

FAQ - QUESTIONS TECHNIQUES

Ce document ne constitue pas un document technique rappelant les règles de construction VN mais permet seulement des réponses succinctes à des questions que pourraient se poser des clients et maîtres d'ouvrage souhaitant utiliser le concept VN et/ou entretenir leurs bâtiments VN, ou se trouvant confrontés à des difficultés techniques.

Pour aller plus loin, le recours à des artisans VN et/ou à des techniciens et architectes VN est nécessaire.

1 - Questions sur la structure

Il est tout à fait possible d'accoler les voûtes les unes aux autres dès lors que les règles qualitatives des matériaux et règles de mise en œuvre sont respectées (ce qui est aussi vrai pour l'exécution d'une voûte unique).

Quel est la largeur maximale d'une VN ?

Pour des raisons de diffusion à grande échelle et de limitation des risques, AVN a fixé la portée (largeur) maximale d'une voûte à 3m30 pour des murs porteurs de 60 cm d'épaisseur minimum et une hauteur de naissance de voûte de 175 cm maximum.

Comment agrandir les espaces intérieurs ?

Des ouvrages en béton (arcs en blocs de béton montés sur coffrage) et béton armé (ouvrages poteaux-poutres coffrés) permettent d'ouvrir ou de supprimer des murs porteurs intérieurs et d'élargir ainsi les espaces.

Quel est la longueur maximale d'une VN ?

Il est conseillé de ne pas dépasser 12m de longueur, et, dans la mesure du possible, de prévoir un mur de refend tous les 8m.

Peut-on accoler des VN ?

Il est tout à fait possible d'accoler des voûtes les unes aux autres dès lors que les règles qualitatives des matériaux et règles de mise en œuvre/règles de l'art sont respectées. On notera qu'en cas de voûtes accolées les poussées latérales exercées par les voûtes s'annulent et les charges deviennent exclusivement verticales.

Quelle est la hauteur intérieure maximale d'une VN ?

La hauteur de naissance d'une voûte (niveau d'assise de la voûte = hauteur des murs porteurs) est d'1m75 maximum. Dès lors, pour une voûte de 3m30 de portée, la hauteur intérieure à la sommité de la voûte sera de l'ordre de 3m40.

Dimensionnement des murs.

- Murs porteurs courants : 60 cm
- Murs porteurs spéciaux (reprise d'étage en limite externe ou hauteur de naissance de voûte supérieure à 175 cm) : 80 cm
- Murs pignons et refends courants : 38 à 40 cm
- Murs pignons pour VN R+1 : 60 cm pour la partie en RDC, 40 cm pour la partie en étage
- Murs pignons et refends spéciaux (optimisation thermique / élancement) : 60 cm
- Cloisons : 17 à 20 cm

Dimensionnement des fondations.

La profondeur des fondations est à déterminer en fonction de la nature des sols rencontrés. Sur un sol dur

(pierre), il peut être très peu profond (20 à 30 cm). Sur un sol meuble (sol sableux), on peut aller jusqu'à 1m. La profondeur moyenne est fixée à 70 cm tant pour les murs porteurs que pour les murs pignons. La largeur des fondations est toujours supérieure à l'épaisseur des murs qu'elles reprennent, avec au moins 70 cm sous les murs porteurs, 50 cm sous les murs pignons et refends et 30 cm sous les cloisons lourdes (briques de terre). Les escaliers maçonnés, intérieurs comme extérieurs, obéissent aux mêmes règles que les murs porteurs et les murs pignons.

Ouverture dans les murs porteurs.

Quatre règles doivent être respectées :

- 1. Largeur maximum = 90 cm
- 2. Longueur mur minimum entre deux ouvertures = longueur ouverture + 20 cm, soit 110 cm pour une ouverture de 90 cm
- 3. Au moins 100 cm entre un angle externe et une ouverture
- 4A. Maximum 1/3 d'ouvertures et 2/3 de pleins pour les murs extérieurs (1 seule voûte reprise)
- 4B. Maximum 2/5 d'ouvertures et 3/5 de pleins pour les murs intérieurs (2 voûtes reprises)

Ouverture dans les murs pignons.

Deux cas de figures peuvent être rencontrés :

1. Cas des ouvertures classiques (jusqu'à 100 cm) : au moins 40 cm entre un angle intérieur et une ouverture / au moins 40 cm de plein entre deux ouvertures.
2. Cas des grandes ouvertures : pour des ouvertures de 110 cm à 220 cm, au moins 50 cm entre un angle intérieur et l'ouverture / pour des ouvertures de plus de 220 cm, prévoir des voûtes latérales ou des contreforts d'angles.

Cloisons.

Pas de contrainte particulière pour les cloisons en RDC.

Pour les cloisons en étage, la maçonnerie doit être reprise en RDC par un mur de refend ou un arc. Des cloisons légères sont aussi possibles sans reprise en RDC.

Mise en charge maximale des voûtes et toits terrasse.

AVN préconise la mise en charge maximale des voûtes. Cela revêt un triple avantage : optimisation de la stabilité structurelle de la voûte ; limitation du phénomène d'érosion en toiture (plus le toit est plat, plus l'eau de pluie s'écoule lentement) ; fonctionnalité de la toiture terrasse.

Attention à d'éventuelles contre-pentes sur les toitures terrasse qui pourraient engendrer de la stagnation et des infiltrations.

Peut-on utiliser les toitures terrasses VN ?

Aucune précaution particulière à prendre quant à l'usage des toits terrasse. Leur résistance à la mise en charge est considérable.

Attention à leur usage par des personnes non averties si elles ne possèdent pas de garde-corps/balustrades.

Peut-on construire des voûtes nubienne en étage ?

Oui en R+1, si on respecte les règles de dimensionnement et de mise en œuvre.

Peut-on poser un réservoir d'eau sur une voûte nubienne ?

Oui, à condition de ne pas le positionner au centre de la voûte et de le faire reposer pour une part sur le haut des murs porteurs et des murs pignons ou de refends.

Comment fixer des panneaux solaires en terrasse ?

Pendant la construction des contreforts, il est possible de positionner des tuyaux verticaux en réservation qui permettront de couler du béton et des aciers sur lequel fixer des panneaux solaires.

Escalier intérieur

Différents types d'escaliers intérieurs sont possibles. Les escaliers maçonnés sont consommateurs d'espaces ; attention à prévoir les réservations suffisantes.

Pour exemple : prévoir pour un escalier double volée une profondeur de 2 m.

Escalier extérieur

Différents types d'escaliers extérieurs sont possibles. L'escalier doit être bâti avec le bâtiment qu'il dessert (fondations et maçonnerie croisée). Les marches ou nez de marche en béton ou béton armé devront être pris dans la maçonnerie du mur d'appui afin d'éviter les effets de basculement de l'escalier.

2- Questions sur les matériaux

Est-ce que tout type de terre est utilisable pour construire en voûte nubienne ?

Les terres latéritiques sahéliennes sont très largement compatibles avec la construction en banco. Il est cependant à noter que certaines terres sont soit trop argileuses (fissuration des briques, mauvaise prise des mortiers de pose), soit trop sableuses (mauvaise résistance mécanique). Suivant les terroirs et les différents lieux d'emprunt, l'artisan maçon devra valider la qualité des terres disponibles.

Les pratiques constructives des populations sahéliennes et leurs connaissances des ressources en terres de qualité seront utiles au choix des terres et à la définition du projet constructif.

Certains territoires sahéliens, à l'exemple de certaines régions du Sénégal, ne disposent que difficilement de terres présentant des caractéristiques adaptées au concept technique Voûte Nubienne.

Quels matériaux en fondation ?

Trois types de fondations sont proposées :

1 – Béton de terre cyclopéen (mortier de terre/banco + pierre). Il s'agit là de la pratique la plus commune et la plus économique.

*2 – Pisé (terre à bâtir humide compactée en couches successives dans les fouilles à l'aide d'une dame manuelle ou pneumatique). Cette pratique diminue considérablement le risque de tassement différentiel et de microfissuration, mais demande **une mise en œuvre extrêmement rigoureuse** par des artisans expérimentés.*

3 – Béton de ciment cyclopéen (mortier de béton de ciment + pierres). Cette technique est peu utilisée du fait de son surcoût. Elle peut être employée pour répondre à certaines contraintes particulières (risque connu d'exposition des fondations à l'eau ; incapacité probable des usagers à gérer les voies d'eau aux abords des bâtiments ; etc.).

2.3 Matériaux extérieurs antiérosifs

Plusieurs matériaux antiérosifs sont proposés :

- *En toiture : enduit bitume de protection (2,5/3 cm d'épaisseur) = mélange de bitume (+/- 15%), de terre argileuse et graveleuse, et de sable permettant de limiter l'érosion de la terre utilisée en toiture comme étanchéité (étanchéité par saturation des argiles) – Garantie 10-15 ans*
- *Acrotères : dalles de béton posées à plat ou bandeaux de béton armé en couverture de l'acrotère, dépassant intérieur/extérieur avec goutte d'eau à l'extérieur – Garantie 30 ans*
- *Murs :*
 - *Appareillage des murs avec Briques de Banco Surface Cailloux (BBSC) sur les faces extérieures + enduit mortier de ciment – Garantie 30 ans*
 - *Appareillage des murs avec Briques Latéritiques de Carrière (BLC) sur les faces extérieures + jointoyage au mortier de ciment – Garantie 30 ans (BLC disponibles uniquement au Burkina)*
 - *Enduit bitume de protection (+/- 2,5 cm d'épaisseur) = mélange de bitume (+/- 15%), de terre argileuse et graveleuse, et de sable – Garantie 10-15 ans + finition peinture ou projection*

tyrolienne possible (protège l'enduit et augmente sa durabilité)

Finitions intérieures

- Enduits intérieurs
- Chape
- Carrelage/Faïence
- Électricité/Plomberie

Utilisation d'une bâche plastique en toiture

L'utilisation d'une bâche plastique en toiture est indispensable. Elle est posée sous le revêtement de terre argileuse damée qui assure l'étanchéité (étanchéité par saturation). Elle est à considérer comme une garantie d'étanchéité complémentaire (pas de vieillissement notable de la bâche qui est à l'abri du rayonnement ultraviolet) – Garantie 30 ans (si revêtement de terre bien en place).

Gouttières

Les gouttières métalliques ouvertes sont recommandées. Les gouttières tubulaires en PVC sont déconseillées (mauvaise prise d'eau, risque d'obstruction). Les gouttières doivent être suffisamment débordantes (40 cm minimum) afin d'évacuer correctement les eaux de pluie.

Attention :

- *La bonne mise en œuvre de la pose des gouttières est essentielle ; c'est un point d'infiltration potentiel.*
- *Des vents violents peuvent potentiellement faire bouger les gouttières et modifier la qualité de leur emprise.*
- *L'écoulement des eaux de pluie des gouttières vers le sol doit être maîtrisé. Il faut contrôler de trop fortes projections sur les murs, la création de trous et d'éventuelles stagnations d'eau.*

Dans certains cas (périmètre urbain dense pour exemple), il sera conseillé la mise en place de descentes d'eau verticales (PVC de 100 mm minimum). Ces descentes d'eau pourront être incluses dans la maçonnerie.

Peut-on couler une dalle ciment sur la toiture d'une VN ?

Les ouvrages de protection utilisant des mortiers ou bétons de ciment en toiture sont formellement proscrits. Les chapes et dalles en béton fissurent facilement et engendrent des infiltrations non maîtrisables.

3 - Questions sur la localisation

Quelles sont les régions d'Afrique où l'on peut construire des VN ?

Les régions de climat sahélien sont dans leur très large majorité propices à la diffusion du concept technique VN. Il faut vérifier la disponibilité des matériaux de construction (terre de qualité, eau, cailloux, ...).

Pour des raisons de pluviométrie trop importante, de longues périodes de saison des pluies, mais aussi de confort hygrométrique, les régions de climat subtropical ne sont, a priori, pas adaptées à une diffusion élargie du concept VN.

Peut-on construire une VN en milieu urbain ou péri-urbain ?

En milieu urbain, le concept VN est adapté. Il faut absolument maîtriser l'évacuation des eaux de pluie dans les parcelles choisies pour construire. Les contre-pentes, les caniveaux et les descentes d'eau permettant de renvoyer les eaux de pluie vers la rue doivent être prévues et mises en œuvre avec soin.

Le transport des matériaux et la fabrication des briques de terre (adobe) peut être plus difficile qu'en milieu rural.

En milieu péri-urbain, pas de difficulté particulière si ce ne sont les questions de droit de propriété et de mise en chantier sur des parcelles non loties.

4 - Questions sur l'implantation et positionnement

Implantation des bâtiments et drainage des eaux de pluie.

*Le bon drainage des eaux de pluie depuis les toitures jusqu'au domaine public (rue ou autre) est **absolument essentiel**. La très grande majorité des sinistres et désordres recensés proviennent d'une mauvaise gestion des eaux de ruissellement.*

Implantation des bâtiments et bas-fonds ou passages d'eau

*Il est formellement **déconseillé** de construire en VN dans des zones inondables ou sur le parcours d'eaux de pluie qui ne soit pas maîtrisé.*

Implantation des bâtiments et nappes phréatiques remontantes

Dans de très rares cas, il a été constaté des nappes phréatiques remontantes qui viennent inonder les sous-sol sur lequel les bâtiments sont posés, et fragiliser la structure de ceux-ci. Un travail d'enquête préalable à la mise en chantier doit permettre d'identifier ces sols inadaptés à la construction VN courante. Des solutions techniques de fondations spécifiques en béton armé peuvent exceptionnellement être recherchées, mais engendreront des surcoûts importants à bien considérer.

Implantation des bâtiments et argiles gonflantes

Dans de très rares cas, il a été constaté dans le sous-sol des bâtiments construits des poches d'argile gonflante. En cas de doute, un travail d'enquête et éventuellement de sondage préalables à la mise en chantier, doivent permettre d'identifier la présence de ces sols inadaptés à la construction VN. Des solutions techniques de fondations spécifiques en béton armé peuvent exceptionnellement être recherchées, mais engendreront des surcoûts importants à bien considérer.

Positionnement des bâtiments et gestion des eaux de pluie en toiture

Le positionnement des bâtiments VN, des pentes en toiture, des gouttières et des caniveaux de drainage doivent être étudiés au regard de la gestion des eaux de surface dans les parcelles.

Positionnement des bâtiments et agrandissement / duplication

Le positionnement des bâtiments VN dans les parcelles doit idéalement prendre en compte les possibilités d'agrandissement et de duplication.

5 - Questions sur la durabilité du concept VN

Généralités

La terre à bâtir ne subit pas d'altération chimique dans le temps contrairement à l'acier, au bois et même au béton. Les plus anciennes VN toujours en place en Égypte ont plus de 3500 ans (Ramesseum de Louxor). La principale vulnérabilité de la terre à bâtir est l'eau, dont il faut impérativement se protéger : gestion des eaux de ruissellement, protection des abords et pieds de bâtiment, protection des surfaces exposées, etc.

La bonne mise en œuvre des ouvrages voûte nubienne dans le respect des règles de mise en œuvre/règles de l'art, les entretiens réguliers des surfaces terre, l'emploi de matériaux spécifiques résistant à l'érosion et le respect des préconisations concernant les implantations permettent une très bonne durabilité du concept VN.

Matériaux spécifiques renforçant la durabilité

Voir point 2- Questions sur les matériaux

Gestion de l'érosion des surfaces terre

De nombreuses pratiques vernaculaires utilisant des matières grasses et des fibres végétales ou animales permettent la mise en œuvre d'enduits de terre de reprise des surfaces érodées. Des matériaux durs ou plus

résistants sont aussi proposés pour les murs, les acrotères et les toitures terrasses (Voir point 2- Questions sur les matériaux).

Contrôle des bâtiments

Comme toute architecture, le concept technique VN demande de la part de la filière construction, comme de la part des clients, maîtres d'ouvrage et bénéficiaires, un contrôle régulier. Il faut contrôler principalement les écoulements d'eaux de pluie en toiture, la bonne fixation des gouttières, le drainage des eaux de surface vers le domaine public et les fissurations éventuelles. Sur les murs de terre, principalement ceux positionnés à l'est, on contrôlera aussi, d'année en année, l'érosion des surfaces. Il faut contrôler d'éventuels basculements des escaliers extérieurs qui pourraient engendrer des infiltrations difficiles à gérer.

6 - Questions sur les besoins en entretien

Entretien extérieur

- *Les enduits terre sur les murs et en toiture (voir point 2.3)*
- *Les revêtements de bitume antiérosifs (voir point 2.3)*
- *La végétation en toiture : Il est important d'empêcher le développement de végétation sur les toitures. Les systèmes racinaires peuvent fragiliser les couches d'étanchéité et de protection, et la végétation peut empêcher le bon écoulement des eaux de pluie. Un simple désherbage annuel est en général suffisant.*
- *Les éventuels matériaux pouvant boucher les gouttières : Les matières végétales (herbes, feuilles) peuvent obstruer les gouttières et empêcher le bon écoulement des eaux de pluie. Un contrôle est recommandé, plus particulièrement avant la saison des pluies.*
- *Le bon positionnement des gouttières (voir point gouttières)*

Entretien intérieur

- *Les termites : d'expérience, deux sortes de termites peuvent induire des désordres dans les architectures de terre :
 - o *les termites qui produisent des concrétions sur les murs et les intrados des voûtes. Celles-ci ne résistent pas à des nettoyages réguliers et disparaissent dans les maisons habitées et entretenues.*
 - o *les termites qui creusent des habitats en galerie dans l'épaisseur des murs de voûtes. Celles-ci peuvent produire des désordres importants. Il faut alors ouvrir les parties infestées et refermer avec un mortier de terre comprenant un produit répulsif (que l'on peut trouver facilement dans le commerce en Afrique).**
- *Les badigeons de lait de chaux : il est fortement recommandé des badigeons de lait de chaux (chaux vive dissoute dans de l'eau) sur l'intrados (intérieur) des voûtes. Ces badigeons servent à la fois de répulsif contre les insectes et de peinture. Ils peuvent être colorés. La chaux vive est d'un usage courant en Afrique. Il est conseillé de passer ces badigeons en 3 couches pour une première fois, puis de les raviver tous les 3/4 ans par une couche unique.*
- *Enduits et peintures (voir point 2.4)*
- *Les fissurations et microfissurations : elles sont causées par différents facteurs et peuvent être + ou - critiques (voir point 7). La grande majorité des fissurations/microfissurations ne présente pas de risque particulier et ne présentent que des inconvénients esthétiques. Elles peuvent être rebouchées avec des enduits de terre fine ou de plâtre avant réfection des peintures ou badigeons, ceci permettant aussi de voir leurs éventuelles évolutions dans le temps.*

7 – Désordres, sinistres et pathologies

Liste des pathologies principales pouvant entraîner des désordres et sinistres, et réponses associées :

- Mauvaise pente en toiture ou contrepente :
 - o des pentes excessives peuvent entraîner des érosions trop rapides > à la mise en œuvre des toits terrasse, il faut privilégier des pentes de toiture les plus douces possible.
 - o des contrepentes doivent être absolument évitées. Si celles-ci étaient constatées, il faut reprendre ou doubler les ouvrages d'étanchéité (pose de la bâche plastique et pose de la couche de terre d'étanchéité) et des éventuelles couches antiérosives.
- Mauvaise pose de la bâche plastique : une mauvaise pose de la bâche plastique peut entraîner des infiltrations.
- Gouttières mal posées ou déplacées
- Mauvaise gestion périphérique des eaux de pluie
- Implantation du bâtiment en zone inondable ou sur des terrains subissant des remontées de nappes phréatiques
- Infiltration importante d'eau dans les fondations et tassements différentiels
- Utilisation de mauvaise terre pour la construction
- Implantation du bâtiment sur des sols comprenant des argiles gonflantes

Comprendre et résoudre les phénomènes de fissuration et de microfissuration

- Descentes de charge au-dessus des arcs en linteaux
- Liaison entre les murs pignons et les voûtes
- Tassements différentiels et microfissurations
- Fissuration longitudinale
- Fissuration latérale dans les tableaux de portes et fenêtres
- Fissuration verticale dans les angles

Comprendre et résoudre les phénomènes d'infiltration intérieure

Relation avec les acteurs de la construction VN et AVN en cas de désordre ou sinistre

8 - Questions sur le marché formel et garanties

Peut-on construire des voûtes nubiennes dans les zones où **un permis de construire est exigé** ?

Un permis de construire peut-il être obtenu pour un projet en voûte nubienne ?

Oui. Des projets VN avec permis de construire ont déjà été réalisés dans les différents pays où le marché s'installe.

Des assurances peuvent-elles être contractées pour les projets en voûte nubienne ?

À ce jour non, mais c'est un objectif prioritaire d'AVN. Des actions sont entreprises dans ce sens : rédaction de règles professionnelles en vue de leur reconnaissance par les administrations compétentes ; formation des acteurs de la filière (entreprises d'exécution et maîtrise d'œuvre en particulier) ; plaidoyer.

9 - Questions sur les acteurs de la filière de la construction adapté

Des maîtres d'œuvre spécialisés (architectes, ingénieurs ou techniciens) sont-ils disponibles pour intervenir sur des projets voûte nubienne ?

Oui. Il ne sont pour le moment pas nombreux mais il y en a, et AVN mène diverses activités de formation/accompagnement de maîtres d'œuvre afin d'améliorer leur disponibilité.