

ÉCOCONSTRUCTION EN VOÛTE NUBIENNE DANS LES RÉGIONS SAHÉLIENNES ET RÉGIONS AFRICAINES DE CLIMAT SEC





Au moment où le monde doit faire face à des besoins grandissants d'infrastructures et à la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) qui y sont associées, la Groupe AFD est résolument engagé aux côtés des pays émergents et en développement en faveur de la transition énergétique.

Cette transition ne reposera pas seulement sur le développement des capacités de productions d'énergies renouvelables mais aussi sur l'application de mesures d'efficacité énergétique, en particulier dans les bâtiments, qui représentent aujourd'hui 40% des émissions totales de GES. Ces mesures mobiliseront les nouvelles technologies, encore parfois couteuses et émettrices de GES, mais aussi des modes de construction peu onéreux, à faible impact environnemental et mobilisant les savoir-faire et matériaux locaux.

C'est le cas de la voûte nubienne, mode de construction originaire de Nubie datant de l'Antiquité. Depuis 10 ans, l'Agence française de développement soutient l'Association la Voûte Nubienne et son programme pour diffuser à grande échelle cette architecture alternative dans les pays de la frange sahélienne. Reflet d'un savoir-faire ancestral, cette technique d'écoconstruction bas-carbone a permis aux populations sahéliennes de concevoir et de construire de véritables bijoux architecturaux, adaptés

à un environnement aux conditions climatiques extrêmes. Permettant une consommation énergétique réduite pour un confort d'utilisation satisfaisant, une bonne résistance aux pluies et vents violents, des coûts de construction inférieurs ou équivalents à ceux des autres types de construction, des coûts de maintenance maîtrisés et une esthétique incomparable, cette technique de construction reste résolument moderne.

L'Agence française de développement est fière de s'associer à la préparation et la diffusion de ce guide, co-rédigé par l'Association la Voûte Nubienne et les équipes du **Programme d'efficacité énergétique dans les bâtiments (PEEB)**. Ce guide vise à encourager les maîtres d'ouvrage, les chefs de projet et les acteurs du secteur de la construction travaillant en Afrique subsaharienne à redécouvrir l'art de bâtir et de couvrir en utilisant l'un des plus anciens matériaux de construction au monde : la terre.

Emmanuel Baudran

*Directeur exécutif adjoint,
Agence Française de Développement*



Le PEEB, un partenariat européen pour l'efficacité énergétique des bâtiments

Le Programme pour l'Efficacité Énergétique des Bâtiments (PEEB) est une initiative franco-allemande lancée en 2016 à la COP22 à Marrakech sous l'égide de l'Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (GlobalABC).

Le PEEB est mis en œuvre conjointement par l'AFD, la GIZ et l'ADEME depuis 2018. Le programme combine l'expertise de ces trois agences de mise en œuvre (financement de projets, appuis aux politiques publiques et renforcement de capacités des acteurs du bâtiment).

À travers de l'assistance technique et des financements ciblés, le PEEB a apporté une assistance technique et des financements à :

- **50 grands projets de construction ou de rénovation de bâtiments dans 30 pays ;**
- **l'élaboration et l'application de codes pour la construction durable** au Maroc, au Sénégal et en Tunisie, complétées de guides sectoriels, de formations, des solutions IT ;
- **la révision des réglementations de construction et l'élaboration de guides techniques** pour le secteur hôtelier au Mexique et le secteur hospitalier en Tunisie ;
- le développement de **programmes nationaux de promotion des bâtiments verts** en Indonésie, au Maroc, en Turquie et au Vietnam.

En 2022, le programme monte en puissance en impliquant de nouveaux donateurs et en mettant en place des incitations financières (subventions d'investissement et prêts concessionnels). Dans ce contexte, 4 nouvelles initiatives sont lancées : PEEB Cool, PEEB Med, PEEB ASEAN et PEEB Outre-Mer. Sur financement du Fonds Vert pour le Climat, de l'Union européenne, de l'AFD, du Fonds Français pour l'Environnement Mondial, du gouvernement allemand (BMWK) et du Fonds Outre-mer, ces initiatives ambitionnent d'accompagner la réalisation de projets de constructions durables, mobilisant un volume de financement de 1,7 Md €.

Résumé

Le Programme pour l'Efficacité Énergétique des Bâtiments (PEEB) se joint à l'Association la Voûte Nubienne (AVN) pour présenter la technique de construction en voûte nubienne, qui apporte une réponse concrète aux enjeux environnementaux, sociaux et économiques dans de nombreuses régions d'Afrique. Cette technique de construction peut être intégrée aux projets AFD dans les régions éligibles.

Les bâtiments construits en voûte nubienne présentent les bénéfices suivants :

- **Atténuation des changements climatiques** avec une construction durable et bas-carbone utilisant des matériaux locaux.
- **Adaptation des changements climatiques** avec des bâtiments offrant un confort thermique satisfaisant en cas de fortes chaleurs.
- **Accès à des bâtiments robustes, abordables et à faibles coûts d'entretien** pour différents secteurs d'activités (logements, écoles, centres de santé, bureaux, greniers, ateliers, marchés, etc).
- **Renforcement du tissu économique local** : formation professionnelle, chantiers à haute intensité de main d'œuvre, mobilisation d'acteurs locaux dans le cadre de projets de construction.

Parmi les **avantages** de cette technique, les points suivants sont soulignés :

- Elle est plus économique qu'une construction conventionnelle en béton à l'investissement (entre 20 et 40 % moins cher sur le gros-œuvre) et à l'usage, en raison de meilleures conditions thermiques intérieures.
- Les bâtiments sont étanches à l'eau de pluie et régulent l'humidité ambiante.

- Différentes configurations architecturales intérieures et extérieures sont possibles pour différents usages (cf. partie 1.1).
- L'Association la Voûte Nubienne dispose d'une expérience dans la dissémination du savoir-faire technique et d'une expérience significative sur différentes applications spécifiques de la technique. Elle peut tenir le rôle d'assistance à maîtrise d'ouvrage.
- La construction en voûte nubienne peut créer des emplois artisanaux en contre-saison pour les jeunes ruraux.

La check-list sommaire suivante résume les **contraintes** à connaître avant intégration du mode constructif voûte nubienne dans un projet de construction :

- ✓ Faisabilité conditionnée dans certaines régions d'Afrique par la pluviométrie et les ressources en eau (cf. carte en partie 2.3).
- ✓ Largeur des bâtiments de 3,3 mètres maximum, longueur non contrainte.
- ✓ Si la construction d'un étage (R+1) a déjà été largement validée, il n'existe pas d'exemple de construction en R+2 ou R-1 mais des expérimentations sont possibles.
- ✓ Les zones inondables ne sont pas éligibles.
- ✓ Présence dans la région d'une filière avec des artisans et entrepreneurs formés à la technique, ou région présentant un potentiel de développement de la filière (cf. carte en partie 2.3).

07 Historique de la technique de construction Voûte Nubienne



08 Pertinence de la technique constructive

- 10 Typologie de bâtiments
 - 17 Concept architectural
 - 18 Possibilités techniques
 - 21 Résistance d'une construction Voûte Nubienne
 - 22 Coûts et délais de production estimatifs
 - 23 Performances thermiques, hygrométriques et environnementales
 - 23 Possibilités de techniques complémentaires
-



24 Zones d'intervention et capacité de production

- 26 Géographie
 - 26 Disponibilité d'un tissu d'entreprises et d'une main d'œuvre qualifiée
 - 27 Carte
-



28 Développement et structuration d'une filière Voûte Nubienne

- 30 Démarche d'AVN pour le déploiement de la filière Voûte Nubienne dans des régions sans filière existante
 - 32 Structure de la filière et des acteurs
-

33 Ressources grand public

34 Contacts



Greniers du Ramesseum - Égypte¹

Historique de la technique de construction Voûte Nubienne

Inventée pendant l'Antiquité en Nubie (actuels Haute-Égypte et nord Soudan) pour répondre à un manque de ressources ligneuses, et historiquement inconnue dans les autres régions africaines, la technique voûte nubienne permet de construire des habitations aux toitures voûtées montées sans coffrage, utilisant des matériaux locaux (principalement la terre), un outillage et des compétences techniques basiques. Après plus de 3500 ans, des voûtes antiques sont encore visibles aujourd'hui à Louxor, comme les greniers du Ramesseum.

Cette technique est identifiée dès les années 80 par l'ONG Development Workshop comme une réponse potentielle aux graves problèmes d'habitat et de construction auxquels sont confrontées les populations d'Afrique sahélienne.

L'Association la Voûte Nubienne (AVN) a été créée en 2000 par ses co-fondateurs Thomas Granier, artisan maçon français, et Séri Youlou, paysan bur-

kinabè, devant l'intérêt que présentait la technique. À la suite de tests au Burkina Faso, ils la simplifient et la standardisent afin de favoriser son appropriation par les populations locales et sa diffusion à grande échelle. Il en ressort une méthode épurée et frugale – le concept technique Voûte Nubienne (VN) – adaptée aux conditions climatiques et aux savoir-faire traditionnels des régions sahéliennes.

L'écoconstruction africaine Voûte Nubienne est donc à la fois ancestrale et innovante par ses origines et sa capacité à répondre aux nombreux défis actuels (démographie, adaptation et résilience climatique, renforcement économique, formation professionnelle adaptée et employabilité, etc.). Ses nombreux avantages en font, à ce jour, l'une des techniques d'écoconstruction les plus prometteuses pour répondre à la nécessaire évolution des secteurs de la construction et du logement en Afrique.

¹<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02320382/document>





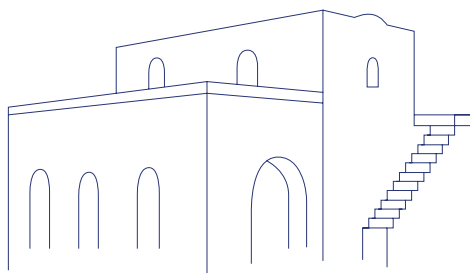
**Pertinence
de la technique
constructive**

Partie

01



Typologie de bâtiments



Liste non exhaustive de projets de construction démonstratifs réalisés dans le cadre du programme d'AVN :



➤ Santé

Type de bâtiments

- Centres de santé communautaire
- Postes de santé avancés
- Maternités
- Logements infirmiers et matrones
- Extensions d'hôpital



➤ Agriculture et développement local

Type de bâtiments

- Bâtiments d'élevage (poulailler, porcherie, etc.)
- Bâtiments de transformation et de commercialisation (jatropha, mangue, miel, anacarde, filature, karité, etc.)
- Bâtiments de stockage et warrantage (oignons, échalote, pomme de terre, mil, maïs, noix de cajou, coton, etc.)
- Boutiques
- Ateliers (soudure, mécanique, production de glace, etc.)
- Hôtels



➤ Éducation

Type de bâtiments

- Salles de classe (3 modèles :
45-60 élèves, 25-30 élèves,
2 x 25-30 élèves)
- Centres culturels



➤ Administratif et communautaire

Type de bâtiments

- Bureaux
- Hôtels départementaux
- Bibliothèques
- Centres multiservices
- Bâtiments religieux (mosquées, églises, salles de prière, tata somba)



➤ Résidence (modulable)

Type de bâtiments :

- Maisons privées (milieux rural et urbain)
- Logements sociaux (projets démonstratifs)
- Abris PDI (Populations Déplacées Internes)
- Bâtiments R+1

Exemples de réalisations

Liste de principaux programmes intégrés de construction
conséquents déjà réalisés :



© Rasca Production / Martin Demay

➤ UN-HCR

Burkina Faso

(Kaya – Région Centre Nord)
Cité pour PDI - 160 bâtiments
4000 m²

<https://bit.ly/30mAzp2>



➤ PATRIP - WHH

Mali et Burkina Faso

60 bâtiments communautaires
sur 10 communes - 3000 m²

<https://bit.ly/30qhvX3>



➤ WHH - SOS SAHEL

Burkina Faso (Région Centre Nord)
50 poulaillers à usage familial - 750 m²



➤ GERES

Mali
6 Zones d'Activités Électrifiées
(ZAE) - 2400 m²

<https://bit.ly/3N40miJ>



➤ Maison des Yvelines

Sénégal (Département de Matam)
Complexe administratif incluant
des bureaux, salles de réunion,
logements, etc.
600 m²

<https://bit.ly/3QurQD9>



➤ Hôtel départementaux

Sénégal (Départements de Podor, Kanel, Matam)

3 hôtels départementaux achevés
ou en chantier



➤ Maison des Énergies de la Région Rhône-Alpes

Sénégal (Département de Kanel)

Garages, hôtel, bureaux, salle de classe,
ateliers de travail, etc.
700 m²



➤ Dubaï Charity Association

Mali (Cercle de Dioila)

Programme d'habitat villageois
50 maisons - 1500 m²

<https://adobe.ly/3xxR2Qu>



➤ Dubai Charity Association

Mauritanie (Diakré)

Programme de relogement des réfugiés
50 maisons - 1500 m² + bâtiments commu-
nautaires

<https://bit.ly/3zHtHhO>



➤ Coopération polonaise

Burkina Faso (Région Nord)

Don de maisons aux personnes
vulnérables
60 maisons - 1800 m²

<https://bit.ly/3xwqVct>



➤ AWAC - SOS Faim Belgique

Burkina Faso (Région Nord)

Bâtiments au profit de groupements
de producteurs



➤ Danish Refugee Council

**Burkina Faso (Régions Nord
et Centre Nord)**

60 abris PDI - 1500 m²



➤ AVSF

Mali (Région de Mopti)

10 bâtiments agricoles de stockage 500 m²

<https://bit.ly/3zIGAlo>



➤ BIT

Mauritanie

Salles de classe réalisées par l'architecte
Mathieu Hardy (Bureau d'études Al Mizan
Sahel)

Cette architecture, qui permet des constructions en R+1 et l'utilisation des toitures terrasse, s'inscrit facilement dans des projets évolutifs.

Diagramme technique d'un bâtiment en terre crue montrant les différentes couches de construction et les matériaux utilisés. Le diagramme illustre une coupe transversale d'un bâtiment à deux niveaux, avec une section en arc de voûte. Les matériaux et les techniques de construction sont indiqués par des étiquettes et des lignes de pointage.

Étiquettes et descriptions :

- couronnement d'acrotère renforcé béton armé ou dalles préfabriquées (optionnel) :** Indique la finition supérieure du mur.
- étanchéité de la toiture terrasse :**
 - enduit anti-érosif terre/sable stabilisé au goudron
 - bâche plastique
 - couches de terre
- gouttières :** Indique les systèmes de drainage de la toiture.
- enduit traditionnel à base de terre / enduit anti-érosif stabilisé au ciment ou au goudron :** Indique la finition extérieure des murs.
- contrefort maçonné (mise en charge de la voûte) :** Indique la structure de soutien pour la voûte.
- petites adobes (briques de terre crue) :** Indique les briques utilisées pour la construction.
- adobes (briques de terre crue) / adobes + adobes surfaces cailloux (ASC) / adobes + blocs de latérite taillée (BLT) :** Indique les matériaux utilisés pour les murs et les fondations.
- fondation béton de terre cyclopéen ou pisé si absence de cailloux :** Indique la base du bâtiment.
- piéd de mur renforcé (optionnel) :** Indique la base renforcée du mur.

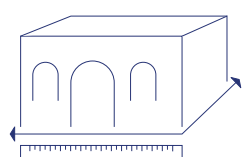
Pour complément d'information, les étapes et techniques de construction en Voûte Nubienne sont illustrées de manière simple dans le document suivant :



Étapes et techniques d'une construction en voûte nubienne

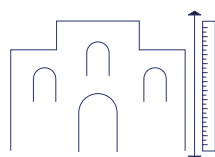
Possibilités techniques

Les points suivants montrent les possibilités architecturales en construction Voûte Nubienne.



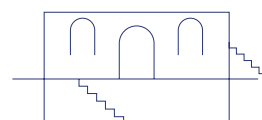
Largeur et longueur des constructions

Dans l'approche du concept standard simplifié par AVN, une voûte ne peut pas dépasser 3,30 m de large. Les murs porteurs ont une épaisseur de 60 cm, ce qui leur permet de supporter les contraintes de traction et de compression pour des voûtes de cette largeur. Plusieurs voûtes peuvent être reliées latéralement par des arcs ou des systèmes poteaux-poutre béton pour agrandir des pièces en largeur. Il n'y a pas de contrainte de longueur.



Hauteur des constructions

Hormis pour certains ouvrages particuliers qui nécessitent des hauteurs importantes (salles de classe), les hauteurs courantes intérieures sous voûtes se situent entre 3m15 et 3m50.



Étages et sous-sols

Il est possible de construire en étage. Il n'existe pas d'exemple de construction Voûte Nubienne en R+2 hors minaret et clocher mais des expérimentations sont possibles. La mise en œuvre de R-1 en construction enterrée demanderait des surcoûts importants afin d'étanchéifier les surfaces enterrées, mais rien ne l'empêche techniquement.



Espace ouvert entre les voûtes grâce à des arcs en bloc de béton plein pour une salle de classe d'une longueur de 9m50 et d'une largeur de 6m50.

Exemples de construction avec étage.



Toiture terrasse : la statique du concept technique Voûte Nubienne permet aux toitures terrasses de supporter des charges importantes. La donnée de charge acceptable est considérée comme étant sensiblement égale à celle d'un bâtiment conventionnel poteau poutre et dalle béton (environ 150-250kg/m²).

Ouvertures : les murs porteurs en adobes recevant les voûtes permettent des ouvertures limitées, à savoir +/- 30 % de vide pour 70% de plein. Si besoins, ces ratios peuvent être augmentés au bénéfice de plus d'ouvertures en employant des matériaux offrant une résistance à la compression plus élevée que les adobes (blocs de ciment, pierre taillée, etc.) et en vérifiant les hypothèses structurelles. Les murs pignons et les cloisons intérieures supportent de larges ouvertures en arc sans contraintes particulières.

Vue intérieure d'un bâtiment Voûte Nubienne avec de larges ouvertures « renforcées » dans les porteurs.



Exemple de toiture terrasse.



Résistance d'une construction Voûte Nubienne



Inondations et érosion des surfaces extérieures

Les propositions techniques d'AVN, si elles sont bien mises en œuvre, permettent de construire dans des régions subissant des pluviométries allant jusqu'à 1100 mm/an. Deux considérations importantes sont à intégrer :

Gestion des eaux de pluie

L'étanchéité de la toiture se fait par saturation en eau d'une couche de terre argileuse damée et est garantie par une bâche plastique en sous-couche. Une incidence sur les toits terrasses draine les eaux de pluie vers un système de gouttières permettant leur évacuation. Il est recommandé, pour les bâtiments urbains, administratifs ou communautaires, l'usage d'enduits antiérosifs stabilisés au bitume en toiture et d'enduits ciment ou stabilisés au bitume sur les murs extérieurs, ainsi que le renforcement des acrotères et des pieds de murs.

Les propositions techniques d'AVN permettent la mise en œuvre de ces protections des surfaces extérieures pour des surcoûts raisonnables.

Inondations et eau stagnante

L'architecture Voûte Nubienne, comme la plupart des autres propositions architecturales, n'est pas adaptée aux zones inondables ou aux bas-fonds. Il n'est donc pas envisageable de construire dans ces zones. Le concept technique Voûte Nubienne, lourd, essentiellement bâti en terre crue, est particulièrement sensible à la stagnation des eaux de pluies en périphérie des bâtiments. Ces stagnations sont absorbées par les ouvrages en terre par capillarité, fragilisant ainsi les fondations, les murs, et la statique générale des constructions. Plusieurs sinistres ont été constatés, tous liés à d'importantes stagnations d'eau de pluie à moins de 2 mètres des bâtiments. Ces stagnations étaient causées par une mauvaise implantation du bâtiment ou des problèmes d'évacuation d'eau.

Le travail de formation des acteurs de la filière Voûte Nubienne et de sensibilisation des différentes clientèles et maîtres d'ouvrages, associé à l'expérience d'AVN et à des opérations de contrôle des lieux d'implantation des chantiers par des maçons référents, permet d'anticiper ces risques.

Maintenance, entretien et durabilité

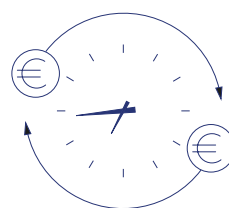
Les propositions techniques développées par AVN présentent une résistance à l'érosion et aux événements extérieurs sur des périodes comprises entre 15 et 30 ans, périodes après lesquelles des travaux de maintenance sont nécessaires sur les postes de revêtements extérieurs et de protection. En raison du caractère émergent de la filière Voûte Nubienne, le contrôle-qualité basé sur la déontologie des maîtres d'œuvre et des artisans et entreprises intégrant les règles de l'art Voûte Nubienne, produites et mises à disposition par AVN (cf. **Manuel du Maçon Nubien**, en voie d'homologation au Sénégal), constitue la principale garantie du bon achèvement des travaux et de la durabilité des bâtiments. Les défauts constatés pendant la durée de vie d'un bâtiment Voûte Nubienne ne sont pas plus importants que ceux constatés dans la durée de vie d'autres types de constructions. AVN a des capacités de contrôle, de suivi et d'intervention en cas de pathologies dans les géographies où la filière est développée.

Manuel du Maçon Nubien





Coûts et délais de production estimatifs



Les chiffres suivants sont issus du retour d'expérience d'AVN

Coût de construction (gros œuvre, finitions, AMO, MOE) :

Sur le marché formel, la construction Voûte Nubienne revient à environ **20 à 40% moins chère qu'une construction « classique » sur le gros œuvre**. Cela s'explique principalement par l'utilisation de matériaux locaux et par le coût croissant des matériaux d'importation. Cette technique frugale n'utilise pas d'engins de chantier motorisés.

Concernant le second-œuvre (menuiseries, carrelages, électricité, plomberie, peinture, etc.), il n'y pas de différence de coût ni d'usage.

En résumé, la quasi-totalité des coûts de gros œuvre d'une construction Voûte Nubienne se divise entre les coûts de main d'œuvre et de matériaux locaux.

Coûts de maintenance :

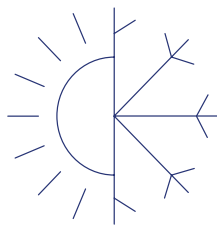
Les retours d'expérience montrent que si les travaux sont effectués selon les bonnes pratiques de construction Voûte Nubienne, il n'y a pas plus de coûts d'entretien que sur un autre type de bâtiment.

Les **économies d'énergie** réalisées par l'absence ou la limitation de climatisation ou ventilation impliquent une **diminution notable et mesurable des coûts opérationnels** des bâtiments. En effet la construction Voûte Nubienne présente de bonnes performances thermiques qui s'expliquent par l'inertie des parois épaisses en terre crue et par leurs excellentes propriétés de régulation hygrothermiques des espaces intérieurs.

Délais de construction :

La durée de mise en œuvre d'un bâtiment (gros-œuvre + finitions) est estimée à entre **40 et 45 jours pour 50m² de surface habitable**, considérant une équipe de 6 à 7 personnes.

Performances thermiques, hygrométriques et environnementales



Confort thermique : Les performances thermiques passives de l'architecture Voûte Nubienne permettent d'écarter l'amplitude des températures moyennes annuelles de 6 à 7°C, une stabilité des températures intérieures et un confort thermique avéré. Cette forte inertie permet au bâtiment de libérer de la fraîcheur en journée et de la chaleur la nuit.

Les conditions hygrométriques sont plus performantes que dans une construction en béton classique (ressenti moins sec). Au-delà des importantes sensations de confort et des meilleures conditions sanitaires pour les habitants et les usagers, cela permet aussi :

- Une diminution, voire une absence, des besoins en climatisation/ventilation et des besoins énergétiques associés ;
- De meilleures conditions de conservation et de transformation de produits agricoles et d'élevage (des études comparatives encadrées mériteraient d'être menées) ;

- Une meilleure durabilité pour les batteries électriques en cas d'installation solaire.

La construction en terre crue permet de réduire considérablement l'utilisation de matériaux d'importation (ciment, tôle, acier, chevrons) à fort bilan carbone et de matériaux à forte empreinte environnementale (gravier, sable), et présente un bilan en énergie grise très satisfaisant. Ainsi les **bilans carbone et environnementaux des projets d'écoconstruction Voûte Nubienne sont particulièrement intéressants**. Selon un calcul estimé sur la base d'un protocole établi par *Myclimate*, une maison Voûte Nubienne de 25 m² et son usage pendant 30 ans permettent l'évitement de 20 tonnes eq. CO₂ et génèrent de nombreux co-bénéfices pour les communautés locales en termes d'adaptation et de développement.

Possibilités de techniques complémentaires

Les constructions Voûte Nubienne permettent d'obtenir des bâtis très esthétiques et confortables. Une construction Voûte Nubienne permet d'accueillir les mêmes techniques de second-œuvre qu'une construction en béton. Cela inclut :



Raccordement à un réseau d'eau et d'assainissement individuel ou collectif et installations d'équipements sanitaires classiques



Raccordement à un réseau d'électricité individuel ou collectif et installation d'équipements électriques classiques



Installations solaires thermiques et/ou photovoltaïques



Sécurité : portes et fenêtres fermées, escalier intérieur, clôture, etc.



Architecture interne et externe au goût de l'utilisateur (carrelage, plancher, enduits intérieurs, peinture, etc.)





Partie

02

**Zones d'intervention
et capacité
de production**

Le déploiement de chantiers en Voûte Nubienne dépend de deux principaux critères :



Géographie

La construction en Voûte Nubienne ne peut se faire que dans des zones climatiques à faible ou moyenne pluviométrie, ceci pour que les étapes de production des matériaux (briques de terre crue) et de construction du bâti ne soient pas entravées par des épisodes de pluie trop importants.

Par ailleurs, la construction Voûte Nubienne nécessite l'accès à des ressources en eau pas trop éloignées des chantiers.

Disponibilité d'un tissu d'entreprises et d'une main d'œuvre qualifiée

Les techniques Voûte Nubienne requièrent des savoir-faire spécifiques. Le secteur de la construction classique, dont le modèle économique est largement basé sur la revente des matériaux d'importation et s'inscrit dans une culture dominante du « tout béton », est difficile à mobiliser sur l'écoconstruction Voûte Nubienne.

Un enjeu fondamental du développement d'une filière Voûte Nubienne est la formation d'opérateurs de maîtrise d'œuvre et d'une main d'œuvre disposée à travailler le matériau « terre ».

Par ailleurs, la technique Voûte Nubienne étant aujourd'hui principalement déployée par le secteur informel, l'implication d'acteurs publics est essentielle pour passer la technique Voûte Nubienne à l'échelle en la diffusant sur les projets communautaires et/ou urbains dans une approche formelle.

AVN a démarré ce travail de structuration et d'élargissement de la filière dans certaines zones d'Afrique de l'Ouest. Cette approche est abordée dans la troisième partie de ce guide.

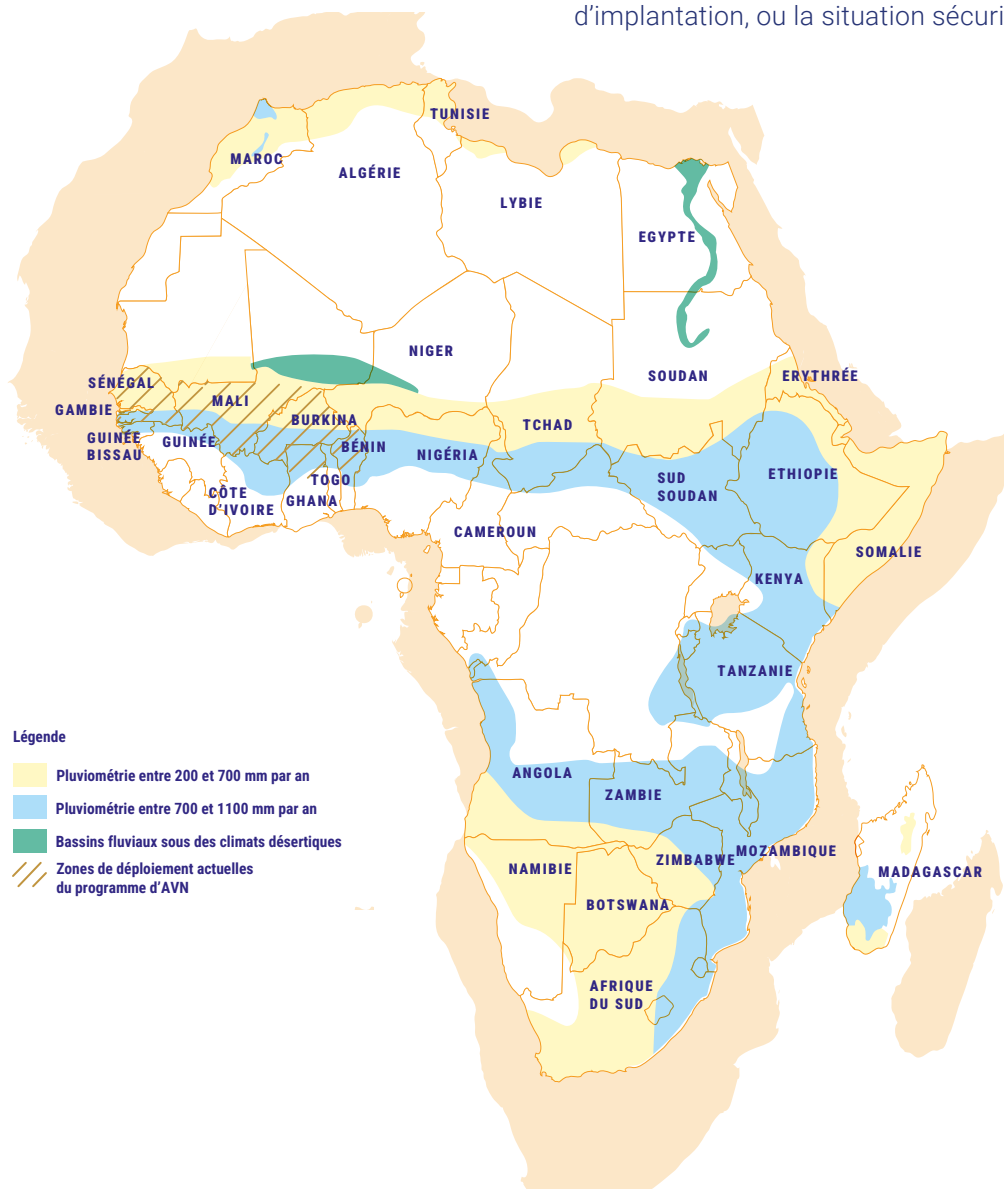


© Rasca Production / Martin Demay

Carte

Les zones de couleur jaune, bleue et verte sur la carte ci-dessous représentent différentes zones de pluviométrie et de disponibilité en eau, et sont propices à un déploiement d'une filière Voûte Nubienne à grande échelle. La zone hachurée indique les régions où une filière Voûte Nubienne a déjà été développée par AVN.

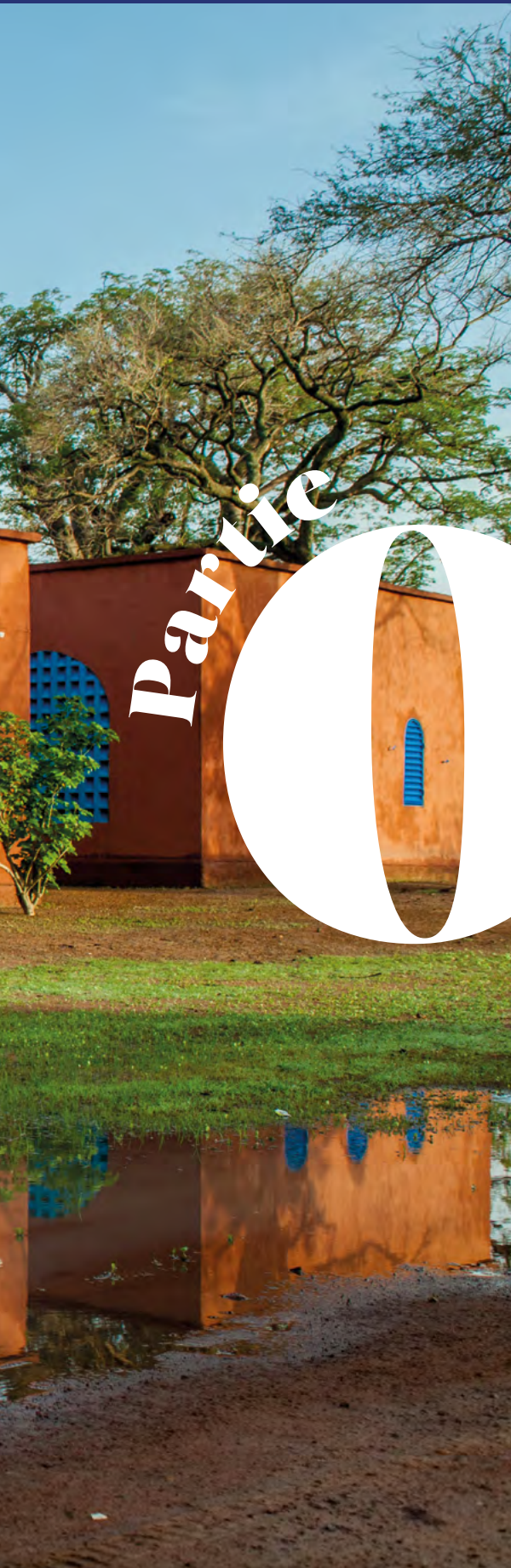
La faisabilité de construction d'un bâtiment en Voûte Nubienne dans une localité précise des zones favorables pourra ensuite être étudiée au cas par cas en fonction de critères plus fins tels que : la disponibilité des artisans et autres acteurs de la filière, la distance à un point d'eau, la qualité des terres de la zone, l'inondabilité du site d'implantation, ou la situation sécuritaire.



Dans les zones où une main d'œuvre est formée, les nombres d'artisans maçons Voûte Nubienne mobilisables sur place, avec leurs équipes, sont les suivants (chiffres donnés en janvier 2023) :

- **Sénégal** : une dizaine d'artisans maçons Voûte Nubienne pour une trentaine de chantiers par an (800 m²/an).
- **Mali** : 120 artisans maçons Voûte Nubienne pour 600 chantiers par an (10 000 m²/an).
- **Burkina** : 130 artisans maçons Voûte Nubienne pour 600 chantiers par an (10 000 m²/an).
- **Ghana** : une dizaine d'artisans maçons Voûte Nubienne pour une vingtaine de chantiers par an (800 m²/an).
- **Bénin** : une vingtaine d'artisans maçons Voûte Nubienne pour une centaine de chantiers par an (3000 m²/an).





Développement et structuration d'une filière Voûte Nubienne

Partie
03

Démarche d'AVN pour le déploiement de la filière Voûte Nubienne dans des régions sans filiale existante



Il est possible de mobiliser les acteurs pour la construction de bâtiments en Voûte Nubienne dans les régions où la filière est déjà structurée. Dans ce cas, des TDR-types de maîtrise d'œuvre peuvent être fournis et AVN peut être consultée pour de l'assistance à maîtrise d'ouvrage. Dans les régions où il n'y a pas de filière Voûte Nubienne, il est possible de lancer des « projets pilotes ». Cependant, en adéquation avec la stratégie d'AVN et pour répondre aux enjeux socio-économiques qui caractérisent les régions éligibles à ce mode constructif, il est très pertinent de viser une émergence et une structuration de la filière Voûte Nubienne, comme cela est détaillé ci-dessous.

En plus des bénéfices climat de la Voûte Nubienne (atténuation et adaptation), la création d'une filière permet de nombreux co-bénéfices sociaux et économiques en plus des bénéfices environnementaux exposés précédemment :

- **Une réponse aux besoins de logement décent et abordable** pour le plus grand nombre, tant en milieu rural qu'en milieu urbain ;
- **L'amélioration de l'accès aux services de base** pour les populations en favorisant le confort et la durabilité des bâtiments communautaires (santé, éducation, agriculture, administration, etc.) ;
- **L'emploi local et les emplois de contre-saison** sur les territoires ruraux avec une approche de chantiers à haute intensité de main d'œuvre (HIMO) ;

- **La formation professionnelle de jeunes ruraux** vulnérables et de professionnels du secteur de la construction, avec l'acquisition d'un savoir-faire ne nécessitant pas de compétences académiques avancées et en accord avec les enjeux climatiques actuels ;

- **La réinjection des coûts de construction dans les économies locales** par la forte diminution des besoins en matériaux d'importation.

Depuis sa création, AVN promeut le marché comme vecteur principal d'une diffusion à large échelle de l'écoconstruction bas-carbone Voûte Nubienne dans une approche *bottom-up*.

Cette dynamique de marché s'appuie sur trois axes principaux qui s'exécutent en parallèle :

- **Constitution d'une filière** capable de répondre aux clientèles rurales comme aux clientèles urbaines, dans leurs attentes tant informelles que formelles, ainsi que le développement des ressources humaines, parcours et outils pédagogiques spécifiques permettant le renforcement et la croissance de cette filière ;
- **Émergence et croissance d'une demande** élargie aux différentes typologies de clients et maîtres d'ouvrage ;
- **Mobilisation d'un environnement d'affaires pluri-acteurs** aux échelles régionales, nationales et internationales favorisant la croissance, l'autonomie et la pérennisation du marché Voûte Nubienne.

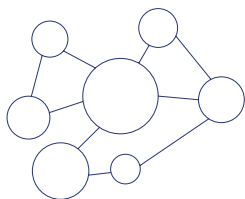


© Michele-Cattani

Pour faire émerger un marché Voûte Nubienne dans un pays où le programme d'AVN n'est pas encore déployé, avec les enjeux de formation et de structuration correspondants, il faut envisager une enveloppe estimée à un peu plus d'1 million d'euros sur 3 ans.

La méthodologie d'AVN, qui a pour objectif l'autonomisation de la filière, se structure de la manière suivante :





Structure de la filière et des acteurs

Afin d'assurer le développement et la complétude d'une filière Voûte Nubienne, AVN accompagne certains artisans Voûte Nubienne pour qu'ils soient reconnus sur les marchés formels, tout en mobilisant et formant des acteurs du secteur de la construction conventionnelle aux techniques Voûte Nubienne (techniciens, ingénieurs, architectes, entreprises de construction).

Les acteurs de la filière sont listés ci-dessous, avec les enjeux correspondants :

- **Artisan maçon Voûte Nubienne** issus du secteur informel - Renforcement organisationnel et entrepreneurial et formation technique continue.
- **Entreprise BTP** - Recrutement d'artisans maçons Voûte Nubienne, formation des chefs de chantier aux techniques Voûte Nubienne, formation et sensibilisation des équipes commerciales.
- **Technicien** - Formation aux techniques Voûte Nubienne, formation à l'organisation de chantier.
- **Ingénieur** - Intégration systématique d'une offre Voûte Nubienne en option de conception.
- **Architecte** - Intégration systématique d'une offre Voûte Nubienne en option de conception.
- **Direction technique des acteurs institutionnels** de la mairie au ministère - Intégration de ces modes constructifs dans les termes de référence de la commande publique, normalisation, reconnaissance des acquis de la filière, institutionnalisation des parcours de formation et des formateurs.

Documentation de formation

Sous-tendant cette dynamique de renforcement d'acteurs, AVN produit et met à disposition une documentation technique et pédagogique référente dite « inclusive » et « open source » avec, en son centre, les « Règles Professionnelles du concept technique Voûte Nubienne », aussi nommées *Manuel du Maçon Nubien*, qui décrivent l'ensemble des postes techniques Voûte Nubienne.

Par ailleurs, le *Livret du Parcours de l'Apprenant* permet de suivre et orienter la formation professionnelle des futurs artisans Voûte Nubienne. Gravite autour de ces fondamentaux un ensemble de documents techniques utiles en constante évolution : plans types / dossiers techniques complets de bâtiments types sectoriels / études diverses / etc.



Manuel du Maçon Nubien



RESSOURCES GRAND PUBLIC

AVN met à la disposition du public une bibliothèque d'évaluations de programmes et d'études environnementales, techniques et qualité, et socio-économiques. **Découvrez nos études et nos publications.**

Par ailleurs, des témoignages de bénéficiaires, en format vidéo ou par écrit, peuvent être consultés suivant **ce lien**.

<https://www.lavoutenubienne.org/-temoignages->

[Découvrez nos études
et nos publications](#)



[Témoignages](#)





© Rasca Production / Martin Demay



L'Association la Voûte Nubienne est une ONG française de solidarité internationale opérant en Afrique de l'Ouest depuis près de 25 ans. **Sa mission : permettre l'accès à un habitat décent et adapté aux réalités socio-économiques et aux effets du changement climatique pour le plus grand nombre et le plus vite possible au Sahel.** AVN développe tout un secteur économique autour de la diffusion de la technique ancestrale d'écoconstruction en terre crue de la **Voûte Nubienne**. Portée par des acteurs locaux, offrant formation professionnelle, emplois et revenus pour les jeunes ruraux, cette filière contribue au renforcement des économies locales et à la stabilisation des communautés.

AVN est représentée par des coordinations nationales ou des partenaires dans six pays : Burkina Faso, Mali, Bénin, Ghana, Sénégal et Mauritanie. Son programme a déjà permis la réalisation de plus de 7000 chantiers, dans 1 750 villes ou villages, et ce pour environ 70 000 bénéficiaires. Depuis 2020, ce sont, en moyenne, chaque année, 1000 chantiers permettant la formation et l'emploi de plus de 1000 maçons et apprentis.

CONTACTS



José Lopez
lopezj@afd.fr
AFD/PEEB

Rémi Lafond
lafondr@afd.fr
AFD/PEEB



Thomas Granier
thomas.granier@lavoutenubienne.org
Co-fondateur d'AVN

Facebook : Association La Voûte Nubienne - The Nubian Vault

X (ex Twitter) : La Voûte Nubienne (@EarthRoofs)

LinkedIn : Association la Voûte Nubienne

Youtube : @AssociationLaVoûteNubienne

Instagram : asso_voute_nubienne



Mathieu Hardy
m.hardy.architecte@gmail.com
Architecte Voûte Nubienne



Mattia Bertolini
mattia@chiwaraproject.com
Bureau d'études

Pour un monde en commun

Le groupe AFD contribue à mettre en œuvre la politique de la France en matière de développement durable et de solidarité internationale. Composé de l'Agence française de développement (AFD), en charge du financement du secteur public et des ONG, de la recherche et de la formation ; de sa filiale Proparco, dédiée au financement et à l'accompagnement du secteur privé ; et d'Expertise France, agence de coopération technique, le Groupe finance, accompagne et accélère les transitions nécessaires pour un monde plus juste et résilient.

C'est avec et pour les populations que nous construisons en lien avec nos partenaires des solutions partagées dans plus de 150 pays, ainsi que dans 11 départements et territoires ultramarins français. Notre objectif ? Concilier développement économique et préservation des biens communs : le climat, la biodiversité, la paix, l'égalité femmes-hommes, l'éducation ou encore la santé. Nos équipes sont engagées dans plus de 4 800 projets sur le terrain, contribuant ainsi à l'engagement de la France et des Français en faveur des Objectifs de développement durable (ODD). Pour un monde en commun.



www.afd.fr

Twitter : @AFD_France - Facebook : AFDOfficiel - Instagram : afd_france

5, rue Roland-Barthes - 75598 Paris cedex 12 - France

Tél. : +33 1 53 44 31 31