

Les voûtes nubiennes au Burkina Faso

Comportement hygrothermique et bâtiments agricoles et d'élevage

1/ Le Burkina Faso

- a/ Le contexte climatique
- b/ La notion de confort

2/ La fraîcheur dans les voutes nubiennes

- a/ La technique constructive VN
- b/ Le comportement thermique VN
- c/ Avantages et inconvénients de la VN

3/ L'enjeu des bâtiments agricoles et d'élevage

- a/ Sans rafraîchissement : Les bâtiments d'élevage, de stockage de denrées non périssables.
- b/ Avec rafraîchissement passifs : Les bâtiments de stockage de denrées périssables.
- c/ Avec rafraîchissement mécanique : Les bâtiments de stockage de denrées très périssables rafraîchis.

4/ Les projets pilotes

- a/ Silo de conservation de l'oignon à OUONON
- b/ Silo de conservation de l'anacarde à BEREGADOUGOU
- c/ Poulailier à DEDOUGOU et NOUNOU
- d/ Porcheries à OUESSA et GUEGUERE

5/ Le rafraichissement dans le bâti VN

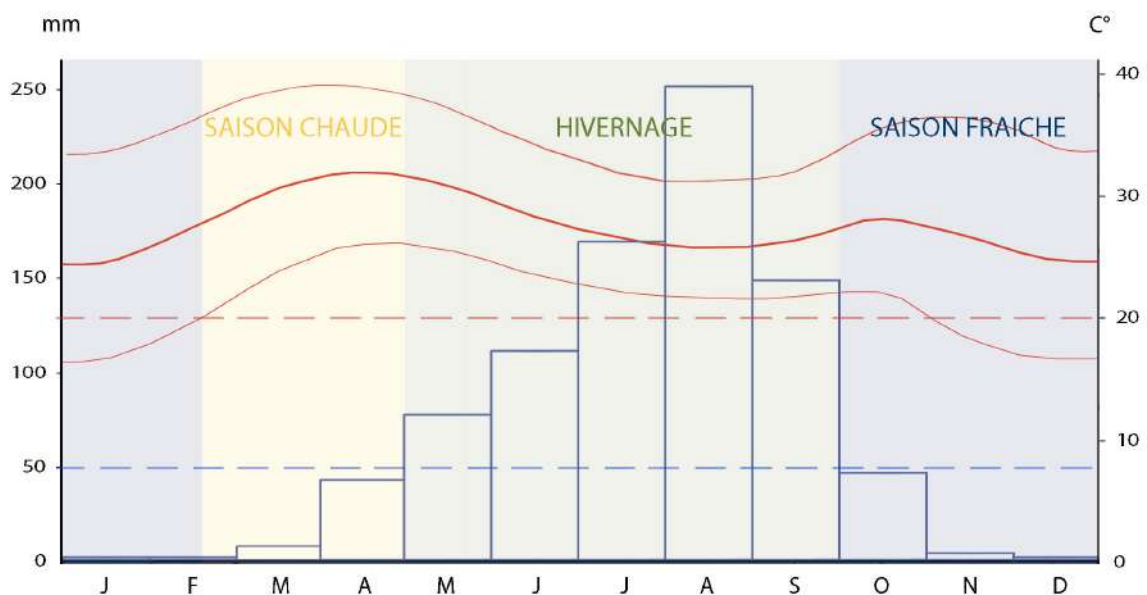
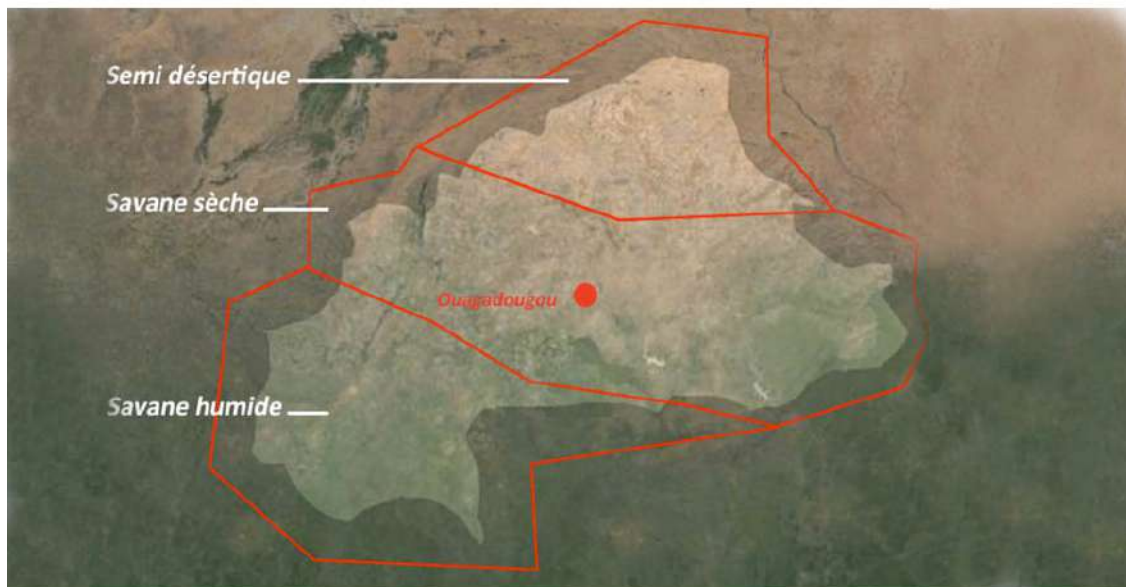
- a/ La conception à l'échelle de l'environnement du bâtiment
- b/ Une architecture favorisant le confort des usagers
- c/ Les ouvertures et leurs usages au service du rafraichissement
- d/ Les systèmes de ventilation mécanique

1/ Le Burkina Fasso

a/ Le contexte climatique

Le Burkina Faso possède un climat tropical. On le caractérise de soudano-sahélien car il est intermédiaire à une zone semi désertique et à une zone tropicale de savane plus ou moins humide :

- zone semi désertique dite sahélienne,
- zone intermédiaire dite soudano sahélienne,
- zone tropicale dite soudanaise.



Il se caractérise par des variations pluviométriques considérables allant d'une moyenne de 350 mm au Nord à plus de 1 000 mm au Sud-ouest et par deux saisons très contrastées :

- l'hivernage ou saison des pluies avec des précipitations comprises entre 300 mm et 1 200 mm
- la saison sèche comprenant une saison fraîche et une saison chaude durant laquelle souffle l'harmattan, vent chaud et sec originaire du Sahara.

b/ La notion de confort thermo hygrométrique en Afrique de l'ouest

La problématique du confort thermo hygrométrique à l'intérieur d'un bâtiment est liée à :

- la nature de la sollicitation (ensoleillement direct et rayonnement par le voisinage),
- l'exposition du bâti (position géographique, géométrie et environnement du bâti),
- la réponse du bâti à la sollicitation (matériaux et détails de construction).

Sollicitation et exposition

A la position géographique d'un bâtiment correspond un « parcours solaire » annuel spécifique. Dans le cas de l'Afrique de l'Ouest, les différences entre les saisons sont peu marquées et l'amplitude nord sud est très faible, caractéristiques typiques des régions subtropicales.

Schéma direction du soleil

L'énergie émise par le soleil est fonction du rayonnement solaire, la durée du jour et les conditions atmosphériques (ciel dégagé ou couvert). Cette énergie est notamment diminuée par la présence de pluies (ciel couvert, perte d'énergie par l'eau agissant comme isolant) et la présence de vent (effet rafraîchissant).

Aux paramètres décrivant la sollicitation s'ajoutent les paramètres qui caractérisent le bâtiment et son environnement. On peut citer les matériaux qui constituent le bâtiment, son orientation face au parcours du soleil et les conditions de voisinage (autres bâtiments, sol couvert ou découvert, ombrage, végétation, etc...

La physique du bâtiment

Aux matériaux du bâtiment et de son voisinage correspondent des paramètres physiques qui décrivent les différents phénomènes de transfert thermique.

> Transfert de chaleur par radiation thermique

Une surface chaude émet de la chaleur vers une surface froide. La quantité de chaleur radiée dépend de la différence de température et des caractéristiques matérielles de la surface chaude (paramètre Emissance ϵ [-]).

> Transfert de chaleur par conduction thermique

La chaleur est toujours conduite de la source chaude vers la source froide. Elle se propage de proche en proche à l'intérieur d'une paroi et par les surfaces de contact de deux parois qui se touchent. La quantité de chaleur conduite dépend de la différence de température, de l'épaisseur du mur, de la surface de contact et de la Conductivité Thermique $[W/m^{\circ}C]$.

> Inertie thermique

L'inertie thermique est fonction de la Chaleur Spécifique $c [Wh/kg/^{\circ}C]$ d'un matériau. Ce paramètre définit le besoin en énergie pour augmenter la température d'une unité dans une unité de masse. Plus la chaleur spécifique est grande, plus la chaleur sera emmagasinée pendant un temps donné.

Lorsque la température extérieure varie, cette variation met un certain temps pour se propager au travers d'un mur. Il apparaît donc un Déphasage $[h]$ entre les variations de température intérieure et extérieure. Le déphasage est accompagné par un Amplification / Amortissement $\mu [-]$ de l'amplitude de la variation de température.

	Masse spécifique	Conductivité thermique	Chaleur spécifique	Emittance	Réfectance
Matériau	γ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	c [Wh/kg/°C]	e [%]	ρ [%]
Brique de terre (adobe)	1'400 – 2'000	0.2 – 1.0	0.23	97	35
Terre humide	1'800	2.1	0.23	97	35
Latérite	1'800 – 2'200	2.5	0.26	95	45
Mortier au ciment	2'200	1.4	0.3	95	45
Acier	7'850	60	0.13	28	10
Air au repos	1.2	0.02	0.28		
Peinture à la chaux				89	71

La ZCT : Zone de Confort Thermo hygrométrique

La zone caractérisant le confort dans un bâtiment est appelée ZTC. Les principaux paramètres physiques qui la déterminent sont :

- la température de l'air T [°C] dans le bâtiment
- l'humidité relative apparente HR [%] dans le bâtiment.

Tous les êtres humains étant différents, deux individus peuvent ressentir différemment une même ambiance. Toutefois, à partir de réalités physiologiques moyennes, il est possible de délimiter une zone de confort thermo hygrométrique (ZCT) valable pour un individu moyen, vêtu d'une tenue d'été, au repos ou engagé dans une activité sédentaire. Dans de telles conditions, le confort thermo hygrométrique est obtenu entre T = 20 et 27°C, pour une HR de l'air comprise entre 20 et 80%. Le diagramme psychométrique ci-dessous permet de visualiser la ZCT.

Les limites de la ZCT ne sont pas des frontières bien tranchées car, d'une part elles sont établies pour un individu moyen, avec certaines habitudes liées à son cadre de vie (subtropical, tropical, etc...) et d'autre part la transition d'une impression de confort à une impression d'inconfort est progressive.

Insertion schéma

Il existe d'autres critères qui permettent de caractériser le confort dans un bâtiment :

- la température des parois (chaleur radiante).

Le confort peut être garanti si non seulement l'air, mais aussi la température des parois se situe à l'intérieur de la ZCT. La température d'une paroi ne devrait pas dépasser de plus de 10 à 15 °C de celle de l'air dans la pièce. Le cas échéant, le confort ne sera pas atteint. Ceci est particulièrement vrai pour les toitures.

- l'humidité relative

Le niveau d'humidité relative affecte le niveau de transpiration de l'être humain. De ce fait, il influence la perception d'une température donnée. Une humidité élevée réduit les températures maximales confortables, une humidité basse donne plus de tolérance pour des températures élevées. Le tableau suivant donne les limites des températures "confortables" en fonction de l'humidité (tenu d'été où un drap la nuit).

HR	T journalier	T nocturne
[%]	[°C]	[°C]
0 - 30	22 - 30	20 - 27
30 - 50	22 - 29	20 - 26
50 - 70	22 - 28	20 - 26
70 - 100	22 - 27	20 - 25

- la ventilation

L'influence de l'humidité relative à elle seule sur la plage des températures confortables est limitée. Mais en combinaison avec la circulation d'air (ventilation), son importance augmente. Le tableau suivant donne l'effet

de rafraîchissement en fonction de la vitesse de ventilation.

Vitesse de ventilation [m/s]	Effet mécanique	Effet sur l'humain	Effet de rafraîchissement T ambiante de l'aire [°C] / HR [%]		
			25 °C	30°C / <50%	30°C / >50%
0.25	Fumé de cigarettes en mouvement	Mouvement non perceptible	0.8	0.5	0.7
0.5	Flamme d'une bougie vacille	Sentiment de fraîcheur	1.7	1.0	1.2
1.0	Papiers bougent, vitesse de marche	Agréable. Limite pour confort nocturne	2.8	1.7	2.2
1.5	Trop rapide pour travail avec papiers	Limite pour activités intérieures	3.5	2.0	3.3
2.0	Equivaut vitesse de marche soutenue	Climat très chaud + humide	4.0	2.3	4.2

Selon les auteurs cités, l'origine ethnique de la personne ne joue pas de rôle. Mais nous considérerons une tolérance plus haute à la chaleur et plus faible à la fraîcheur et cela principalement à cause des habitudes vestimentaires et climatiques.

Le confort et les différentes utilisations des la VN

Les bâtiments VN peuvent être utilisés comme habitations, lieux de culte, de travail, écoles, stockage agricole... La variété des ses usages implique une fréquentation des VN variées sur une journée et des besoins en confort adaptés à ces différents usages. On distingue les bâtiments utilisés de manière diurne uniquement comme les écoles, les bureaux ; ceux utilisés la nuit uniquement : les chambres d'hôtel, les habitations et ceux utilisés de manière permanente : les lieux de stockage agricole...

Les indicateurs de confort ne seront donc pas les mêmes en fonction des usages fait des bâtiments. Les données de température et humidité peuvent être interprétées de différentes manières pour caractériser les besoins à l'intérieur des bâtiments et le confort. On distingue : leur présence ou non dans la zone de confort, l'écart avec cette zone, leur constance, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, le nombre d'heures comprises dans al zone de confort et à quel moment de la journée, etc...

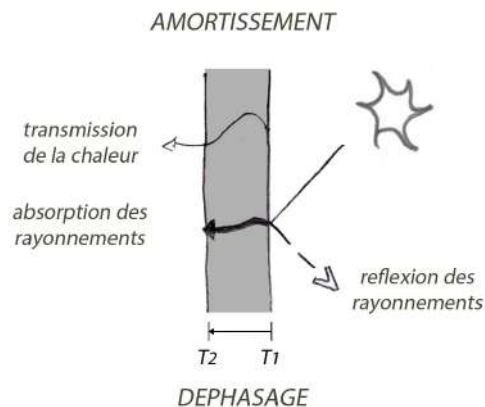
2/ La fraîcheur dans les voûtes nubiennes

a/ La technique constructive VN

La technique de la voûte nubienne est basée sur deux points fondamentaux : l'utilisation du matériau terre et sa mise en œuvre nécessitant une épaisseur importante.

La terre a des propriétés hygrothermiques qui en font un matériau à faible capacité d'isolation mais à très forte inertie thermique et à fort déphasage.

« Lorsque le soleil frappe le mur d'un bâtiment, une partie du rayonnement est réfléchi, l'autre partie est absorbée par la paroi. L'onde de chaleur se transmet de l'extérieur vers l'intérieur à travers les murs en subissant un certain amortissement et le maximum de cette l'onde atteint l'intérieur avec un certain retard appelé déphasage.



L'amortissement et le déphasage dépendent de l'épaisseur du mur, de sa conductivité thermique et de sa chaleur massique et caractérisent l'inertie thermique.

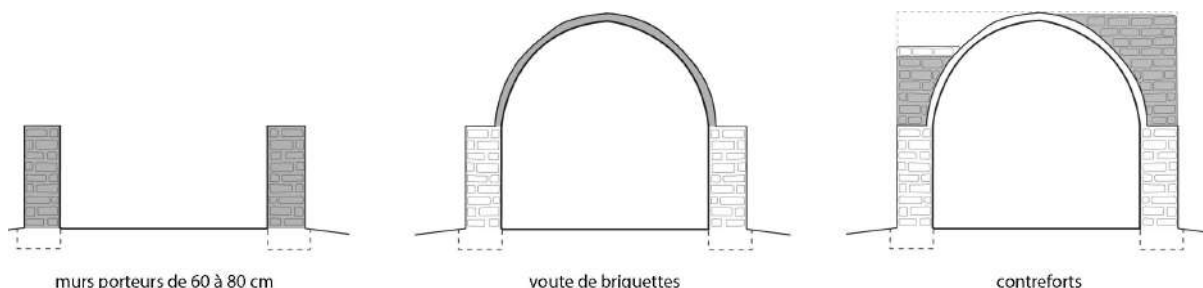
La force d'inertie étant une force qui s'oppose à tout changement, on peut définir l'inertie thermique d'un bâtiment, comme sa capacité à stocker et à déstocker de l'énergie dans sa structure, quelle que soit la saison.

Elle définit la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe.

Elle permet d'amortir les variations de température intérieure. »¹

La mise en œuvre des briques pour constituer une construction en voûte nubienne nécessite un nombre de briques qui dépasse celui des constructions conventionnelles. En effet, les murs porteurs sont d'une épaisseur de 60cm et de 80cm si c'est une voûte à étage. Ces dimensions sont nécessaires pour supporter le poids de la voûte et des contreforts.

La voûte est composée d'un rang de briquettes, qui est chargée par un ensemble de briques de terre et de banco, que l'on appelle les contreforts. Ils permettent de mettre en charge la voûte et d'assurer sa stabilité.



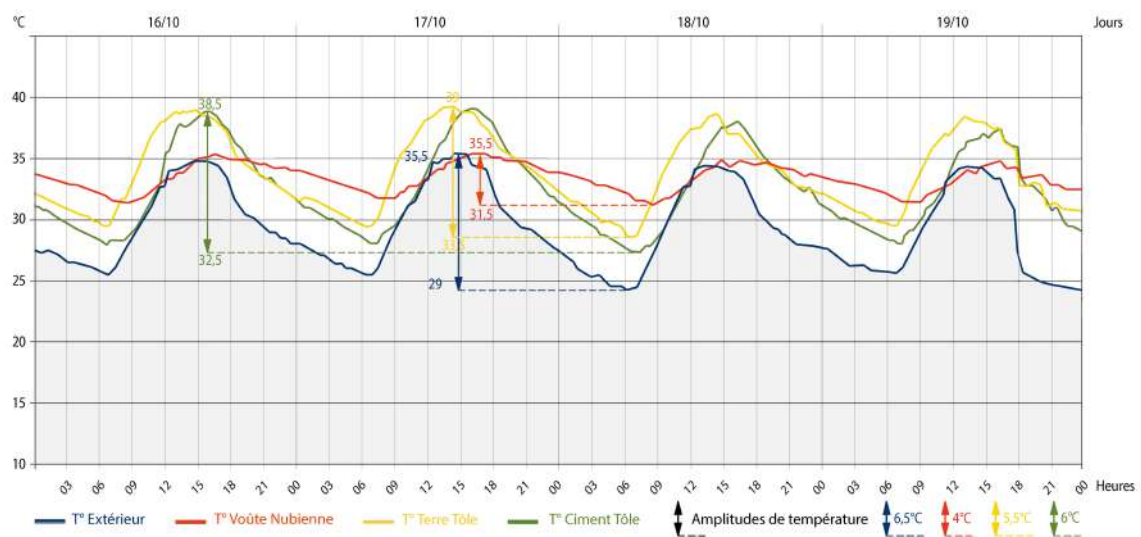
¹ Confort thermique des bâtiments en voûte nubienne, p6, de M. HAZOUME, Master Spécialisé EINTE - ICAM Nantes 2012-13

La voûte nubienne est donc une construction massive, avec une toiture et des murs de terre épais qui assurent sa solidité, sa longévité dans le temps et une protection contre les éléments naturels extérieurs tels que la chaleur, l'humidité et le bruit.

b/ Le comportement thermique VN

La voûte nubienne présente donc des caractéristiques hygrothermiques spécifiques qui se manifestent en fonction des différentes saisons. Pour mesurer ces caractéristiques on procède par comparaison avec les types de bâtiments que l'on retrouve principalement au Burkina et dans la sous région : des constructions à toiture de tôle et en murs de terre ou de ciment.

Trois bâtiments d'habitation sont instrumentés à Boromo au cours d'une campagne de mesures² durant la saison des pluies. Ces bâtiments présentent la même configuration et la même taille. L'un est construit en ciment et en tôle, l'autre est construit en terre et en tôle, le troisième est construit en voûte nubienne.



Les jours les plus chauds de la période instrumentée

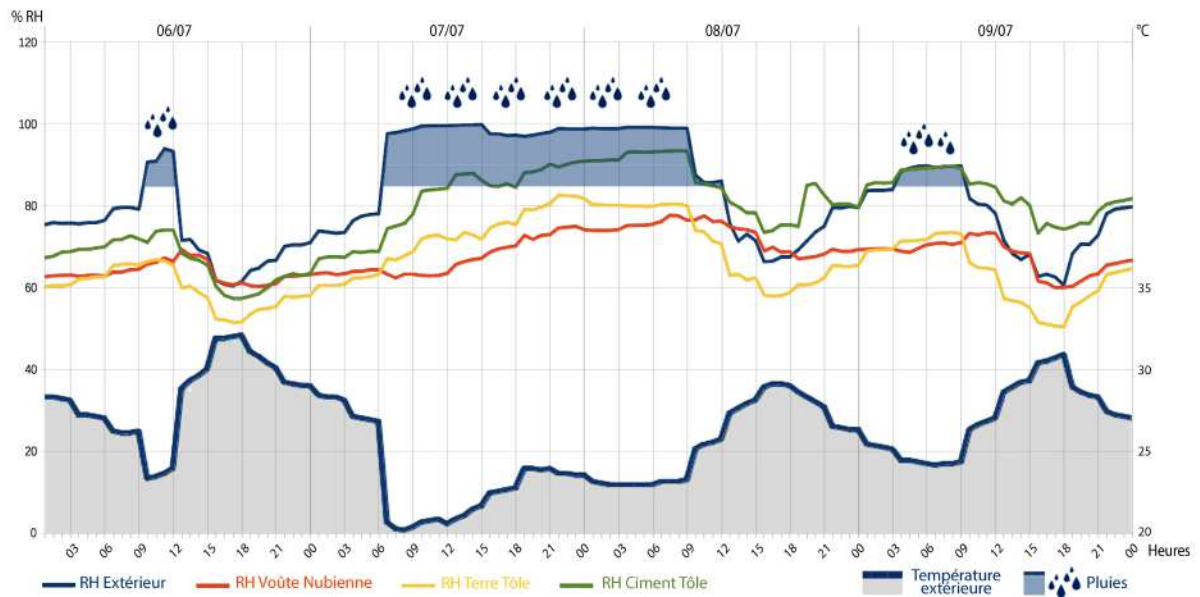
On observe que la voûte atténue les températures maximales et minimales intérieures alors que les bâtiments en tôle suivent la température extérieure avec de 2 à 4 degrés en plus.

Au pic de chaleur :
 - il fait plus chaud dans les bâtiments en tôle que dehors (+4°C)
 - il fait la même température dans la voûte que dehors

La nuit au plus frais :
 - il fait un peu plus chaud dans les bâtiments en tôle que dehors (+3-4°C)
 - il fait vraiment plus chaud dans la voûte que dehors (+6-7°C)

La voûte a une température intérieure constante, avec une variation sur la journée de 4 degrés environ alors que la température extérieure et celle des bâtiments en tôle varie d'environ 6 degrés.

² Voir Annexe : Campagne sur les habitations à Boromo.



On observe que la voûte atténue les variations d'humidité liées aux fortes pluies, soit 35% de moins qu'à l'extérieur, et permet une humidité constante dans le bâtiment, soit la même humidité qu'à l'extérieur.

Les bâtiments en terre (terre - tôle et voûte) permettent une humidité plus faible que le bâtiment en ciment qui suit de près l'humidité extérieure et conserve cette humidité après les pluies soit une humidité plus élevée qu'à l'extérieur.

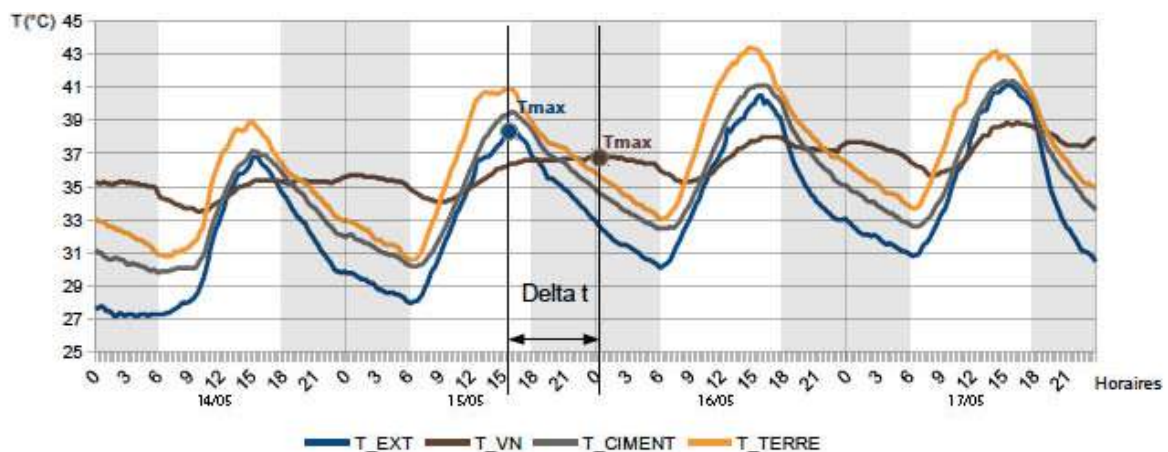
Lors des pluies : - il fait le moins humide dans la voûte.

Après les pluies : - il fait plus humide dans le bâtiment en ciment que dehors

- on a la même humidité dans la voûte que dehors

- il fait moins humide dans le bâtiment en terre

Les caractéristiques liées à la température sont amplifiées lors de la saison chaude.



On observe une atténuation des températures plus importantes, c'est à dire qu'au pic de chaleur il fait plus frais dans la voûte que dehors (presque 2 degrés) et un déphasage du pic de chaleur : la température maximum est atteinte dans la voûte 9 heures après celle de l'extérieur.

Ce déphasage entraîne aussi la conservation de la chaleur dans la voûte quand la température extérieure chute avec l'arrivée de la nuit. Il fait donc plus chaud de 6 degrés dans la voûte que dehors alors que dans les bâtiments en tôle il fait seulement 2 degrés de plus.

c/ Avantages et inconvénients de la voûte nubienne

Ces caractéristiques hygrothermiques présentent des avantages et inconvénients selon les différentes saisons et les différentes utilisations que l'on fait de la voûte. On définit 3 grands types d'usages :
diurnes : les écoles, les bureaux

- nocturnes : les habitations
- permanents : les bâtiments de stockage

AVANTAGES DE LA VOUTE NUBIENNE			
Caractéristiques de la VN	Stockage, agriculture et élevage	Habitations, hôtels,etc...	Ecoles, bureaux, etc..
HIVERNAGE			
La VN protège de l'humidité	Meilleure conservation des légumes et des céréales	Plus de salubrité pour les habitants.	Plus de salubrité pour les écoliers, etc...
<u>LE JOUR</u> La VN n'est pas plus chaude qu'à l'extérieur	Meilleure conservation des noix, des légumes... Meilleur production pour l'embouche ou la ponte	Sensation de fraîcheur. Meilleur confort.	Sensation de fraîcheur pour les écoliers, améliore les capacités pour étudier, pour travailler, etc...
La VN permet des températures presque constantes	Meilleure conservation des denrées en général	Valorisation des systèmes de rafraîchissement mécaniques	
SAISON CHAUDE			
La VN conserve l'humidité	Meilleure conservation du coton, de la pomme de terre...	Valorisation des systèmes adiabatiques	
<u>LE JOUR</u> La VN est plus fraîche qu'à l'extérieur	Meilleure conservation des noix, des légumes... Meilleur production pour l'embouche ou la ponte	Sensation de fraîcheur. Meilleur confort.	Sensation de fraîcheur pour les écoliers, améliore les capacités pour étudier, pour travailler, etc...
SAISON FRAICHE			
<u>LA NUIT</u> La VN est plus chaude qu'à l'extérieur	Meilleure conservation des denrées en général	Sensation de chaleur pour dormir. Au village, pas besoin de chauffer.	-
<u>LE JOUR</u> La VN est plus fraîche qu'à l'extérieur	Meilleure conservation des noix, des légumes... Meilleur production pour l'embouche ou la ponte	Sensation de fraîcheur. Meilleur confort.	Sensation de fraîcheur pour les écoliers, améliore les capacités pour étudier, pour travailler, etc...
La VN permet des températures presque constantes	Meilleure conservation des denrées en général	Valorisation des systèmes de rafraîchissement mécaniques	

INCONVENIENTS DE LA VOUTE NUBIENNE			
Caractéristiques de la VN	Stockage, agriculture et élevage	Habitations, hôtels, etc...	Ecoles, bureaux, etc..
HIVERNAGE			
<u>LA NUIT</u> La VN est plus chaude que les bâtiments en tôle	Mauvaise évacuation de la chaleur dégagée par les aliments conservés ou par les animaux.	Inconfort pour les habitants. Il ne fait pas assez chaud pour dormir dehors mais trop chaud pour dormir dedans.	-
SAISON CHAUDE			
<u>LA NUIT</u> La VN est plus chaude qu'à l'extérieur	Très mauvaise évacuation de la chaleur dégagée par les aliments conservés ou par les animaux.	Gros inconfort pour les habitants. Mais ils peuvent dormir sur le toit.	-

3/ L'enjeu des bâtiments agricoles et d'élevage

Les avantages et inconvénients de la VN énoncés plus haut se révèlent être de véritables atouts dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage. En effet, on peut y observer différents types de besoins tels que la conservation des denrées sur plus ou moins long terme, l'abri des animaux d'élevage dans des conditions favorisant leur production.

Les 95% de la population burkinabé vivant de l'agriculture et/ou de l'élevage, l'amélioration de ces filières par les caractéristiques des bâtiments utilisés se révèle être primordiale.

La voûte nubienne peut se décliner en une grande diversité de constructions, au niveau des usages, de la taille, de la configuration et ainsi du confort qu'elle génère. Elle peut donc répondre à différents besoins plus ou moins complexes et touchant différentes filières.

D'abord, la VN de par ses avantages hygrothermiques peut répondre facilement à certains de ces besoins (abris pour animaux, pour le coton...). Ensuite, la mise en place de systèmes simples, liés à la conception des bâtiments en voute peut améliorer leurs conditions hygrothermiques et répondre à des besoins un peu plus exigeants (magasins pour oignons, igname, anacardes, cola...). Enfin, la mise en place de systèmes mécaniques peuvent à leur tour améliorer les performances de stockage des VN tout en nécessitant moins d'énergie qu'un bâtiment conventionnel. (pomme de terre, semences...)

On peut convenir d'un système de gradation pour différencier ces types de bâtiments. Dans un contexte souvent très chaud et aux conditions d'humidité variables, ils répondent principalement à des besoins en ventilation et en maîtrise de l'humidité : c'est le rafraîchissement.

On distingue les bâtiments :

- sans rafraîchissement.
- avec rafraîchissement passifs.
- avec rafraîchissement mécanique.

a/ Sans rafraîchissement : Les bâtiments de stockage de denrées non périssables et d'élevage.

Ces sont des VN qui utilisent leurs atouts de base : l'inertie de la voûte, sa capacité à réduire les transferts d'humidité, permettent de fournir de meilleurs rendements dans différentes filières. On distingue différentes filières.

- L'embouche porcine.

La technique VN présente des atouts au niveau de la température et de l'humidité qui semblent être en cohérence avec la filière de l'embouche bovine.

« Le porc est un animal qui supporte mal la chaleur. Il est incapable de transpirer donc de produire suffisamment d'humidité à la surface de sa peau pour se rafraîchir de façon appréciable. Voilà pourquoi son instinct le porte à chercher les endroits humides et à se mouiller la peau en s'y vautrant chaque fois que la chaleur l'incommode.

En cas de trop hautes températures, il réduit sa consommation alimentaire et sa performance diminue. C'est pourquoi il est préférable de mettre en place des porcheries permettant aux porcs de se protéger du soleil et de la chaleur. »³

Des porcheries en VN, sont une réponse qui semble adaptée aux besoins de fraîcheur des porcs et à la filière de l'embouche. Cette filière se gère toute l'année.

³ Source : <http://omafra.gov.on.ca>

- Les poules pondeuses

« Des températures élevées réduisent la capacité d'élimination de la chaleur produite par les animaux. Cela se traduit par la mise en place de mécanismes de thermorégulation, et en conséquence, si les conditions sont trop difficiles, une diminution de la quantité d'aliment ingéré. Les poules doivent adapter la quantité d'aliment ingéré à leur capacité d'élimination de la chaleur produite.

Lorsque la température critique supérieure est dépassée l'élimination de la chaleur se réalise alors par les voies respiratoires. Rythmes respiratoires et cardiaques sont régulés par la température corporelle.

Si les conditions sont trop défavorables, la température corporelle peut augmenter jusqu'à entraîner la mort de l'animal. L'augmentation de la température corporelle entraîne immédiatement l'arrêt de la consommation d'aliment avec pour conséquence une baisse des performances et de la croissance. »⁴

Les poulaillers doivent donc être des bâtiments frais et permettant une bonne ventilation en cas de chaleur. Une conception adaptée peut faire de la voûte nubienne une réponse pertinente à ces besoins et favoriser la production d'œuf des poules pondeuses.

- Les céréales

- Le coton.

b/ Avec rafraîchissement passifs : Les bâtiments de stockage de denrées périssables.

Ce sont des bâtiments VN qui ont été améliorés par des choix conceptuels simples qui favorisent la protection contre la chaleur, une meilleure ventilation, et ainsi une meilleure conservation de certaines denrées ayant des besoins de températures et d'humidité spécifiques.

On peut citer l'oignon, l'igname, l'anacarde, la cola

Description des besoins en T°, des effets sur la conservation des denrées, sur la régulation du marché, sur la réduction de la période de soudure, sur la variation des prix, sur les spéculations, sur la situation des cultivateurs, sur leur organisation entre eux.

c/ Avec rafraîchissement mécanique : Les bâtiments de stockage de denrées très périssables rafraîchis.

Ce sont des bâtiments VN qui utilisent des systèmes mécaniques pour améliorer de manière considérable les conditions hygrothermiques des VN tels que des climatiseurs, des extracteurs d'air, etc... qui vont rafraîchir l'air, le rendre sec ou l'humidifier en fonction des besoins. Les atouts de la VN permettent une utilisation en énergie moindre que pour les bâtiments en tôle.

Description des besoins en T°, des effets sur la conservation des denrées, sur la régulation du marché. Description de la difficulté d'accès aux chambres froides, leur localisation dans les grandes villes, les cout, l'impossible accès à ces technologies par les cultivateurs ruraux.

⁴ Conduite technique des élevages de poulettes et de pondeuses en climat chaud, p2, 2010-04, ISA Hendrix Genetics Company.

4/ Les projets pilotes

La technique VN a été mise en œuvre sur certains projets touchant à ces questions de conservation de denrées alimentaires et d'élevage d'animaux. Ces projets sont des prototypes, des bâtiments témoins qui permettent de tester la cohérence et l'efficacité de la VN dans ces filières. Les retours fait par les utilisateurs sont la clé de l'évolution de la technique VN sur le marché de l'agriculture et de l'élevage, permettant de valoriser certaines pratiques, certaines conceptions de bâtiments et d'en éliminer d'autres.

La compréhension des besoins en bâtiment dans ces filières, des pratiques, des acteurs et de leur manière d'utiliser ces bâtiments, ainsi que l'observation des avantages et inconvénients des bâtiments VN et non VN peuvent nous permettre de perfectionner notre réponse.

a/ Silo de conservation de l'oignon à OUONON⁵

L'organisation SEMUS, Solidarité et Entraide MUTuelle au Sahel suit des groupements de maraichers dans la région de Yako et les aide à développer leurs activités. Dans ce cadre, ils ont accompagné un projet de construction de bâtiments de stockage de l'oignon, en lien avec un groupement de cultivateurs travaillant sur le périmètre maraicher de Ouonon entièrement consacré à l'oignon. Les étudiants du GCIUS de l'Université de Sherbrooke ont financé, avec l'aide de l'organisation UNITerra, et conçu ce projet, réalisé avec la participation d'AVN et des maçons nubiens.

Ce projet pilote consacré à la conservation de l'oignon est l'occasion de tester les performances hygrothermiques des VN et leurs avantages pour la conservation des oignons. Pour cela des sondes sont installées dans différents types de bâtiments de conservation et des groupes d'oignons test y sont disposés.

Trois bâtiments sont construits avec la technique VN. Un bâtiment de conception classique avec un enduit en terre, un autre en latérite, protégé d'une arcade et composé de nombreuses ouvertures, dont des ouvertures zénithales et un troisième de même type que le second, muni d'un système d'extraction d'air alimenté par des plaques photovoltaïques.



Bâtiments de conservation de l'oignon en voûtes nubiennes à Ouonon

Les bâtiments sont remplis d'oignons au cours du mois d'avril et peuvent être conservés jusqu'au mois de septembre. Un responsable de la coopérative, membre de la SEMUS, est en charge du remplissage progressif des bâtiments, du triage hebdomadaire des oignons qui garantie leur bonne conservation, etc.. L'objectif est de mettre en place un Comité de gestion des bâtiments au sein des membres de la coopérative qui organisera les journées de triage, leur fréquence, etc... et sera en charge de la gestion des entrées et sorties des denrées par maraîchers.

⁵ Annexe : Fiche-visite Oignons OUONON

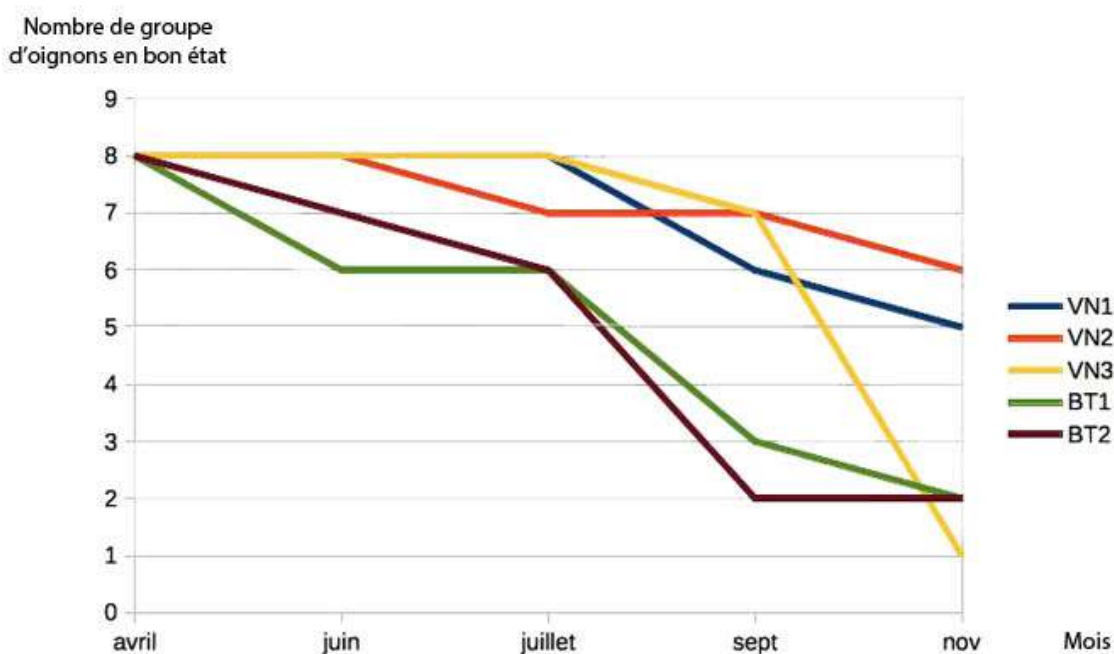


Conservation des oignons dans une voûte nubienne à Ouonon en avril 2015

Cette saison 2015, le warrantage a été mis en place en partenariat avec une caisse populaire paysanne, l'UBTEC. Le warrantage est le prêt aux paysans par la caisse populaire, de l'équivalent du prix de leurs récoltes qui sont enfermées dans des silos durant plusieurs mois. A l'issue de ce délai, les paysans récupèrent leurs denrées dont le prix a augmenté sur le marché et font une plus value qui leur permet de rembourser le prêt et de faire un bénéfice.

Le warrantage ne se pratique que très rarement pour les produits maraichers car il est très difficile de garantir leur conservation sur plusieurs mois. On retrouve habituellement ce type de prêt avec les céréales dont la conservation est plus aisée.

Réaliser le warrantage pour l'oignon est donc une première qui atteste de la performance des bâtiments VN. Les études réalisées par le GCUIS ont permis de confirmer ces performances.



Conservation de groupes d'oignons dans différents bâtiments

On observe qu'un plus grand groupe d'oignons est conservé dans les bâtiments VN (VN1, VN2, VN3) que dans les bâtiments en terre et toiture paille (BT1 et BT2). Le cas de la VN3 semble incohérent et peut s'expliquer par un mauvais triage des oignons, provoquant la perte de tout le groupe très rapidement.

D'une manière générale, les voûtes nubiennes permettent d'écarter le pic de chaleur du milieu de journée. Mais la conception soignée de ces bâtiments permet de valoriser la protection contre le soleil et l'évacuation de la chaleur accumulée tout au long de la journée.

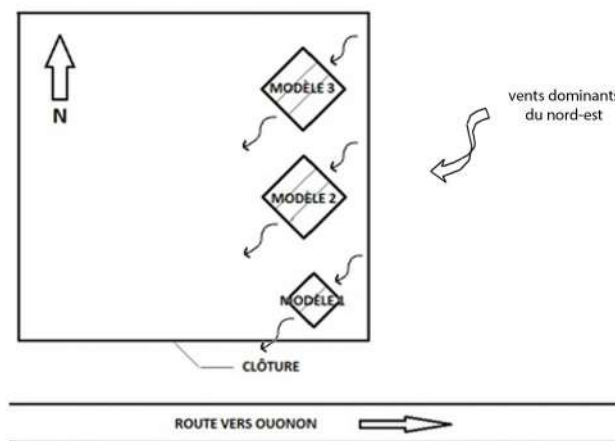


Protection des façades sud-ouest



Huisseries

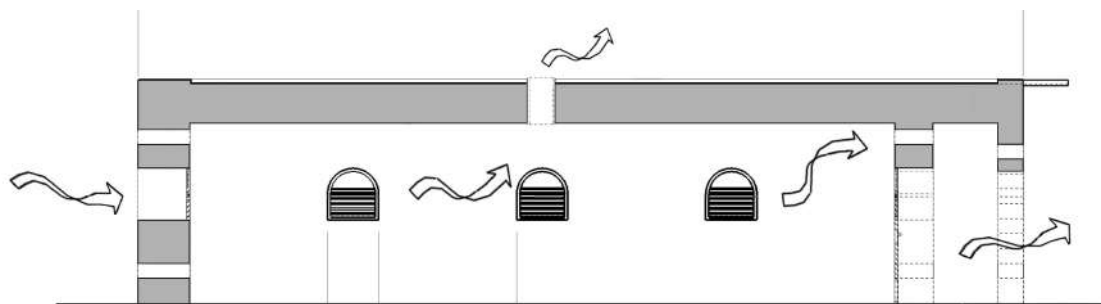
Les avancées de voûte sur les façades sud-ouest des deux bâtiments en latérite permettent de protéger ces façades fortement exposées au soleil. Les nombreuses petites ouvertures permettent de dissiper la chaleur accumulée par le mur. De plus, les huisseries métalliques composant les ouvertures sont positionnées au nu intérieur des murs les protégeant ainsi du soleil et réduisant leur échauffement.



Plan d'implantation des bâtiments de conservation de Ouonon ⁶

Ensuite, les bâtiments ont été orientés en fonction des vents dominants pour maximiser l'entrée d'air. De nombreuses ouvertures ont été positionnées sur les différentes façades, des fenêtres et des petites ouvertures basses et en toiture pour créer des courants d'air et évacuer la chaleur.

⁶ Reprise des documents produits par le GECIUS



Coupe est-ouest sur les bâtiments de conservation en latérite de Ouonon⁷

Pour valoriser la ventilation, des systèmes d'extraction d'air, alimentés par des panneaux solaires ont été mis en place sur un des bâtiments en latérite. Des tests ont été faits pour établir à quels moments la ventilation passive (ouverture des huisseries) et la ventilation mécanique (extracteur d'air) sont les plus efficaces. A une certaine période on ouvre toute la journée pour favoriser la ventilation, à une autre on se protège de la pluie et de l'humidité, à une autre on ventile la nuit seulement...

La gestion des bâtiments de conservation s'adapte donc aux saisons et aux aléas des éléments naturels. C'est pour cela qu'un gardien vivant sur place est absolument nécessaire. Un gardien, actuellement payé par le GCIUS, gère la ventilation et assure la sécurité et l'accès aux silos. L'objectif est que à terme, il soit payé par les maraîchers membres de la coopérative, au travers du comité de gestion.

Les coûts ont été de 35 000 Euros, soit 23 000 000 Francs CFA pour la construction des 3 bâtiments, l'achat et fabrication des étagères métalliques, la mise en place du matériel de rafraîchissement mécanique (extracteurs d'air, panneaux solaires). C'est le GCIUS et Unitertra qui ont financé le projet et qui payent aujourd'hui le gardien, indispensable au bon fonctionnement des bâtiments.

La culture des oignons nécessite un investissement pour l'achat des plants et de la fumure naturelle de celle produite par les maraîchers n'est pas suffisante.

Pour les maraîchers, l'investissement se mesure en temps et en énergie. Ils ont été chercher les matériaux nécessaires à la construction et les ont apporté sur le site. : cailloux sauvages trouvés en brousse, terre du bas-fond le plus proche, sable, terre de termitière... Ce travail qui a eu lieu au mois de septembre et octobre est un investissement car il remplace certains travaux champêtres, notamment les récoltes des céréales.

Ce prototype de magasin de conservation d'oignon semble performant. Les cultivateurs sont pour le moment satisfaits et expriment le souhait d'avoir plus de bâtiments de ce type. Le frein principal est l'investissement financier, et le coût en temps et en énergie. De plus, la mise en place du warrantage cette saison est un bon augure, mais il est nécessaire d'avoir plus de recul sur le fonctionnement et la gestion de ces bâtiments.

On pourrait imaginer certaines améliorations, notamment au niveau du système de stockage et de la ventilation. Les étagères métalliques ont été un coût considérable en proportion du prix des constructions. Mais les alternatives sont peu variées, le bois, des niches dans les murs... Cette question nécessite d'être approfondie et permettrait d'améliorer d'autres types de projets.

Les deux bâtiments de latérite sont composés de 3 voûtes collées et la voûte du milieu est ouverte sur seulement 2 façades. Des ouvertures entre les 3 voûtes auraient permis de les ventiler de manière plus intense.

b/ Silo de conservation de l'anacarde à BREGADOU

⁷ Reprise des documents produits par le GECIUS

L'association Wouol achète et transforme les mangues et anacardes de groupements de producteurs qu'ils accompagnent. Elle aide les producteurs à se former aux techniques de culture équitables et achètent leurs produits à un prix valorisant. De plus, les femmes sont employées dans les unités de transformation et ont un travail tout l'année.

Le projet d'un bâtiment de conservation de l'anacarde en voûte permet de gérer les stocks d'anacarde pendant et après la période de récolte et ainsi de faire fonctionner les unités de transformations et de vendre toute l'année. L'association possède 2 bâtiments en ciment et tôle et un bâtiment en voûte nubienne.



Façade nord du bâtiment de conservation de l'anacarde pour l'Association Wouol à Bérégadougou

Le bâtiment VN est composé de 3 voûtes collées, séparées en 3 compartiments par des arcs laissés ouverts. Les façades est et ouest sont ouvertes de grandes portes métalliques et les façades nord et sud sont ouvertes de portes et fenêtres.

L'ensemble de ces ouvertures, entre les différents compartiments et vers l'extérieur permet une ventilation importante lors des grosses chaleurs d'avril et cela sur la longueur des voûtes et entre elles. Elles sont orientées dans le sens des vents dominants pour que les ouvertures principales en pignon évacuent le maximum de chaleur.



Stockage de l'anacarde pour l'Association Wouol à Bérégadougou

La gestion de ces ouvertures participe au bon fonctionnement du bâtiment et à la valorisation des atouts de la voute concernant le confort hygrothermique. En effet, en période de grosse chaleur, les portes sont maintenues closes durant toute la journée pour se protéger de la chaleur et au petit matin, elles sont ouvertes quelques heures pour l'évacuer. En période d'hivernage, c'est de l'humidité que l'on se protège.

Le grand nombre d'ouvertures permet de plus un accès aux compartiments à différents niveaux pour faciliter le chargement et déchargement des denrées.

Récolte anacarde	Stockage anacarde	VOUTE	Déstockage anacarde	Transformation anacarde
mars	>	>	>	janvier

Récolte anacarde	Stockage anacarde	TOLE	Déstockage anacarde	Transformation anacarde
juin	>	>	>	septembre

Chronogramme d'utilisation des différents bâtiments de stockage

La récolte commence au mois de mars et se termine au mois d'août. Les bâtiments sont remplis de sacs de jute contenant l'anacarde récolté auprès des producteurs membres de l'association. On stocke l'anacarde premièrement dans la VN, puis lorsqu'elle est pleine, on stocke dans les bâtiments en tôle. Les sacs sont marqués et datés pour maîtriser le déstockage et faire en sorte que les sacs restent le moins longtemps possible dans les bâtiments en tôle.

D'une manière générale, les voûtes nubiennes permettent des conditions de stockage globalement fraîches et surtout elles écrètent le pic de chaleur des journées chaudes, tant nuisibles à la qualité des anacardes. La conception de ce bâtiment, permet de valoriser la protection contre le soleil et l'évacuation de la chaleur accumulée tout au long de la journée.

La transformation de l'anacarde nécessite la mise en place de fours, décortiqueuses, salles de tri, etc... Ce sont des organisations souvent associatives liées à des producteurs individuels avec qui ils travaillent de concert.

Les producteurs ont des systèmes de stockage à leur échelle avant que l'association ne vienne récupérer les récoltes, et les stocker dans leurs locaux en attendant la transformation. Nous avons très peu d'informations sur ces petites unités de stockage et sur la pertinence de positionner la VN. Ce sera pour eux un important investissement de temps et d'énergie pour obtenir ces un stockage efficace, cela en vaut il la peine sachant qu'il existe ce type de bâtiments à l'échelle de l'association ?

Ce prototype de magasin de conservation de l'anacarde semble performant. Les membres de l'association sont satisfaits mais déplorent l'important entretien que nécessitent ces bâtiments.

Peu après la construction de la voûte, ils ont construits de nouveaux bâtiments de stockage mais en tôle. Pourquoi ne pas avoir répété l'expérience VN ? Question de temps de construction, d'entretien... Il semble nécessaire de pouvoir mieux identifier les freins à la construction des VN. La question de l'entretien est déjà en partie solutionnée par les enduits goudron notamment ce qui permet une meilleure pérennité et un moindre entretien des bâtiments.

c/ Poulailier à DEDOUGOU

Description des bâtiments : docs graphiques, photos, période d'utilisation

Description des usages : gestion, comportements

Interview qui compare les usages, Seri de Lapara

d/ Porcheries à OUESSA et GUEGUERE

Description des bâtiments : docs graphiques, photos, période d'utilisation

Description des usages : gestion, comportements

Interview qui compare les usages, Seri de Lapara

5/ Le rafraîchissement dans le bâti VN

La technique ou technologie VN a des avantages thermiques qui peuvent être valorisés pour répondre à différents besoins et notamment ceux liés à l'agriculture et à l'élevage.

Comme nous l'avons vu, les bâtiments en voûte peuvent être améliorés par des techniques de rafraîchissement passif ou mécanique. Ces systèmes seront d'autant plus efficaces si ils sont pris en compte en amont, dès la conception. L'environnement du bâtiment, son implantation, son organisation et sa gestion par les usagers sont des points qui peuvent sensiblement faire varier les performances des voûtes nubienues.

On peut intervenir à différents niveaux pour mettre en place ou faciliter le rafraîchissement du bâti VN : - sur l'environnement du bâtiment

- sur l'architecture, l'organisation du bâtiment lui-même
- sur les ouvertures et leurs usages
- sur les systèmes mécaniques de rafraîchissement

a/ La conception à l'échelle de l'environnement du bâtiment

L'environnement du bâtiment est le premier élément influençant le confort dans un bâtiment. En effet les éléments naturels peuvent être utilisés dès les abords du bâti pour se protéger du soleil ou pour favoriser la circulation des vents.

- Se protéger du soleil

La première posture à adopter est de se protéger au maximum des rayons du soleil. Pour cela et cela avec des masques bâti ou végétaux

Orientation est-ouest des façades pour minimiser le rayonnement solaire sur les façades.

Masques bâti et masques végétalisés

pour minimiser l'entrée de chaleur, façades orientées,

INSTRUMENTATION BUREAUX AVN, arcades, manquiers, orientation...

- Capter les vents dominants

l'orientation pour valoriser l'accès aux vents (Ouonon, hôtel 1 et hôtel 2)

b/ Une architecture favorisant le confort des usagers

- la posture du bâtiment par rapport au sol, (bureaux, caves de conservation, etc...)
- les espaces extérieurs (arcades, couloirs (Hôtel VN, Ouonon...)
- les bâtiments compacts et à étages (Hôtels, maison de Seri)

INSTRUMENTATION CHAMBRE BEN, étage et mitoyennes...

- l'organisation des espaces intérieurs au service de la ventilation. (chambre ben, escalier)

c/ Les ouvertures et leurs usages au service du rafraîchissement

- la position des ouvertures, (au nu intérieur du mur, OUONON, portes qui s'ouvrent chambre BENOIT)
- la ventilation passive (fenêtres traversantes, grandes aérations, BEREGADOUGOU, OUONON)

INSTRUMENTATION CHAMBRES HOTEL, ventilation nocturne...

- les ouvertures zénithales, pistes à lancer...

d/ Les systèmes de ventilation mécanique

Description des méthodes :

SPITS, SPITZ solaire, Puits canadiens, Systèmes adiabatiques (évaporation), Tours à vent, Clim solaire, batterie, électricité, Systèmes par absorption, Armoires froides, Froid radiatif