γ_w : le poids volumique du fluide

Le terme $\frac{v^2}{2g}$ correspond à l'énergie cinétique de la particule et le terme $z + \frac{p}{\gamma_w}$ à l'énergie potentielle, la charge hydraulique représentant l'énergie mécanique totale.

Pour un fluide parfait : $H = \text{cte}$.

Or, l'eau n'est pas un fluide parfait et lorsqu'elle s'écoule à travers les vides du sol, des forces de frottement visqueux se développent entre les molécules d'eau et les parois. Ces forces de frottement dissipent de l'énergie c'est pourquoi il y a une perte de charge entre deux points d'un écoulement.

Dans le sol, la vitesse est faible, nous négligeons donc le terme d'énergie cinétique.

Nous avons alors :

$$H = z + \frac{p}{\gamma_w}$$

2.2 Loi de Poiseuille

La loi de Poiseuille traduit l'écoulement dans un tube capillaire.

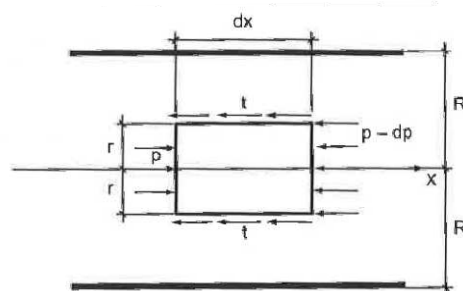


Figure 18: Ecoulement dans un tube cylindrique, [CASSAN, 2005]

Nous considérons un élément de longueur dx et de rayon r dans un tube capillaire de rayon R . Cet élément est soumis à des contraintes tangentielles dû au frottement interne du fluide sur sa paroi cylindrique et à des contraintes de pression hydrodynamiques sur ses parois extrêmes.

La contrainte tangentielle est proportionnelle au gradient radial de la vitesse d'écoulement :

$$t = \eta \frac{dv}{dr}$$

Soit η le coefficient de viscosité dynamique en Pa.s, l'équation d'équilibre des forces donne :

$$(2\pi r dx)t + \pi r^2 dp = 0$$

$$(2\pi r \eta dx) \frac{dv}{dr} + \pi r^2 dp = 0$$

$$dv = \frac{r dp}{2\eta dx} dr$$

En intégrant entre 0 et R avec $v(r = R) = 0$:

$$v = \frac{dp}{4\eta dx} (R^2 - r^2)$$

La vitesse a une évolution parabolique.

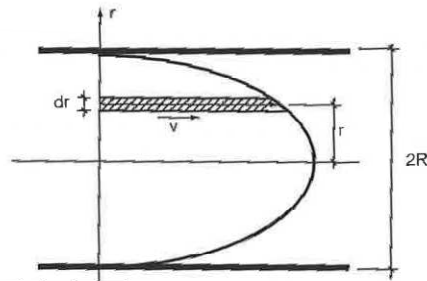


Figure 19: Evolution radiale de la vitesse dans une section droite d'un tube, [CASSAN, 2005]

La vitesse moyenne est :

$$\pi R^2 \vec{v} = 2\pi \int_0^R v(r)r dt$$

En intégrant entre 0 et R, nous avons :

$$\vec{v} = \frac{1}{8} \frac{d\vec{p}}{dx} R^2$$

Soit H la charge hydraulique :

$$\frac{d\vec{p}}{dx} = \gamma_w \frac{d\vec{H}}{dx}$$

Nous obtenons alors la loi de Poiseuille :

$$\vec{v} = \frac{\gamma_w R^2}{8\eta} \vec{j}$$

Ici la vitesse exprimée dans la loi de Poiseuille correspond à la vitesse réelle, d'où :

$$v = \frac{n\gamma_w R^2}{8\eta} j$$

En comparant avec la loi de Darcy :

$$k = \frac{n\gamma_w R^2}{8\eta}$$

Soit R_H le rayon hydraulique qui correspond au rapport entre l'aire d'une section de droite et son périmètre :

$$R_H = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2}$$

D'où :

$$k = \frac{n\gamma_w R_H^2}{2\eta}$$

Nous pouvons alors poser :

$$k = \frac{\varepsilon \gamma_w d^2}{\eta}$$

Où ε est sans dimension et dépend de la structure du sol et de la forme des grains

η est le coefficient de viscosité dynamique

γ_w est le poids volumique du fluide

d le diamètre moyen des pores

Nous pouvons conclure que le coefficient de perméabilité des sols dépend uniquement de la viscosité du milieu et de la nature du sol.

2.3 Expression du coefficient de perméabilité

De nombreux auteurs se sont attachés à exprimer le coefficient de perméabilité. Koreny (1927) et Carman (1956) sont partis de la notion de rayon hydraulique pour le définir. Ils ont définis le rayon hydraulique comme le rapport entre le volume total des vides et la somme des surfaces latérales limitant le volume de ces vides. Soit :

$$R_H = \frac{n}{1-n} \frac{\Omega}{S}$$

Après simplification, nous obtenons :

$$k = \frac{\gamma_w}{2\eta} \left(\frac{\Omega}{S}\right)^2 \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

En remplaçant le coefficient $\frac{1}{2}$ par un coefficient empirique α qui dépend de la structure du sol, de la forme des grains et de la longueur réelle des lignes de courant, nous arrivons à la formule de Koreny-Carman :

$$k = \alpha \frac{\gamma_w}{\eta} \left(\frac{\Omega}{S}\right)^2 \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

La formule de Koreny-Carman est valable pour des sables seulement sans limons ou argiles.

Hazen, quant à lui, propose une définition de k qui dépend directement du type de sol. La formule de Hazen donne pour de l'eau :

$$k = c d_{10}^2$$

Avec : k en cm/s

c une constante telle que $c=25$ pour les grains de 15 mm et $c=100$ pour les grains entre 0.1 et 3 mm.

d_{10} l'abscisse du point d'ordonnées 10% de la courbe granulométrique en cm

La formule de Hazen est valable pour un coefficient d'uniformité $CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 2$.

3. Limites de la loi de Darcy⁴

La loi de Darcy est applicable pour les écoulements laminaires mais elle ne s'applique pas à tous les types d'écoulement souterrain en particulier lorsque la vitesse est élevée. Pour être valable, il faut que la vitesse soit modérée, que le terrain ait une granulométrie fine relativement uniforme et donc que la dimension des pores soit petite.

Dans le cas des écoulements turbulents, la loi de Darcy n'est pas applicable car la proportionnalité n'existe pas à cause de la dimension trop importante des vides.

De nombreuses recherches ont été menées pour identifier les limites de cette loi. En voici quelques exemples :

Selon Lindquist (1933), la loi de Darcy n'est pas valable pour un nombre de Reynolds $Re < 1$ à 10 c'est-à-dire pour des vitesses de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} m.s⁻¹.

Selon H.Cambefort, la limite supérieure au-dessus de laquelle la loi n'est plus applicable est $v = 6.10^{-3}$ m.s⁻¹.

En ce qui concerne la limite inférieure, les auteurs des recherches sont beaucoup plus partagés :

Tavenas, Tremblay et Seroueil démontrent que la loi reste applicable pour la plupart des sables fins.

Actuellement, l'amélioration des appareils d'analyses en laboratoire a permis d'obtenir des résultats pour des argiles ($v = 10^{-9}$ m.s⁻¹).

4. Anisotropie des sols⁵

Si le terrain est sédimentaire, le sol peut être composé de différentes couches de perméabilité différentes.

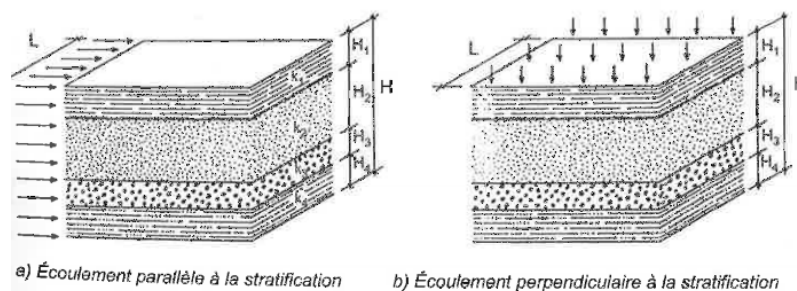


Figure 20: Filtration en terrain stratifié, [CASSAN, 2005]

⁴ [CASSAN, 2005]

⁵ [CASSAN, 2005]

Si nous nous plaçons dans le cas d'un écoulement perpendiculaire. En régime permanent, la vitesse de percolation est identique dans toutes les couches :

$$v = k_i \frac{\Delta h_i}{H_i} \text{ pour la couche } i$$

La perte de charge à travers n couches est :

$$\sum \Delta h_i = v \sum \frac{H_i}{k_i}$$

En appliquant la loi de Darcy : $v = k_v j$

D'où :

$$k_v = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{k_i}}$$

Dans le cas d'un écoulement horizontal, la perte de charge est identique dans chaque couche :

$$Q_i = j k_i \Delta H_i \text{ pour la couche } i$$

Le débit total étant :

$$Q = j \sum k_i \Delta H_i$$

En appliquant la loi de Darcy,

$$k_h = \frac{\sum k_i \Delta H_i}{\sum H_i}$$

Nous définissons α le coefficient d'anisotropie tel que $\alpha = \frac{k_h}{k_v}$ avec $\alpha > 1$.

Le coefficient α est valable pour un sol dont le nombre de couches est supérieur à 2.

De plus, il ne s'applique qu'aux terrains sédimentaires stratifiés, aux sols granulaires et aux formations sédimentaires homogène.

Le coefficient de perméabilité des sols k peut s'exprimer en fonction de k_h et k_v en appliquant la loi de Darcy dans le cas d'un écoulement permanent. Ce qui revient à résoudre une équation de Laplace selon les conditions initiales.

5. Capillarité des sols⁶

Les problèmes de remontées capillaires se rencontrent dans les sols fins. Les réseaux capillaires constitués des vides du sol peuvent créer une ascension capillaire de l'eau présente dans le sol sous l'effet de tensions. Ce phénomène est décrit dans les ouvrages référés ci-dessus dont notamment la loi de Jurin. Cette loi de Jurin permet de déduire plusieurs propositions illustrées par la figure suivante :

⁶ [CASSAN, 2005]

- Plus le diamètre du tube capillaire est faible c'est-à-dire plus le diamètre moyen des pores est petit, plus la hauteur d'ascension capillaire est élevée *i.e.* la succion. La succion est définie par la pression négative interstitielle de l'eau qui sature le sol.
- D'autre part, plus la teneur en eau initiale est élevée, plus l'ascension capillaire *i.e.* la succion est faible.

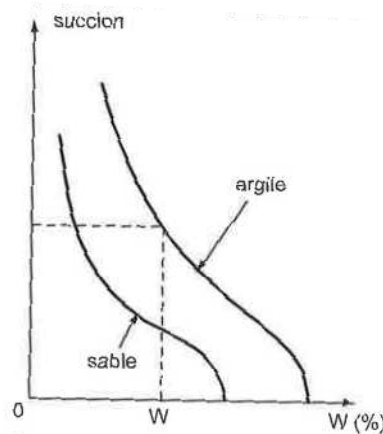


Figure 21: Courbe de succion, [CASSAN, 2005]

En ce qui concerne le coefficient k , la succion réduit les débits de percolation et le coefficient de perméabilité est alors sous-estimé.

III. Mesure du coefficient de perméabilité des sols

1. Mesure de la perméabilité en laboratoire⁷

1.1 Perméamètre à charge constante

L'essai du perméamètre à charge constante est utilisé pour des sols relativement perméables. L'échantillon de sol est placé entre des pierres poreuses dans un récipient cylindrique de hauteur L et de section S comme le montre la figure ci-dessous. L'eau s'écoule dans le sol à partir d'un niveau maintenu constant et l'évacuation se fait par un orifice situé à une hauteur inférieure. La différence de hauteur est notée H .

⁷ [FAUGERAS, 2008]

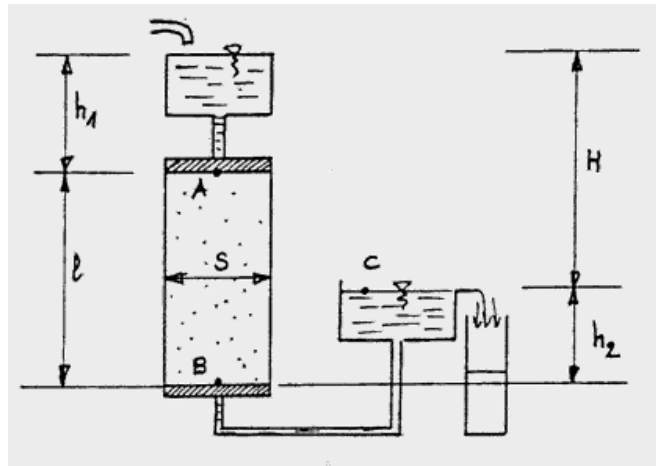


Figure 22: Perméabilimètre à charge constante

L'élément de sol est saturé jusqu'à ce que le débit soit constant. Nous mesurons la quantité d'eau qui a traversé l'échantillon pendant le temps t pour obtenir le débit:

$$q = \frac{Q}{t}$$

Selon la loi de Darcy, nous avons :

$$V = \frac{q}{S} = k i = k \frac{H}{L}$$

Soit:

$$k = \frac{Q L}{S H t}$$

1.2 Perméamètre à charge variable

Dans le cas d'un sol très peu perméable la technique précédente n'est pas applicable car le débit est trop faible. Le perméamètre à charge variable est alors utilisé. Après saturation de l'échantillon de sol, il consiste à mesurer la différence de hauteur de charge en fonction du temps pendant que l'eau percole à travers le sol.

Soit S' l'aire de la section du tube de charge et dQ la quantité d'eau qui traverse l'échantillon pendant le temps dt , nous obtenons:

$$\frac{dQ}{dt} = -S' \frac{dh}{dt}$$

Avec dh : la variation de hauteur d'eau dans le tube de charge

En régime permanent:

$$V = \frac{dQ}{S dt}$$

En utilisant la loi de Darcy: $V = k i$, nous obtenons :

$$\frac{dQ}{S dt} = k \frac{H}{L}$$

Par simplification, nous avons:

$$-\frac{S' dh}{dt} = \frac{kHS}{L}$$

Ou bien:

$$-\frac{dH}{H} = \frac{k S dt}{S' L}$$

En intégrant entre t_0 et t_1 , nous obtenons:

$$\ln \frac{H_0}{H_1} = \frac{k S}{S' L} (t_1 - t_0)$$

2. Mesure de la perméabilité du sol in situ : Essai Lefranc⁸

Nous décrivons dans cette partie seulement la théorie des essais mis en pratique dans la partie C du mémoire.

L'essai Lefranc est un essai simple qui consiste à alimenter un forage en eau par injection ou par pompage. L'alimentation en eau peut être soit constante pour les sols perméables soit variable dans le cas contraire. Le principe consiste à créer une cavité dans un tube de forage soit au milieu du tube ou bien à l'extrémité de celui-ci. Si nous nous plaçons dans le cas où la cavité est à l'extrémité du tube de forage, celle-ci est alors remplie de graviers drainants pour favoriser l'échange entre le tube et le sol. Avant de commencer l'essai, il faut attendre que l'eau se stabilise dans le cas de sols saturés ou alors il faut saturer le sol en eau par des injections préalables.

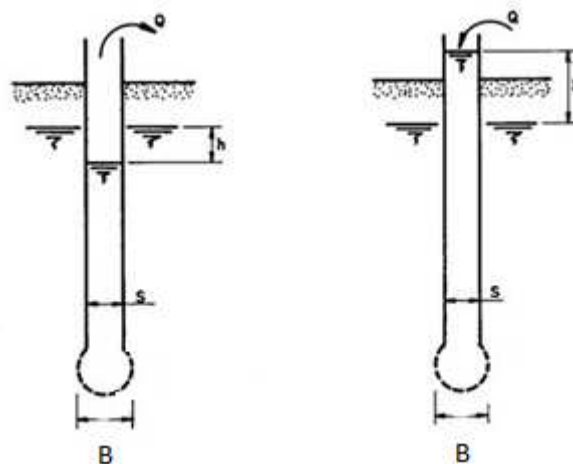


Figure 23: Principe de l'essai Lefranc pour un sol saturé

⁸ [CASSAN, 2005], [FAUGERAS, 2008]

Pour l'essai à débit constant : Soit Q le débit constant, B_0 le diamètre de la cavité d'injection et H la charge, nous avons :

$$k = \frac{Q}{mHB_0}$$

Avec m un coefficient qui dépend de la forme de la cavité d'injection. Le tableau suivant donne les valeurs de m en fonction de l'élanement $\lambda = \frac{L}{B_0}$.

λ	m
$\lambda \geq 10$	$\frac{2\pi\lambda}{\ln 2\lambda}$
$10 > \lambda \geq 1,2$	$\frac{2\pi\lambda}{\ln(\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 1})}$ (a)
$10 > \lambda \geq 1,2$	$\frac{2\pi\sqrt{\lambda^2 - 1}}{\ln(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})}$ (b)
sphère théorique	2π
$1,2 > \lambda \geq 0,7$	$\pi\sqrt{4\lambda + 1}$
$0,7 > \lambda \geq 0,5$	$\frac{\pi}{\sqrt{2}}\sqrt{4\lambda + 1}$
demi-sphère théorique	π
$0,5 > \lambda > 0$	$\frac{\pi}{2\text{arc cot}(2\lambda + \sqrt{4\lambda^2 + 1})}$ (c)
$0,5 > \lambda > 0$	$\frac{\pi\sqrt{1 - 4\lambda^2}}{2\text{arc tan}\sqrt{\frac{1 - 2\lambda}{1 + 2\lambda}}}$ (d)
0	2

Figure 24: Coefficient de forme, [CASSAN, 2005]

Dans le cas de l'essai à charge variable, soit $H(t)$ le niveau d'eau dans le tube qui varie de dH pendant dt et S la section du tube :

$$Q = \pm S \frac{dH}{dt} = m k H B_0$$

En intégrant, nous avons :

$$t = \pm \frac{S}{mkB_0} \ln \left(\frac{H}{H_0} \right)$$

Avec $H(t = 0) = H_0$ qui correspond au niveau après l'arrêt d'injection ou de pompage. En coordonnées logarithmique, $\pm \frac{S}{mkB_0}$ correspond à la pente de la droite $t = f(H)$.

La théorie développée dans cette partie va nous permettre de calculer les coefficients de perméabilité à partir des essais réalisés dans la partie suivante.

PARTIE C :
ETUDE DE LA COUR ROYALE DE TIEBELE

La troisième partie concerne l'étude de la concession royale de Tiébélé à travers différents relevés et essais in situ.

I. Etude de la concession

1. Les constructions kassenas

1.1 La structure¹

Les matériaux utilisés sont des matériaux locaux : la terre, le bois et la paille. Il existe deux types de structures : le système poteau-poutre réservé aux cases en huit et le système où les murs sont porteurs pour les cases rectangulaires et les cases rondes.

Fondations

Dans la configuration poteau-poutre, les poteaux en bois sont placés dans un trou sur un caillou pour éviter l'attaque des termites et l'enfoncement du poteau. Le trou est ensuite refermé avec de la terre damée.

Pour les cases où les murs sont porteurs, il n'y a généralement pas de fondation. Elles sont posées à même le sol. La première couche de terre est simplement ôtée et le mur est construit à partir de cette surface plane. Cependant, suite aux observations faites sur place, les murs des cases nouvellement construites reposent maintenant sur des fondations en parpaing mises en place dans des tranchées.

Murs en terre

Il existe deux types de montage des murs : le façonnage direct et les briques de terre crue. Pour la technique du façonnage direct, la terre est mélangée avec des fibres et de la bouse de vache. Les seuls exemples qui restent sont des cases en huit repérées sur le plan P03. Les murs sont érigés par couches successives. Le banco est travaillé en boules de 15 à 20 cm. En une journée, le mur en construction atteint une hauteur de 30 cm environ. La hauteur maximale des cases est de 3 m. L'épaisseur des murs est différente à la base et en tête de mur : de 40 cm à de 15 cm. La case est ensuite laissée à l'air libre pendant une saison avant d'être enduite. Ce principe est aujourd'hui remplacé par des briques en adobe. Celles-ci sont moulées et réalisées avec la terre disponible sur place.

¹ Questionnaire des maçons en annexe (I)



Figure 25: Fabrication de briques de terre crue

Les dimensions standard sont 20x40x10. Le mortier est à base de terre.

Auparavant la consistance de la terre était vérifiée avant de fabriquer des briques en mettant une motte de terre dans l'eau pendant une nuit. Maintenant le sol est pollué, pauvre et les tests ne se font plus. La qualité des briques est donc nettement inférieure. Ceci pose des problèmes par rapport à l'adhérence de l'enduit. Les murs présentent des dévers pour permettre le ruissellement de l'eau et des redents au niveau du soubassement pour les rejaillissements.

Toiture

Il existe, là encore, deux types de toiture : les toitures-terrasses et les toitures de chaume.

Les toitures-terrasses sont les plus nombreuses dans la concession. Elles recouvrent les cases en huit et les cases rectangulaires et sont accessibles. Elles ont de multiples fonctions, notamment pour dormir pendant la saison sèche et faire sécher des graines. L'accès s'effectue par l'extérieur soit par un escalier taillé dans un tronc d'arbre soit par un escalier en terre construit entre deux cases.

La toiture est composée d'une couche de terre compactée qui a une épaisseur maximum de 7cm, qui repose sur un réseau de poutre secondaires en bois. Ces poutres secondaires sont supportées par des poutres principales en bois. La couche de finition sur les toitures est un enduit à base de latérite de 2 cm d'épaisseur ou du ciment. Il existe deux systèmes constructifs. Dans le premier, la toiture est structurellement indépendante des murs en terre en façonnage direct. Elle repose sur le système poteau-poutre décrit précédemment. Dans le second cas, les murs en terre sont porteurs, les poutres portent directement sur le mur.

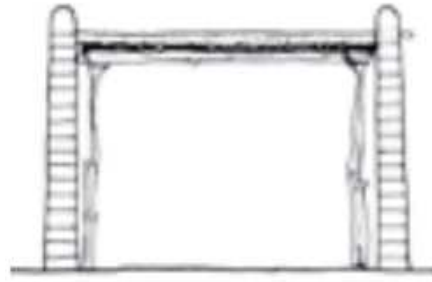


Figure 26: Toiture-terrace traditionnelle, [DPC, 2008]

Les toitures de chaume sont plus rarement utilisées car elles ne permettent pas l'accessibilité au toit. Elles sont généralement de forme conique. Ce type de toiture se retrouve principalement sur les greniers et les cases rondes.

Renforcements de la structure

Les éléments en bois peuvent être renforcés mais généralement, durant la saison sèche, les éléments structurels endommagés sont remplacés. Cependant, des poteaux peuvent être ajoutés pour limiter la flèche des poutres de toiture. Lorsque des fissures ou une inclinaison du mur apparaît, des contreforts peuvent être mis en place sur les murs.

1.2 Vérification structurelle

La toiture est composée de :

- terre compactée qui a une masse volumique de 1600 kg/m^3 dont l'épaisseur maximale est 7cm.
- Planche en bois d'une épaisseur de 13 cm

L'entraxe entre les poutres est de 1.20m et un diamètre est de 0.15m et leur longueur de 3.50m.

Les charges de la toiture terrasses sont donc estimés à $1.34+0.94 = 2.28 \text{ kN/m}$

Les charges d'exploitation à 2 kN/m^2 .

L'essence de bois est du karité (*Vitellaria paradoxa*) ou du nimier (*Azadirachta indica*) qui sont des essences de bois protégées. Les données étant manquantes, nous savons que le karité est un très mauvais bois qui résiste mal aux termites. Nous supposons que la masse volumique est de 600 kg/m^3 .

Le modèle utilisé est le suivant :

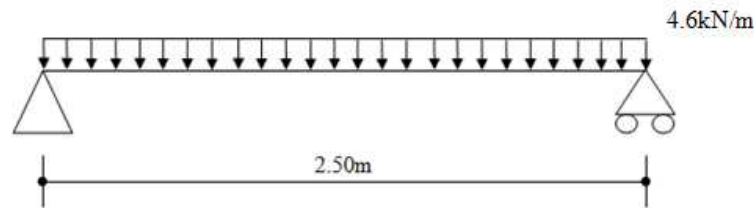


Figure 27: Modèle RDM

Nous avons un moment à l'ELS: $M = 3,6 \text{ kN.m}$. Nous supposons que nous travaillons à 8MPa : $W_8 = M/8 = 450 \text{ cm}^3$

Le module de flexion de la poutre vaut $W = \frac{\pi d^3}{32} = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 331 \text{ cm}^3$

La flèche est calculée de la manière suivante : $f = \frac{5 p l^4}{384 E I}$

La flèche est de 8,5 mm pour un module d'inertie $I = \frac{\pi d^4}{64} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$. La flèche admissible est de 10 mm. La flèche calculée est donc acceptable.

Les coefficients de sécurité sont relativement importants et les charges probablement surévaluées, il est donc normal que le calcul montre que la toiture ne résiste pas, les valeurs obtenues restent cependant proches. Par ailleurs, nous pouvons remarquer qu'avec une charge d'exploitation de 4 kN/m² qui correspondrait à la charge à prendre pour une toiture-terrasse accessible au public, les valeurs obtenues seraient doublées. L'affluence touristique peut donc avoir un réel effet néfaste pour les toitures.

1.3 Les enduits²

La mauvaise qualité de la terre mise en œuvre nécessite une protection des murs contre la pluie, l'humidité et le vent. L'enduit est une couche sacrificielle qui reçoit les décors symboliques du peuple kassena. Il existe deux types d'enduit qui sont mis en place dans la concession royale de Tiébélé : l'enduit traditionnel et l'enduit au goudron.

Enduits traditionnel en terre

L'enduit traditionnel est composé d'argile, de bouse de vache et de latérite. Aujourd'hui, l'ensemble de ces matériaux est acheté la plupart du temps car ils proviennent de lieux spécifiques. La procédure est la suivante :

Le support étant préalablement humidifié, la première couche est composée d'argile mélangée à de la bouse et de l'eau. La bouse est préalablement mélangée à de l'eau. Elle est étalée à la main. Ensuite de la bouse est re-projetée sur le mur puis le lissage est réalisé à la main.

² Questionnaire des femmes peintres-décoratrices en annexe (III)

La deuxième couche est composée de latérite pillée mélangée à de l'eau et de la bouse (si la latérite est trop fine, du sable est ajouté). L'ensemble de la surface est ensuite lissée au galet. Enfin les dessins, les gravures ou les reliefs sont réalisés et mis en couleurs. La première couleur appliquée est le noir qui est du graphite pillé qui vient du Ghana mélangé à un gluant qui provient de la décoction de tiges de gombo pilées puis le blanc qui est de la craie. Le mur obtenu est polychrome: rouge, noir et blanc.

L'ensemble de l'enduit est lissé une dernière fois au galet. Le vernis de Néré qui protège l'enduit et le rend étanche à l'eau, lui donne cette couleur marron et est appliqué à chaud sur un enduit sec à deux ou trois reprises à plusieurs jours d'écart. Le vernis de Néré est issu de la décoction des feuilles de Néré dont le nom scientifique est *Parkia biglobosa*. Si le vernis est appliqué en trop grande quantité, les couleurs des motifs s'estompent pour devenir marron.

Aujourd'hui, l'enduit est réalisé tout au long de l'année mais avant, il était réalisé en mars-avril pour éviter le vent qui favorise la microfissuration et les écailllements.



Figure 28: Matériaux et matériel servant à faire l'enduit traditionnel. En haut, la latérite mélangée. En bas, de gauche à droite : les brindilles servant à projeter la latérite, la craie, le galet pour lisser, le vernis de Néré, les plumes de pintades pour peindre, la pierre de graphite, le graphite pillé mélangé et le tamis pour la latérite.



Figure 29: Décoction des feuilles de Néré



Figure 30: Réalisation d'un enduit traditionnel en intérieur en dehors de la concession

Enduit de terre au goudron

L'enduit de terre au goudron que nous appellerons enduit au goudron par simplification dans la suite du mémoire est composé de terre et de goudron. La procédure est la suivante :

Le support étant préalablement humidifié, le goudron est mélangé avec l'argile et le tout est bien pétri. La couche est étalée à la main et lissée avec le blanc (craie). L'ensemble du mur devient alors blanc. Après séchage du mur, les dessins sont réalisés. Sur l'enduit au goudron, il n'y a pas de gravures mais seulement des dessins. Les dessins sont faits avec du goudron bouilli ou du pétrole. Le mur obtenu est dichrome: noir et blanc. Quand l'enduit a séché, il est impossible de le lisser. L'étanchéité de l'enduit à l'eau est réalisée par le goudron.



Figure 31: Enduit au goudron en dehors de la concession

Durabilité de l'enduit

L'enduit traditionnel dure seulement une saison et doit être refait après celle-ci. Tandis que l'enduit au goudron a une durée de vie de 3 à 4 ans. Mais les dessins commencent à partir avant les trois ans en commençant par le blanc puis le noir.

Réfection des enduits

Pour l'enduit traditionnel, il suffit d'ôter la couche de latérite à la daba, de lisser et il est ensuite possible de ré-enduire. La première couche reste toujours en place (voir figure 73). L'enduit au goudron étant constitué d'une seule couche, l'entièreté de l'enduit est retirée. Mais l'enduit ne peut pas être retiré avant 3 ans car il faut attendre qu'il devienne rugueux pour pouvoir le retirer.

Réparation des fissures

La mauvaise qualité des briques mises en œuvre actuellement a tendance à favoriser l'apparition de fissures sur les enduits. Un mélange de bouse de vache et de latérite permet de consolider une fissure mais actuellement, nous observons que par facilité de mise en œuvre, les fissures sont rebouchées au ciment. Lorsque l'enduit est désolidarisé du support, il faut ôter l'ensemble de l'enduit et recrépir pour recréer une surface d'accroche.

2. Caractérisation de la terre ³

Des essais simples ont été mis en place pour caractériser la terre composant le sol et servant à réaliser les briques de terre crue. La terre utilisée ne contient pas de graviers ou cailloux, nous considérons donc que nous avons seulement de la terre fine.

Le premier essai est appelé test de la bouteille. Il peut être apparenté à un rapide essai granulométrique. Il consiste à remplir un bocal avec de la terre et de l'eau pour déterminer les proportions de sable, de limon et d'argile. En laissant reposer, nous observons deux couches : 50% de limon en partie supérieure et 50% de sable en partie inférieure.



Figure 32: Test de la bouteille

Le deuxième essai consiste à réaliser une série d'essais successifs. Il faut réaliser une boule de 3 cm de diamètre avec l'échantillon de sol. Comme la boule reste en place et ne se désagrège pas, nous passons au test suivant, sinon c'est du sable. Le test suivant consiste à former un boudin de 6 à 7 cm de long. Le boudin se casse, nous avons donc un sable limoneux.

³ Protocole issu de [FAO, 2006]



Figure 33: Test des manipulations successives

Enfin, le dernier test permet de différencier l'argile du limon. Avec un échantillon de sable, nous réalisons une galette de 8 cm de diamètre et de 1.5 cm d'épaisseur. En la secouant, l'aspect semble luisant. Nous avons donc du limon, ce que nous vérifions en recourbant la galette. Elle est ensuite laissée au soleil jusqu'à ce qu'elle sèche complètement. La surface de la galette devient friable, ce qui confirme que nous avons du limon.



Figure 34: Différenciation limon/argile

Nous pouvons conclure que nous à faire à un sable limoneux. Cependant, des essais de laboratoire doivent confirmer ces résultats; essais qui n'ont pu être mis en place durant le mémoire.

3. Les différents relevés

3.1 Relevé des différents types de sols

La page P02 présente le relevé des différents types de sol dans la concession.

3.2 Relevé des différentes typologies de construction

Le plan P03 présente les différentes typologies de construction et les lieux des différents essais in-situ.

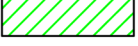
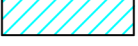


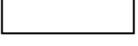
3.3 Relevé des différents passages et des évacuations d'eau

Le plan P04 présente les différents passages dans la concession qui servent de caniveaux en plein air pour conduire les eaux à l'extérieur de la concession.

Concession royale de Tiébélé (Ech: 1/500)

Différents types de sol dans les cases

LEGENDE











-  Cases détruite
-  Nouvelles constructions
-  Terre compactée
-  Ciment
-  Terre battue ou non renseigné



Concession royale de Tiébélé (Ech: 1/500)

Localisation des essais et type de construction des cases

LEGENDE








-  Cases détruites (2012)
-  Nouvelles constructions
-  Cases construites en façonnage direct
-  Cases construites en briques de terre crue
-  Essai de sol à la tarière à main
-  Essais de perméabilité de sol en simple anneau
-  Arbres
-  Cases détruites (2009)
- 9 8  Essais à la pipe en verre réalisés en dehors de la case de Calle
-  Essais pour mesurer la pente dans la concession



Concession royale de Tiébélé (Ech: 1/500)

Localisation des évacuations d'eau et des voies d'accès

LEGENDE

-  Cases détruites (2012)
-  Nouvelles constructions
-  Tuyaux d'évacuation PVC Ø100
-  Passages et accès
-  Arbres
-  Cases détruites (2009)
-  Puits perdus



II. Etude de la case de Calle

La case étudiée qui est la case de Calle est localisée sur le plan de présentation P01. Elle se situe dans la partie inférieure de la concession, elle est donc sujette aux problèmes liés au ruissellement. Elle regroupe une famille qui est composée de quatre couples qui vivent chacun dans les cases rectangulaires et de Calle qui vit avec ses petits enfants dans la case en huit. L'ensemble des sols de la case présentement étudiée sont recouverts entièrement de ciment.

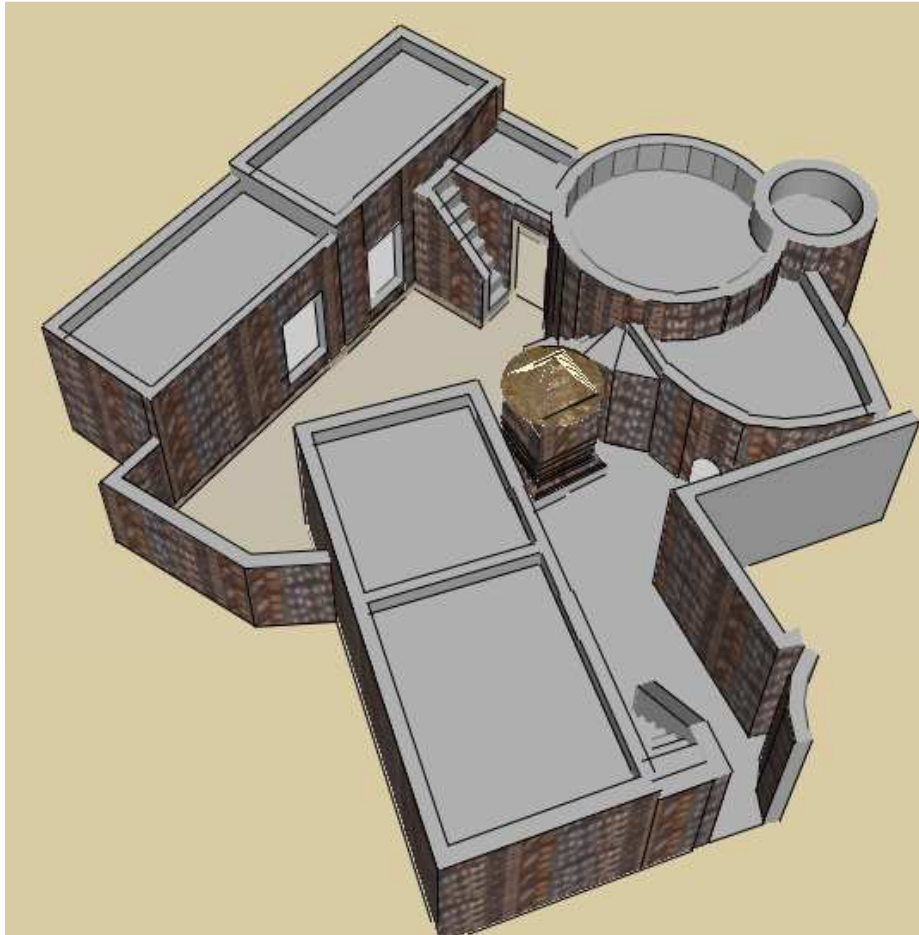
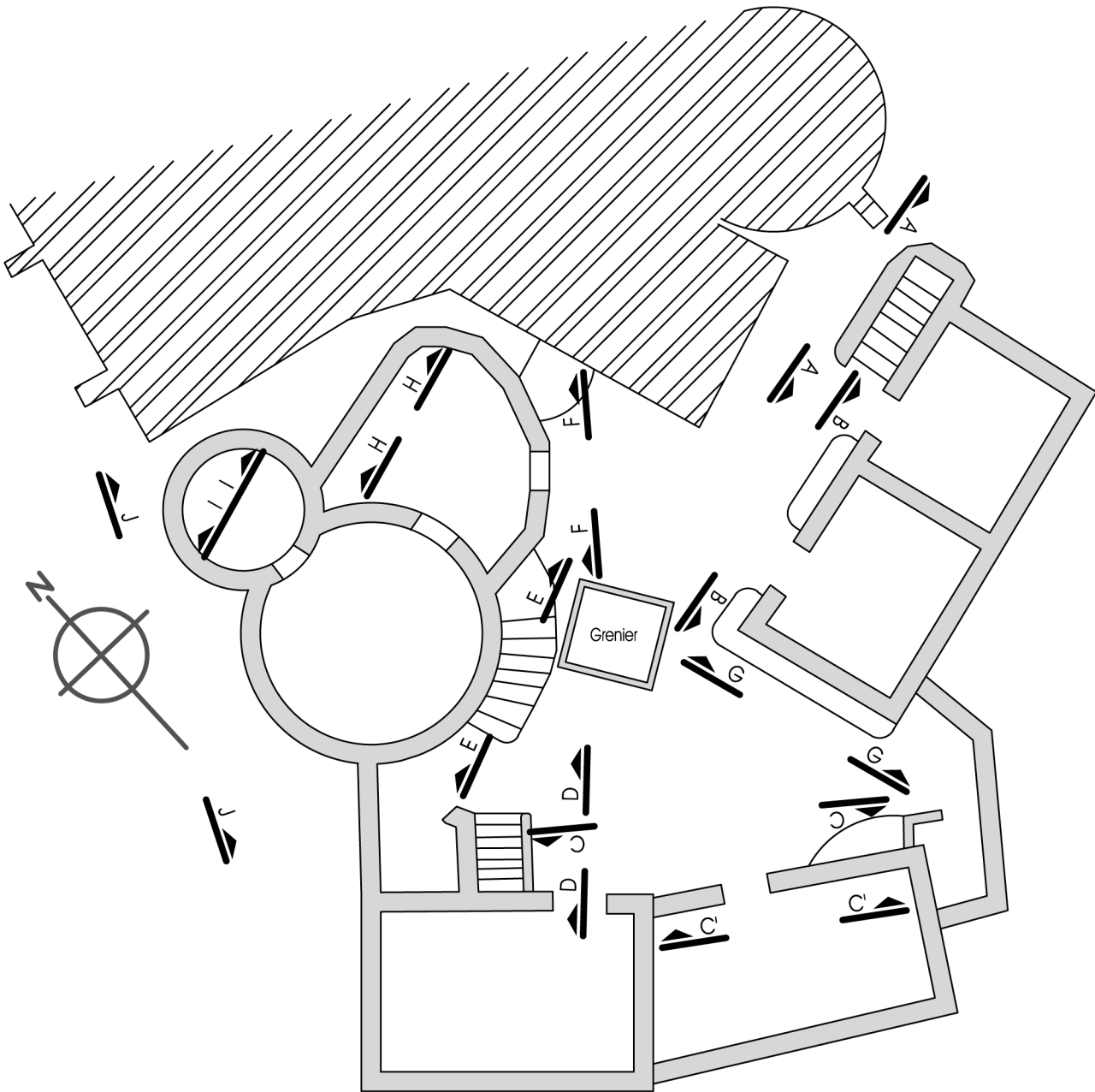


Figure 35: Vue en 3D de la case de Calle

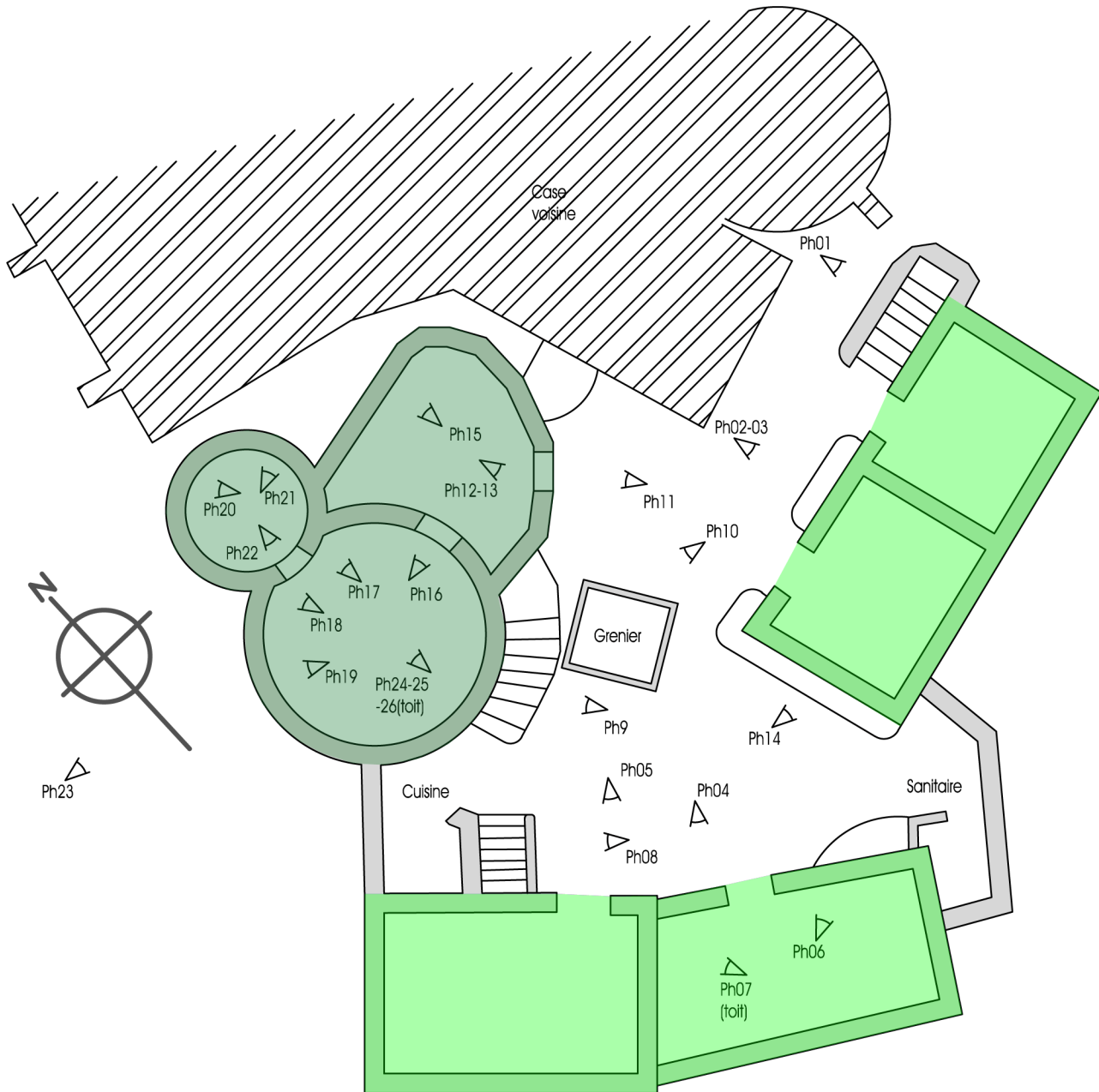
1. Relevé géométrique et pathologique

Les plans P05 à P14 présentent la case étudiée ainsi que les relevés géométriques et pathologiques de la case en question.

Plan de la case de Calle (Ech: 1/10)



Plan de l'organisation de la case de Calle (Ech: 1/10)



Légende

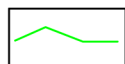


Cases rectangulaires = cases des couples

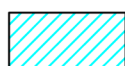


Case en huit pour les personnes âgées et les enfants

Légende



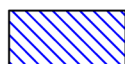
Fissures



Ciment



Trous dans l'enduit



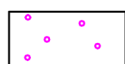
Enduit décollé



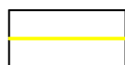
Coulures de goudron



Enduit abimé superficiellement



Marques de clous

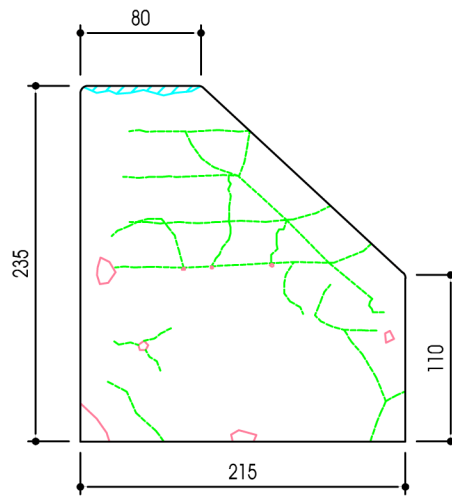


Frange

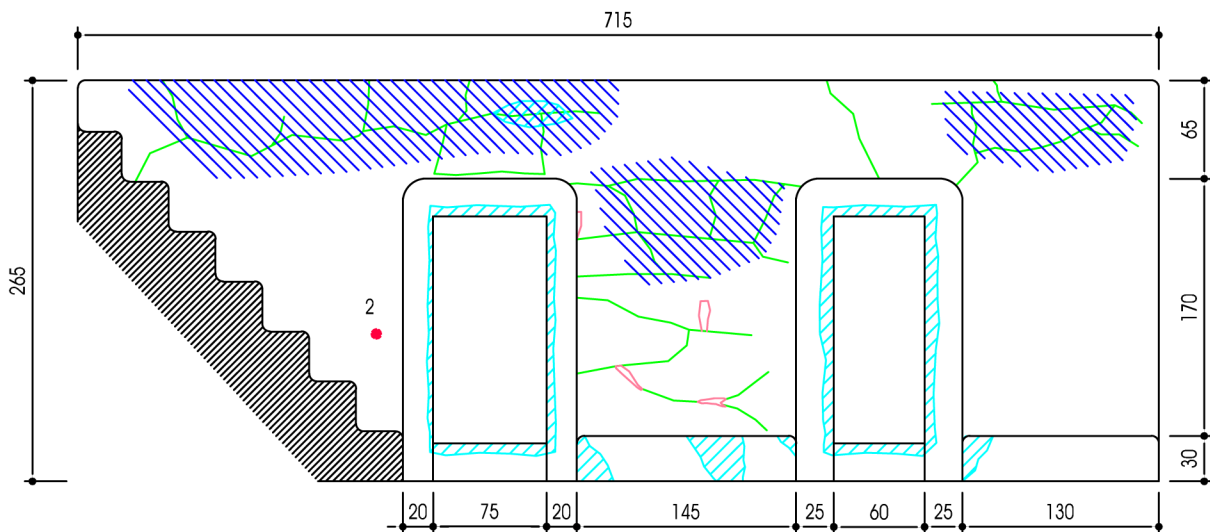
¹ ●

Essais à la pipe en verre

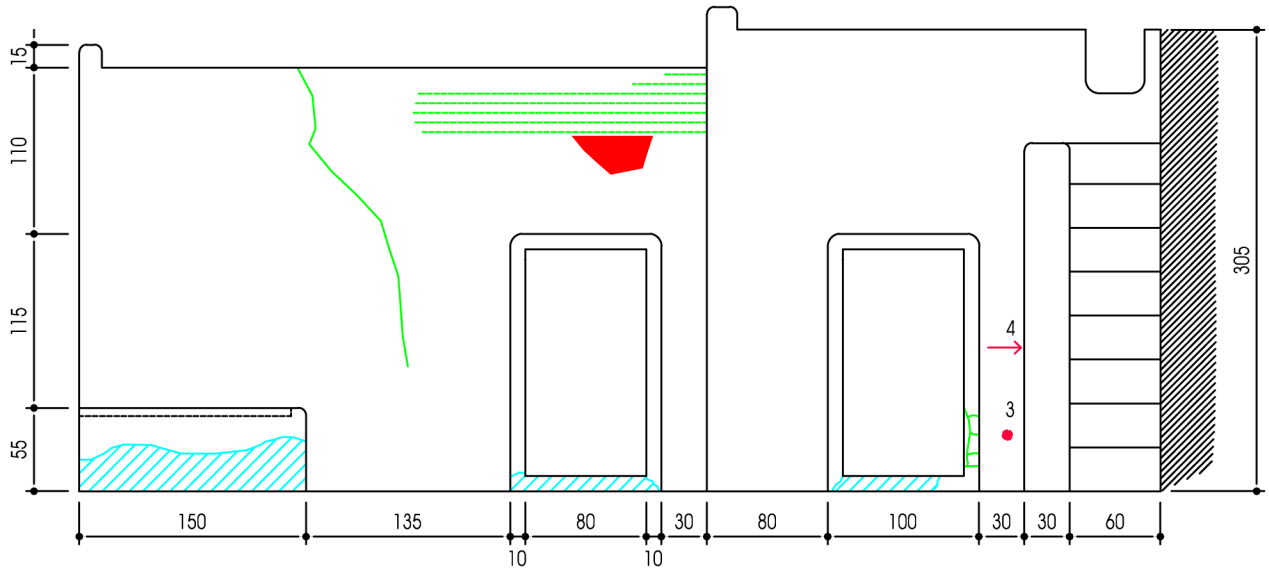
Elévation A-A (Ech: 1/5)



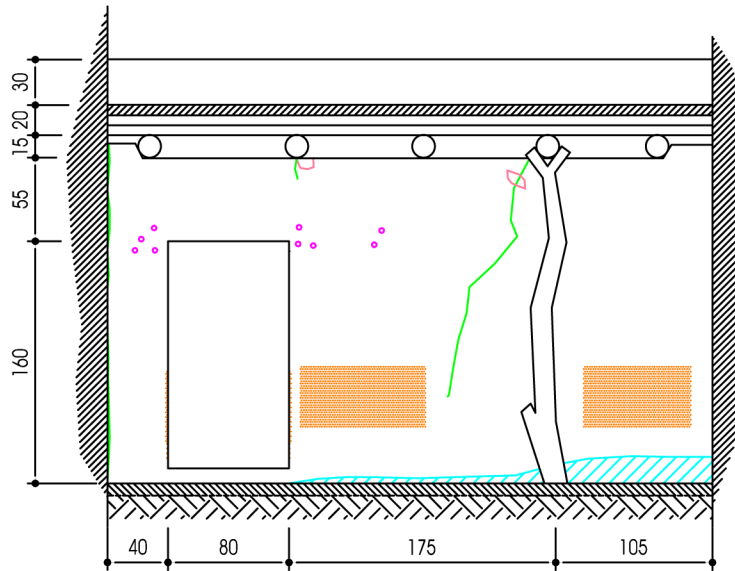
Elévation B-B (Ech: 1/5)



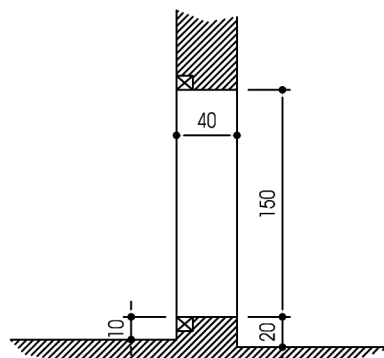
Élévation C-C (Ech: 1/5)



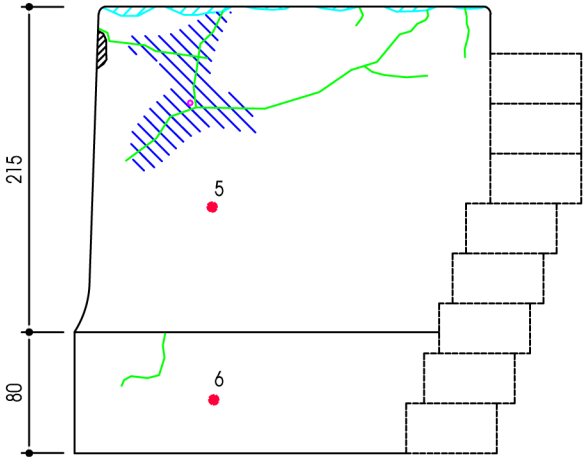
Élévation C'-C' Intérieur (Ech: 1/5)



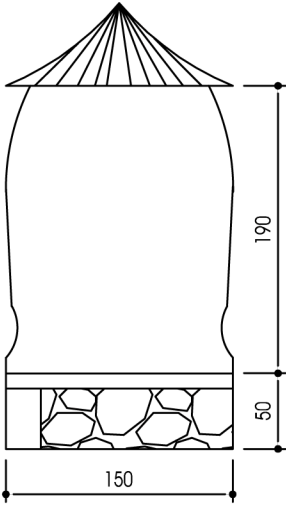
Détail de la porte (Ech: 1/5)



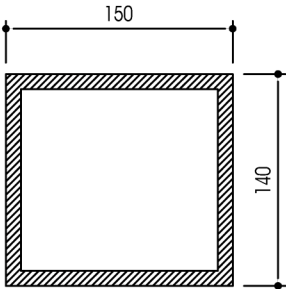
Elévation E-E (Ech: 1/5)



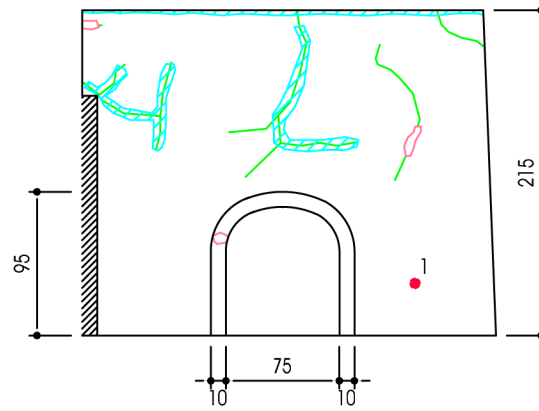
Elévation Grenier (Ech: 1/5)



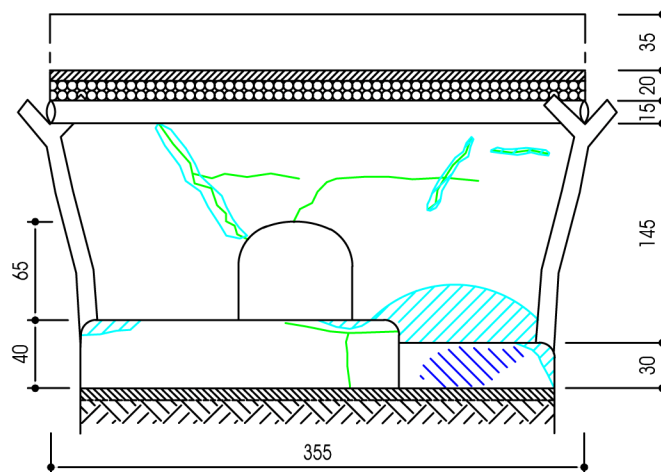
Vue en plan du Grenier (Ech: 1/5)



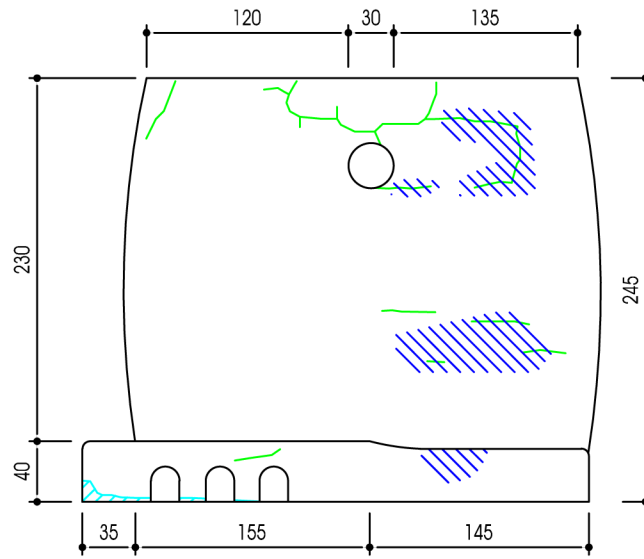
Élévation F-F (Ech: 1/5)



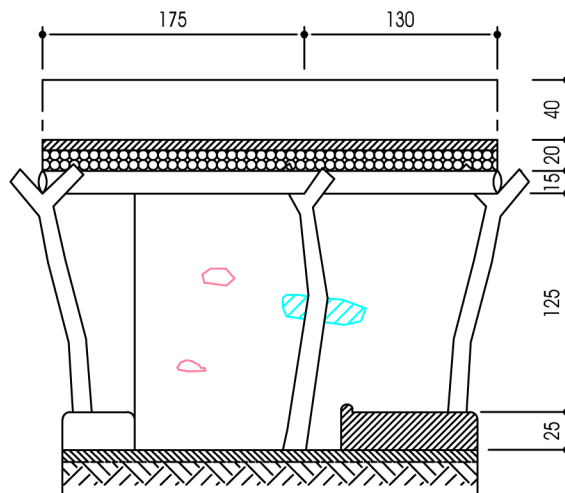
Élévation F-F Intérieur (Ech: 1/5)



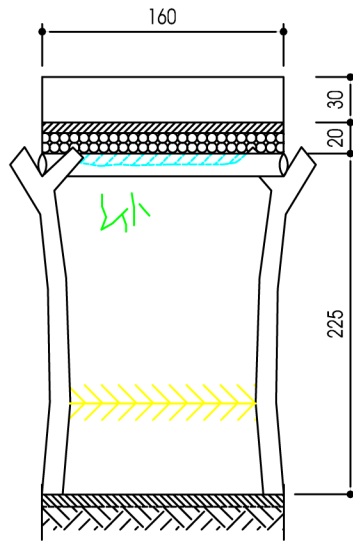
Élévation G-G (Ech: 1/5)



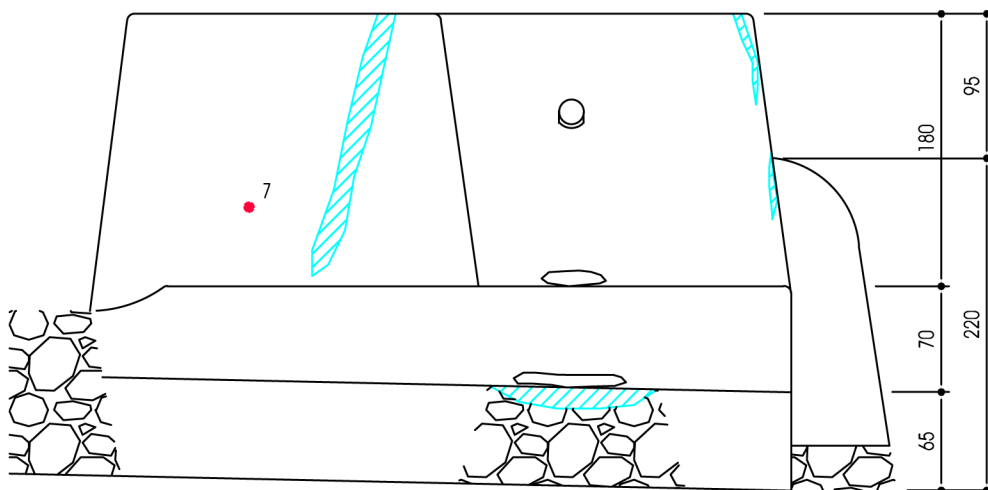
Élévation H-H Intérieur (Ech: 1/5)



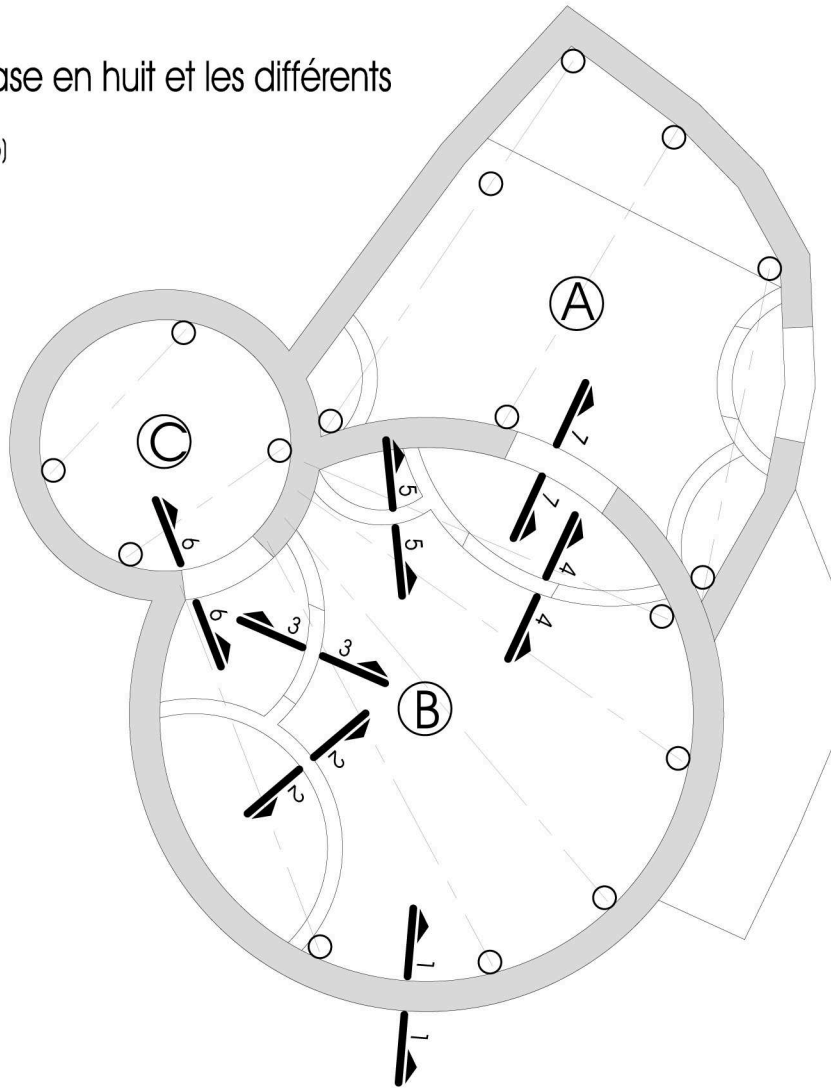
Élévation I-I Intérieur (Ech: 1/5)



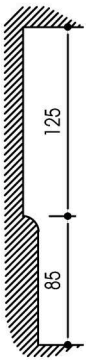
Élévation J-J (Ech: 1/5)



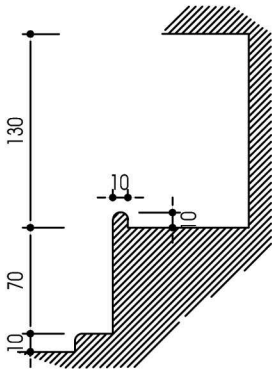
Plan Intérieur de la case en huit et les différents profils intérieurs (Ech: 1/5)



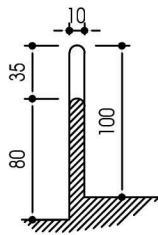
1-1



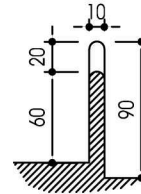
2-2



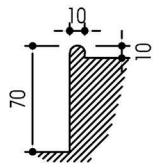
3-3



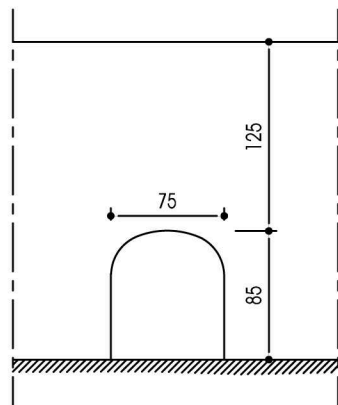
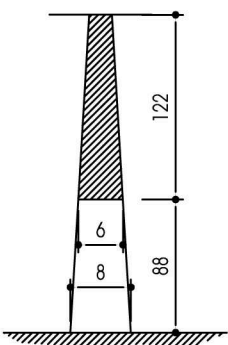
4-4



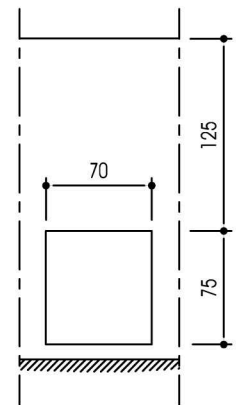
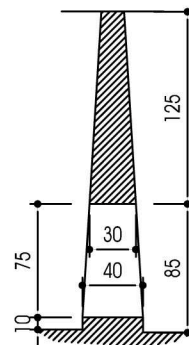
5-5



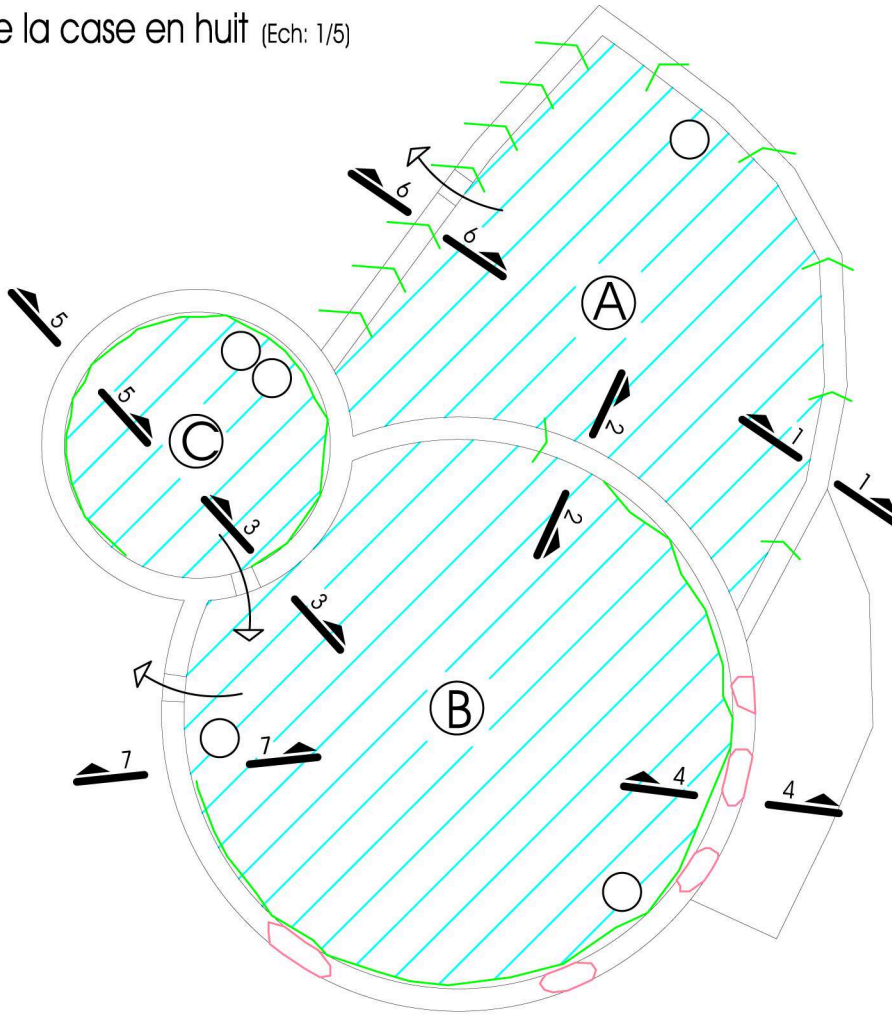
6-6



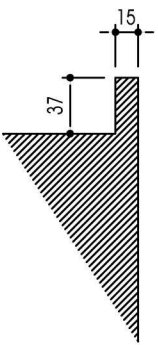
7-7



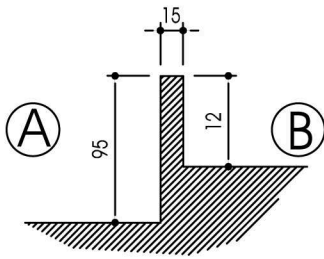
Plan de toiture de la case en huit (Ech: 1/5)



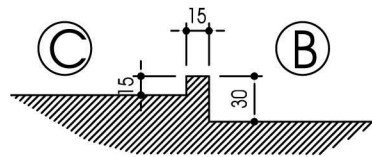
1-1



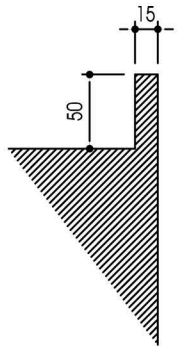
2-2



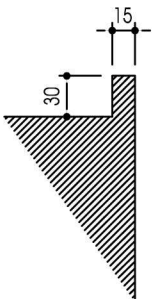
3-3



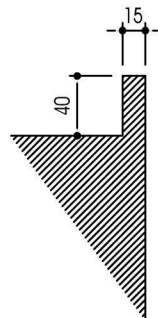
4-4



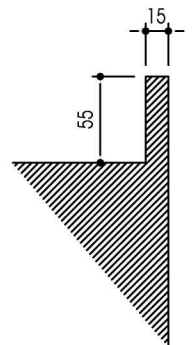
5-5



6-6



7-7



2. Analyse et origine des pathologies

Elévation A-A

Ce mur d'escalier forme le passage d'entrée dans la case de Calle. C'est un mur en brique de terre crue avec un enduit au gourdon qui a plus de trois ans (voir plan P06).

Nous observons des réseaux de micro-fissures (moins de 0.1cm) qui semblent suivre les lits de pose. La partie supérieure du mur est celle où les réseaux de micro-fissures sont le plus développés. Les fissures ont un entraxe de 20 à 30 cm ce qui correspond à l'épaisseur d'une brique. De petits trous sont présents sur les joints qui peuvent être attribués à des insectes ou à un mauvais serrage du joint. Les trous plus importants sont principalement dus au passage de personne. En tête de mur, nous pouvons noter que du ciment a été ajouté.



Figure 36: Ph01

L'ensemble de ces réseaux de fissures peut être attribué à un problème de mise en œuvre de l'enduit.

Elévation B-B

Cette façade de cases rectangulaires est en brique de terre crue avec un enduit traditionnel qui a été refait il y a deux ans mais le vernis de Néré a totalement disparu (voir plan P07).

Nous pouvons noter un décollement général de l'enduit autour des fissures. Les fissures les plus importantes ont une ouverture entre 2 cm et 12 cm. Les fissures horizontales semblent suivre les lits de pose. Les petites banquettes ont beaucoup de trous dus à leur utilisation qui ont été refermés au ciment. Les portes ont été réadaptées puisque initialement elles étaient en

paille comme le montre la figure 38. Un cadre en bois a été placé comme châssis pour recevoir les portes en tôle métallique.



Figure 37: Ph 02-03



Figure 38: Ancienne porte de case, à l'extérieur de la case de Calle

Élévation C-C

La façade C-C correspondant à deux cases rectangulaires est en brique de terre crue avec un enduit au goudron qui a été refait il y a cinq ans pour la case de droite et il y a deux ans pour la case de gauche (voir plan P08).

La fissure à gauche de la façade fait moins de 1 cm d'ouverture. Les microfissures au dessus de la porte de gauche visibles sur la photo suivante sont dues à un mauvais serrage de l'enduit ou à la qualité du goudron.



Figure 39: Ph04

De même que pour la façade précédente, les chassis et les portes ont été ajoutés par la suite. Les moulures arrondies des contours des portes ont été réalisées après la pose des chassis en enduit au gourdon.



Figure 40: Ph05

L'enduit au goudron avec le soleil a coulé. Ces coulures se sont produites soit lors de la réalisation des décors, soit par la suite.

Coupe C'-C'

Cette partie de la case a été ajoutée plus tardivement, les murs ne sont donc pas liaisonnés ce qui explique la fissure horizontale à la liaison entre les deux murs. Cette fissure fait cependant moins de 1cm. Le fissure commençant sous la poutre est identique à celle en face extérieure, elle a une ouverture de moins de 1cm. Cette fissure s'explique par un problème d'infiltration d'eau par la toiture qui a été renforcée par un poteau en bois placé sous une poutre en bois existante.

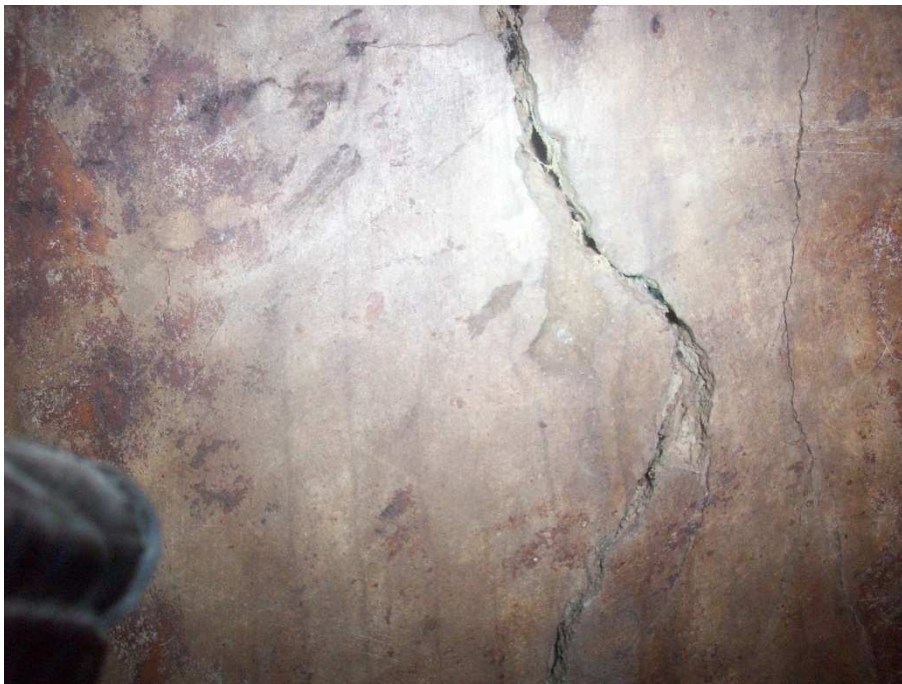


Figure 41: Ph06

L'enduit est abîmé sur des grandes surfaces localisées. Ceci est dû aux passages et à l'usage de la case. En effet, l'ensemble des nattes servant à dormir sont repliées et stockées le long des murs durant la journée.

Toit C-C

L'ensemble des toitures est recouvert de ciment et quelques fissures sont visibles. Les fissures sont réparties de la même manière que sur la toiture de la case en huit étudiée sur le plan P14.



Figure 42: Ph07

Elévation D-D

La façade D-D est réalisée en briques de terre avec un enduit en terre crue avec un enduit au goudron qui a été refait il y a un an.

La façade présente peu de désordre car l'enduit a été refait récemment. Elle présente surtout un arrachement de l'enduit à cause du batant de la porte.



Figure 43: Ph08

Elévation E-E

La façade E-E est une case en huit qui est construite en banco en façonnage direct avec un enduit traditionnel qui a été refait il y a un an et un vernis de Néré récent. Sur le soubassement, une couche de goudron a été ajoutée.

Les différentes fissures peuvent s'expliquer par des infiltrations d'eau ou par la mise en œuvre de l'enduit. Auparavant, l'enduit été mis en place en mars-avril mais maintenant il est mis en place plus tôt en février-mars pendant la période de l'armatan. Les vents peuvent provoquer des craquelures sur l'enduit juste mis en œuvre.



Figure 44: Ph09

Grenier

Le grenier ne présente pas de gros désordres. Il a été réenduit au goudron, il y a un an. Il est construit en bloc de briques crue de 10 cm. Auparavant, il y avait des greniers construits en banco en façonnage direct mais il n'y a plus de modèles dans la concession. L'accès au grenier se fait par le toit à l'aide d'une échelle.

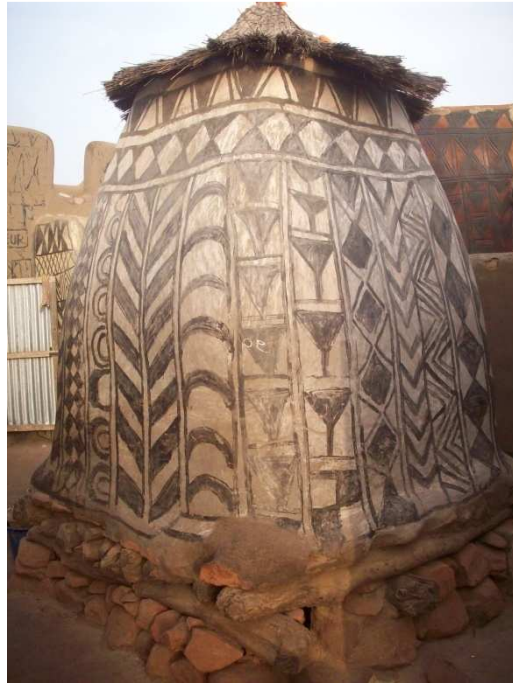


Figure 45: Ph10

Elévation F-F

Cette case est en brique de terre crue avec un enduit traditionnel assez récent et une couche de Néré récente. Elle est adossée à la case en huit et présente des décors en relief.

Autour des fissures, les enduits présentent de nombreux décollements. Les grosses fissures sont rebouchées au ciment. Elles proviennent d'infiltrations d'eau depuis la toiture.



Figure 46: Ph11

Coupe F-F intérieur

Le sol intérieur de l'ensemble de cette case est en ciment et l'intérieur est recouvert d'un enduit traditionnel sans décor. Nous retrouvons les mêmes fissures que sur la face extérieure. La toiture est composée par de poutres en bois qui portent sur des poteaux en bois. Un réseau de poutres secondaires reposent sur les poutres sur lequel la toiture en terre vient elle-même s'appuyer. Il y a de nombreuses réparations au ciment à la fois pour les fissures mais aussi aux endroits où l'enduit est fragilisé par des passages répétés.



Figure 47: Ph12-13

Elévation G-G

La façade G-G est en brique avec un enduit traditionnel. Elle a été réenduite en août 2011. Le vernis de Néré commence à avoir totalement disparu.

Les réseaux de micro-fissures correspondent aux lits de pose des briques. Nous observons des décollements d'enduit autour des fissures les plus importantes qui ont une ouverture de 1 à 3 cm. Le dessus de la banquette est en ciment et le côté est enduit avec un mélange de goudron comme le soubassement de la case en huit côté cour.



Figure 48: Ph 14

Coupe H-H

Cette façade intérieure est enduite avec un enduit au goudron. Le poteau central a été ajouté par la suite pour venir soulager la poutre et lui fournir un appui supplémentaire. Le reste de la façade ne présente pas de gros désordres.

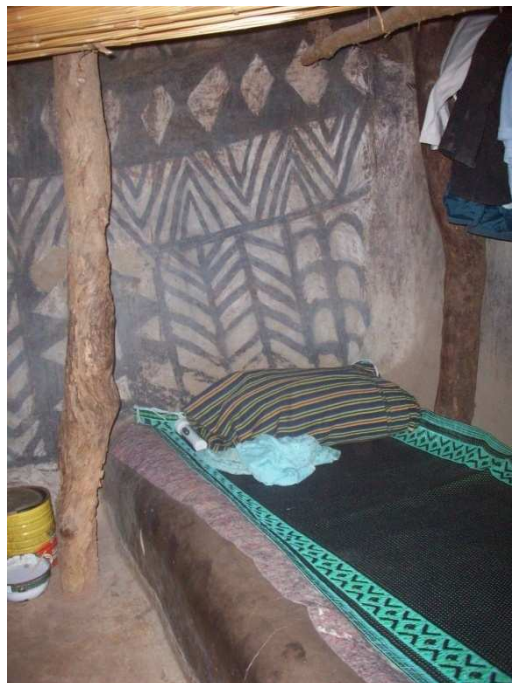


Figure 49: Ph15

Plan Intérieur de l'ensemble de la case en huit

Ce plan représente l'ensemble de la structure de la case en huit avec un système poteau- poutre sauf dans la deuxième partie où les poutres s'appuient directement dans le mur sur un seul côté. Les poteaux et les poutres sont en bon état d'un point de vue sanitaire.



Figure 50: Ph 16-17



Figure 51: Ph18



Figure 52: Ph19

Coupe I-I

Cette façade présente principalement une frange qui n'est visible que de ce côté du petit huit. Ceci pourrait ressembler à des sels qui auraient séchés d'où la présence de la partie blanchâtre sur la photo suivante. En effet, à l'extérieur nous sommes sur un passage important d'eau et quasiment à la sortie de la concession donc le ruissellement doit être important à cet endroit. De plus, ce lieu sert de cuisine intérieure et l'humidité y est très présente. Ce qui explique la présence de cette frange qui s'apparenterait a priori à des remontées capillaires.



Figure 53: Ph20

J'ai réalisé des essais au CSTC⁴ sur un échantillon de terre prélevé au sol à côté de la case en question et sur un échantillon de terre servant à faire des briques (dans un champ à côté de la concession) pour évaluer la présence de sels ou non.

Ces essais sont simples et rapides. Le premier test permet de déterminer la présence de nitrate et de nitrite qui sont des sels hygroscopique qui captent l'humidité de l'air même quand la source d'eau n'est pas liquide : par exemple le fumier. Le nitrite est un sel plus jeune qui se transformera par la suite en nitrate. Le second test permet de déterminer les chlorures qui correspondent au sel industriel ou au sel de cuisine ou encore de conservation. C'est aussi un sel hygroscopique. Enfin, le dernier test permet de déterminer les sulfates qui ne sont pas testés habituellement car ils sont présents partout. C'est un sel qui cristallise et crée des efflorescences blanches.

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de changement de couleur des bandelettes. Ceci est assez inhabituel puisque il y a toujours la présence de sels même en faible quantité dans le sol et principalement dans les sols à proximité des habitations. Nous pouvons donc seulement conclure que le sel n'est pas un problème apparent dans la terre utilisée. Cependant, il reste la composition des boules de terre façonnée et la composition de l'enduit qui présentent du fumier et pourraient probablement être à l'origine de ces remontées.

⁴ Essais réalisés avec l'aide de S. Herinckx

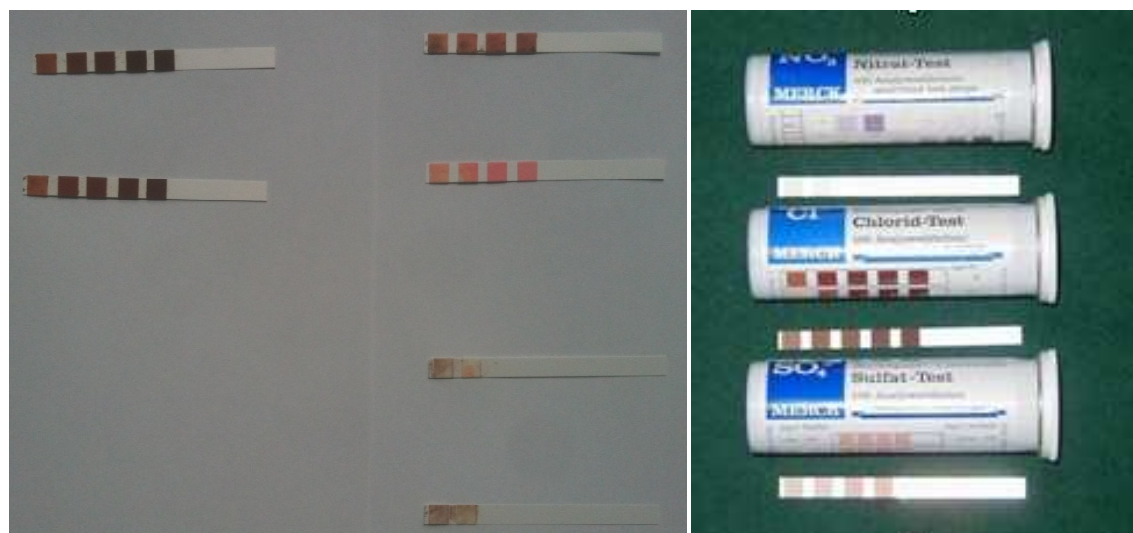


Figure 54: Essais de sels: en haut à gauche test des chlorures, en haut à gauche test des sulfates et en bas test des nitrates et nitrites. La bandelette rose est la bandelette de référence pour le test 3.

Les photos suivantes présentent les problèmes liés à l'utilisation même de cette partie de la case à savoir la cuisine.

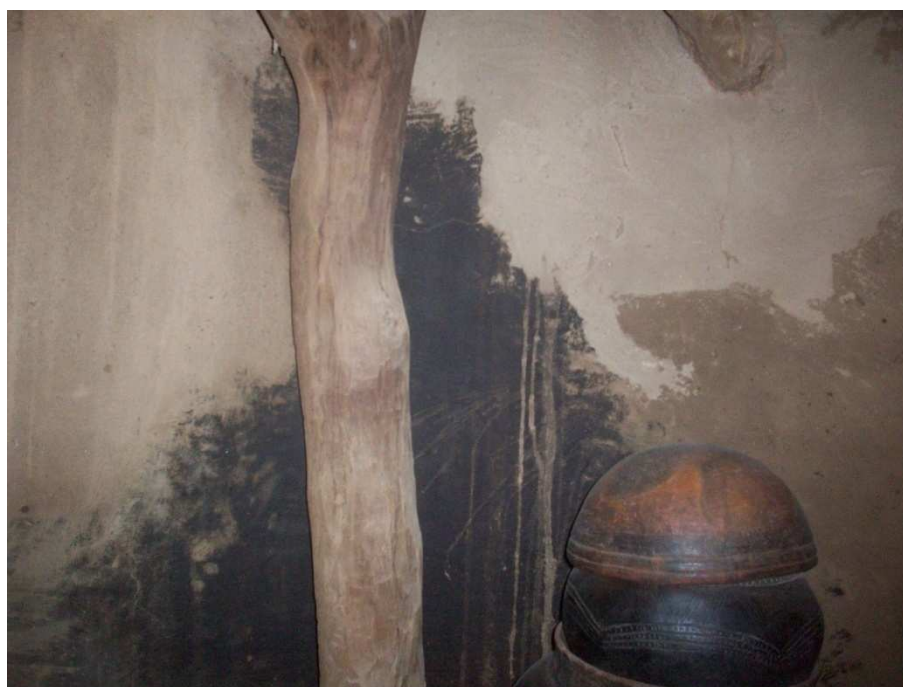


Figure 55: Ph21



Figure 56: Ph22

Elévation J-J

Cette façade représente l'extérieur du huit en banco en façonnage direct enduite au goudron. Nous pouvons voir la présence de fissures qui ont été rebouchées au ciment et le système de rejaillissement pour éviter que l'évacuation des eaux ne détruise la case.



Figure 57: Ph23

Toit de la case en huit

La toiture A est recouverte de ciment avec de nombreuses réparations. Les principales fissures se situent en tête de mur. La toiture B est recouverte d'un enduit de latérite et de vernis de Néré. La toiture C est en ciment. Les toitures B et C présentent des fissures sur la partie inférieure de l'acrotère.



Figure 58: Ph24



Figure 59: Ph25



Figure 60: Ph26

Autres pathologies en dehors de la case de Calle

Les autres pathologies que nous retrouvons couramment sont la désolidarisation entre les contreforts ajoutés postérieurement à la construction et les dégradations des enduits en sortie d'évacuation des eaux. Les deux photos suivantes illustrent ces pathologies.



Figure 61: Autres pathologies. A gauche, évacuation d'eau. A droite: contrefort

Conclusion sur les pathologies

Les différentes pathologies rencontrées peuvent se schématiser sur la figure ci-dessous :

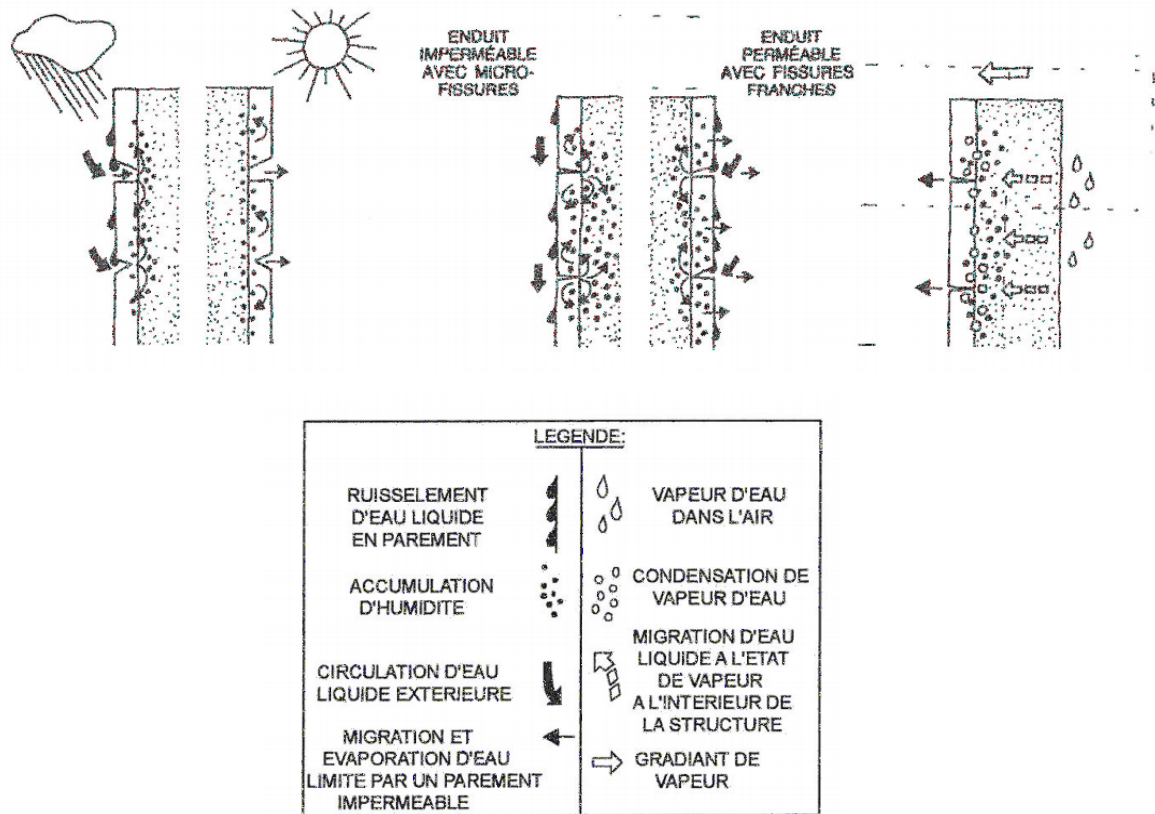


Figure 62: Mouvements de l'eau dans les murs et à travers les enduits, Houben et Guillaud, 1989 [BADEY, 2001]

Ces différentes pathologies sont principalement dues à l'eau. La figure suivante reprend les différentes possibilités d'infiltration de l'eau dans les murs qui est à l'origine des pathologies observées.

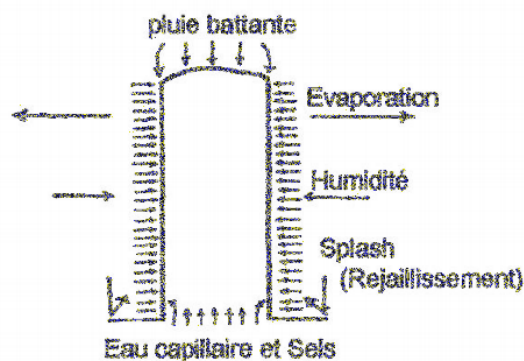


Figure 63: Les modes d'infiltration de l'eau dans les murs en terre crue, McIntosh, 1974 [BADEY, 2001]

En résumé, les différentes pathologies observées s'expliquent par une absence de fondation qui peut entraîner les remontées capillaires dues au type de sol, la mise en œuvre des matériaux, les matériaux eux-mêmes et les intempéries.

III. Essais de perméabilité

1. Essais in situ

1.1 Essai de perméabilité des sols en profondeur⁵

Présentation de l'essai

L'essai réalisé est un essai dans un forage entièrement crépiné simplifié de type Lefranc. Le matériel nécessaire est une tarière à main qui est dans notre cas sans godet. Le but de cet essai est de calculer le coefficient de perméabilité du sol en profondeur. Un seul essai a été mis en place en dehors de la concession. L'emplacement de l'essai réalisé est repéré sur le plan P03.

Mode opératoire

L'essai consiste à creuser un trou d'1 m de profondeur à l'aide d'une tarière à main (A). La première phase consiste à saturer le trou en eau pendant 20 min en le réalimentant en eau toutes les 5 min (B). La deuxième phase consiste à remplir le trou entièrement une dernière fois après avoir placée une règle graduée pour mesurer la vitesse à laquelle l'eau descend (C).

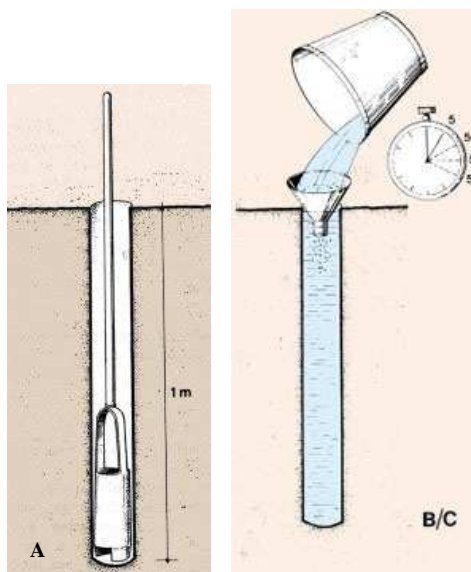


Figure 64: Principe de l'essai de perméabilité des sols en profondeur réalisé

Les mesures de la différence de hauteur entre le niveau d'eau et le bord du trou sont prises à intervalles de temps choisis. Les mesures sont arrêtées quand la vitesse devient constante.

Résultats

Le diamètre du trou est de 0.098 m et la hauteur totale est de 0.98 m. Selon la théorie énoncée dans la partie B, l'essai Lefranc donne :

⁵ Protocole issu de [FAO, 2006]

$$t = \pm \frac{S}{mkB_0} \ln \left(\frac{H}{H_0} \right)$$

Le facteur de correction est de 4 selon le tableau suivant.

Type de sol	Taux d'infiltration à court terme (mm/h) *	Facteur de correction	Taux d'infiltration estimé à long terme (mm/h)
Graviers sablonneux et sables graveleux (90 % de l'échantillon de sol est retenu par le tamis 10)	500	2	250 **
Sable	200	4	50
Sable limoneux	50	4	12,5
Limon sablonneux	25	4	6,2
Limon	12,5	4	3,1

* D'après WEF/ASCE, 1998 ** Non recommandé pour traitement

Figure 65: Taux d'infiltration maximaux recommandés en se basant sur la classification des sols USDA (adopté à Washington, 2005)

Le graphe suivant donne la courbe obtenue pour évaluer k. Le tableau des valeurs mesurées se trouve en annexe (IX).

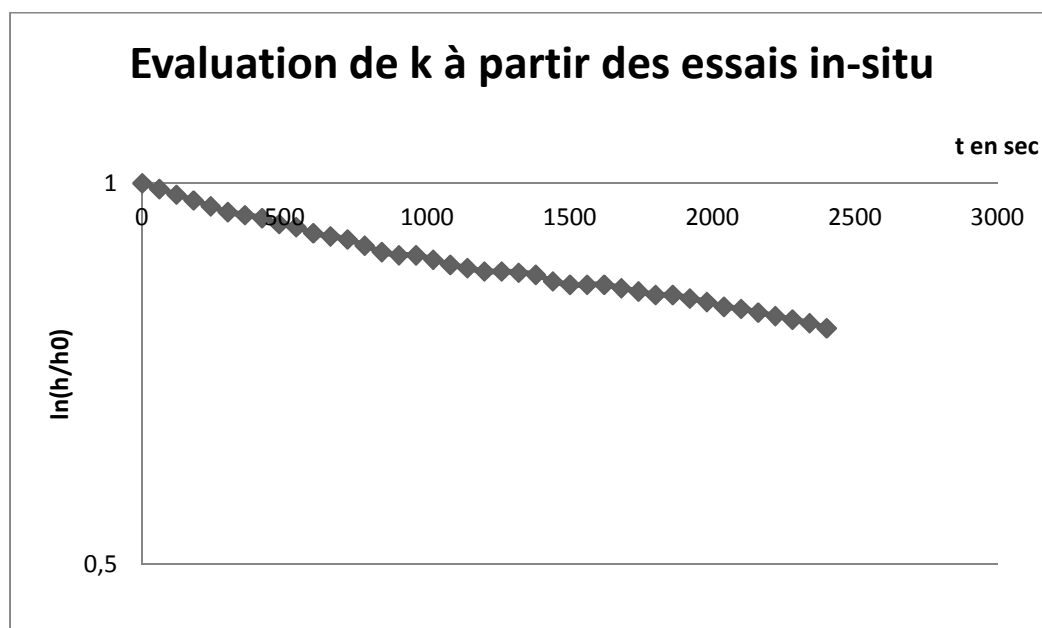


Figure 66: Courbe de l'essai in-situ

La courbe peut être assimilée à une droite qui passe par l'origine. L'obtention d'une droite justifie l'utilisation de la formule de Lefranc. La pente de la courbe est de $\beta = -8.8 \cdot 10^{-5} s^{-1}$. Or $\beta = \frac{mkB_0}{s}$, d'où

$$k = \frac{S\beta}{m B_0}$$

Avec $S = \pi \left(\frac{B_0}{2}\right)^2$ pour $B_0 = 0.098m$

$$m = \frac{2\pi\lambda}{\ln(2\lambda)} \text{ pour } \lambda = \frac{L}{B_0} = 10$$

En prenant en compte un facteur de correction de 4, nous obtenons un coefficient de perméabilité de $8,1.10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

En comparant avec la figure suivante, nous avons un sol composé d'un mélange de sable, argile et limon, ce qui est cohérent avec les observations décrites précédemment qui nous donnaient un sable limoneux.

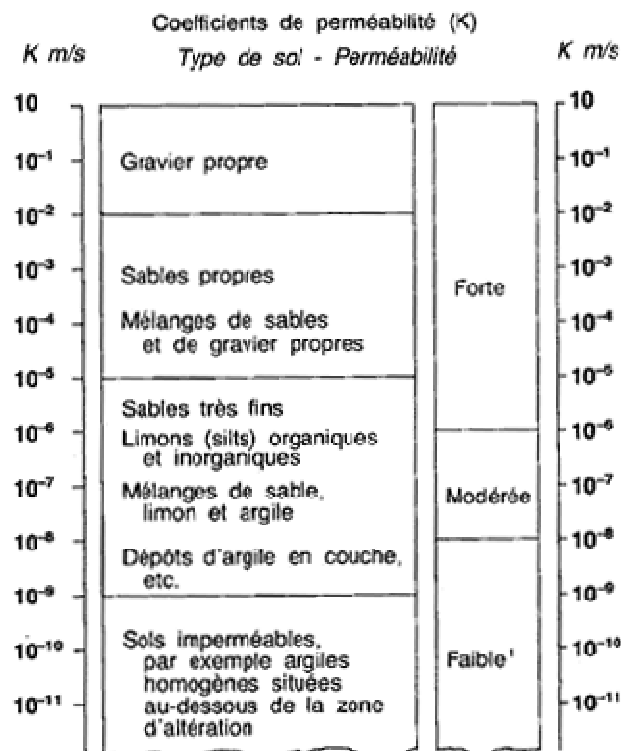


Figure 67: Coefficient de perméabilité du sol en fonction du type de sol, [FAO, 2006]

La courbe suivante montre la fonction d'infiltration qui va nous permettre d'évaluer le ruissellement.

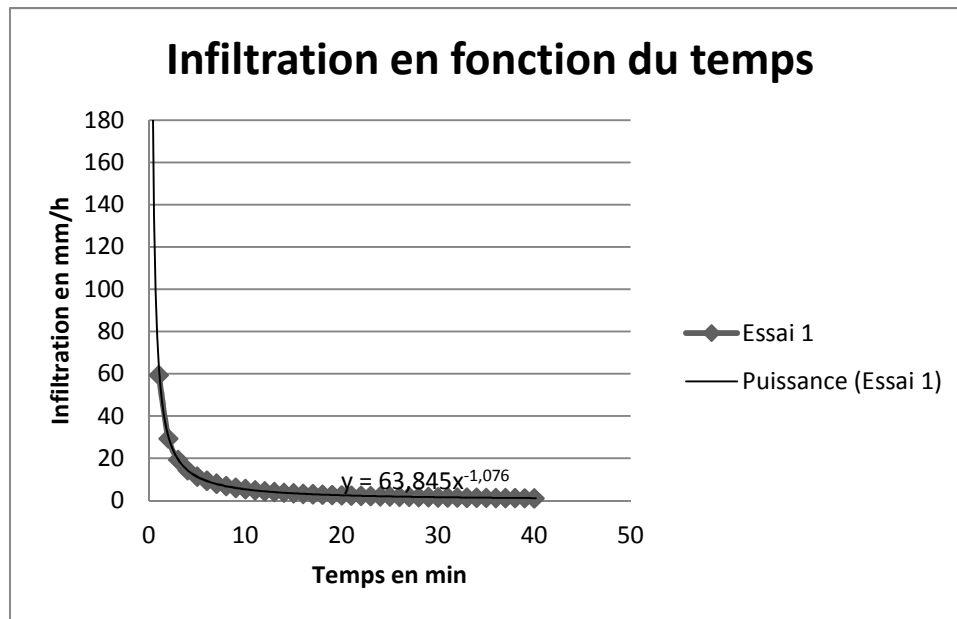


Figure 68: Infiltration en fonction du temps

La fonction d'infiltration obtenue est de la forme $y = 63.845 x^{-1.076}$. Cette fonction représente les pertes par infiltration avant ruissellement.

1.2 Essai de perméabilité des sols en surface⁶

Présentation de l'essai

L'essai réalisé est un essai de surface en simple anneau ouvert. Le matériel nécessaire est une boîte de conserve de Ø10cm et du papier filtre. Le but de cet essai est de déterminer la capacité d'infiltration d'eau dans le sol. Quatre essais ont été mis en place à l'intérieur de la concession dont trois sur de la terre battue et un sur de la terre compactée. Les emplacements des essais réalisés sont repérés sur le plan P03.

Mode opératoire

L'essai doit être réalisé en saison sèche. Le cylindre est enfoncé verticalement de 1 à 2 cm dans le sol et l'étanchéité est assurée par un cordon d'argile autour du cylindre. Le papier filtre est déposé au fond du cylindre pour assurer une répartition de l'eau correcte pendant les mesures. Nous plaçons 5 cm d'eau dans le cylindre à deux reprises et le temps est mesuré à chaque abaissement d'eau de 1cm. Quand l'eau est totalement absorbée, le cylindre est ôté et le terrain est creusé pour déterminer la forme de la tâche d'humectation.

⁶ Protocole issu de [ROOSE, 1993]

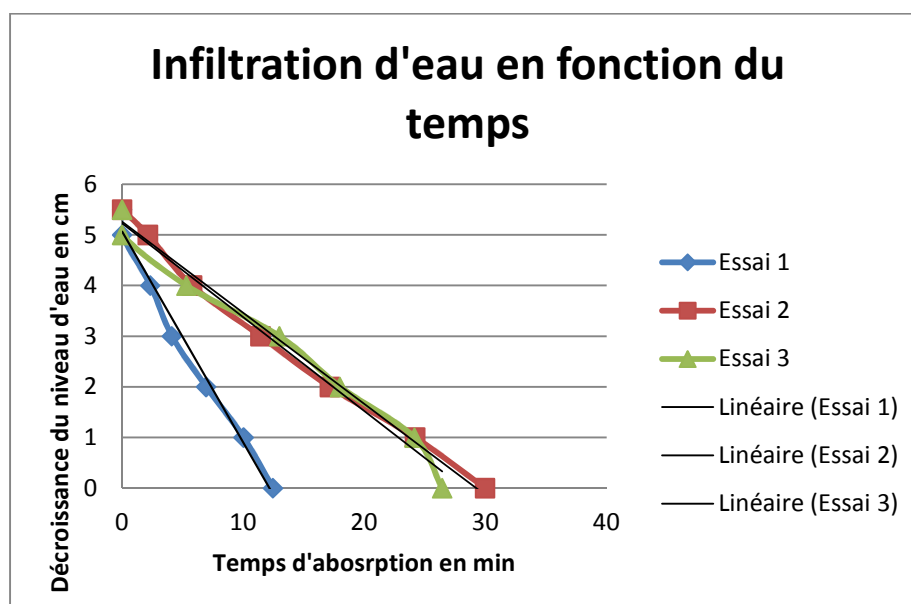


Figure 69: Essai d'infiltration en simple anneau

Résultats

Un essai a été réalisé sur de la terre compactée mais l'essai a montré une infiltration nulle et l'eau est sortie par le cordon d'argile. Nous considérerons que ce type de surface est imperméable au même titre que les sols en ciment dans la suite du mémoire.

Le graphe suivant représente l'infiltration d'eau obtenue en fonction du temps pour les trois autres essais. Le tableau des valeurs se trouve en annexe (X). Le tracé de la courbe nous donne la pente qui correspond à la vitesse d'infiltration :



La linéarité des courbes obtenues montrent que nous sommes dans un sol stable et dans un horizon sableux sec.

Pour prendre en compte la succion latérale, un coefficient de sécurité est appliqué à l'infiltration finale : $\frac{R^2}{r^2}$ avec R le rayon de la tache et r le rayon de la boîte de conserve. La vitesse d'infiltration est reprise dans le tableau suivant ainsi que les facteurs de corrections:

	Essai 1	Essai 2	Essai3
Infiltration moyenne (mm/h)	-250,5889474	-107,9773626	-111,1172624
Infiltration moyenne (m/s)	-6,9608E-05	-2,99937E-05	-3,08659E-05
Facteur de correction	4	4,41	4,84
Infiltration corrigée (m/s)	-1,7402E-05	-6,8013E-06	-6,37725E-06

La figure suivante représente les différentes formes de tache d'humectation.

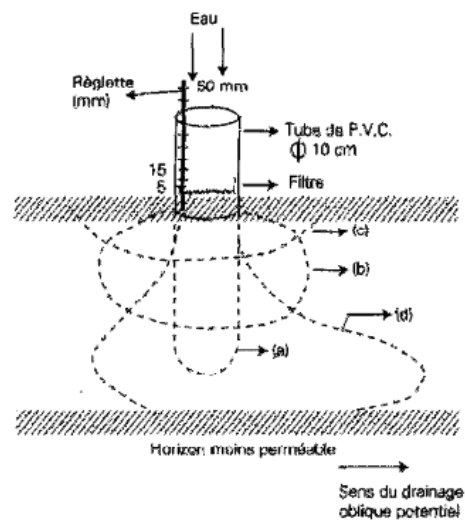


Figure 70: Forme de la tâche d'humectation en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des horizons de sol: a) sol sableux très perméable; b) sol sablo-argileux à porosité fine; c) sol peu perméable, tassé ou battu par la pluie; d) horizon perméable sur un horizon moins poreux avec tendance au drainage oblique.

La forme de la tache pour les trois essais est de type c). Ce qui est cohérent avec l'emplacement où ont été réalisés les essais et correspondent à un terrain tassé par le passage des personnes.

	Essai 1	Essai 2	Essai3
Largeur de la tache (cm)	26	31	28,5
Largeur de la tache à 5 cm de profondeur (cm)	20	21	22

Profondeur de la tache (cm)	12	10	11
--	----	----	----

L'hétérogénéité du sol explique les différences de valeurs obtenues. Elle nécessite un nombre d'essai supérieur qui n'ont pu être mis en place pour réaliser les moyennes des valeurs obtenues. Les mesures sont généralement supérieures à la réalité. Il est donc difficile de comparer cet essai avec un hyétogramme de pluie. Nous pouvons conclure que les infiltrations moyennes corrigées sont dans le même ordre de grandeur que la pente β corrigée ($2,2 \cdot 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$) de l'essai précédent.

1.3 Essai de perméabilité des enduits en surface⁷

Présentation de l'essai

L'essai de perméabilité des enduits en surface est réalisé à l'aide d'une pipe en verre. Cet essai permet de mesurer l'absorption sous basse pression en fonction du temps. Il dépend du traitement que la surface a subi. Seize essais ont été mis en place principalement sur l'ensemble de la case de Calle. Les emplacements des essais réalisés sont repérés sur les plans P03 et P07 à P12.

Mode opératoire

La pipe en verre est collée au support à l'aide d'un mastic puis elle est remplie d'eau jusqu'au niveau 0 à l'aide d'une pissette. Les mesures du niveau d'eau sont effectuées après 5, 10 et 15 min. La différence d'absorption entre 5 et 15 min donne le degré d'absorption de la surface.

⁷ Protocole issu de [CSTC, 2002]

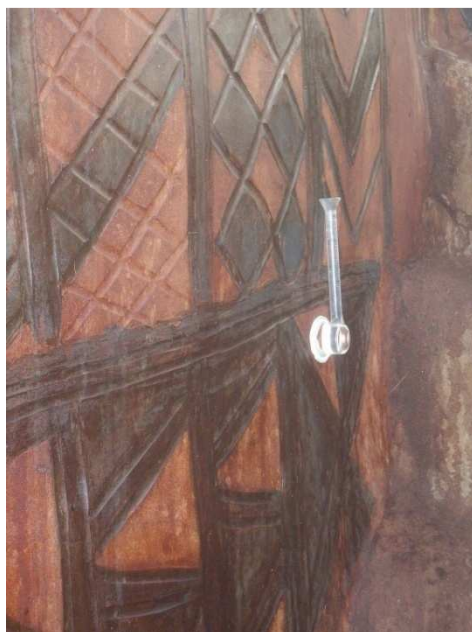


Figure 71: Essai à la pipe en verre sur un enduit traditionnel

Résultats

Les essais ont été réalisés en double selon différentes surfaces. Les tableaux de valeurs sont donnés en annexe (XI).

L'essai n°1 correspond à une case en huit construite en brique avec un enduit traditionnel et une couche de vernis de Néré récente.

L'essai n°2 correspond à une case rectangulaire en brique avec un enduit traditionnel ancien sans couche de vernis de Néré récente.

L'essai n°3 correspond à une case rectangulaire en brique avec un enduit au goudron ancien.

L'essai n°4 correspond à une case rectangulaire en brique avec un enduit au goudron récent.

L'essai n°5 correspond à une case en huit en banco en façonnage direct avec un enduit traditionnel et une couche de vernis de Néré récente.

L'essai n°6 correspond au soubassement d'une case en huit en banco en façonnage direct avec un enduit traditionnel et une couche de goudron.

Enfin, l'essai n°7 correspond à une case en huit en banco en façonnage direct avec un enduit au goudron.

Les essais 8 et 9 n'ont donné aucun résultat. En effet, l'essai n°8 a été réalisé sur une ancienne case en huit en banco en façonnage direct sans enduit. La surface de la brique ayant été exposée aux intempéries, est devenue rugueuse, il a donc été impossible de fixer la pipe en verre sur la brique. L'essai n°9 a été réalisé sur une case en huit en brique en construction. Quand la pipe en verre a été fixée sur la brique qui a commencé à se dégrader très rapidement. L'eau a creusé la brique, l'essai a donc été arrêté.

Le graphe ci-dessous donne les valeurs obtenues.

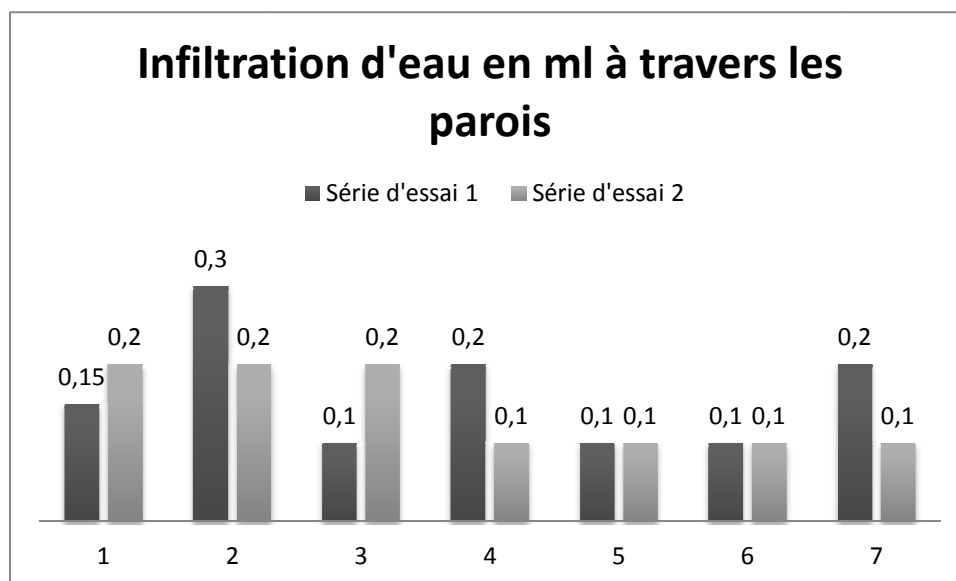


Figure 72: Degré d'absorption selon les surfaces

2. Evaluation de la perméabilité des enduits

Au vu des résultats obtenus et des observations faites sur place, le type de support qui reçoit la couche d'enduit n'a pas d'influence sur les valeurs d'absorption. La photo suivante montre que la couche d'enduit peut être assez importante comme cela a été décrit en début de partie C.



Figure 73: Epaisseur d'une couche d'enduit sur une ancienne case

Pour les mesures d'absorption, il n'existe pas de valeurs de références car celles-ci dépendent des conditions de l'essai, du type de surface et de la manière dont il a été mis en œuvre. Les seules valeurs qui se détachent sont celles d'un enduit traditionnel ancien sans couche de Néré récente. Ces valeurs sont plus élevées ce qui est cohérent. Les autres valeurs sont très proches.

Nous pouvons donc en conclure que du point de vue absorption, et seulement de ce point de vue là, l'enduit traditionnel avec une couche de Néré récente et l'enduit au goudron ont des propriétés d'absorption semblables. L'enduit traditionnel remplit donc son rôle de protection vis-à-vis de la pluie tout autant que l'enduit au goudron. Mais cet essai ne prend pas en compte les possibles infiltrations d'eau ou remontées capillaires qui peuvent le dégrader préalablement et le rendre plus vulnérable aux intempéries.

3. Evaluation du ruissellement

Nous nous intéressons ici à la concession dans son entièreté en tant que sous-bassin versant. En amont, des systèmes de diguettes ont été mis en place pour dévier l'eau autour de la concession. Les problèmes liés au ruissellement ne concernent donc que le ruissellement à l'intérieur de la concession.

3.1 Les pertes avant ruissellement⁸

Les pertes par interception

Ces pertes concernent l'interception par les végétaux. Cependant, la couverture végétale étant quasi inexistante, l'interception est négligée.

Les pertes par évaporation

A l'échelle qui nous intéresse, c'est-à-dire pour un événement pluvieux, l'évaporation est négligée. En effet, pendant une pluie, l'atmosphère se sature rapidement en eau, l'évaporation est alors quasi nulle.

Les pertes par infiltration

Les pertes par infiltrations sont données par la fonction d'infiltration déterminée lors de l'essai de sol en profondeur.

Les pertes par stockage dans les dépressions du sol

Nous supposons que « toutes les dépressions du sol doivent être comblées par l'eau avant qu'il y ait ruissellement. »

Il existe, dans la littérature, différentes formules permettant d'évaluer la rétention d'eau en surface. La pente joue un rôle important dans la détermination de ces pertes. C'est pourquoi nous allons utiliser la formule de Chocat et al (1982) :

$$S_s = a + b(3 - I) \text{ pour } I \leq 3$$

⁸ [BERTRAND, 2006], [CASSAN, 2005], [MDDEPQ, 2002]

$$S_s = a \text{ pour } I \geq 3$$

Avec S_s : le stockage dans les dépressions en mm

I : la pente en %

Pour les terrains perméables $a=2$ et $b=4$.

Pour les terrains imperméables $a=0.5$ et $b=1$.

Selon les mesures de pente effectuées sur le plan P03, la pente est de 1.5% à l'entrée de la concession et de 3.5% à la sortie de celle-ci. La pente moyenne est de 2.5%. Le stockage dans les dépressions vaut donc : $S = 4mm$.

La figure suivante montre la technique utilisée pour évaluer la pente.

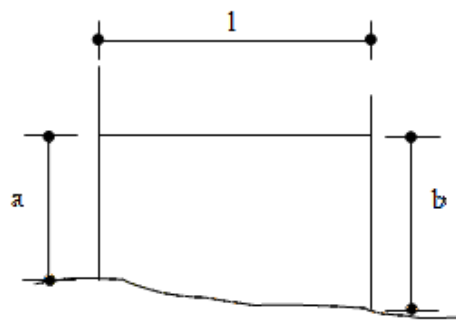


Figure 74: Mesure de la pente: $\tan\alpha = (b-a)/l$

3.2 Le ruissellement⁹

Nous considérons que la transformation de la pluie nette en hydrogramme de ruissellement a une réponse hydrologique linéaire c'est-à-dire que la valeur calculée augmente proportionnellement aux valeurs d'entrées. Cette hypothèse permet de calculer seulement un débit de pointe. La méthode que nous allons utiliser est la méthode rationnelle qui est simple d'application :

$$Q = \frac{C i A}{360}$$

Avec Q : le débit de pointe en $m^3.s^{-1}$

C : le coefficient de ruissellement

i : l'intensité de la pluie en $mm.h^{-1}$ pour une durée égale au temps de concentration t_c

A : la superficie du bassin de drainage en ha

Les hypothèses préalables pour l'utilisation de cette formule sont :

- La relation linéaire entre Q et i et A .

⁹ [BERTRAND, 2006], [CASSAN, 2005], [MDDEPQ, 2002], [LE BARBE, 1982]

- La probabilité d'occurrence du débit de pointe est identique à celle de l'intensité moyenne. Selon Shaake et al 1967, cette hypothèse est raisonnablement valable mais n'est pas toujours vraie.
- Chaque variable est indépendante. Cependant d'autres auteurs ont montré qu'il existe une interdépendance entre C et i .
- La durée de la pluie moyenne est choisie en fonction de t_c qui correspond au temps de parcours d'une goutte d'eau suivant le trajet le plus long. C'est une hypothèse qui n'est pas vraiment fondée car selon des recherches plus récentes t_c correspondrait au temps de parcours d'une onde provenant du point le plus éloigné du sous-bassin.
- L'intensité de la pluie est constante pendant t_c . Ceci n'est valable que pour des courtes durées.
- L'intensité moyenne de la pluie est égale à l'intensité de l'averse. Cette hypothèse reste valide si nous ne cherchons qu'à déterminer le débit de pointe.

Le taux de ruissellement par unité de surface maximum est :

$$q = \frac{Q}{A} = C i$$

Evaluation du coefficient C

Le coefficient C dépend de la nature du sol, de la pente, du stockage dans les dépressions du sol, du degré de saturation et de l'intensité de la pluie.

Nous avons la relation :

$$C = 0.2(1 - IMP) + 0.9 IMP$$

Avec IMP : le pourcentage de surfaces imperméabilisées.

Cette équation n'est valide que si le bassin est urbanisé, ce qui est notre cas. Nous considérons que les toitures plates, les sols en ciment et en terre compactée sont des surfaces imperméables. Chaque toiture a une pente de 2% et se déverse dans le chemin le plus proche.

D'après les plans généraux de la concession nous avons pour une surface totale de 12,9 km², dont une surface de 7,6 km² imperméabilisée soit un coefficient IMP de 0.59.

D'où : $C = 0.61$

Evaluation de t_c

Le temps de concentration est égal à la somme du temps initial pour le ruissellement avant d'être canalisé et au temps de transport dans la canalisation :

$$t_c = t_i + t_t$$

Dans notre cas, $t_t = 0$.

La formule utilisée pour déterminer t_i est la suivante :

$$t_i = \frac{3.26 (1.1 - C)L^{0.5}}{S^{1/3}}$$

Avec C : le coefficient de ruissellement ($C = 0.61$)

L : la distance de drainage en m ($L = 135.6m$)

S : la pente de la surface drainée en % ($S = 0.25$)

Nous obtenons : $t_i = 30 \text{ min}$

Evaluation de i

Ce mémoire a été mis en place dans le cadre du projet d'assainissement de la cour royale suite aux récentes inondations notamment en 2007 qui ont détruit une grande partie de la concession. Les données météorologiques pour cette période de temps donnent seulement la pluviométrie journalière. Pour déterminer i , nous avons besoin des courbes IDF. Dans l'idée d'avoir une estimation du débit de pointe, nous allons utiliser les seules données à notre disposition qui concerne les précipitations de 1955 à 1977 au poste Ouaga-Aéro¹⁰. Les graphes suivants donnent les hyétogrammes des trois plus fortes pluies recensées durant ces années. L'averse n°1 a eu lieu le 24 septembre 1957, l'averse n°2 a eu lieu le 4 août 1959 et l'averse n°3, le 25 juillet 1962.

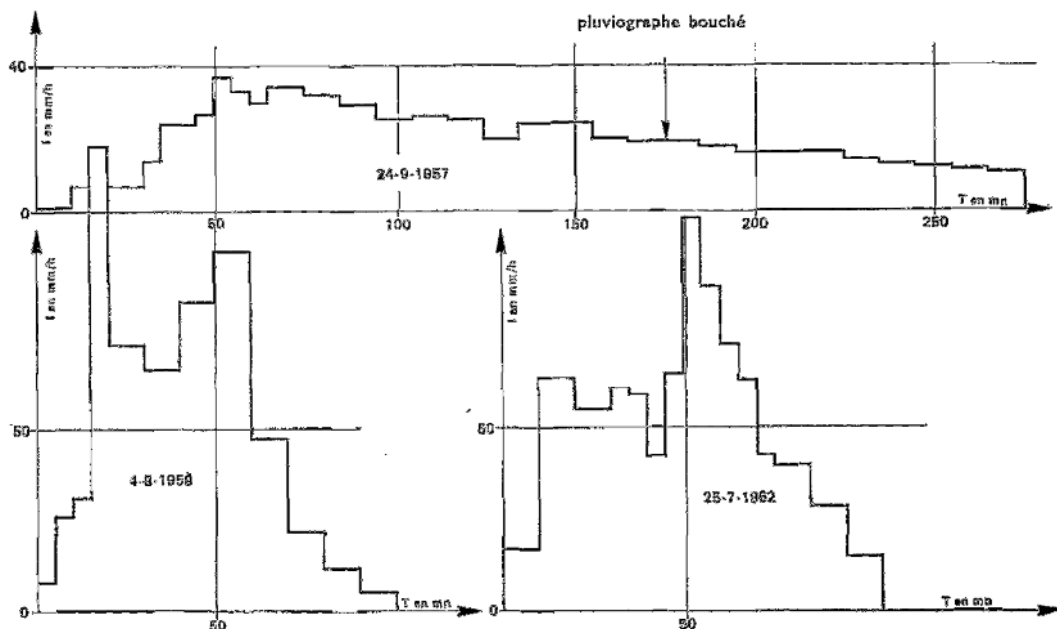


Figure 75: Hyétogrammes des trois plus fortes averses enregistrées au poste de Ouaga Aéro, [LE BARBE, 1982]

¹⁰ [LE BARBE, 1982]

Le graphe ci-dessous montre que les pluies présentées sur la figure ci-dessus ont une période de récurrence de 50 ans. Ce qui correspond aux dates des fortes intempéries qui ont été constatées ces 10 dernières années en 2007 et 2009 à Ouagadougou et en 2007 à Tiébélé.

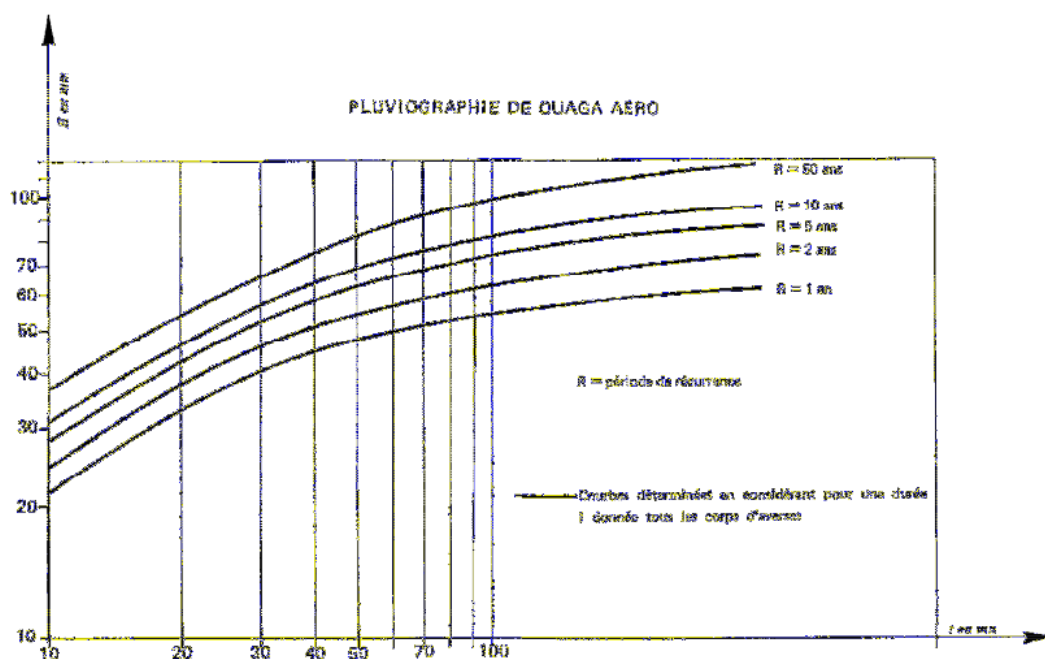
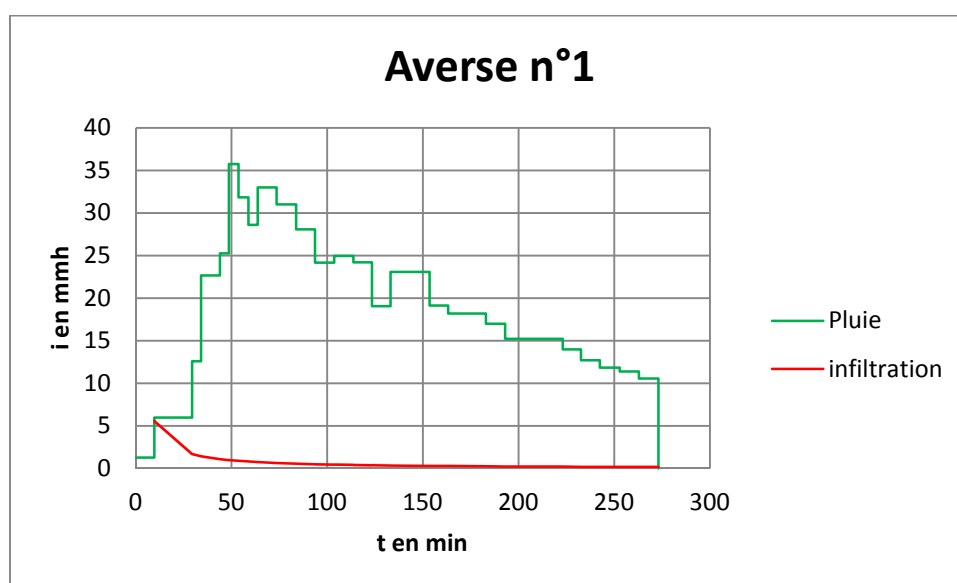
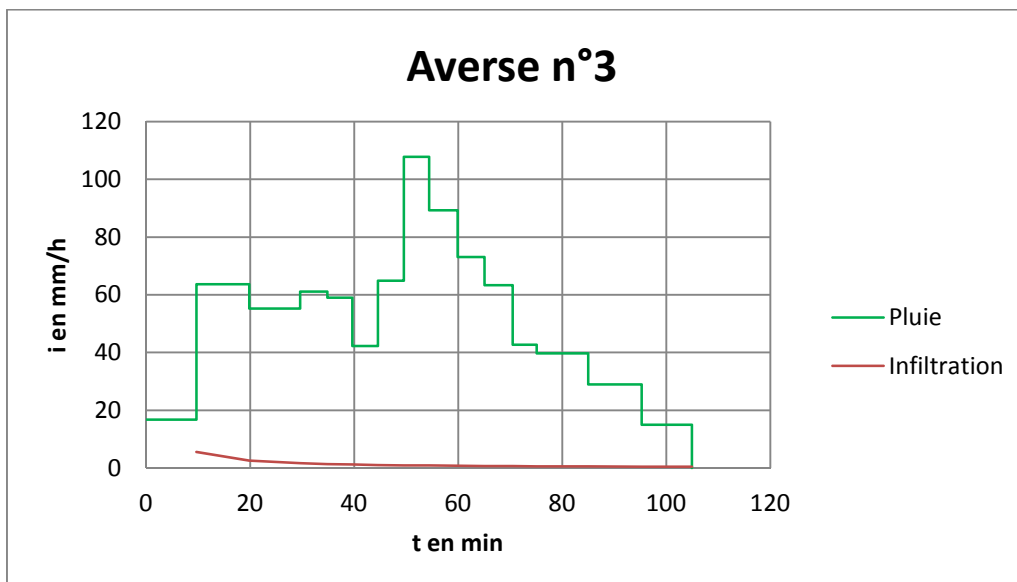
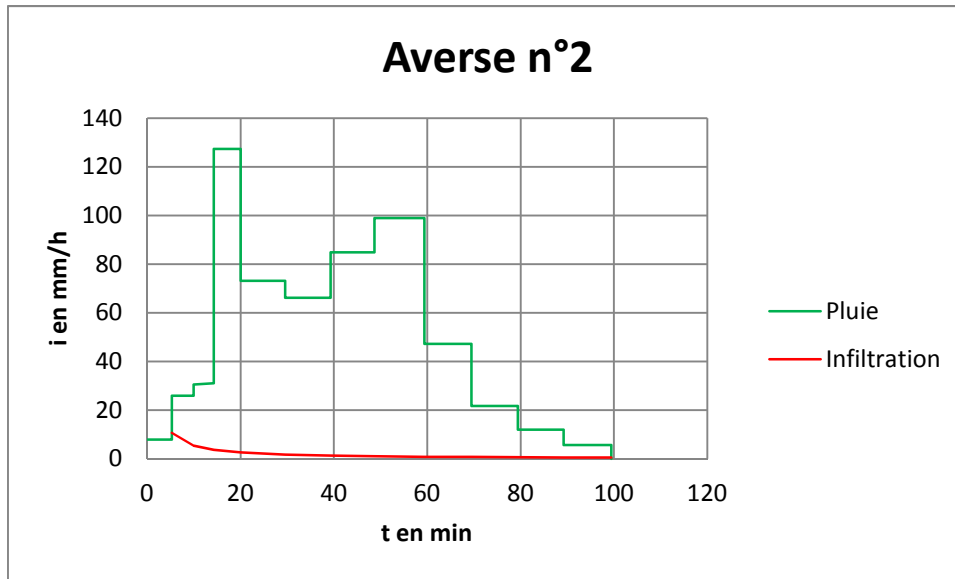


Figure 76: Courbes hauteur-durée-fréquence des averses dans leur intégralité, [LE BARBE, 1982]

Les hyétogrammes suivants donnent les valeurs de i en considérant la capacité d'infiltration du sol obtenue pour les trois averses précédentes.





Dans le case de l'averse n°1, pour $t_c = 30min$, $i = 12.8 - 1.6 = 11.2mm/h$

Dans le case de l'averse n°2, pour $t_c = 30min$, $i = 72.4 - 1.6 = 70.8mm/h$

Dans le case de l'averse n°3, pour $t_c = 30min$, $i = 60 - 1.6 = 58.4mm/h$

Evaluation du ruissellement

Les pertes dans les dépressions du sol ne sont pas prises en compte dans l'évaluation du débit de pointe.

Nous avons $C = 0.61$, $A = 1.29ha$ et $i_{max} = 11.2mm/h$, d'où $Q_{pointe} = 0.02 m^3/s$ pour l'averse n°1.

Nous avons $C = 0.61$, $A = 1.29ha$ et $i_{max} = 70.8mm/h$, d'où $Q_{pointe} = 0.15 m^3/s$ pour l'averse n°2.

Nous avons $C = 0.61$, $A = 1.29ha$ et $i_{max} = 58.4mm/h$, d'où $Q_{pointe} = 0.13 \text{ m}^3/s$ pour l'averse n°3.

Les débits obtenus sont très importants. Les différents résultats obtenus dans cette partie seront exploités dans la partie suivante.

**PARTIE D :
REFLEXIONS**

La dernière partie présente les différentes propositions et réflexions liées à la conservation du site.

I. Proposition de mesures de prévention du risque hydrique

1. Le problème du ruissellement

Les études précédentes montrent que le débit à gérer est énorme. Une possibilité serait d'ajouter des puits perdus répartis dans la concession à des endroits judicieux. Il est, en effet, plus simple de gérer des quantités d'eau moins importante afin de diminuer le débit à canaliser à la sortie de la concession. Les puits perdus doivent atteindre des horizons de sol plus perméables. Pour déterminer la profondeur de cet horizon de sol, des essais de sol supplémentaires sont nécessaires. La répartition de l'eau dans les différents puits perdus peut être réalisée par des canalisations.

Des évacuations ont été mises en place en tubes PVC enterrés à une profondeur de 30 cm il y a moins d'un an qui sont repérées sur le plan P04. Ces évacuations servant à la fois d'évacuation des eaux de pluie et des eaux usées débouchent dans des puits perdus. Nous pouvons faire deux remarques par rapport à cette installation. La première remarque est que la profondeur des tuyaux est trop peu importante et que le passage répété des personnes risque de les casser assez rapidement. La deuxième est que les puits perdus débordent déjà comme le montre la photo suivante prise en pleine saison sèche. Un horizon plus perméable n'a sans doute pas été atteint. Je rappelle que nous nous intéressons ici seulement aux eaux de pluies. Les eaux usées ne font pas parties de l'étude. Cependant, la solution de tube PVC pour réaliser les évacuations n'est peut-être pas la meilleure solution adaptée à ce type de construction. D'autre part la faible quantité de tuyau mis en place ne permet pas de résoudre le problème de l'évacuation des eaux de pluie.



Figure 77: Puits perdus récemment mis en place à la sortie de la concession

En comparaison les anciens puits perdus, semblent être assez profond pour assurer leur rôle. Ces puits se situent dans certaines cours intérieures et sont repérés sur le plan P04. La photo suivante montre un exemple de puits perdus de cour intérieure.



Figure 78: Puits perdu de cour intérieure

L'utilisation de matériaux locaux serait un choix plus approprié pour la réalisation des canalisations. Ne connaissant pas les possibilités sur place, les différentes propositions suivantes pour la réalisation des canalisations sont à mettre en corrélation avec les matériaux disponibles et leur coût. La première proposition est un caniveau drainant enterré qui est composé d'un lit de cailloux et recouvert d'un géotextile qui ne laisse pas passer les limons. Les limons risqueraient de boucher de caniveau. Cet ouvrage permettrait à l'eau de circuler en sous-sol avant d'atteindre le puits perdu. La deuxième proposition serait de réaliser les canalisations en tubes de terre cuite perforés sous réserve de pouvoir cuire la terre à une

température supérieure à 1000°C. Les perforations dans la canalisation permettront à l'eau qui s'infiltré dans le sol de continuer sa course dans la canalisation. Enfin, une troisième proposition serait de réaliser les caniveaux en plein air et de traiter les surfaces de manière à orienter l'eau vers les puits perdus. Cette proposition obligerait les gens à marcher dans les caniveaux car les passages sont relativement réduits. Ces trois propositions doivent respecter une pente qui permettrait l'amenée de l'eau vers les puits avec des regards tous les 5 m pour l'entretien. Le dimensionnement des canalisations dépend du débit qu'elles véhiculent et donc du nombre de puits perdu mis en place. Le nombre de puits perdus doit être déterminé selon la profondeur de la couche de sol plus perméable et la profondeur des puits donne la quantité d'eau stockable dans ceux-ci avant infiltration. En revanche, la solution des puits perdus ne traite pas le problème de pollution de l'eau qui s'infiltré directement dans le sol.

Une autre possibilité serait de créer un bassin de rétention d'eau composé de différents bassins permettant le stockage et la dépollution des eaux à la sortie de la concession. Le dernier bassin posséderait des puits perdus pour faciliter l'infiltration. Cette solution est difficilement envisageable puisque les débits sont très importants et nécessiteraient des buses énormes difficiles à mettre en place. De plus, la stagnation d'eau à proximité des habitations peut entraîner la prolifération de bactéries et le développement de moustiques.

Ceci étant, l'analyse des hyétogrammes de 1955 à 1977 pour la région d'Ouagadougou a montré que les trois plus fortes pluies avaient des périodes de récurrence de 50 ans. Ce qui correspond exactement aux pluies diluviennes qu'a subi Ouagadougou en 2007 et 2009. Ces pluies correspondent à des pluies exceptionnelles qui ne se produisent que tous les 50 ans mais à trois reprises en 4 ans. Le dimensionnement des ouvrages est généralement réalisé pour les 100 dernières plus fortes pluies. Cependant les données étant manquantes pour la région de Tiébélé, il faut s'assurer de la valeur du débit de pointe pour cette région.

Enfin, la qualité des matériaux étant de plus en plus mauvaise, les cases sont de moins en moins résistantes aux intempéries. Une augmentation de la qualité de matériaux assurerait une meilleure résistance des cases au ruissellement.

2. Les enduits

Au niveau des enduits, les tests effectués montrent que l'enduit traditionnel entretenu et refait annuellement a de très bonnes caractéristiques vis-à-vis de la perméabilité à l'eau. Cependant, des tests complets sont nécessaires pour qualifier un enduit et pour pouvoir le comparer à un autre type d'enduit.

La suite de ce paragraphe décrit la procédure et les essais à mettre en place pour caractériser un enduit.

2.1 Protocole de caractérisation complète d'un enduit¹

L'objectif est de déterminer l'interaction et l'impact physico-chimique des différents composants de l'enduit. Les études préliminaires à réaliser sont :

- La connaissance des propriétés du support par une analyse granulométrique et une identification du type de terre.
- La connaissance de la composition exacte de l'enduit et le type de terre utilisée. Si l'enduit contient de l'argile, il faut comprendre l'interaction chimique c'est-à-dire l'enrobage des grains. Une bonne interaction assure la performance de l'enduit. Il n'existe, à ce jour, pas d'études spécifiques sur les argiles. Il faut aussi vérifier la dilatation due à l'argile. Le fait de rajouter une charge de sable permet de limiter le retrait et la fissuration mais ceci peut créer une incompatibilité mécanique à l'interface sur la partie hydrofugée.
- La connaissance du produit utilisé pour réaliser l'hydrofugation : le vernis de Néré ou le goudron. La caractérisation du goudron se fait en laboratoire spécialisé comme par exemple au laboratoire des Ponts et Chaussées pour évaluer les caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques du goudron : essai de pénétration, essai de consistance, etc.

Les essais doivent être élaborés pour un seul type d'enduit et pour un type de support avec la même terre pour différents dosages (concentration) de l'hydrofuge.

Afin d'obtenir des résultats complets, il est important de vérifier 3 paramètres :

- La compatibilité
- L'efficacité
- La durabilité des produits

La compatibilité avec le support doit être l'un des premiers points à vérifier avant de réaliser les essais. Pour cela, il existe des tables de compatibilité. De même, il faut vérifier la compatibilité avec la couche picturale.

¹ Rencontre avec A. BOURGÈS, Ingénieur de recherche, LRMH Paris

L'efficacité de l'enduit consiste à valider un essai d'hydrofugation. Pour cela, il faut :

1. une pénétration nulle
2. un coefficient de capillarité inférieur à 0.1g/m^2
3. une mesure de l'angle de microgoutte soit au minimum supérieure à 90° (voir figure suivante)

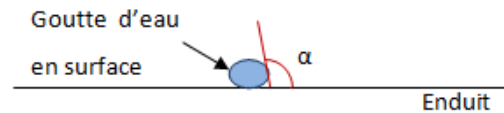


Figure 79: Définition de l'angle de microgoutte

Il faut ensuite vérifier les propriétés des matériaux comme la perméabilité à la vapeur d'eau, la résistance mécanique pour ne pas avoir de croûte dure inélastique en surface et les variations dimensionnelles face à un changement d'ambiance (dilatation thermique et dilatation hydrique). Les propriétés de l'enduit hormis celles concernant la perméabilité à l'eau doivent varier au maximum de 20% par rapport à ses caractéristiques initiales.

Pour les essais de durabilité, les plaquettes d'enduit sont soumises en laboratoire sous conditions extrêmes à un cycle complet de saison (1 an). Les essais consistent en une comparaison de tests réalisés avant et après le cycle comme par exemple un relevé du dépôt de matière. Ces essais de durabilité peuvent être réalisés in-situ.

2.2 Exemple de résultats obtenus après la caractérisation d'un enduit au goudron²

Des essais ont été exécutés en 2004 sur des enduits de terre au bitume au Ghana sur la cathédrale de Navrongo qui montrent une hydrofugation complète et une parfaite compatibilité entre le support en briques de terre crue et l'enduit au bitume. Ils ont aussi montré une bonne résistance à l'abrasion et l'enduit est mécaniquement plus fort. Les proportions de goudron varient entre 3 et 3.5% pour obtenir de tels résultats. Mais au-delà de 5% des problèmes commencent à apparaître. Ces essais dépendent des propriétés initiales de la terre et leurs résultats sont valables pour un type de support, un type d'enduit avec des proportions fixées.

² [ABADOMLOORA, 2004]

Les qualités d'un enduit de terre au goudron vont dépendre de la qualité de celui-ci (bitume ou goudron) et de sa viscosité. Ces qualités en matière de peinture décoratives vont dépendre des mêmes paramètres. Certains bitumes vont couler avec le soleil tandis que d'autres resteront en place.

II. La dualité d'un patrimoine habité

1. Sens et valeur patrimoniale du site pour les Burkinabé

En interrogeant les différents habitants de la concession et principalement les jeunes, la concession a une valeur patrimoniale reconnue par le système éducatif qui organise des visites de la cour royale pour les élèves. Cependant l'idée que la terre est un matériau pour « *les pauvres* »³ est bien ancrée dans les esprits et les jeunes rêvent de pouvoir se construire une case en « dur » c'est-à-dire en parpaing qui, selon eux, résiste plus longtemps. Or, cette idée est fautive puisque la dégradation des parpaings en Europe montre que leur durée de vie a aussi une limite. Les cases en terre demandent un entretien régulier qui leur permet de résister aux intempéries au temps. La concession royale de Tiébélé qui a des origines datant du XVI^{ème} siècle en est la preuve matérielle. D'autre part, le système éducatif n'encourage pas les jeunes à s'orienter dans la construction en terre crue ou encore la réalisation d'enduit. Paradoxalement, en Europe la promotion du matériau terre est sur la pente ascendante. La perte des techniques et l'absence de transmission ont un impact sur la conservation de la Cour royale. Une promotion de cette transmission de savoir peut permettre de limiter cet impact. Cependant les burkinabés sont conscients de la richesse de leur patrimoine et de la nécessité de le préserver, l'Association pour le Développement de Tiébélé (ADT) en est un exemple. Nous retrouvons ici toute la difficulté d'un patrimoine habité. Les habitants font face à une dualité entre conservation du patrimoine comme exemple majeur de l'architecture kassena au Burkina Faso et évolution de la société avec la notion de « confort à l'occidental ».

2. Nécessité de la conservation

Le site de Tiébélé est l'un des exemples le plus ancien et le plus important de la culture kassena. Si des mesures ne sont pas prises rapidement pour conserver et protéger ce site, ce témoignage de l'histoire des Kassena risque de disparaître avec le temps. Pour prendre quelques exemples, la technique de la terre façonnée n'est plus transmise aux nouvelles générations de maçons et n'est actuellement plus mise en œuvre. La technique de l'enduit

³ [DETHIER, 1986]

traditionnelle se perd car elle n'intéresse pas les nouvelles générations. Enfin, les récentes dégradations dues aux inondations poussent les habitants de la concession à ajouter des parpaings en fondation ou même à construire en parpaing.

Le site n'étant pas inscrit au patrimoine national, l'état ne participe pas à sa préservation. Il existe cependant l'association pour le développement de Tiébélé (ADT) qui mène des actions pour sa sauvegarde et sa valorisation. Le classement du site permettrait de valoriser les différentes techniques et leur transmission.

III. Recommandations et Possibilités de classement du site

1. Comparaison entre l'état actuel du site et les recommandations du SPW pour le classement d'un site

Ce paragraphe concerne l'évaluation du site en vue d'un classement selon les intérêts et critères définis par l'UNESCO et le SPW⁴.

1.1 Les intérêts

La fiche d'évaluation en vue du classement d'un bien est basée sur 8 intérêts décrits ci-dessous.

L'intérêt historique du site de Tiébélé peut être discuté car il n'y a pas de datation précise des bâtiments. La seule information que nous ayons est la date d'installation de la chefferie kassena à Tiébélé qui remonterait au XVI^{ème} siècle. Il est donc difficile d'attribuer une époque de construction pour les différentes cases de la concession royale.

Le bien étudié ne présente pas d'intérêt archéologique au sens où les cases ne présentent pas de fondations donc a priori le sous-sol ne contient pas de restes de bâtiments. De plus, la concession étant habitée, ses bâtiments en élévation ne peuvent pas être considérés comme des vestiges.

La concession est représentative de la culture kassena et des traditions, rites et croyances associés à celle-ci. Elle a donc un intérêt mémoriel.

Son intérêt technique se manifeste au travers les différentes typologies constructives.

La construction du site est entièrement liée à l'activité humaine, le bien ne présente pas un intérêt biologique et scientifique lié à un phénomène naturel.

Le site est représentatif de l'organisation sociale des Kassenas, de leur mode de vie et de pensée. Il a un intérêt social.

⁴ Fiche d'évaluation transmise par F.DUPERROY, directrice de la protection, DGO4-SPW

La forme des cases ainsi que les motifs des enduits propres au peuple kassena amènent au site un intérêt esthétique et artistique.

Le site s'intègre à son environnement proche mais la multiplication des habitations environnement fait qu'il ne présente pas d'intérêt paysager.

1.2 Les critères

Les critères se divisent en 5 catégories qui vont être énuméré dans la suite du paragraphe.

Tout d'abord, les formes architecturales et la conception des cases utilisant la technique de la terre façonnée sont des signes de l'authenticité de la concession. La fonction de la concession royale et l'usage que les habitants sont le reflet de l'organisation sociale des Kassena qui sont toujours identiques depuis l'installation de la chefferie. L'authenticité des matériaux est difficile à établir puisque les méthodes de construction ont évolué notamment avec le passage de la terre façonnée à la brique de terre crue. Mais elles continuent d'évoluer avec l'apparition des parpaings dans les nouvelles constructions.

Par ailleurs, le site de Tiébélé garde en partie son intégrité. Le bien est complet, homogène et sa fonctionnalité est toujours lisible mais de nouvelles constructions viennent perturber la lisibilité du site.

Ensuite, la concession royale est le témoin du peuple et de la culture kassena. La chefferie a une place importante dans l'organisation sociale des Kassena. Cependant, il existe d'autres témoins dont l'état de conservation est meilleur comme au Ghana.

Enfin, le bien illustre l'architecture de la typologie de construction des Kassena.

2. Impact touristique et autres risques

Comme nous l'avons précisé dans la première partie de ce mémoire, l'affluence touristique est faible. Le site commence à être de plus en plus connu mais n'est pas touché par le tourisme de masse. Le classement au patrimoine national va augmenter le flux touristique mais celui-ci sera d'autant plus important si le site est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. De plus, le site est habité, un afflux touristique trop important risquerait de faire fuir la population. Or, la concession est actuellement toujours debout car elle est entretenue par les habitants. La muséification du site entraînerait sa destruction. En outre, c'est un patrimoine matériel qui entretient un patrimoine immatériel : la technique de réalisation des enduits traditionnels. Le renouvellement des enduits dans la concession et la perpétuation de cette technique sont importants pour la protection des cases. L'abandon du site par les habitants entraînerait une perte de la technique qui serait alors exclusivement réservée aux

démonstrations touristiques. Par ailleurs, les répercussions économiques et financières permettraient de financer l'entretien du site. Gérer l'impact touristique est l'un des premiers thèmes à prendre en compte. Celui-ci passe par la formation des guides, l'établissement d'un itinéraire unique et des règles à respecter par les touristes. Nous pouvons noter que certains de ces points ont déjà été mis en place par l'ADT.

3. Recommandations

Ce paragraphe concerne principalement des observations faites sur site qui ont abouti à une série de recommandations non exhaustives :

- La première recommandation touche à la structure des cases. Le nombre de personnes par groupe doit être limité et les visites espacées pour éviter une charge d'exploitation trop importante en toiture comme nous l'avons démontré dans la partie C.
- Les démonstrations d'enduit pour les touristes dans le cas où une case de la concession n'est pas en réfection doivent être réglementées et réalisées à l'extérieur de la concession. Les touristes n'hésitant pas à payer pour voir la réalisation d'enduit, celles-ci ne peuvent pas être faites dans la concession sous risque d'obtenir un patchwork d'enduit et de perdre l'homogénéité du site.
- L'apparition de nouvelles techniques comme les parpaings ou les bâches plastiques sous les poutres secondaires des cases ne doivent pas se développer dans la concession car elles portent atteintes à l'intégrité du bien.
- Les techniques traditionnelles doivent être valorisées notamment auprès des jeunes avant qu'elles ne disparaissent définitivement.
- La vie dans la concession doit être maintenue même si actuellement elle n'est pas en péril.
- L'assainissement de la cour royale doit être réalisé en utilisant au maximum des matériaux locaux, disponibles et faciles à mettre en œuvre. La maintenance du système d'assainissement doit être prévue lors de la conception.
- Au niveau des différents enduits existants, la promotion de l'enduit traditionnel par rapport à l'enduit au goudron permettrait de faire de la concession royale de Tiébélé un site exemplaire dans l'optique d'un classement au patrimoine mondial. Cependant, il est intéressant de conserver des témoins de l'évolution de la technique des enduits.

- Les sols revêtus de ciment accentue d'autant plus le ruissellement en créant une surface imperméable. Le ciment dénature l'aspect originel du site et l'eau est bloquée sous la couche de ciment.
- Les réparations de fissures et les arases des murs refaites au ciment augmentent le phénomène de fissuration en créant des points durs à la surface et en tête de mur. Il serait plus judicieux et esthétique de conserver les matériaux traditionnels : bouse de vache, latérite et terre compactée.

Conclusion

La présente recherche a permis de fournir une première approche quantitative du phénomène de ruissellement et de mettre en évidence les absorptions des différents enduits existants. L'étude a tenté de cerner ces différents problèmes mais elle manque de corrélation. Ce défaut de corrélation s'explique par le fait que les différents relevés et essais ont été réalisés avec les moyens disponibles sur place pour un séjour de quinze jours dont une semaine effective sur site.

Tout au long de ce mémoire, nous avons suivi une démarche scientifique en proposant après une mise en contexte, les aspects théoriques et les méthodologies suivies pour chaque essai in-situ. L'étude a permis d'aboutir à des propositions et des recommandations sous forme d'une liste non exhaustive de précautions à prendre pour conserver au mieux la concession royale de Tiébélé en vue d'un classement prochain.

Outre les problèmes liés aux facteurs extrinsèques aux Hommes, nous avons pu remarquer que les constructions employant les techniques anciennes : mur en terre façonné et enduit traditionnel, sont résistantes aux intempéries lorsque leur entretien est régulier. Les constructions plus récentes, utilisent des matériaux de qualité médiocre qui affaiblissent la construction. Les causes de dégradation du patrimoine sont en parties dues à la qualité des matériaux mis en œuvre. La volonté d'une rapidité de construction est incompatible avec ce type de patrimoine.

Contrairement aux idées reçues, le patrimoine en terre crue est durable lorsque les matériaux utilisés sont de bonne qualité. Mais il nécessite une maintenance constante. A l'heure de la promotion de l'habitat en terre crue en Europe, laisser le site de Tiébélé être envahi par le béton et le ciment serait regrettable. La sauvegarde de ce patrimoine est un enjeu majeur pour la préservation de la culture kassena et sa transmission aux générations futures.

Bibliographie

- [**ABADOMLOORA, 2004**] B.ABADOMLOORA, G.TAXIL, M. KWAMI, S. MORISET, D. SAVAGE – Navrongo Cathedral: The merge of two cultures – Editions CRATerre – France – 2004 – 36p.
- [**ANGER, 2005**] R. ANGER, L. FONTAINE – Grains de bâtisseurs: la matière en grains, de la géologie à l'architecture – Editions CRATerre – France – 2005 – 36p.
- [**AUFASO, 2009**] AUFASO GROUP – Planète Burkina: Histoire – MAJ 31/01/09 – www.planete-burkina.com.
- [**BADEY, 2001**] S. BADEY – Protocole d'approche archéologique de la dégradation d'un habitat en terre crue: La concession du chef du village de Tiakané (Burkina Faso) – Mémoire de maîtrise en archéologie – Université Paris I – Paris – Septembre 2001 – 129p.
- [**BERTRAND, 2006**] J-L. BERTRAND-KRAJEWSKI – Cours d'hydrologie urbaine: Partie 3: Les pertes avant ruissellement et Partie 4: Le ruissellement – INSA de Lyon – Lyon – Novembre 2006 – 21p.
- [**BOUSSALH, 2004**] M. BOUSSALH, M. JLOK, H. GUILLAUD, S. MORISET – Manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc – Editions CERKAS et CRAterre – France – 2004 – 72p.
- [**CASSAN, 2005**] M.CASSAN – Les essais de perméabilité sur site dans la reconnaissance des sols – Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées – France – 2005 – 568p.
- [**CSTC, 2002**] CSTC – Hydrofugation de surface : Note d'information technique – Juin 2002 – 51p.
- [**DETHIER, 1986**] J. DETHIER – Architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire – Editions du Centre Pompidou – Paris – 1986 – 224p.
- [**DPC, 2008**] DIRECTION DU PATRIMOINE CULTUREL DU BURKINA FASO – La cour royale de Tiébélé, Burkina Faso – Programme Africa 2009 – Editions CRATerre – 2008 – 34p.
- [**DOAT, 1979**] D. DOAT, A.HAY, H. HOUBEN, S. Matuk, F ; Vitoux – Construire en terre – Editions CRAterre – Collection An Architecture – Paris – 1979 – 264p.
- [**FAO, 1976**] FAO-UNESCO – Carte mondiale des sols – Volume VI – Afrique – Editions Unesco – Paris – 1976 – 307p.

- [FAO, 2006]** FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – Le sol – Décembre 2011 – www.fao.org.
- [FAUGERAS, 2008]** J.C.FAUGERAS, R.GOURVES – Cours de mécanique des sols: Caractéristiques physiques des sols: Identification et classification – Fascicule 1 – Centre Universitaire des Sciences et Techniques – Filière Génie Civil – Cour de 2008 – 272p.
- [FILLIAT, 1981]** G.FILLIAT – Principe des sols et fondations – Edition du Moniteur – 1981 – 1392 p.
- [KERE, 1995]** B. KERE – Architecture et cultures constructives du Burkina Faso – Editions CRAterre – France – Mai 1995 – 88p.
- [HOUBEN, 2006]** H. HOUBEN, H.GUILLAUD – Traité de construction en terre – Editions Parenthèses – Marseille – 2006 – 355p.
- [LE BARBE, 1982]** L. LE BARBE – Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou – Cahier ORSTOM – Série hydrologie – Vol. XIX n°3 – 1982 – 70p.
- [LARROUSSE, 2006]** LE PETIT LAROUSSE ILLUSTRÉ – Dictionnaire et encyclopédie de la langue française – Edition Larousse – France – Juillet 2006 – 1855p.
- [MCAT, 2002]** MINISTERE DE LA CULTURE, DES ARTS ET DU TOURISME du Burkina Faso – Le “Pays Kassena” – 2002 – Septembre 2011– www.kassena.gov.bf.
- [MDDEPQ, 2002]** MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUEBEC – Guide de gestion des eaux pluviales : Evaluation quantitative du ruissellement : Aspect hydrologique – Québec – 2002 – 38p.
- [PEARSON, 1992]** G. T PEARSON – Conservation of clay and chalk buildings – Editions Donhead – U.K. – 1992 – 203p.
- [RAKOTOMAMONJY, 2010]** B. RAKOTOMAMONJY – Africa 2009: Conservation du Patrimoine Culturel Immobilier en Afrique sub-saharienne– Editions CRAterre – France – Juin 2010 – 36p.
- [ROOSE, 1993]** E. ROOSE, P.BLANCANEUX, P L. DE FREITAS – Un test simple pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels: méthode et exemples – Cah. Orstom – Sér. Pédol. – vol XXVIII, n°2 – p413-419.

Annexes

QUESTIONS AUX MAÇONS	I
QUESTIONS AUX FEMMES PEINTRES-DECORATRICES	III
TABLEAU DES MESURES DE LA PERMEABILITE DES SOLS EN PROFONDEUR	IX
TABLEAU DE MESURE DE L'ESSAI DE PERMEABILITE DES SOLS EN SURFACE	X
TABLEAU DE MESURES DES ESSAIS DE PERMEABILITE DES ENDUITS	XI

Questions aux maçons

M. Avanhô Alfred – Corabié et M. Adjouhiti Ahouki - Corabié

Le questionnaire a été soumis aux maçons et retranscrit ci-dessous sans traitement préalable.

COMMENT LA TERRE EST-ELLE CHOISIE ?

Il y a des zones où la terre est bonne mais ici il y a des graviers et trop de sable. On utilise pourtant la terre présente sur place. Chacun fait ses briques sur sa portion de terre.

LA FABRICATION DES BRIQUES EST-ELLE DIFFERENTE DE L'ANCIENNE TECHNIQUE ?

Globalement la technique est la même mais la préparation du sol pour faire les briques était meilleure avant car on prenait le temps. On faisait des tests pour vérifier la qualité des briques : On prélevait une motte qu'on mettait dans l'eau et on vérifiait la consistance le lendemain avant de fabriquer les briques. Aujourd'hui, on n'a plus le temps et le sol est devenu pauvre et pollué. Il n'y a plus autant d'éléments riches qu'avant.

LA TECHNIQUE DE PLACER DES CAILLOUX DANS LES REDENTS ET LE SOL POUR EVITER LE REJAILLISSEMENT, EST-ELLE MISE EN PLACE DANS LES NOUVELLES CONSTRUCTIONS ?

C'est un « confort » que certaines personnes mettent en place pour prévenir les problèmes d'affouillement des soubassements.

LES MURS EN BANCO FAÇONNE PRESENTENT UN REDENT AU NIVEAU DU SOUBASSEMENT, POURQUOI LES MURS EN BRIQUE NE PRESENTENT PAS LE MEME REDENT ?

La pente n'est plus visible mais on construit le mur avec une légère pente et les cases avec une toiture plate.

Par contre, les cases avec une toiture en taule sont construites avec des murs droits.

COMMENT SONT REALISEES LES FONDATIONS ?

Il n'y a pas de fondations spécifiques, on ôte seulement une première couche de terre et on commence à monter le mur de brique de terre crue sur la surface plane directement.

CERTAINES NOUVELLES CONSTRUCTIONS DISPOSENT POURTANT D'UNE FONDATION ?

Oui. Pour les personnes qui ont les moyens, une tranchée est d'abord creusée, on y met des cailloux et enfin des parpaings avant de commencer à monter le mur en brique de terre crue.

COMMENT SONT REALISEES LES TOITURES TERRASSES ?

La structure des toitures plates des cases en huit en banco façonnée est une structure poteaux/poutres. La structure des toitures plates des cases rectangulaires porte sur les murs directement. Ensuite, une couche de terre est apposée sur les poutres. L'épaisseur de la couche de terre dépend de la qualité du bois et si les poutres sont de même niveau. L'épaisseur maximum est de 7 cm. La terre est compactée et une couche de latérite est mise au dessus d'épaisseur 2 cm.

GENERALEMENT, PLACE-T-ON UN PLASTIQUE ENTRE LA TERRE ET LES POUTRES ?

C'est une nouvelle technique qui coûte chère. Elle permet de jouer le rôle de faux plafond : d'éviter les chutes de terre du plafond, pour protéger de termites et de rats et de jouer le rôle d'isolation pour l'eau.

COMMENT LUTTE-ON CONTRE LES TERMITES ?

Une herbe qui existait partout avant, était mélangée à la terre et son odeur forte repoussait les termites mais maintenant elle est introuvable. Les constructions résistent 2 ans sans herbe contre 6 ans avec l'herbe. On pouvait aussi mettre des feuilles de Nimier sur le toit. Seules les personnes qui en ont à portée en utilisent encore.

QUELLES EST LA CHARGE D'EXPLOITATION MAXIMALE ? QUE PEUT SUPPORTER LES TOITURES TERASSES SELON VOUS ?

Si ce sont des touristes : au maximum 5 personnes.

Si ce sont des habitants de la concession et du village : 10 personnes car ils savent où marcher.

PENSEZ-VOUS QUE L'AFFLUENCE TOURISTIQUE A DES REPERCUTIONS SUR LES PATHOLOGIES STRUCTURELLES ?

Oui ça contribue à détériorer la structure s'il y a beaucoup de charge.

COMMENT EST REALISEE LA LIAISON ENTRE LES POTEAUX ET LE SOL ?

Habituellement, le bois n'est pas posé directement au sol. On creuse un trou dans lequel on met un caillou pour éviter l'attaque des termites et pour éviter l'enfoncement du poteau. Ensuite on place le poteau puis le trou est rempli de terre damée.

VOUS ARRIVE-T-IL DE PROCEDER A DES RENFORCEMENTS DES POUTRES OU DES POTEAUX ?

Oui mais ce n'est pas recommandé. C'est à risque. Nous le faisons en saison hivernale seulement en attendant la saison sèche pour remplacer l'élément.

LES CONTREFORTS SONT-ILS MIS EN PLACE DES LA CONSTRUCTION ?

Ils ne sont jamais mis en place à la construction mais quand des fissures ou une inclinaison du mur apparaît.

Questions aux femmes peintres- décoratrices

Mme Asséta Idogo et Mme Koumassi Ouemikiga

Le questionnaire a été soumis aux femmes et retranscrit ci-dessous sans traitement préalable.

QUELLES SONT LES DIFFERENTES ETAPES DE L'ENDUIT TRADITIONNEL ?

Le support est préalablement humidifié.

La première couche est composée d'argile mélangée à de la bouse et de l'eau. La bouse est préalablement mélangée à de l'eau. Elle est étalée à la main. L'argile provient d'un lieu spécifique car le terrain environnant est plutôt sableux.

Ensuite on re-projette de la bouse sur le mur puis on lisse à la main.

On met ensuite la couche de latérite composée de latérite pillée mélangée à de l'eau et de la bouse (si la latérite est trop fine on peut y ajouter du sable). On lisse au galet l'ensemble de la surface.

Puis on fait les dessins ou les gravures et on met les couleurs.

On commence par le noir qui est du graphite pillé qui vient du Ghana puis le blanc qui est de la craie. On obtient un mur à trois couleurs : rouge, noir et blanc.

On lisse une deuxième fois au galet. Les différentes couches d'enduit doivent être sèches avant d'appliquer le vernis de Néré à chaud. Par exemple, si on fait l'enduit le matin, on attendra le soir voire le lendemain pour appliquer le vernis.

D'OU PROVIENNENT LES MATERIAUX ?

La latérite est extraite d'un endroit bien précis assez loin. Elle n'est pas facile à trouver. Les femmes peuvent extraire la latérite elles-mêmes mais c'est un travail long et difficile et seules les jeunes femmes peuvent le faire. Les autres l'achètent.

Le noir et le caolin (la craie) viennent d'un village frontalier du Ghana (Bougou ?) où ils sont achetés.

DEPUIS COMBIEN DE TEMPS ACHETE-T-ON L'ENSEMBLE DES MATERIAUX POUR FAIRE L'ENDUIT ? CES MATERIAUX SE TROUVAIENT-IL SUR PLACE AVANT ?

On ne sait pas.

COMMENT LE VERNIS DE NERE EST-IL OBTENU ?

Il est obtenu par décoction de feuilles de Néré. Le Néré est un arbre présent dans la région.

QUELLES EST LA FREQUENCE D'APPLICATION DU NERE ?

Le vernis est appliqué deux à trois fois en laissant un temps de séchage entre chaque application. Si on met trop de vernis de Néré, les couleurs virent au marron.

Y A-T-IL UN CHANGEMENT DANS LA FREQUENCE D'APPLICATION DU NERE PAR RAPPORT A AVANT ?

Non.

Y A-T-IL DES PREPARATIONS PREALABLES ?

Non, généralement on commence à faire bouillir les feuilles de Néré après avoir commencé les enduits. La préparation est refaite chaque jour.

QUELLES SONT LES DIFFERENTES ETAPES DE L'ENDUIT AU GOUDRON ?

Le support est préalablement humidifié.

On mélange le goudron avec l'argile et on pétrit bien. On étale la première couche à la main et on lisse avec le blanc. Donc tout le mur devient blanc.

On laisse sécher puis on fait les dessins. On ne fait pas de gravures sur l'enduit au goudron seulement des dessins.

Les dessins sont faits en noir. On obtient un mur à deux couleurs seulement : noir et blanc.

Le noir est obtenu avec du goudron bouilli mais on peut aussi ajouter du pétrole pour obtenir le noir.

Une fois sec, on ne peut plus le lisser.

QUELLES EST LA DUREE DE VIE DES DIFFERENTS ENDUITS ?

L'enduit traditionnel dure généralement une seule saison.

L'enduit au goudron dure plus longtemps : 3 à 4 ans mais souvent les dessins finissent par partir en commençant par le blanc et il ne reste que le mur.

Y A-T-IL UN TRAITEMENT DIFFERENT POUR LES SOUBASSEMENTS ?

Non.

COMMENT SONT REALISEES LES TOITURES PLATES ?

Maintenant, les toitures sont réalisées avec du goudron qu'on lisse.

Avant, on mettait une couche de latérite rouge damée puis de la bouse de vache et une fois sec, on appliquait le vernis de Néré.

COMMENT SONT TRAITES LES INTERIEURS ?

Le plus souvent on met un enduit traditionnel car il n'y a pas de pluie.

DEPUIS QUAND UTILISE-T-ON LE GOUDRON DANS LES ENDUITS ET D'OU VIENT-IL?

Depuis qu'on a découvert que le goudron pouvait servir pour les enduits. On l'utilise depuis plus de 10 ans. Il vient du Ghana.

QUELLES SONT LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES DEUX TYPES D'ENDUIT ?

Les avantages de l'enduit au goudron :

- Il y a moins de dépense sur le long terme car on le refait moins souvent alors que l'enduit traditionnel doit être refait tous les ans.
- Il est rapide à mettre en œuvre.

Les inconvénients de l'enduit au goudron :

- Le goudron est cher à l'achat
- Oubli de la technique traditionnelle et perte du savoir.
- Plus de fissures car le goudron tire.
- On doit attendre que les couleurs passent et que l'enduit devienne rugueux pour pouvoir le refaire à nouveau. On ne peut pas le reprendre avant 3 /4 ans.
- Il fait beaucoup plus chaud à l'intérieur des cases qui ont un enduit au goudron (intérieur ou extérieur)
- Avec la chaleur, il coule
- Il tâche les habits, on ne peut pas s'adosser au mur

Avantages de l'enduit traditionnel :

- Moins de fissures
- Possible de le reprendre n'importe quand car s'enlève facilement.
- Perpétue la technique
- Il fait plus frais à l'intérieur

Inconvénients de l'enduit traditionnel :

- Temps d'application long
- Durée de vie courte

A QUELLE SAISON REALISE-T-ON LES ENDUITS ?

Aujourd'hui, tout au long de l'année.

Avant, on les réalisait quand il n'y avait pas de vent c'est-à-dire mars-avril. Le vent favorise les écailllements et les petites fissures.

AVEZ-VOUS REMARQUE S'IL Y A EN EFFET PLUS DE FISSURES QUE MAINTENANT ?

C'est difficile à dire car les fissures dépendent aussi de la terre et de la mise en œuvre.

COMMENT CONSOLIDE-T-ON UNE FISSURE ?

Maintenant on met du ciment mais avant on mettait de la bouse de vache et de la latérite.

QUAND ON REFAIT UN ENDUIT TRADITIONNEL, ON ÔTE L'ENSEMBLE DE L'ENDUIT PRECEDENT ?

Non, on ôte seulement la couche de latérite à la daba, on lisse et on vient réappliquer l'enduit.

EST-IL POSSIBLE DE RETIRER L'ENSEMBLE DES DIFFERENTES COUCHES D'ENDUIT ?

Oui.

EST-IL POSSIBLE DE REMETTRE UNE COUCHE D'ENDUIT TRADITIONNEL SUR UN ENDUIT AU GOUDRON ?

Oui mais c'est difficile.

AVEZ-VOUS UNE IDEE DE PRIX D'UN ENDUIT TRADITIONNEL OU AU GOUDRON PAR RAPPORT A UNE SURFACE ?

Non.

COMMENT SONT TRAITES LES SOLS ?

Les sols sont maintenant généralement en ciment.

On met aussi du ciment en toiture là où l'eau passe pour sortir.

DANS LA PARTIE KASSENA DU GHANA, QUELS TYPES D'ENDUIT REALISENT-T-ON ?

On réalise les deux types mais un village a été choisi pour faire uniquement de l'enduit traditionnel. Les motifs sont identiques à ceux au Burkina Faso. A la place de la latérite, on utilise un caillou rouge qui donne une couleur différente.

LA MANIERE DE FAIRE L'ENDUIT EST-ELLE IDENTIQUE ?

On ne sait pas.

EST-CE LE MEME GROUPE DE FEMMES QUI REALISE LES ENDUITS AU GOUDRON ET LES ENDUITS TRADITIONNELS ?

Oui l'équipe est dirigée par Calle qui possède le savoir et peut le transmettre. Mais certaines fois, les hommes réalisent le crépi au goudron à la taloche, les femmes

polissent et les jeunes garçons réalisent les motifs au goudron. Seules les femmes font l'enduit traditionnel.

COMMENT L'ENDUIT S'APPLIQUE-T-IL SUR LES PARPAINGS (BLOCS DE MAÇONNERIE CREUX EN BETON)?

La mise en œuvre est plus difficile. Il faut d'abord crépir pour avoir une surface d'accroche rugueuse.

Y A-T-IL DES PROBLEMES AU NIVEAU DE L'ADHERENCE AVEC LE SUPPORT ?

L'enduit a plus de mal à adhérer au support maintenant car avant on laissait passer une saison des pluies avant de mettre l'enduit. Le support était donc plus rugueux et on avait une meilleure adhérence. Les fissures apparaissaient moins vite. Ceci s'appliquait aux briques de terre crue et au banco façonné.

Le support est de moins bonne qualité maintenant, car la terre utilisée pour les briques est la terre superficielle. Avant, on prenait la terre collante qui se trouve en profondeur, on la mélangeait à la terre superficielle et on pétrissait bien la terre mouillée pendant 2 /3 jours avant de faire les briques. Les briques étaient alors plus dures et plus résistantes.

Maintenant ils veulent aller plus vite.

Y A-T-IL DES DIFFERENCES ENTRE LE SUPPORT EN BANCO FAÇONNE ET LES BRIQUES DE TERRE CRUE ?

La technique de la motte (ou banco façonnée) est meilleure car la terre est bien pétrie, on prenait le temps.

A chaque saison des pluies, ce sont les murs en brique qui tombent.

D'APRES VOUS QUELLES EST L'ORIGINE DES PATHOLOGIES LIEES A L'EAU ?

Les principales pathologies comme le décollement sont dues aux infiltrations d'eau qui viennent plutôt du toit.

COMMENT PROCEDE-T-ON LORSQU'IL Y A UN DECOLLEMENT ENTRE LA PREMIERE COUCHE ET LE SUPPORT ?

On enlève toutes les couches d'enduit, on recrépit sur le support pour refaire une couche d'adhérence puis on remet l'enduit.

Y A-T-IL EU DES ESSAIS FAITS EN MODIFIANT CERTAINS COMPOSANTS DE L'ENDUIT TRADITIONNEL EN VUE DE L'AMELIORER ?

Oui. Un premier essai a été fait à Ouagadougou en essayant de remplacer le vernis de Néré par un vernis industriel mais l'enduit est devenu comme de la bouillie dès la première pluie. Un deuxième essai a été réalisé avec du karité. Le savon de karité a été mélangé à l'eau pour lisser les surfaces mais l'enduit est devenu tout blanc.

AU NIVEAU DE LA TRANSMISSION DES SAVOIRS, Y A-T-IL UN SUIVI DES NOUVELLES GENERATIONS ?

Il n'y a pas beaucoup de jeunes femmes qui font l'effort d'apprendre. Généralement ce sont celles qui ne sont pas allées à l'école. Mais souvent elles se contentent de polir les murs et ne cherchent pas à apprendre à réaliser les dessins.

A L'ECOLE Y A-T-IL UNE SENSIBILISATION AU PATRIMOINE MATERIEL ET IMMATERIEL ?

Non il n'y a pas de sensibilisation. Un enseignant avait mis en place un concours sur les enduits qui faisait appel au côté créatif de chacun et qui fonctionnait bien mais quand il est parti, l'idée est partie avec lui.

Les jeunes trouvent ça rabaissant de devoir mettre les mains dans la bouse.

COMMENT QUALIFIERIEZ-VOUS L'ATTRAIT TOURISTIQUE POUR LES ENDUITS ?

Les touristes qui visitent le site sont principalement attirés par les enduits peints, beaucoup de touristes demandent à voir des démonstrations. Mais nous sommes aussi appelées dans le monde entier pour faire des démonstrations : Chine, Algérie, France, Côte d'Ivoire.

Beaucoup de personnes viennent pour nous aider, par exemple, à adapter les techniques des enduits sur les tissus pour les vendre aux touristes.

CES DEMONSTRATIONS OU SONT-ELLES REALISEES?

Généralement, en dehors de la Cour Royale dans les bâtiments autour et principalement à l'ADT (Auberge de l'Association pour le Développement de Tiébélé). Ce qui a permis de doter les alentours de la Cour Royale de beaucoup de décors peints.

Tableau des mesures de la perméabilité des sols en profondeur

t₁ (sec)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540
h 1 (m)	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,925	0,92	0,91	0,905
h/h0	1	0,98979592	0,97959184	0,96938776	0,95918367	0,94897959	0,94387755	0,93877551	0,928571429	0,923469388
ln(h/h0)	0	-0,0102565	0,02061929	0,03109059	-0,0416727	0,05236799	0,05775883	-0,0631789	0,074107972	0,079617628

t₁ (sec)	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140
h 1 (m)	0,895	0,89	0,885	0,875	0,865	0,86	0,86	0,853	0,845	0,84
h/h0	0,91326531	0,90816327	0,90306122	0,89285714	0,88265306	0,87755102	0,87755102	0,87040816	0,862244898	0,857142857
ln(h/h0)	0,09072885	0,09633111	0,10196493	0,11332869	0,12482306	0,13062018	0,13062018	0,13879302	0,148215944	-0,15415068

t₁ (sec)	1200	1260	1320	1380	1440	1500	1560	1620	1680	1740
h 1 (m)	0,835	0,835	0,833	0,83	0,82	0,815	0,815	0,815	0,81	0,805
h/h0	0,85204082	0,85204082	0,85	0,84693878	0,83673469	0,83163265	0,83163265	0,83163265	0,826530612	0,821428571
ln(h/h0)	0,16012085	0,16012085	0,16251893	0,16612687	0,17824823	0,18436446	0,18436446	0,18436446	0,190518324	0,196710294

t₁ (sec)	1800	1860	1920	1980	2040	2100	2160	2220	2280	2340	2400
h 1 (m)	0,8	0,8	0,795	0,79	0,783	0,78	0,775	0,77	0,765	0,76	0,753
h/h0	0,81632653	0,81632653	0,81122449	0,80612245	0,79897959	0,79591837	0,79081633	0,78571429	0,780612245	0,775510204	0,768367347
ln(h/h0)	0,20294084	0,20294084	0,20921046	0,21551963	0,22441988	0,22825865	0,23468954	0,24116206	0,247676738	0,254234138	0,263487344

Tableau de mesure de l'essai de perméabilité des sols en surface

Décroissance du niveau d'eau (cm)	Essai 1 (min)	Essai 2 (min)	Essai3 (min)
5,5	0	0	0
5	0	2,13	0
4	2,32	5,77	5,3
3	4,1	11,42	12,98
2	6,93	17,15	17,98
1	10,02	24,18	24,13
0	12,45	29,96	26,42

Tableau de mesures des essais de perméabilité des enduits

Essai n°	Type de case	Type de mur	Ancienneté	Type d'enduit	Ancienneté	verniss de Néré	Infiltration (ml)			
							5 min	10 min	15 min	Δ 15-5
1	huit	brique	Ancien	traditionnel	ancien	récent	0	0,1	0,15	0,15
2	rectangulaire	brique	Ancien	traditionnel	ancien	ancien	0,3	0,5	0,6	0,3
3	rectangulaire	brique	Ancien	goudron	ancien	non	0,1	0,1	0,2	0,1
4	rectangulaire	brique	Ancien	goudron	récent	non	0,2	0,3	0,4	0,2
5	huit	motte	Ancien	traditionnel	ancien	récent	0,2	0,2	0,3	0,1
6	huit	motte	Ancien	traditionnel	récent	récent	0	0,1	0,1	0,1
7	huit	motte	Ancien	goudron	récent	non	0,1	0,2	0,3	0,2
8	huit	motte	Ancien	aucun	-	-	-	-	-	-
9	huit	brique	Nouveau	aucun	-	-	-	-	-	-