MANUEL POUR LA RÉNOVATION DES TATA SOMBA

Fabrice Noukpakou, Elie Pauporté, Renaud Pleitinx



PUL PRESSES UNIVERSITAIRES DE LOUVAIN

Manuel pour la rénovation des Tata Somba

Ce *Manuel pour la rénovation des Tata Somba* a été rédigé dans le cadre du projet HTC-Atacora, financé par l'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AwAC), porté par l'Université catholique de Louvain et réalisé en partenariat avec Éco-Bénin et Yves Baudot, expert géographe.

Air Climat
agence wallonne de l'air & du climat

ECO-BENIN
BENIN ECOTOURISM CONCERN

UCLouvain
Faculté d'architecture,
d'ingénierie architecturale, d'urbanisme
Louvain research institute for Landscape,
Architecture, Built environment

Manuel pour la rénovation des Tata Somba

Fabrice Noukpakou, Elie Pauporté, Renaud Pleitinx

Préface de Sofia Rodríguez-Larraín Dégrange

PUL PRESSES UNIVERSITAIRES DE LOUVAIN

Comité scientifique

Arnaud Evrard
ingénieur architecte, PhD, Program Coordinator, ETH, Zürich

Sofía Rodríguez-Larraín Dégrange
architecte, professeure à la Faculté d'architecture de la PUCP,
coordinatrice du Centro Tierra, Lima

Jean Stillemans
ingénieur architecte, professeur ordinaire émérite
du Louvain research institute
for Landscape, Architecture, Built environment
et de la Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme
de l'UCLouvain, cofondateur du Laboratoire analyse architecture (laa)

UCLouvain

Collection forma loci, dirigée par Jean Stillemans
© Presses universitaires de Louvain, 2022
http://pul.uclouvain.be
Dépôt légal : D/2022/9964/27
ISBN : 978-2-39061-252-0
ISBN pour la version numérique (pdf) : 978-2-39061-253-7
Imprimé en Belgique par CIACO scrl – n° d'imprimeur : 103925

Tous droits de reproduction, d'adaptation ou de traduction, par quelque procédé que ce soit, réservés pour tous pays, sauf autorisation de l'éditeur ou de ses ayants droit.

Couverture : Réparation d'un Tata Somba, © HTC-Atacora

www.i6doc.com, l'édition universitaire en ligne

Distribution :
France – Librairie Wallonie-Bruxelles
Rue Quincampoix, 46
75004 Paris, France
Tél. +33 1 42 71 58 03
librairie.wb@orange.fr

Belgique, Luxembourg et Pays-Bas – MDS Benelux
Zoning de Martinrou
Rue du Progrès, 1
6220 Fleurus, Belgique
Tél. 32 71 60 05 20
service.clients@mds-benelux.com

Reste du monde – Diffusion universitaire CIACO (DUC)
Grand-Rue, 2/14
1348 Louvain-la-Neuve, Belgique
Tél. +32 10 45 30 97
duc@ciaco.com

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE 9

INTRODUCTION 15

PATRIMOINE 17
Tata Somba 17
Vulnérabilités 18

PRÉSERVATION 20
Protection 20
Entretien et réparation 21

#1 CONSTRUIRE EN TERRE 23

MATIÈRE 25
Grains 26
Empilement et compacité 27
Ségrégation granulaire 29
Chaînes de forces 31
Eau 33
Ponts capillaires 33
Trois types d'eau 35
Argile 36
Argile granulométrique 36
Argiles minéralogiques 36
Oxydes métalliques 37
Floculation/dispersion 38
Thixotropie 39

MATÉRIAU 40
Sélection 40
Tests sensitifs 40
Tests de comportement 41

Mise en œuvre 43
Consistance 43
Adjuvants 44
Techniques 46

#2 CONSTRUIRE UN TATA SOMBA 51

ÉLÉMENTS 53
Tourelles 53
Enceinte 54
Terrasse 55
Greniers 55
Crépi 58

EXÉCUTION 59
Planification 59
Maçonnerie 60
Charpenterie 67
Chape 67
Toiture 70
Poterie 71
Crépissage 71

#3 RÉNOVER UN TATA SOMBA 75

PATHOLOGIE 77
Murs 78
Enduits 84
Chapes 86

RÉNOVATION 86
Préparation 86
Terre à construire d'Atacora 87
Terre à colmater d'Atacora 88
Béton terre d'Atacora 89
Enduit terre d'Atacora 89
Eau de Néré 91

Exécution 92
Réparation de mur 92
Remontage de mur 93
Rebouchage des ouvertures de joints 94
Rebouchage de fissures 96
Entretien des enduits sur mur 96
Entretien des chapes 97

CONCLUSION 99

TRANSMISSION 101
Mélanges 101
Travaux 102

STIMULATION 102
Actualisation 102
Extension 103

TABLE DES ILLUSTRATIONS 105

MÉDIAGRAPHIE 107

PRÉFACE

Sofia Rodríguez-Larraín Dégrange

C'est depuis la vallée de Chincha, au sud de Lima au Pérou, entourée du désert, de murs en pisé et de maisons en adobe que j'écris la préface de cet ouvrage qui nous emmène dans l'Atacora au Bénin. La rencontre entre le Bénin et le Pérou que suscite, ici, la collection *forma loci* de la Faculté LOCI et de l'Institut LAB (UCLouvain, Belgique) n'est pas fortuite, loin de là. L'usage de la terre comme matériau de construction crée des ponts naturels entre cultures et continents, entre tradition et modernité, qui nous rapprochent sous le signe de l'habitat vernaculaire et durable : l'habitat qu'illustrent les auteurs du *Manuel pour la rénovation des Tata Somba*.

Le manuel explore, à partir d'un travail exhaustif réalisé sur le terrain, la tradition constructive du groupe *Somba*, peuple d'agriculteurs et d'agricultrices dont la structure sociale est basée sur la cellule familiale et représentée dans l'architecture par ses habitations traditionnelles, les *Tata Somba*. Ces structures en terre, bois et fibres, modelées à la main, constituent un patrimoine qu'il est impératif et urgent de protéger, par la prise de décisions politiques institutionnelles locales et globales, mais aussi par la sauvegarde des modes de vie qui permettent la reproduction des savoirs et la protection des structures d'organisation productive. Le patrimoine, c'est avant tout les peuples, les personnes qui garantissent la transmission des connaissances, les spécialistes comme l'*Otāmmari* et les familles qui continuent de vivre là, dans ces habitations en terre crue chargées de symboles.

Cet ouvrage nous introduit aux techniques de rénovation et d'entretien qui permettront de faire perdurer les édifices, à partir d'un enseignement sur la théorie de la matière terre comme matériau de construction. Cet enseignement, adressé aux constructeurs, aux constructrices et à un public intéressé par la culture et l'habitat, permet d'expliquer, scientifiquement, les raisons qui soutiennent ce qui, traditionnellement, se fait par héritage de la culture constructive grâce à l'expérience par essais-erreurs. Une partie importante du manuel est consacrée à la formation complète des constructeurs et des constructrices qui, au-delà de la rénovation des *Tata Somba*, pourront l'appliquer dans leurs pratiques professionnelles, en vue d'une meilleure édification en terre crue et d'une large dissémination des connaissances favorisant l'autoconstruction de l'habitat. C'est là que réside l'une des particularités de cet ouvrage : informer le lecteur ou la lectrice dans le but plus large de prendre connaissance de la matière terre, des possibilités du matériau, des différentes techniques qui en résultent et de leurs multiples applications.

J'aimerais rappeler ici que dans nos pays, le Bénin et le Pérou, la terre est le principal matériau de construction rural et l'a toujours été. Actuellement, c'est grâce à l'autoconstruction de l'habitat que les familles rurales se logent, souvent dans des conditions précaires. C'est grâce aux matériaux locaux, hors de la circulation des marchés formalisés de la construction qui propagent les matériaux industriels tels que le ciment et la tôle ondulée, qu'il est possible d'offrir des solutions pour un logement plus digne. Toutefois, cela exige que nous résistions résolument aux tendances politiques et économiques de la globalisation de solutions matérielles pour l'habitat. Ce manuel nous fournit des réponses, ouvrant la possibilité d'alternatives à appliquer dans la construction, tirant parti de matériaux locaux, naturels, renouvelables, accessibles aux populations rurales souvent isolées.

Nous sommes donc face à un ouvrage ample, intitulé *Manuel*, qui explique la théorie soutenant la pratique et qui, de plus, nous introduit à la culture qui intègre cette pratique. Pour ce faire, les auteurs nous emmènent dans la région de l'Atacora, nous font rencontrer les peuples, leurs maîtres-bâtisseurs, véritables sages de la communauté, et les femmes, présentes tout au long du processus et chargées des finitions. Puis, ils retracent leur histoire et les situent géographiquement pour décrire le territoire et ses conditions écologiques. Ils nous font comprendre que, sans la continuité de cette tradition constructive, c'est toute une société rurale agricole, soutenue par la cellule familiale, qui disparaîtrait, et vice versa. Trop souvent la technique est séparée de l'aspect social qui lui donne forme. Notre monde global et spécialisé nous divise et nous éloigne les un·es des autres. Les sociétés rurales qui conservent l'organisation communautaire et familiale à la base de leur existence forment des systèmes avec leurs territoires et les produits culturels de leur habitat. Tout est lié, tout change et évolue ensemble.

C'est pourquoi la préservation du patrimoine que représentent les *Tata Somba* va bien au-delà de la conservation de l'objet édifié, qui en est en même temps une représentation. Une fois introduit·es à la culture des peuples *Somba* et à la théorie de la construction en terre, et fort·es de ces connaissances, nous pouvons comprendre la structure spatiale, fonctionnelle et constructive de ces édifices surprenants.

Le manuel proprement dit est organisé en deux grandes parties : construire et rénover. La première est structurée selon les éléments qui constituent le *Tata Somba*. La seconde, selon les dégradations potentielles de ces éléments

qui menacent leur intégrité, faute d'entretien. Il est ainsi possible de réaliser les ouvrages par parties ou par étapes, selon les possibilités des familles propriétaires et selon les nécessités du moment. Une des clés de la construction en terre est la notion d'entretien, qui doit y être intégrée dès sa conception.

Tout au long de son propos, le manuel relie la pratique constructive à l'organisation du travail, fortement ancrée, comme on a vu, dans l'organisation sociale et le symbolisme culturel. C'est ainsi que l'on arrive à analyser l'architecture à partir de la fonction (besoin, conformation et emplacement de certains espaces, comme les tourelles et le toit-terrasse) et à expliquer, également, l'architecture à partir de la façon de construire. Je m'explique avec un exemple. Au moment de réaliser les finitions à l'enduit, les femmes, en charge de cette partie des travaux, recouvrent les murs extérieurs de décorations qui évoquent les scarifications sur la peau des sages et les sillons sur la surface des sols agricoles, nous rappelant que la Terre, la maison et le corps forment un tout : la surface cultivée, le mur et la peau sont les enveloppes protectrices des êtres vivants. Ces motifs, gravés dans l'enduit terre des finitions, sont une représentation symbolique, mais ont aussi, et au même degré d'importance, une fonction pratique, celle de ralentir l'écoulement de l'eau de pluie sur les surfaces verticales et de limiter l'érosion de l'enduit. Le manuel est donc plus qu'un guide pour la mise en pratique de techniques, c'est un ouvrage de présentation d'une culture originale dont le patrimoine est en danger, une mise en alerte.

À la manière d'un guide technique, ce manuel propose des recettes mélangeant différents éléments, véritables ingrédients, à préparer soi-même à partir de ressources naturelles que l'on trouve aux alentours. Les mélanges proposés sont justifiés par des données qui vont des propriétés physiques des différents types d'argiles jusqu'aux savoirs empiriques sur les qualités des plantes. Le *Néré*, par exemple, arbre emblématique qui nourrit et soigne, joue également un rôle dans la durabilité des finitions. L'eau de cuisson des cosses confère une patine protectrice aux enduits terre, grâce à l'endurcissement des surfaces, et fait partie des ingrédients naturels pour la construction. La dénomination *architecture zéro km* s'applique ici pleinement.

Les photographies qui illustrent l'ouvrage, vues d'ensemble et détails de l'architecture des *Tata Somba*, accompagnent pas-à-pas le processus de construction et de rénovation, en renforcent le message didactique et permettent de valider le travail réalisé à partir des indications du manuel.

Pour conclure, je dirai que cette publication est plus qu'un manuel, c'est un livre qui nous présente l'Atacora et ses cultures à partir de l'architecture de l'un de ses patrimoines les plus remarquables. C'est un traité sur l'usage de la terre comme matériau de construction, un guide pratique pour la construction et la rénovation de l'habitat rural en terre et un manifeste pour l'utilisation d'un matériau historique qui revient sur la scène de l'architecture mondiale mettant en évidence ses qualités pour un futur meilleur.

Sofia Rodríguez-Larraín Dégrange

Chincha, Pérou
Mai 2022

INTRODUCTION

Le but de ce manuel est de contribuer à la préservation des *Tata Somba*[1], habitats traditionnels du peuple Somba qui réside dans le département de l'Atacora, au nord-ouest du Bénin. Les *Tata Somba*, dont les parties principales sont construites en terre crue, réclament un entretien régulier, sans lequel ils deviennent inhabitables et tombent rapidement en ruine. À destination des personnes chargées de leur conservation, ce manuel propose un ensemble de techniques de rénovation[2], appuyées sur une connaissance des propriétés physiques et chimiques du matériau terre et tirées de l'observation des techniques de construction traditionnelles.

1 L'usage du terme *Tata Somba* est éminemment discutable. Formé à partir du mot *Tata*, qui signifie *enceinte*, et du mot *Somba*, qui signifie « homme nu » et que l'administration coloniale a appliquée à la population vivant dans la région de l'Atacora, l'expression *Tata Somba* s'est imposée dans le secteur touristique et est aujourd'hui entrée dans l'usage courant, malgré ses origines coloniales et ses connotations condescendantes. La littérature scientifique préfère l'usage du terme *Takiènta*, mais celui-ci s'avère propre aux *Bètämmaribé*, groupe socioculturel inclus dans le groupe ethnique *Somba*. Devenu courant, le terme *Tata Somba* présente l'avantage de désigner de manière générale un type d'habitat attribuable à tous les groupes socioculturels réunis sous l'appellation *Somba*, en évitant de généraliser l'usage d'une appellation propre à un de ces groupes socioculturels. Aussi, pour nous permettre d'inclure dans notre corpus toute la variété des productions architecturales du groupe *Somba*, qui ne se limite pas à la *Takiènta* des *Bètämmaribé*, conservons-nous, dans la suite du texte, l'appellation *Tata Somba*.

2 La rédaction de ce manuel s'inscrit dans le cadre d'un projet de promotion de l'habitat en terre crue dans l'Atacora (HTC-Atacora, Bénin) financé par l'Agence wallonne de l'Air et du Climat (AwAC). Porté par l'Université catholique de Louvain, ce projet est réalisé en partenariat avec Eco-Bénin et Yves Baudot, expert géographe.

PATRIMOINE

Marqué par la présence de la chaîne montagneuse de l'Atacora, le département de l'Atacora compte trois groupes ethniques : les *Somba*, les *Bariba* et les *Fula* (INSAE-Bénin, 2016). Le groupe *Somba* en particulier inclut plusieurs groupes socioculturels : les *Bètāmmaribè* (y compris les *Béssoribé* et les *Bétchabé*), les *Berba*, les *Niendé*, les *Natimba*, les *Tayaba* et les *Waaba*.

Le peuple *Somba* se caractérise par un mode de production agricole, par une organisation sociale centrée sur la cellule familiale et par la richesse de ses pratiques rituelles. Fortement dépendant de ces coordonnées culturelles, l'habitat *Somba* compte un élément remarquable, le *Tata Somba*, dont la construction réclame l'intervention d'un spécialiste, l'*Otāmmari*, et fait appel à des savoir-faire ancestraux. À ce jour, on compte au moins 5000 *Tata Somba* dans l'Atacora (Noukpakou *et al.*, 2020) et quelque 1600 au nord-est du Togo, où vivent les *Tamberma*, groupe apparenté au *Somba*.

Tata Somba

Le *Tata Somba* est composé de plusieurs huttes circulaires construites en terre et surmontées de toits coniques recouverts de paille. Ces huttes sont disposées en cercle, ou en ellipse, et sont reliées entre elles par des murs courbes formant une enceinte. La plupart des *Tata Somba* comportent une terrasse principale qui recouvre l'entièreté de l'aire intérieure, ce qui implique la surélévation des cases et des murs d'enceinte et confère à l'ensemble, comme le notait Mercier (1954), l'allure d'un château-fort (figure 1)[3].

3 Maurice (1986) et Mercier (1968) ont associé les différentes types ou formules de *Tata Somba* à différents groupes socioculturels *Somba*. Il est ainsi possible de distinguer, avec eux, les *Tata Somba* de types *Otâmmari* (*takyènta*), *Ossori*, *Otiao*, *Berba*, *Tayaba*, *Niendé* ou *Waaba*, selon la présence ou de l'absence d'étage ; la forme, le nombre et la disposition des cases ou des tourelles ; les dispositifs d'entrée et d'accès à l'étage. Il reste que les éléments du *Tata Somba* sont susceptibles de combinaisons infinies, ce qui explique la grande diversité des formules observables, qui dérogent fréquemment aux types idéaux décrits par les ethnographes.



△ Figure 1. *Tata Somba*, © HTC-Atacora.

Vulnérabilités

Les *Tata Somba* présentent des vulnérabilités à la fois culturelles et structurelles. Dépendant sur un plan culturel d'une agriculture vivrière intensive sur brûlis, de la solidarité villageoise et de rituels religieux, la production des *Tata Somba* est sensible aux transformations socio-économiques qu'impliquent l'agriculture extensive, la monétarisation des échanges et les religions du livre qui s'imposent peu à peu dans l'Atacora. Depuis quelques dizaines d'années, on constate la disparition progressive des *Tata Somba* au profit d'édifices de forme et de facture d'inspiration occidentale, dont les murs sont construits en bloc de béton et les toitures, recouvertes de tôles ondulées (Boko-Koudakossi, 2012 : 142). En outre, les changements climatiques observés dans l'Atacora, qui affectent la rentabilité du secteur agricole et l'accroissement des cultures commerciales au détriment des cultures vivrières, menacent la sécurité alimentaire de la population et poussent les cultivateurs soit à mettre un terme à leur activité pour d'autres, plus rentables, qu'ils vont chercher en ville ou en d'autres régions, soit à modifier leurs modes de production en se rabattant sur d'autres types de culture ou en augmentant la surface de terrain cultivé. Ces stratégies adaptatives ont pour corollaire la disparition de l'habitat traditionnel. En effet, l'exode urbain ou l'exil conduit à l'abandon des *Tata Somba*, comme type d'habitation privilégié. Malgré la science et le savoir-faire

mobilisés pour leur conception et leur exécution, les éléments constitutifs du *Tata Somba* sont sensibles, quant à eux, aux aléas du climat. Les structures en terre et en bois réclament un entretien régulier sans lequel ils s'érodent et sont voués à la ruine (figure 2).



△ Figure 2. *Tata Somba* en ruine, © HTC-Atacora.

De plus, les changements climatiques mettent en péril la pérennité des *Tata Somba*. Depuis le début des années 1970, on constate en effet, dans le département de l'Atacora, un « glissement des saisons avec des pluies tardives et de courtes durées » (Bosco K. Vodounou et Onibon Doubogan, 2016), la diminution significative des quantités d'eau et la multiplication de phénomènes anormaux : inondations, sécheresse, canicule et intensification des épisodes pluvieux. Ces derniers provoquent une dégradation prématurée des ouvrages et une augmentation des travaux d'entretien (figure 3).



△ Figure 3. *Tata Somba* présentant des dégradations, © HTC-Atacora.

PRÉSERVATION

Vulnérables tant sur un plan culturel que sur un plan structurel, les *Tata Somba* réclament un programme de préservation qui associe des mesures de *protection* à un niveau politique et institutionnel, et des campagnes régulières d'*entretien* à un niveau technique et architectural.

Protection

La préservation des *Tata Somba* passe par la protection des usages culturaux, sociaux et cultuels du peuple *Somba*. Il importe en effet de tempérer les effets néfastes de la globalisation sur l'agriculture, l'économie et la destinée du peuple *Somba* au travers de mesures de soutien[4].

4 À cet égard, il faut se réjouir du travail réalisé par la Direction du Patrimoine Culturel du Bénin, en association avec CRAterre et des associations locales en vue de l'extension au Bénin de l'inscription du Paysage Koutammakou (Togo) sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO.

Entretien et réparation

La préservation des *Tata Somba* passe aussi par leur entretien régulier et par leur réparation ponctuelle. Si ceux-ci sont traditionnellement assurés par leurs propriétaires, il apparaît, aujourd'hui que certains *Tata Somba* ne bénéficient pas de l'attention nécessaire à leur maintien, faute sans doute de moyens matériels ou d'intérêt personnel. Il importe donc de soutenir les populations locales dans leur effort de préservation en organisant des campagnes d'entretien et de réparation des *Tata Somba*.

C'est dans la perspective de telles campagnes que s'inscrit la rédaction de ce manuel dont l'objectif est de fournir des recommandations techniques pour la rénovation des *Tata Somba* et tout particulièrement celle des parties réalisées en terre crue. Ces recommandations techniques ne prétendent pas apporter de solutions miracles ou des réponses définitives. Donnant valeur et raison à des pratiques traditionnelles, elles consistent à normaliser et optimiser des techniques conventionnelles, tout en laissant aux constructeurs une grande liberté d'interprétation. Les recommandations émises dans ce manuel se fondent sur des enquêtes de terrain, sur une revue de la littérature ethnographique et anthropologique, ainsi que sur les résultats des recherches conduites depuis plus de trente ans sur le matériau terre. Ce manuel s'adresse principalement à celles et ceux qui, dans les années à venir, seront amené·es à prêter main-forte aux propriétaires de *Tata Somba* pour entretenir leur bien.

Cet ouvrage est divisé en trois parties complémentaires, mais relativement autonomes, qui peuvent, à ce titre, être consultées séparément. La première partie expose les propriétés physico-chimiques de la terre, en tant que matière, et rappelle les spécifications et les techniques de mise en œuvre de la terre, en tant que matériau. La deuxième partie étudie les éléments constitutifs des *Tata Somba* et les étapes de leur exécution. La troisième, enfin, s'intéresse aux pathologies constructives courantes des *Tata Somba* et propose des matériaux à préparer et des techniques à mettre en œuvre pour les entretenir et les réparer.

#01

CONSTRUIRE EN TERRE

La terre n'est pas un matériau de construction par destination, à l'inverse de la majorité des matériaux de construction industriels que nous utilisons aujourd'hui. Cela signifie, entre autres, qu'il n'y a pas « la terre » comme il y a « le ciment », mais « des terres » de variétés infinies. Chacune de ces terres présente une composition différente, et donc des propriétés constructives différentes. Une intelligence de la matière, une compréhension de sa nature et de sa composition, est donc nécessaire pour choisir la technique constructive adaptée à la terre disponible ou choisir la terre adaptée à la technique constructive désirée. Si l'expérience acquise par la pratique, dont les savoir-faire traditionnels sont l'aboutissement, peut guider ces choix de façon empirique, quelques éléments de compréhension théorique permettent aujourd'hui de compenser, en partie, l'absence d'expérience, ou du moins de réduire les tâtonnements des premières étapes de familiarisation avec la terre.

MATIÈRE

Fondamentalement, la terre est la matière des sols. Couches les plus externes de la croûte terrestre, les sols apparaissent, se développent et se transforment par l'interaction entre la lithosphère (la roche-mère, les volcans et les mouvements tectoniques), l'atmosphère (les gaz et les phénomènes climatologiques), l'hydrosphère (le cycle de l'eau : pluies, nappes phréatiques, rivières et fleuves, mers et océans) et la biosphère (organismes vivants : champignons, végétaux, animaux). Ce processus lent, long et complexe[5] a produit l'infinie variété des sols qui recouvrent la surface de notre planète. Chaque sol présente un profil particulier, c'est-à-dire une succession de couches (dénommées « horizons » en pédologie) de composition et d'épaisseur spécifiques, allant de la roche-mère, qui en constitue la matrice et le socle, aux terres humifères, qui constituent le plus souvent la couche superficielle. Bien que la vie soit présente dans toute l'épaisseur du sol, elle se concentre dans cette couche superficielle qu'on appelle *humus*. Ce dernier est constitué des matières organiques mortes, décomposées ou en cours de décomposition, qui forment le substrat de la vie végétale hors sol. C'est la « terre nourricière », qu'il s'agit de préserver et donc de ne pas utiliser pour construire. La « terre pour construire » provient, tant que possible, des couches situées sous les couches humifères.

À l'état naturel, c'est-à-dire en gisement dans le sol, la terre se compose d'une fraction solide, faite pour l'essentiel de grains minéraux de diverses tailles[6], et d'une fraction fluide, faite de liquides[7] et de gaz[8]. Après extraction, ces fractions sont toujours présentes, mais leurs proportions et leurs dispositions ont été modifiées ; la terre est dite « foisonnée ». Son état est relativement instable : bien que le tas, solide, présente une forme et un volume donnés, il peut, comme un liquide, s'écouler ou, comme un gaz, être comprimé. L'extraction de la terre a désorganisé la matière, modifié les proportions entre la fraction solide et les fractions fluides, et réduit

5 Si les sols des régions tempérées sont relativement jeunes et issus d'un processus d'altération de la roche-mère court à l'échelle géologique (15-20 000 ans), les sols tropicaux et équatoriaux sont vieux et évolués, issus d'un processus d'altération de la roche-mère de plusieurs millions d'années.

6 Les plus gros grains sont à l'échelle du décimètre, les plus petits à l'échelle du micromètre, voire du nanomètre, soit un rapport de l'ordre de 1 à 1 000 000 entre ces différents grains.

7 Ce liquide est majoritairement de l'eau. Nous préciserons ultérieurement les nuances à apporter à ce que désigne cette « eau ».

8 Les gaz présents dans le sol ont généralement une composition similaire à celle de l'atmosphère, mais avec un peu moins d'oxygène (O_2) et un peu plus de gaz carbonique (CO_2).

fortement sa cohésion. Cependant, il y a dans ce tas de terre un mur porteur en puissance, c'est-à-dire un matériau présentant une résistance suffisante pour lutter contre la gravité en supportant son propre poids, voire celui d'autres éléments qu'il soutiendrait. D'où provient cette solidité ?

La terre est un « béton d'argile » (Van Damme, 2013). De manière générale, un béton est un mélange de granulats minéraux et d'un liant qui assure la cohésion de ces granulats. Le plus connu est le béton de ciment, constitué d'un squelette granulaire de gravier et de sable et de ciment comme liant. Mais il existe d'autres sortes de bétons, dont la terre. On retrouve dans celle-ci des granulats selon les catégories minéralogiques – cailloux, graviers, sables et silts – agglomérés par un liant, l'argile. Quatre éléments jouent un rôle majeur dans ce béton d'argile : l'ensemble des granulats, ou squelette granulaire, le liant, ou matrice colloïdale, l'eau et l'air. Nous aborderons successivement chacun de ces constituants (à l'exception de l'air dont l'influence tient à sa proportion dans le mélange et non à la nature de sa composition). Pour des raisons de concision, nous limiterons leur analyse aux quelques aspects jugés les plus importants pour notre propos. Cette limitation conduit nécessairement à des simplifications excessives que nous espérons pallier en renvoyant le lecteur ou la lectrice à des ouvrages plus complets. Enfin, quand le sujet s'y prêtera, une illustration ou une manipulation permettront de « mettre en pratique » la propriété abordée.

Grains

Les granulats minéraux qui constituent le squelette du béton de ciment sont des graviers et du sable. Ceux-ci sont soigneusement calibrés et dosés selon les performances attendues. À l'inverse, la terre, en tant que matière naturelle, contient des granulats dont les dimensions se répartissent de façon continue, mais dans des proportions variables, du nanomètre au décimètre. Selon les catégories granulométriques conventionnelles, on parle d'argile pour une taille inférieure à 2 µm, de silts (ou limon) pour une taille entre 2 µm et 60 µm, de sable entre 60 µm et 2 mm, de graviers entre 2 mm et 2 cm et de cailloux entre 2 cm et 20 cm. L'argile agit comme liant, c'est pourquoi elle est abordée ultérieurement. Les autres granulats sont de tailles différentes mais de natures et de formes similaires. Ce sont des fragments de roche-mère, dont ils ont conservé la structure cristalline. Ils sont d'allure sphéroïdale.

Dans un premier temps, considérons un amoncellement de ces grains secs, sans eau ni argile. Cet amoncellement constitue une « matière en grain », c'est-à-dire une matière discontinue comprenant une fraction solide fragmentée, les grains, et une fraction fluide interstitielle, ici de l'air. Cette matière va, selon les circonstances, adopter un comportement s'approchant de celui de l'une ou de l'autre de ces fractions, mais en présentant toujours des spécificités qui en font une matière aux propriétés différentes des fractions qui la composent.

Empilement et compacité

Les trois caractéristiques fondamentales d'un empilement de grains sont la compacité, la porosité et la coordinence. La compacité est, pour un volume donné de matière en grains, la proportion du volume de matière solide par rapport au volume total. À l'inverse, la porosité est, pour un volume donné de matière en grains, la proportion du volume de fluides par rapport au volume total. Enfin, la coordinence mesure le nombre de contacts que chaque grain a avec d'autres grains.

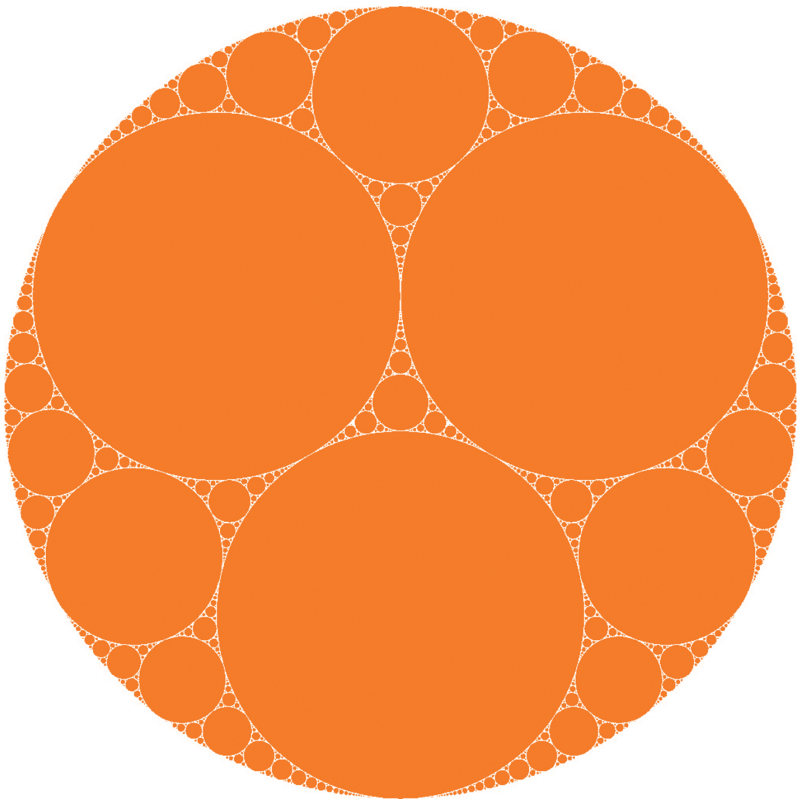
Il existe différents types d'empilements : les empilements monodispersés[9] ordonnés (par exemple, la disposition des atomes dans les solides cristallins), les empilements monodispersés désordonnés (par exemple, des fruits versés en vrac), les empilements polydispersés[10] ordonnés (par exemple, les structures fractales) et les empilements polydispersés désordonnés (par exemple notre tas de terre). Si le premier type peut être décrit avec précision du fait de sa régularité, la description des autres s'avère plus difficile du fait de leur complexité, voire de leur désordre.

Dans un empilement ordonné de sphères monodispersées, la compacité ne peut dépasser 74 %. Dans un empilement désordonné des mêmes sphères, la compacité sera de l'ordre de 60 % lorsque les grains sont déversés dans un contenant, un seau par exemple. Cette compacité peut être améliorée en faisant vibrer le seau pour atteindre environ 64 %, ce qui est considéré comme une limite difficile, voire impossible à dépasser. Par contre, dans un empilement polydispersé, il est possible d'atteindre de plus grande

9 C'est-à-dire que tous les grains de l'empilement ont la même taille.

10 C'est-à-dire que l'empilement contient des grains de différentes tailles.

compacité ; dans le modèle de l'empilement apollonien, en particulier, la compacité tend vers 100 % (figure 4)[11] [12].



△ Figure 4. Exemple d'empilement apollonien, © HTC-Atacora.

11 C'est Apollonios de Perga qui posa ce problème trois siècles avant notre ère : comment remplir au maximum un volume donné avec des boules ? Le résultat est une organisation fractale de sphères tangentes.

12 Les recherches sur les bétons haute performance ont mis en lumière l'importance de la compacité. En modélisant une répartition granulométrique s'approchant de l'empilement apollonien, il a été possible de réaliser des bétons atteignant une compacité de 98-99 %, contre 80 à 90 % pour un béton conventionnel, et offrant une résistance mécanique 10 fois supérieure à celle d'un béton conventionnel, pour atteindre la performance incroyable de 200 MPa. Cependant, cette répartition granulométrique idéale se heurte à un problème de mise en œuvre : la cohésion de cet « assemblage parfait » de grains est telle qu'elle rend le béton très peu fluide et donc difficile à couler. La solution choisie a été la mise en place d'un « empilement espacé » dont le principe est un surdosage des grains les plus fins par rapport au modèle apollonien. Ces grains fins écartent les gros grains et agissent comme des roulements à billes, augmentant la fluidité du mélange. La compacité diminue légèrement (-1 à 2 %), mais le béton est alors jusqu'à 200 % plus maniable (Anger, 2005 : 72).

À retenir

La compacité est une garantie de solidité.

Manipulation

Remplissez un seau avec des oranges. Vous constaterez qu'il reste des espaces vides entre elles. En secouant le seau, vous pourrez réduire un peu le volume occupé par les oranges : leur empilement s'organise de façon plus compacte, mais vous ne parviendrez pas à faire disparaître totalement ces espaces vides. À présent, versez du riz sec dans le seau. Les grains de riz vont glisser entre les oranges et remplir les espaces vides. Le mélange d'oranges et de riz contient moins de vides, il est donc plus compact. Si vous secouez le seau, les grains de riz vont se réorganiser, ils occuperont moins de place et vous pourrez ajouter du riz dans le seau sans le faire déborder. La quantité de vide a encore diminué et la compacité a encore augmenté.

Cette manipulation montre qu'un empilement bidispersé (deux types de grains) est plus compact qu'un empilement monodispersé et que les vibrations améliorent la compacité du mélange[13].

Ségrégation granulaire

La matière en grains n'est ni solide ni liquide : on peut la déverser pour former un tas. Elle s'écoule d'abord comme un liquide et se stabilise ensuite comme un solide. Bien que le tas semble totalement aléatoire, certains principes régissent sa formation. D'ailleurs, si on prend ce tas et qu'on le déverse à nouveau, le second tas aura une allure semblable au premier.

Les grains s'immobilisent en un tas dont les pentes forment un angle constant par rapport à l'horizontale. On appelle cet angle « l'angle de repos ». Supérieur de ± 2° par rapport à l'angle de repos, « l'angle d'avalanche » est l'angle limite entre stabilité et instabilité du tas. Lorsque cet

13 Pour aller plus loin, cf. Fontaine *et al.* (2009).

angle est dépassé, les grains se mettent en mouvement pour retrouver une pente respectant l'angle de repos.

L'angle de repos est d'environ 30° pour le sable. Mais cet angle est différent pour chaque matière en grains, selon la forme, la rugosité, la densité et la taille des grains. Plus les grains sont ronds, lisses, lourds et gros, plus l'angle de repos sera faible. À l'inverse, plus les grains seront anguleux, rugueux, légers et petits, plus l'angle de repos sera élevé.

Lorsqu'on déverse en tas une matière polydispersée, une plus grande proportion des grains ayant l'angle de repos le plus élevé reste au centre, tandis que plus leur angle de repos est faible, plus les grains vont s'éloigner du centre du tas. C'est ainsi qu'on retrouve plus de cailloux au pied d'un tas de terre, et plus de fines[14] au centre. Car la forme et la rugosité des différents grains d'une terre sont généralement similaires : grains arrondis et polis dans les sols alluviaux, grains anguleux et rugueux dans les jeunes sols de montagne. De plus, ces grains, provenant de la roche-mère, ont une densité équivalente. C'est donc surtout la taille qui va influer sur leur ségrégation.

Les différences d'angle de repos entre les grains sont un des phénomènes engendrant une ségrégation des grains dans une matière dispersée. Il en existe d'autres, qui sont détaillés dans les références reprises ci-dessous. Nous avons vu qu'une répartition homogène des grains est essentielle pour assurer la compacité de l'empilement. La ségrégation peut provoquer des disparités dans la compacité de la terre lors de sa mise en œuvre, et donc des points de faiblesse. Lors des manipulations (extraction, transport, mélange et préparation, etc.), il faudra être vigilant à conserver une répartition homogène des grains.

À retenir

Une matière en grains polydispersée tend, lorsqu'elle est manipulée, à perdre son homogénéité par ségrégation des grains.

14 Le terme « fines » désigne couramment la section de la terre dont les grains ne sont pas identifiables à l'œil nu. Les fines comprennent donc les argiles et les silts.

Manipulation

Prenons un seau rempli d'oranges et un seau rempli de riz. Si on verse le premier, les oranges roulent et se dispersent. Si quelques oranges restent empilées, le tas formé présente un angle de repos très faible. À l'inverse, si on verse le second, les grains de riz forment un tas compact présentant un angle de repos plus élevé. Les oranges sont plus lourdes, plus grandes et ont une forme plus ronde et lisse que les grains de riz. C'est pourquoi l'angle de pente du tas d'oranges est plus faible que celui du tas de grains de riz.

Si on prend le seau rempli d'oranges et qu'on y verse du riz en tapotant sur le seau, les grains de riz commencent par remplir les interstices entre les oranges. Si on continue à verser du riz tout en tapotant le seau, le riz va s'accumuler dans le fond du seau, et peu à peu, les oranges vont remonter, jusqu'à tomber du seau. À la fin, il ne restera plus que du riz dans le seau. Lors de vibrations, la ségrégation des grains tend à faire remonter les grains les plus gros vers le haut et à accumuler les grains les plus fins dans le bas du seau[15].

Chaînes de forces

Le phénomène appelé « effet d'arc » est courant dans la matière en grains, où les forces (telles que le poids des grains eux-mêmes, mais aussi des charges qui s'appliqueraient sur un tas de grains) ne se transmettent pas verticalement, mais selon les points de contact entre les grains, dessinant ainsi des chaînes de forces. Les expériences faites par Fontaine *et al.* (2009) en donnent des illustrations très parlantes. Notons par exemple l'expérience du bâton planté dans un tube rempli de sable[16], ou la démonstration des chaînes de forces avec des grains de matériau photoélastique[17].

15 Pour aller plus loin, cf. Fontaine *et al.* (2009).

16 Si, comme dans la vidéo « Le bâton béton » (Basset, 2015), on place un long bâton dans un tube haut et étroit, et que l'on remplit ensuite le tube avec du sable, il devient très difficile, voire impossible, de retirer le bâton en tirant dessus. Ce qui se passe ici est un effet d'arc : sous la traction exercée sur le bâton, des chaînes de forces se développent depuis les grains appuyés contre le bâton et que celui-ci entraîne vers le haut, jusqu'aux grains appuyés contre les parois du tube. Chacune de ces chaînes de force est relativement fragile, mais il en existe autant qu'il y a de grains en contact avec le bâton. Sous la traction, ces chaînes vont prendre la forme d'arc s'opposant à l'arrachement du bâton, et ainsi le bloquer dans le tube.

17 Un matériau photoélastique est un matériau transparent ayant la particularité de diffracter la lumière différemment selon les zones au repos et les zones soumises à un effort (compression ou traction) lorsque ce matériau est éclairé avec une lumière polarisée. En empilant, comme dans la vidéo « Les grains photoélastiques » (Basset, 2015), des disques faits de ce matériau entre deux feuilles de verre, sous un éclairage polarisé, il est possible de voir les chaînes de forces apparaître entre les disques lorsqu'on applique une poussée au sommet de l'empilement.

Ces chaînes de forces jouent un rôle déterminant dans le comportement de la terre, entre autres parce qu'elles sont un des éléments s'opposant à l'organisation optimale des grains en créant des « poches » de faible densité « protégées » par des arcs de grains. Elles jouent aussi un rôle déterminant lors de la manipulation de la terre, et lors de sa mise en œuvre. Ainsi, ce phénomène explique, par exemple, qu'un pisé[18] réalisé en couches fines (± 5 cm) est plus dense et donc plus performant qu'un pisé réalisé en couches plus épaisses (10 cm et plus) car dans les couches épaisses, des chaînes de forces apparaissent lors du damage de la terre, empêchant de damer de façon homogène toute la couche.

À retenir

Les forces suivent des parcours définis par les points de contact entre les grains, formant ce qu'on appelle des chaînes de forces.

Manipulation

Prenons un seau rempli de riz et versons-le, au moyen d'un entonnoir, dans une boîte dont l'ouverture est assez étroite. Dans un premier temps, versons le riz lentement ; les grains tombent peu à peu dans l'entonnoir et glissent ensuite sans problème dans la boîte. Si nous augmentons le débit, les grains seront trop nombreux dans l'entonnoir et ils ne glisseront plus directement dans la boîte. Un petit tas va se former dans l'entonnoir, et rapidement, ils vont cesser de glisser dans la boîte. Pourtant les grains sont bien plus petits que l'ouverture de l'entonnoir. Comment se fait-il alors qu'ils puissent le boucher ? En s'appuyant les uns sur les autres, les grains ont formé une sorte de coupole au-dessus de l'ouverture ; un « bouchon » s'est formé. Cette manipulation fait apparaître l'existence de chaînes de force entre les grains[19].

18 Le pisé est une très ancienne technique pour mettre en œuvre la terre crue qui consiste à damer la terre dans un coffrage.

19 Pour aller plus loin, cf. Fontaine *et al.* (2009).

Eau

Jusqu'ici, nous avons considéré une matière en grains composée d'une fraction solide, les grains, et d'une fraction fluide, l'air contenu dans leurs interstices. L'ajout d'un liquide dans une matière en grains en modifie complètement le comportement. Nous considérerons ici l'ajout d'eau, comme composant liquide. Nous verrons plus loin que l'eau est rarement pure[20] et que sa composition chimique peut également influencer le comportement du mélange. Dans un sable saturé d'eau, la fraction fluide ne comprend plus que du liquide, de l'eau. Dans un sable humide, par contre, cette fraction fluide contient à la fois du liquide et du gaz, de l'air en l'occurrence. Les interactions entre ces deux fluides sont à l'origine de la cohésion de la terre : les forces capillaires. Elles feront l'objet du premier point de cette section. Mais l'eau se présente aussi sous d'autres aspects dans une terre : eau liquide, eau adsorbée et eau liée. Ces différents aspects feront l'objet du deuxième point. Enfin, à l'échelle macroscopique, la quantité d'eau présente dans la terre détermine la plasticité de la terre. Nous aborderons cette dernière question au troisième point de cette section.

Ponts capillaires

À retenir

Lorsque la fraction fluide d'une matière en grains est composée d'un liquide et d'un gaz, l'interaction entre les deux fait apparaître des ponts capillaires reliant les grains. Ces ponts capillaires engendrent la cohésion de la matière en grains[21].

Manipulation

Une poignée de sable sec coule entre les doigts et forme un petit tas régulier. Une poignée de sable humide forme des petites mottes, voire une seule boule si on sert la main. En tombant, celle-ci forme à nouveau des petits pâtés. Un sable saturé d'eau, par contre, coule dans la main de ma-

20 Il est très rare que l'eau présente dans notre quotidien soit pure (constituée uniquement de molécules H_2O). On y retrouve de petites quantités de diverses autres molécules dissoutes dans l'eau. Il s'agit plutôt d'une solution aqueuse. Nous verrons plus loin que ces molécules peuvent jouer un rôle déterminant dans le matériau terre et qu'il y a donc lieu de distinguer eau pure et solution aqueuse. Cependant, par souci de simplicité, nous utiliserons dans la suite du texte le terme courant « eau » pour désigner cette solution aqueuse.

21 Pour aller plus loin, cf. Fontaine *et al.* (2009).

nière fluide pour s'étaler en flaque sur le sol. L'eau adopte en l'occurrence deux comportements contradictoires. D'une part, comme les grains de sable (comme tous les grains minéraux) sont hydrophiles, l'eau va tendre à hydrater les grains au maximum, c'est-à-dire à recouvrir la plus grande surface de grain possible. D'autre part, la cohésion interne de l'eau va engendrer une tension superficielle qui va avoir tendance à réduire la surface de contact avec l'air[22]. Combinant ces deux comportements, l'eau lie les grains de sable entre eux au travers de ce qu'on appelle des « ponts capillaires ».

Dans un milieu granulaire fait de grains hydrophiles, la cohésion provient ainsi de la combinaison solide/liquide/gaz. Pour chaque répartition granulométrique, il existe un optimum dans les proportions gaz/liquide qui assure la cohésion la plus élevée : s'il y a trop peu d'eau, les ponts capillaires sont trop fins, voire trop peu nombreux, et ne parviennent pas à assurer une cohésion suffisante, et à l'inverse, s'il y a trop d'eau, les ponts capillaires perdent en tension de surface, voire fusionnent, et n'assurent plus la cohésion du mélange[23]. Par ailleurs, plus les grains sont fins, plus les ponts capillaires sont nombreux, et la cohésion, élevée[24]. Enfin, un pont capillaire sera d'autant plus fort que les surfaces des grains qu'il relie tendent à devenir parallèles. L'intensité maximale du pont capillaire sera atteinte entre deux faces lisses et parfaitement parallèles, comme, par exemple, deux feuilles de verre[25]. Or, les argiles, grains parmi les plus fins dans la terre, ont la forme de petites plaquettes. Du fait de leur très petite taille et de leur géométrie particulière, les ponts capillaires engendrent une cohésion extrêmement forte entre ces grains. Cependant, dans la terre, les argiles sont le plus souvent disposées de façon désordonnée et non comme des plaquettes de verre posées les unes sur les autres.

22 C'est cette tension de surface qui fait que la pluie tombe en goutte, et non en molécules dispersées. Et si elles ne tombaient à très grande vitesse, ces gouttes d'eau seraient parfaitement sphériques : la tension superficielle va tenter de réduire au maximum la surface de contact entre air et eau (et la sphère est le volume offrant la plus faible surface externe).

23 La vidéo « La colonne de sable » (Basset, 2015) illustre ce phénomène. Il est impossible de faire une colonne avec du sable sec. Si on y ajoute peu à peu de l'eau, on parvient à faire une colonne à chaque fois plus haute. Mais passé un certain point, la tendance s'inverse : à chaque fois qu'on ajoute de l'eau, la colonne s'affaisse plus rapidement.

24 La vidéo « Les pâtés de sable fin et de sable grossier » (Basset, 2015) montre qu'un pâté de sable fin humide est 8 fois plus résistant que le même pâté fait avec du sable grossier. La vidéo « le comprimé de poudre » (Basset, 2015) démontre que l'humidité de l'air suffit à créer des ponts capillaires entre les grains d'argile lorsqu'on les rapproche les uns des autres par compression.

25 La vidéo « Les plaques de verre » (Basset, 2015) illustre ce phénomène : une goutte d'eau entre deux fines plaques de verre suffit à les coller. Il devient très difficile de les séparer autrement qu'en les faisant glisser l'une sur l'autre, c'est-à-dire par cisaillement du pont capillaire.

Trois types d'eau

L'eau est présente de trois façons différentes dans la terre, chacune jouant un rôle différent dans le comportement de la matière.

La terre, d'abord, contient de l'eau liquide. Il s'agit de l'eau qui se trouve dans les espaces entre les grains de la terre. Lorsque la terre est saturée d'eau liquide, elle adopte un état allant de plastique à liquide. C'est de « la boue », plus ou moins liquide. Lorsqu'on prépare un matériau en terre crue, on y ajoute de l'eau (l'eau de gâchage) pour obtenir la plasticité souhaitée. Lorsque la quantité d'eau liquide diminue, l'eau liquide forme des ponts capillaires entre les grains et la terre devient solide. C'est le séchage du matériau. Même lorsque le matériau est considéré comme sec, il contient encore de l'eau liquide (de l'ordre de 2 à 3 %), sans quoi il perdrait sa cohésion. Lors du séchage, l'évacuation de l'eau liquide en excès provoque un premier retrait, par resserrage des ponts capillaires. Et si le matériau sec est exposé à de l'eau liquide (comme lors d'une pluie), cette eau pénètre dans le matériau par capillarité, d'autant plus que le matériau est poreux. L'augmentation de la quantité d'eau diminue la tension capillaire entre les grains, ce qui entraîne une diminution de la cohésion du matériau et de sa résistance mécanique.

La terre, ensuite, contient de l'eau adsorbée, c'est-à-dire des molécules d'eau fixées à la surface des plaquettes d'argiles[26]. Si toutes les argiles adsorbent de l'eau, il existe des différences majeures, notamment celle entre une argile non gonflante, telle que la kaolinite, et une argile gonflante, telle que la smectite. Les différences de gonflement entre les argiles expliquent en grande partie les différences de plasticité des terres, puisque l'eau adsorbée n'est plus libre et ne contribue donc plus à la fluidité du mélange. Lors de ce séchage, l'eau adsorbée s'évacue très lentement, et seulement après l'évacuation de l'excès d'eau liquide. L'évacuation de l'eau adsorbée provoque un second retrait : le dégonflement des argiles. Une fois que le matériau est sec, l'adsorption de molécules d'eau par les argiles suit les variations d'humidité dans l'air ambiant, ce qui explique l'excellente capacité de la terre à réguler l'hygrométrie intérieure.

26 Au contraire de l'absorption, où un corps liquide (voire un gaz) est piégé à l'intérieur d'un solide (voire d'un liquide), l'adsorption est un phénomène surfacique qui implique des liaisons chimiques entre des composants (ions, atomes ou molécules), dits adsorbés, et une surface, dite adsorbante.

La terre, enfin, contient de l'eau liée. Il s'agit de molécules d'eau prises dans la structure moléculaire des argiles. Cette eau ne peut être évacuée qu'à très haute température, par cuisson de la terre. Cette eau particulière n'intervient pas dans la construction en terre crue[27].

Argile

Dans la terre, l'argile est souvent décrite comme le liant, mais il s'agit là d'une simplification, car le véritable liant est une suspension colloïdale argileuse[28] constituée d'une solution aqueuse (de l'eau comprenant divers solutés) et d'argile granulométrique.

Argile granulométrique

La suspension colloïdale argileuse contient de l'argile granulométrique qui est la fraction la plus fine de la terre, composée de grains dont la taille ne dépasse pas 2 µm. L'argile granulométrique contient des éléments de différentes natures : des argiles dites minéralogiques, des oxydes et hydroxydes métalliques, des débris de micas et de *feldspaths*, etc. D'un point de vue constructif, deux de ces éléments jouent un rôle déterminant : les argiles minéralogiques et les oxydes métalliques, et plus particulièrement les oxydes de fer, décrits ci-dessous.

Argiles minéralogiques

Les argiles minéralogiques sont des phyllosilicates, c'est-à-dire qu'elles sont constituées de feuillets composés de couches de silicates (Anger, 2011)[29]. Ces couches sont de deux types : tétraédriques et octaédriques. On classe les argiles selon les couches qui composent des feuillets : la kaolinite est une argile de type 1 : 1, soit un feuillet composé d'une couche tétraédrique et une couche octaédrique, tandis que la smectite est une argile de type 2 : 1, soit un feuillet composé de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Les feuillets sont empilés pour former une plaquette d'argile.

---

27 Pour aller plus loin, cf. Moevus *et al.* (2013 : 100-104).

28 Du grec *kolla*, colle, et *eidos*, forme, sorte de.

29 La distinction entre les argiles granulométriques et les argiles minéralogiques est récente. Au XIX^{e} siècle, lorsque la catégorisation granulométrique a été établie, les microscopes optiques ne permettaient pas de distinguer les particules inférieures à 2 µm. On a alors classé comme « argile » toutes les particules minérales inférieures à cette taille. Aujourd'hui, comme il est possible de voir des particules beaucoup plus petites, il apparaît que l'argile granulométrique est en fait composée de différents minéraux, et non uniquement d'argiles au sens minéralogique du terme.

Le nombre de feuillets empilés est également variable : de quelques feuillets à plusieurs centaines. Et la distance entre les feuillets peut être stable ou instable. La kaolinite a un espacement stable entre feuillets, tandis que dans le cas de la smectite, cet espacement est instable. Lorsque l'espacement est instable, des molécules d'eau peuvent venir se glisser entre deux feuillets, ce qui provoque un gonflement très important de l'argile : la smectite est une argile gonflante. Lorsque l'espacement est stable, les molécules d'eau ne peuvent se glisser entre deux feuillets et l'adsorption d'eau est donc limitée aux faces extérieures des plaquettes : la kaolinite est une argile non gonflante. Enfin, les feuillets sont caractérisés par des charges électriques ; en général, ces charges sont négatives sur les deux faces des feuillets, tandis qu'elles sont positives sur leurs tranches. Cependant, l'intensité des charges de face (charges négatives) dépend des irrégularités dans les mailles moléculaires des feuillets : de ce fait, on classe aussi les argiles selon les différences d'intensité de charge de surface. Notons que ces charges sont permanentes sur les faces, mais peuvent varier sur les tranches ; cette propriété est impliquée dans le phénomène de floculation/défloculation des argiles dont il est question plus bas (cf. floculation/dispersion, p. 38).

Oxydes métalliques

Les oxydes métalliques, et principalement les oxydes d'aluminium et de fer, sont abondamment présents dans les sols, et particulièrement dans les sols évolués des régions tropicales et équatoriales. Il s'agit de particules extrêmement petites, beaucoup plus petites que les plaquettes d'argiles. Elles interagissent donc avec les argiles et agissent sur le comportement de la terre. Nous ne détaillerons pas ici leur nature et leur classement, mais certaines de leurs caractéristiques ont une influence majeure pour ce qui nous occupe. Tout comme les tranches des feuillets d'argile, les oxydes présentent des charges électriques de surface variables. Selon le pH, qui en chimie mesure l'acidité ou l'alcalinité d'un milieu, et la charge en cations de l'eau, leur surface présente une charge positive (pH bas – milieu acide) ou négative (pH élevé – milieu basique). Or dans les sols évolués, le pH a tendance à être bas (4-5) et les oxydes ont donc des surfaces chargées positivement. Les argiles ont des faces chargées négativement, et les oxydes ont alors tendance à se fixer à la surface des plaquettes d'argile. Cela a pour effet de conférer aux plaquettes d'argile un comportement similaire à celui des particules d'oxyde qui en recouvrent la surface.

Floculation/dispersion

La suspension colloïdale argileuse, qui forme le liant du béton d'argile, repose sur les interactions de surface à échelle moléculaire entre les particules en suspension et la solution aqueuse dans laquelle elles sont suspendues. Ces particules sont tellement petites que, d'une part, leur poids est extrêmement réduit et, d'autre part, elles ont des surfaces spécifiques[30] extrêmement élevées : par exemple, 1 g de kaolinite a une surface spécifique de ± 30 m^2 et 1 g de smectite a une surface spécifique de ± 800 m^2. Les interactions de surface deviennent alors déterminantes pour le comportement de ces particules. Par exemple, les argiles sont très hydrophiles. De ce fait, lorsqu'elles sont en présence d'eau, les molécules d'eau (H_2O) vont s'agglomérer autour de chaque particule d'argile et les maintenir distantes les unes des autres. Les particules sont ainsi en suspension dans l'eau, et ne suivent plus les lois de la gravité qui les amèneraient à tomber au fond de l'eau, à sédimenter comme le feraient des grains plus gros tels que des silts.

Du fait de leurs charges électriques de surface, les particules en suspension dans l'eau vont s'attirer ou se repousser. Si elles s'attirent, elles vont former des sortes de petits grumeaux : on appelle cela la floculation. À l'inverse, si elles se repoussent, les particules vont chercher à rester les plus éloignées les unes des autres, et la suspension sera une dispersion homogène. L'état de floculation ou de dispersion (on parle également de défloculation) des particules d'argile influence de façon déterminante la plasticité d'une terre : à quantité d'eau constante, l'ajout d'un dispersant permet de faire passer un mortier de terre de l'état plastique à l'état liquide. Un floculant aura l'effet inverse.

C'est pendant la phase de mise en œuvre que la floculation (ou la défloculation) des argiles, qui modifie la maniabilité de la terre, est la plus manifeste, mais elle a aussi des conséquences sur le matériau sec. Les plaquettes d'argile présentent de grandes faces chargées négativement et des tranches chargées positivement. Elles ont donc tendance à floculer dans un assemblage tranche/face ressemblant, au microscope, à un château de cartes. Si la charge des tranches est modifiée, les plaquettes d'argile se repoussent et restent dispersées. Au séchage (lorsque l'eau est évacuée et que, de ce fait,

30 La surface spécifique exprime le rapport entre la surface externe totale d'un élément et sa masse. On l'exprime en une surface par unité de masse. Plus un élément est grand, plus sa surface spécifique sera faible. À l'inverse, plus un élément est petit (ou divisé), plus sa surface spécifique sera élevée.

la mobilité des plaquettes diminue), les plaquettes vont avoir tendance à se disposer face contre face, à la manière d'un paquet de cartes, cette fois. Cela a pour effet qu'après séchage, une terre « floculée » présente une densité moindre, une porosité plus élevée et une résistance mécanique moindre que la même terre « dispersée ». De plus, comme il faut plus d'eau dans une terre « floculée » que dans une terre « dispersée » pour un même niveau de maniabilité (ou plasticité, correspondant à une même mise en œuvre), le retrait au séchage est plus important dans la terre « floculée ».

Thixotropie

Une boue d'argile constitue un liquide présentant un comportement particulier : la thixotropie. Ce phénomène peut être observé dans divers fluides, comme le yaourt. Lorsqu'une matière thixotrope est laissée au repos, elle se stabilise et s'épaissit. Les particules qui la constituent se disposent en formant une structure présentant une relative rigidité. Tandis que lorsqu'on la mélange ou qu'on l'agite, elle devient de plus en plus fluide sans qu'on n'y ait rien ajouté. La force exercée en mélangeant ou en agitant la matière désorganise progressivement les particules qui deviennent ainsi plus mobiles. Ce phénomène est strictement physique et est donc réversible : la matière agitée laissée au repos va se restructurer et perdre en fluidité. C'est ce phénomène qui explique qu'une terre gagne en ouvrabilité lorsqu'elle est mélangée longuement[31].

31 Pour aller plus loin, cf. Anger (2005;2011).

MATÉRIAU

La terre devient matériau de construction lorsqu'elle est sélectionnée et mise en œuvre. Toutes les terres ne sont pas adaptées à la construction, ou pas aux mêmes techniques de construction ; il convient donc de les choisir avec soin.

Sélection

À l'instar d'autres matériaux de construction conventionnels, il est devenu possible aujourd'hui de faire livrer des terres prêtes à l'emploi, parfaitement adaptées aux mises en œuvre souhaitées. Mais l'une des qualités de la construction en terre repose sur la possibilité d'utiliser la matière disponible sur place : le sol du chantier. Il suffit de creuser, et ensuite de savoir s'en servir pour construire un édifice. Cette terre à disposition est gratuite et abondamment disponible. Et elle correspond le plus souvent aux usages traditionnels locaux.

La première étape consiste donc à connaître les caractéristiques de la terre présente sur site. Il est utile, d'abord, de demander conseil aux habitant·es de l'endroit, qui connaissent généralement les lieux où trouver les terres adaptées. Il est nécessaire, ensuite, de réaliser des tests sensitifs qui permettent une première appréhension de la terre : toucher, goûter, sentir. Quelques tests de comportement pouvant être effectués sur chantier permettent en outre de vérifier si la terre choisie sur base des conseils des habitant·es convient bien. Les plus courants de ces tests sont présentés ici. Au besoin, ils peuvent être complétés. Dans ce cas, nous renvoyons à des ouvrages de référence. Enfin, si l'usage envisagé est très spécifique ou que la terre montre des caractéristiques très atypiques, il est conseillé de réaliser des tests en laboratoire.

Tests sensitifs

Les tests sensitifs repris ici offrent une première appréhension des caractéristiques de la terre. Ils reposent en grande partie sur l'expérience et la pratique de la personne les réalisant. À défaut d'expérience, il est vivement recommandé d'effectuer ces tests avec diverses terres pour mieux en percevoir les différences.

L'*examen visuel* consiste à prendre un échantillon de terre sèche et, après avoir enlevé les cailloux et les graviers, à examiner les proportions de sables et de fines. Pour les tests suivants, on utilisera uniquement la partie de la terre dépourvue des graviers et cailloux.

Le *test de l'odeur* consiste à prendre une poignée de terre humide, cette fois, et à la sentir. Si elle dégage une odeur forte, évoquant le moisi, c'est qu'elle contient de l'humus et est, de ce fait, impropre à l'utilisation comme matériau. Si elle a une odeur légère et minérale, alors les tests suivants peuvent être réalisés.

Le *test de la morsure* consiste à prendre une pincée de terre et à la mettre en bouche. Si la terre crisse en provoquant une sensation désagréable, elle est sableuse. Si le crissement n'est pas désagréable, elle est silteuse. Enfin, si la terre donne une sensation lisse ou farineuse, ou si la langue colle sur une pastille de terre sèche, elle est argileuse.

Le *test du lavage* consiste, enfin, à prendre un peu de terre en main et à se frotter les mains dans l'eau avec la terre. Une terre sableuse donne une sensation râpeuse et se lave facilement. Une terre silteuse donne une sensation lisse et se lave assez facilement. Une terre argileuse donne une sensation savonneuse et se lave difficilement.

Tests de comportement

Dans un deuxième temps, des tests de comportement, ou tests de terrain, sont à réaliser pour préciser et compléter les impressions données par les tests sensitifs. Il est important de noter que ces tests restent empiriques et comportent des marges d'approximation importantes. Le respect des consignes et, surtout, l'expérience de la personne effectuant les tests permettront de limiter celles-ci.

Comme indiqué plus haut, de nombreux tests de comportement existent. La sélection ci-dessous permet de caractériser la terre de manière satisfaisante pour les usages les plus courants. En cas de doute, des tests complémentaires sont à prévoir. Enfin, en dernier recours (usages spécifiques ou terres aux caractéristiques atypiques), des tests en laboratoire s'avéreront nécessaires, mais ceux-ci impliquent des démarches et des coûts conséquents.

Pour les tests repris ci-dessous, la terre doit être préparée. Il y a lieu tout d'abord de tamiser l'échantillon de terre à 4 mm. Ensuite, l'humidification de la terre doit se faire 24 h avant la réalisation des tests et être conservée à l'abri du soleil (par exemple dans une boîte étanche rangée à l'ombre), afin d'assurer l'homogénéisation de l'humidification. À défaut, les tests peuvent montrer des marges d'erreur très conséquentes. La bonne humidification de la terre donne un mélange non friable, facilement malléable et ne collant pas aux mains, ce qui correspond à l'état plastique de la terre. Lorsque l'échantillon doit être ensuite séché, il faut prévoir également un délai long (selon la taille de l'échantillon et ses conditions d'exposition à la chaleur, entre 24 h et une semaine). Enfin, chaque test doit être fait avec au minimum 3 échantillons de la terre à tester, pour confirmer les observations.

Le *test de la boule* consiste à réaliser une boule de terre humide de ± 4 cm de diamètre à partir du mélange plastique préparé la veille. La boule est façonnée par pressions successives dans le creux de la main, non en roulant la terre dans la main. Laisser tomber la boule d'une hauteur d'épaule (± 1,5 m) sur un sol dur. La boule doit se séparer en quelques gros morceaux. Si la boule reste entière, la terre est trop cohésive (trop argileuse). Si la boule se désagrège en de très nombreux morceaux, la terre est trop peu cohésive (trop peu argileuse).

Le *test du cigare* consiste, à partir du mélange plastique préparé la veille, à réaliser un long boudin de terre de la taille d'un gros cigare (± 2-3 cm de diamètre). Le boudin est façonné par pressions successives des doigts, non en roulant la terre entre les mains. Poser le boudin au bord d'une surface horizontale (une table par exemple) et le pousser doucement dans le vide. Le boudin se déchire en morceaux. Jeter le dernier morceau resté sur la surface d'appui et mesurer la longueur des autres morceaux. La longueur moyenne de ces morceaux doit être comprise entre 5 et 15 cm de long. Si elle est supérieure, la terre est trop cohésive (trop argileuse). Si elle est plus courte, la terre manque de cohésion (trop peu argileuse).

Le *test des pastilles* consiste à prendre un gabarit cylindrique de ± 5 cm de diamètre et ± 1 cm de haut (par exemple : section de tube), le tremper dans l'eau et le poser sur une surface lisse. Ensuite, remplir complétement le gabarit de terre plastique, en veillant à bien remplir les bords. Lisser la surface à la truelle. Retirer le gabarit et laisser sécher. Replacer la pastille

dans le gabarit et mesurer les différences de taille : le rapport entre la taille de la pastille sèche et le diamètre intérieur du gabarit indique le retrait de la terre au séchage. Ce retrait est idéalement de 2-3 % et ne peut dépasser 5 %. Ensuite, casser la pastille en deux et effriter les bords par de fortes pressions des doigts. Si la pastille est très difficile – voire impossible – à casser et que les bords s'effritent à peine, la terre est extrêmement cohésive et trop argileuse pour un usage constructif. Si la pastille se rompt moyennement difficilement en faisant un bruit sec et sonore, et qu'il faut un effort pour effriter ses bords, la terre a une bonne cohésion et convient pour la construction. Si la pastille se brise facilement en faisant un bruit sourd et que les bords s'effritent relativement facilement, la terre a une cohésion faible et ne convient pas à un usage constructif[32].

Mise en œuvre

Une fois la terre sélectionnée, il s'agit de la préparer et de la mettre en œuvre. Habituellement, la préparation consiste d'abord à ajouter de l'eau à la terre en vue d'obtenir une consistance adéquate. On peut ensuite y ajouter divers adjuvants pour améliorer les qualités du mélange. Une fois préparé, ce dernier peut enfin être mis en œuvre suivant une technique ou un procédé particulier.

Consistance

Lorsqu'on ajoute de l'eau à une terre sèche, cette dernière passe progressivement d'un état solide à un état liquide, en passant par un état plastique. Les limites entre ces différents états sont appelées « limites d'Atterberg ». La limite dite « de plasticité » est le seuil entre l'état solide et l'état plastique. La limite dite « de liquidité » est le seuil entre l'état plastique et l'état liquide. L'écart de teneur en eau du matériau entre ces deux limites est appelé « indice de plasticité ». Une terre gonflante possède un indice de plasticité élevé, c'est-à-dire qu'il faudra ajouter une grande quantité d'eau pour passer de l'état plastique à l'état liquide. Une terre peu ou pas gonflante présente un indice de plasticité faible, c'est-à-dire qu'il faudra ajouter relativement peu d'eau pour passer de l'état plastique à l'état liquide. Les limites d'Atterberg sont mesurées en laboratoire de manière empirique.

32 Pour aller plus loin, cf. Minke (2013) et Guillaud et Houben (1989).

Sur chantier, quelques critères simples permettent d'évaluer facilement la plasticité d'une terre. Une terre est dite « solide » si elle est non malléable, friable et ne colle pas au doigt. Une terre solide peut être tout à fait sèche ou humide. Une terre est dite « plastique » si elle est aisément malléable, n'est pas friable et ne colle pas aux doigts. Une terre est dite liquide si elle est trop fluide pour être modelée, n'est pas friable et colle aux doigts.

Adjuvants

Afin d'améliorer les propriétés du mélange de terre, que ce soit pour la mise en œuvre ou pour le matériau fini, diverses substances peuvent y être ajoutées. Il s'agit d'« adjuvants » dont le rôle est la stabilisation de la terre. Ceux-ci peuvent être d'origine minérale, végétale ou animale, et ils peuvent être plus ou moins transformés par rapport à leur état d'origine. L'usage de ces divers adjuvants provient pour l'essentiel des innombrables pratiques traditionnelles, mais également de pratiques modernes et de recherches récentes. Le choix des adjuvants dépend des ressources disponibles, des propriétés devant être améliorées et des caractéristiques de la terre utilisée. Les pratiques traditionnelles locales sont généralement une bonne source pour déterminer des adjuvants disponibles et adaptés à la terre locale. Il existe sinon une abondante littérature pouvant aider à établir ce choix. En cas d'incertitude, il est conseillé de réaliser des essais préalables pour vérifier que le mélange stabilisé donne les résultats attendus. Sans faire ici un récapitulatif détaillé, nous nous bornerons à décrire trois grandes catégories de stabilisation de la terre : la réduction de la fissuration, la résistance mécanique (cohésion, compression, abrasion) et la résistance à l'eau.

La réduction de la fissuration

Comme nous l'avons vu, la terre se rétracte lors de son séchage, ce qui peut occasionner des fissurations. Ce phénomène est généralement proportionnel à la quantité d'eau ajoutée à la terre pour sa mise en œuvre, mais varie aussi selon le type d'argile et le squelette granulaire de la terre utilisée.

La solution la plus courante pour pallier ce problème est l'ajout de fibres dans le mélange. En effet, les fibres constituent une armature qui améliore la cohésion du matériau et réduit les risques de fissuration. Lorsque la quantité de fibre est importante, cela permet d'alléger le mélange et d'en modifier le comportement thermique (isolation et inertie thermique). Les fibres

utilisées sont très variées, des poils d'animaux ou d'humains aux tiges de différentes plantes (le plus souvent, la paille de céréales), voire des fibres synthétiques. La longueur et l'épaisseur des fibres varient selon la technique de mise en œuvre envisagée. De façon très générale, les longueur et épaisseur des fibres sont proportionnelles à l'épaisseur des ouvrages à réaliser et inversement proportionnelles au degré de finition de l'élément à réaliser. Ainsi, les fibres sont longues et grossières pour un mur de terre-paille, tandis qu'elles sont courtes et fines pour un enduit.

Il est également possible de réduire la fissuration en diminuant la quantité d'eau nécessaire à la mise en œuvre. Les agents défloculants ou dispersants, en agissant sur le comportement des argiles et en augmentant la fluidité du mélange sans ajout d'eau, aident à réduire la fissuration. Il existe des défloculants naturels, comme les tanins, et des défloculants de synthèse, comme les solutions de silicate de sodium. Le choix du défloculant et son dosage dépendent de la terre utilisée. Des essais préalables sont donc nécessaires.

La résistance mécanique

L'augmentation de la résistance mécanique vise généralement à augmenter la cohésion de la terre, sa résistance à la compression et/ou sa résistance à l'abrasion. Les adjuvants utilisés pour obtenir ces résultats agissent à l'échelle microscopique et interagissent avec les plaquettes d'argile en renforçant la matrice cohésive de la terre.

Issus des traditions constructives, divers adjuvants naturels d'origine végétale sont utilisés pour réaliser ces améliorations. Ces adjuvants contiennent généralement des biopolymères de type polysaccharides, dont les longues chaînes moléculaires opèrent comme des armatures entre les plaquettes d'argile. Certaines protéines telle que la caséine sont des colles qui, appliquées en surface par badigeon ou peinture, fixent la terre et diminuent ainsi l'abrasion des surfaces.

Enfin, les stabilisants minéraux tels que le ciment et la chaux sont également utilisés. Ceux-ci fixent les grains entre eux par la matrice cristalline qu'ils constituent lors de leur prise. Cependant, leur usage doit être évité autant que possible car leur action est irréversible et leur efficacité est limitée (van Damme et Houben, 2018).

La résistance à l'eau

Si l'eau est nécessaire à la mise en œuvre de la terre, elle est source de détérioration et d'usure accélérée pour les ouvrages achevés. Réduire l'action de l'eau sur les ouvrages en terre est donc naturellement un souci récurrent. Cette fois encore, un très grand nombre d'adjuvants traditionnels et modernes peuvent se montrer efficaces. Leur utilisation se concentre le plus souvent dans les couches de finition, les plus exposées à l'eau.

Pour améliorer la résistance à l'eau d'un ouvrage, on peut appliquer deux grands principes. Le premier principe consiste à augmenter la cohésion de la terre. Les adjuvants utilisés pour améliorer la résistance mécanique peuvent donc renforcer la résistance à l'eau, à condition qu'ils ne soient pas eux-mêmes solubles dans l'eau. Le second principe consiste à utiliser des adjuvants hydrophobes, c'est-à-dire qui repoussent l'eau. Parmi d'autres, on peut utiliser des matières grasses comme l'huile de lin (lipides) ou du blanc d'œuf (albumine).

Techniques

La terre est utilisée pour construire depuis des millénaires et dans presque toutes les parties habitées du globe. Les pratiques vernaculaires ont donné lieu à un très grand nombre de techniques différentes. Nous donnons ci-dessous les grands principes des pratiques courantes dans l'Atacora, le banco, l'adobe et les enduits, et donnons, ensuite, un bref aperçu de quelques autres techniques courantes ailleurs dans le monde.

Banco

Le banco est une technique de construction traditionnelle largement utilisée en Afrique, dans l'Atacora en particulier (figure 5). La terre, moyennement argileuse et présentant une courbe granulométrique relativement continue des argiles aux petits cailloux, est abondamment malaxée pour obtenir un mélange plastique homogène et souple. À ce mélange peut être ajoutée de la paille hachée en morceaux moyennement courts (10 - 15 cm). On façonne ensuite des boules de ± 20 cm de large sur 30 cm de haut qu'on place par couches horizontales successives sur l'ouvrage en cours. Une fois en place, les boules sont retravaillées à la main ou à l'aide de petits outils en bois pour homogénéiser la couche de boule en une bande horizontale. Le profil donné à cette bande est

précis : d'allure triangulaire, la base est emboîtée sur la couche inférieure en formant une surépaisseur par rapport à celle-ci. Le profil va ensuite en s'affinant pour finir par une pointe arrondie, mais marquée de reliefs assurant l'accroche de la couche supérieure. Il faut attendre que la couche inférieure soit sèche pour appliquer une nouvelle couche. Les murs ainsi réalisés sont monolithiques, bien que les différentes couches restent clairement identifiables. Ils sont généralement relativement peu épais (15 - 20 cm) et ont une capacité porteuse faible à moyenne. Du fait de la grande maniabilité de la technique, les bâtiments réalisés en banco ont souvent des formes souples et expressives.

Adobe

Le moulage de briques de terre crue, nommées « adobe », est une technique très ancienne et très répandue. Cette technique est encore largement utilisée aujourd'hui. Les briques sont réalisées en moulant de la terre à l'état plastique. Ces briques sont ensuite simplement séchées à l'air libre. Les plus anciens adobes étaient moulés à la main, mais l'usage le plus courant est un moule en bois. Il existe aujourd'hui des machines pouvant mouler des adobes en série (on les appelle les « pondeuses »). Après séchage, les adobes sont maçonnés avec un mortier de terre ou un mortier avec un liant minéral (chaux ou ciment). Les murs ainsi réalisés ont une capacité porteuse moyenne à forte, dépendant aussi de l'épaisseur de la maçonnerie. Leur épaisseur varie selon les dimensions des adobes utilisés et les assemblages de maçonnerie. La terre à adobe est une terre moyennement à fortement argileuse (jusqu'à 35 % d'argile), généralement dépourvue de graviers et de cailloux. La terre peut être stabilisée par l'ajout de fibres végétales, voire avec certains biopolymères, mais l'usage de stabilisants minéraux est rare. Dans l'Atacora, les briques d'adobe sont d'un usage récent. Elles sont réalisées avec la terre à banco et maçonnées, après séchage complet, avec un mortier de terre ou un mortier de ciment (figure 6).

Pisé

Le pisé est une technique très ancienne et très répandue qui connaît aujourd'hui un regain d'intérêt. Elle consiste à damer (piser) de la terre dans un coffrage (banche) par couches successives de 5 à 10 cm d'épaisseur. Les murs ainsi réalisés sont monolithiques, épais et ont une capacité porteuse moyenne à forte. La terre à pisé est une terre peu argileuse (environ 10 à 15 % d'argile) et présentant une courbe granulométrique continue de l'argile aux cailloux.



△ Figure 5. Boules de banco, © HTC-Atacora.



△ Figure 6. Construction en adobe, © HTC-Atacora.

Bauge

La bauge est une technique traditionnelle consistant en une superposition de couches épaisses de terre additionnée de paille. Les murs ainsi constitués sont monolithiques et épais, avec une capacité porteuse faible à moyenne. La terre à bauge est moyennement à fortement argileuse, contenant pas ou peu de graviers et de cailloux.

Torchis

Le torchis est une technique très ancienne et très répandue, mais devenue d'usage rare aujourd'hui. Cette technique consiste en l'application d'un mélange de terre liquide et de paille sur une structure légère en bois, appelée clayonnage. Les parois ainsi réalisées sont donc relativement fines et n'ont pas, ou peu, de capacité porteuse. La terre utilisée est une terre moyennement à fortement argileuse, pouvant contenir du sable et des graviers, mais pas ou peu de cailloux.

Terre allégée

La terre allégée est une technique récente, inspirée du torchis et de la bauge. Il s'agit d'un mélange de terre liquide et de fibres végétales (de nombreuses sortes de fibres peuvent être utilisées) qui est déversé dans un coffrage et ensuite damé. Il s'agit d'une technique de remplissage, la terre allégée ayant une capacité porteuse faible. Les murs ainsi réalisés sont le plus souvent épais.

Bloc de terre compressée

Les blocs de terre compressée (BTC) sont une technique récente. Comme le nom l'indique, il s'agit de réaliser des blocs en compressant fortement la terre à l'aide d'une presse mécanique manuelle ou motorisée. Après compression, les BTC doivent sécher avant d'être maçonnés. La stabilisation au ciment ou à la chaux est très courante. La terre utilisée est une terre humide faiblement à moyennement argileuse, qui est tamisée pour s'assurer de l'absence de graviers et cailloux. Le BTC est un bloc porteur. Selon le type de terre, le niveau de compression, et la nature et la proportion de stabilisant, la résistance à la compression varie fortement[33].

33 Pour indication, Cycle-Terre (Paris) produit des BTC présentant une résistance moyenne de 2MPa, 4MPa et 6MPa, selon l'usage envisagé.

Enduit

En guise de finition, un enduit de terre crue peut être appliqué sur les murs. Celui-ci sert de protection, offre des surfaces propres aux espaces habités et remplit une fonction esthétique. Il existe un très grand nombre de techniques d'enduisage, qu'il serait impossible de toutes décrire ici. On peut cependant retenir quelques principes généraux. Les enduits s'appliquent en une passe (une seule couche) ou en plusieurs passes. Dans ce cas, la première couche est la plus épaisse et les suivantes sont de plus en plus fines. Les terres utilisées sont toujours dépourvues de graviers et de cailloux. Plus la terre est sableuse, plus l'enduit sera épais. Inversement, plus l'enduit devra être fin, plus la terre devra être argileuse. Enfin, de nombreux stabilisants peuvent être employés pour améliorer le comportement de l'enduit : fibres végétales réduisant la fissuration, stabilisants minéraux et biopolymères améliorant la cohésion, l'ouvrabilité, ou la résistance à l'eau. Enfin, des pigments peuvent être ajoutés pour leur apport esthétique.

#02

CONSTRUIRE UN TATA SOMBA

Le *Tata Somba* est un des éléments majeurs de la demeure *Somba*. Organisée en « concession » autour d'une cour, celle-ci regroupe en effet plusieurs éléments typiques : *Tata Somba*, mais aussi, cases et greniers isolés, fours et *Apatam* (paillotte rudimentaire). Entité autonome, le *Tata Somba* est composé de cases, construites en banco et coiffées de toitures coniques recouvertes de paille, disposées en rond et reliées entre elles par des murs d'enceinte (*Tata*). Les formules les plus élaborées et les plus spectaculaires du *Tata Somba* comptent un étage, lequel implique non seulement l'implantation d'une terrasse, tour de force technique, mais aussi la surélévation des cases et des murs d'enceinte, qui confèrent à l'ensemble une silhouette de château fort, avec tourelles et hautes murailles (Mercier, 1954).

ÉLÉMENTS

Du point de vue de sa conception, le *Tata Somba* en particulier, procède de l'assemblage de divers éléments typiques relativement autonomes, qui peuvent à ce titre être décrits séparément. Dans le cas particulier du *Tata Somba* à étage, qu'on décrira ci-dessous en détail, il s'agit des tourelles, des murs d'enceinte, des terrasses, des greniers et de l'enduit.

Tourelles

Construites en banco sur un plan circulaire, ovale, voire rectangulaire, les tourelles sont assimilables à des cases dont la hauteur a été doublée (figure 7). En nombre variable selon le type de *Tata Somba* (cinq à six, pour les types les plus courants), elles sont pour la plupart disposées sur un tracé circulaire ou elliptique. Contenant, pour les plus grandes, deux niveaux d'habitation, elles servent de cuisine, d'étable, de poulailler ou de chambre pour les personnes âgées, au rez-de-chaussée, et de chambres, à l'étage. Certaines tourelles ont une section réduite qui les rend inhabitables. Inaccessibles, elles remplissent un rôle structurel et servent accessoirement de ruches. Les toitures des tourelles sont de deux types. Les plus courantes, sont coniques, réalisées en charpente de bois et recouvertes de pailles, d'autres sont plates et peuvent servir d'assise à un grenier.



△ Figure 7. *Tata Somba* comportant six tourelles, formule parmi les plus courantes dans l'Atacora, © HTC-Atacora.

Enceinte

Construite en banco, elle aussi, l'enceinte du *Tata Somba* à étage est constituée de murs curvilignes, de 3 à 4 m de haut, qui relient les tourelles entre elles (figure 8). Son plan elliptique ou circulaire assure la stabilité et la rigidité du *Tata Somba* et lui permet de résister à la pression du vent assez fort dans l'Atacora (Rapoport, 1983).



△ Figure 8. Unique formule de *Tata Somba* comportant douze tourelles, © HTC-Atacora.

Terrasse

La terrasse occupe toute la surface entourée par les tourelles et l'enceinte, sans pour autant y prendre appui (figure 9). La terrasse, rendue imperméable par l'application d'un enduit serré à la pierre, accuse une pente de 2 à 5 %. Les eaux de pluie qui ruissellent sur la terrasse sont évacuées par deux à trois gargouilles, tubes fichés dans le mur au point le plus bas de la terrasse. La terrasse couvre ainsi un espace, au rez-de-chaussée, qui sert d'étable et de resserre, et donne lieu à un espace extérieur en surplomb, qui commande l'accès aux chambres et offre un lieu de couchage par temps de chaleur ainsi qu'une surface de séchage et de transformation des produits de l'agriculture. Dans quelques cas, on distingue en plus d'une terrasse principale, des terrasses secondaires ou intermédiaires. Dans certains types de *Tata Somba*, un orifice aux rebords relevés et, souvent, couvert d'une plaque de pierre est pratiqué au milieu de la terrasse. Il établit une communication entre l'étage et le rez-de-chaussée, et revêt une charge spirituelle.

Greniers

Les greniers ont une forme ovoïde, d'une hauteur comprise entre 1,5 m et 2 m pour un plus grand rayon de 1 m à 1,5 m. Contenu dans des parois épaisses de ± 5 cm, leur espace intérieur est divisé en plusieurs compartiments par des panneaux (figure 10). Comme l'indiquent Padenou et Pastor-Barrué (2006), l'intérieur du grenier est habituellement divisé en trois parties, dont la plus grande occupe la moitié de l'espace disponible et les deux plus petites, le quart. Les greniers sont recouverts d'un manteau de paille tressée et refermés par un couvercle conique amovible en paille, lui aussi. Habituellement, les greniers sont placés, à l'étage, sur certaines tourelles, dans une position variable selon les types de *Tata Somba*. Témoignage de leur relative autonomie structurale, depuis quelques années, les *Somba* érigent également des greniers au sol. Si le nombre des greniers varie en fonction des groupes socioculturels, un *Tata Somba* compte, le plus souvent, trois greniers, répartis entre le père de famille, la mère et les enfants. Des échelles en bois fourchus donnent accès à chaque grenier, dont l'usage individuel est régi par des normes propres aux *Bètãmmaribè*.





◁ Figure 9. Terrasse d'un *Tata Somba* ; à droite, entrée dans l'une des chambres, © HTC-Atacora.

△ Figure 10. Grenier posé sur une tourelle, © HTC-Atacora.

Crépi

Les murs (tourelle et enceinte) sont recouverts d'un enduit de terre, couramment appeler « crépi » dans l'Atacora. Cet enduit a pour fonction de protéger les ouvrages en terre crue contre l'érosion provoquée par les précipitations, le ruissellement est les écoulements d'eau de pluie. Les enduits muraux servent en outre de support à des motifs géométriques tracés à la main ou au moyen de grattoires dans le mélange encore frais. Évoquant les scarifications que les *Somba* portent au visage mais aussi les sillons que tracent les agriculteur·trices dans la terre, ces motifs jouent un rôle esthétique et symbolique. Ils remplissent également une fonction technique : en texturant la surface de l'enduit, ils réduisent la vitesse d'écoulement de l'eau de pluie sur les murs, et diminuent donc l'érosion qu'elle provoque (figure 11).



△ Figure 11. Dessin de motifs géométriques dans l'enduit frais, © HTC-Atacora.

EXÉCUTION

L'exécution des différents éléments du *Tata Somba* passe par plusieurs étapes et fait appel à diverses industries (maçonnerie, charpenterie, poterie), dont le soin est confié à des personnes spécifiques.

Planification

Les *Tata Somba* n'entrent pas dans la catégorie des « architectures sans architecte » (Rudofsky, 1964). Leur construction passe en effet par une étape de conception dont le responsable est l'*Otãmmari*, l'architecte[34].

Il entre d'abord dans les responsabilités de l'*Otãmmari* de déterminer le site d'implantation de l'ouvrage par une série de pratiques divinatoires qui garantissent la pureté de l'emplacement (il ne doit pas être occupé par les esprits), d'une part, et la bonne qualité du sol qui doit être relativement « dur » ou dégagé de sa terre pulvérulente, d'autre part. Selon Padenou et Pastor-Barrué (2006), « L'emplacement idéal, pour construire une nouvelle maison, doit être un lieu dégagé, de préférence légèrement pentu, au sol assez dur, afin de favoriser l'écoulement des eaux ». La superficie du terrain à bâtir, quant à elle, est déterminée par le nombre des futur·es occupant·es et la quantité de matériaux locaux disponibles, de bois d'œuvre notamment.

L'*Otãmmari*[35] trace ensuite le plan de l'ouvrage. À l'aide d'un bâton, il trace le plan des différentes parties du *Tata Somba* sur le sol du terrain à bâtir, préalablement nivelé. Il trace d'abord la tourelle centrale, puis les autres tourelles destinées à abriter les chambres et la cuisine, dont le nombre est évalué en fonction de la taille du ménage. Il trace ensuite le plan des tourelles supportant les greniers, dont la partie sous plafond sert d'étable, celui de l'entrée-vestibule traditionnellement orientée vers le nord-ouest et, enfin, celui des murs curvilignes reliant les tourelles périphériques.

34 Les *Bétamaribé* portent le nom d'un de leur dignitaire. Le terme *Otãmmari* en Ditammari signifie « bon maçon », « maître maçon » ou architecte, et désigne la personne chargée de veiller à la bonne construction de la *Takiènta* (nom donné par les *Bètãmmaribé* à leurs *Tata Somba* à étage).

35 Il s'agit, la plupart du temps, de l'*Otãmmari* le plus âgé du village, considéré comme le plus expérimenté.

Maçonnerie

Les travaux de maçonnerie en terre crue, de type banco, durent plusieurs semaines ponctuées par des temps d'arrêt permettant le séchage des ouvrages. Ils concernent toutes les parois du *Tata Somba* : murs de case, murs de tourelle, murs d'enceinte.

« Les matériaux qui entrent dans la composition de l'ouvrage sont tous extraits de l'environnement immédiat du village » (Padenou et Pastor-Barrué, 2006). La terre à construire, en particulier, est prélevée en un lieu connu des habitant·es du village au sein duquel le *Tata Somba* est implanté. La préparation du mortier de terre a lieu la veille du démarrage du chantier. La terre est humidifiée et foulée jusqu'à l'obtention d'un mortier dont la consistance est jugée adéquate par l'*Otãmmari*. Les ouvriers (apprentis constructeurs ou jeunes du voisinage) débitent la terre à construire en boules et l'humidifient. Le jour des travaux, le mélange est pétri jusqu'à obtenir le mortier adéquat.

Deux adjuvants sont traditionnellement incorporés au mortier de terre lors de sa préparation. Un premier adjuvant est une solution aqueuse de couleur rouge obtenue par macération ou par décoction de cosses de *Néré* (*Parkia biglobosa*), déchets de la transformation du fruit en moutarde (figure 12). Les tanins libérés dans la solution agissent comme défloculant ou dispersant (cf. Adjuvants, p. 44) et limitent les risques de fissuration (le mélange est plus fluide avec une moins grande quantité d'eau, d'où moins de retraits).

Un second adjuvant est l'*eau gluante* obtenue par macération de fibres de *Diyouani*, une liane sauvage de la famille des *Cissus Populnea* présente en abondance dans l'Atacora (figure 13). La macération des fibres de *Diyouani* produit une solution gluante et collante qui améliore la mise en œuvre et la cohésion de l'enduit[36].

Les travaux de maçonnerie sont réalisés par des hommes répartis en trois équipes : une première chargée de pétrir le mortier et façonner les boules (figure 14), une deuxième dont la tâche est de les transporter, une troisième à qui revient d'empiler les boules de terre et de façonner les murs.

36 Bien que des études plus approfondies soient encore à mener sur ce sujet, il semblerait que l'effet gélifiant soit le résultat de la formation d'un réseau tridimensionnel par des macromolécules de type polysaccharide libérées par la plante dans l'eau. Même si les principes actifs n'ont pas encore été étudiés de façon précise, l'ajout de cette *eau gluante* améliore la mise en œuvre de l'enduit, grâce à une plasticité et une adhérence accrue, et la cohésion de celui-ci, les macromolécules ayant pour effet de lier les particules minérales entre elles (Vissac *et al.*, 2017).





△ Figure 12. Cosses de *Néré* (*Parkia biglobosa*), © HTC-Atacora.

▷ Figure 13. Branche de *Diyouani* (*Cissus Populnea*), © HTC-Atacora.



△ Figure 14. Une équipe est chargée de pétrir le mortier et de façonner les boules de terre, © HTC-Atacora.

Les fondations forment le socle, la base qui supporte les ouvrages. Les fondations des murs de tourelle et d'enceinte du *Tata Somba* sont peu profondes, voire inexistantes lorsque le sol est rocheux. L'impératif est que le sol soit égalisé et sans surélévation notable (Mercier, 1954). Sous la supervision d'un *Otãmmari*, la fondation est posée dans une fouille, de plus ou moins 10 cm de profondeur et de 20 à 30 cm de largeur, creusée à la houe en suivant les lignes du plan préalablement tracé par l'*Otãmmari*. Cette fouille consiste en pratique en un simple nettoyage de la partie pulvérulente du sol (Joffroy et Djanguenane, 2005), en vue de se débarrasser des débris et de la terre arable, et de parvenir à un sol assez dur pour supporter le poids du *Tata Somba* et lui garantir une certaine durabilité. Dans cette fouille, commence la pose, à la main, des mottes de terre issues du mortier pétri à proximité du site de construction (figure 15).



△ Figure 15. Pose du premier lit de banco, © HTC-Atacora.

L'édification des murs du *Tata Somba* commence par les tourelles, suivant l'ordre du tracé opéré par l'*Otãmmari* (figure 16). Il s'agit d'abord de la tourelle centrale, ensuite des tourelles qui serviront de chambres et enfin des tourelles qui serviront de supports aux greniers. En milieu *Otãmmari*, les travaux commencent traditionnellement par l'arrière du *Tata Somba* (« le dos ») situé à l'est, pour se terminer à l'ouest avec la réalisation de l'accès principal qui est, selon les groupes socioculturels, un vestibule à deux tourelles polygonales ou une tourelle circulaire.

Le procédé consiste à poser les mottes de terre par couches de 20 à 30 cm environ suivant le sens des aiguilles d'une montre pour des raisons symboliques. Les maçons frappent la couche déposée avec une planche en bois et y impriment un relief répétitif destiné à faciliter l'accroche de la couche suivante. Le nombre de couches varie en fonction des aspirations du propriétaire, de la quantité et de la hauteur du bois d'œuvre disponible, pour atteindre une hauteur comprise entre 3 m et 4 m.



△ Figure 16. Érection des tourelles, © HTC-Atacora.

On attend une nuit entre chaque passe. Au fur et à mesure que le mur de la tourelle prend de la hauteur, l'épaisseur de la motte de terre et des couches successives diminue afin de réduire la charge du bâtiment. Selon Mercier (1954), l'épaisseur du mur est de 25 cm au pied et de 12 cm en tête. Les différentes baies devant servir d'entrée aux chambres et aux étables sont marquées par des fentes taillées dans les tourelles durant l'élévation des couches successives de mortiers ; elles sont ensuite trouées à la fin du chantier, avant le séchage complet du *Tata Somba* afin d'éviter l'effondrement des tourelles dont dépend la stabilité de l'édifice entier. L'unique porte d'entrée du *Tata Somba*, quant à elle, est façonnée durant l'exécution des travaux.

Après la construction de toutes les tourelles prévues dans la conception du *Tata Somba*, débute celle des murs curvilignes qui relient les tourelles. Adoptant un processus d'exécution identique à celui des tourelles, ces murs jointifs sont également bâtis avec de la terre à construire, sans adjuvant supplémentaire. Ils sont construits suivant l'ordre d'édification des tourelles de sorte à respecter un temps de séchage nécessaire pour leur accroche.

Les jonctions entre les murs des tourelles et les murs d'enceintes, sujettes à fissurations, sont renforcées par un mélange composé de terre de termitière, de sable fin et de fibres végétales (figure 17). Cette terre se distingue par sa couleur rouge orangé et une granulométrie fine et régulière (sable, silts et argile), totalement exempte de graviers et cailloux. D'après Vissac *et al*. (2012), la spécificité de cette terre provient du processus de construction par les termites, qui sélectionnent les grains de terre et les amalgament avec de fins débris végétaux et leurs propres excréments. Ces derniers contiennent une forte proportion de lignine, la « colle » du bois.

Le sommet de ces murs est modelé en une forme triangulaire qui facilite l'écoulement des eaux de pluie. Il dépasse d'environ 60 cm de la terrasse et sert ainsi de parapet (Mercier, 1954). Fréquemment, une nervure est modelée sur l'axe des murs d'enceinte (figure 18). Cette nervure, ponctuée de trous, remplit une fonction décorative et, selon un *Otãmmari*, jouerait aussi le rôle de raidisseur.

▷ Figure 17. Jonction entre une tourelle et un mur d'enceinte, © HTC-Atacora.





△ Figure 18. Nervure modelée sur l'axe du mur d'enceinte, © HTC-Atacora.

Charpenterie

L'édification de l'ossature en bois des terrasses est une des étapes les plus délicates de la construction du *Tata Somba*. Toujours supervisée par un *Otãmmari*, elle est le moment d'un travail à la chaîne, méticuleux et organisé. La première tâche consiste à creuser à la pioche et à la houe des trous destinés à recevoir les poteaux. Les pièces de bois utilisées comme poteaux sont choisies pour leur solidité, leur résistance et leur insensibilité aux agents biologiques d'altération que sont les insectes et les termites. Elles sont également sélectionnées en fonction de leur section, dont le diamètre moyen est de 20 cm, de leur droiture et de la présence d'une fourche en Y pour la pose des poutres. Le nombre de poteaux est évalué en fonction de la taille du *Tata Somba* et de la section des poutres. La hauteur de ces poteaux, comprise entre 1,75 m et 2 m, est fixée de manière à garantir l'inclinaison de la terrasse. Entre les fourches des poteaux sont posés d'autres morceaux de bois, de sections semblables aux poteaux, qui servent de poutres. Celles-ci ne reposent que sur les poteaux et sont indépendantes des murs. Cette disposition présente un double intérêt : les murs sont soulagés de toute charge dynamique, et la terrasse, en retour, n'est pas soumise à des contraintes dues à l'éventuel tassement des murs ou à leur variation dimensionnelle par suite de fluctuations thermiques ou hygrométriques. Les poutres sont disposées de manière parallèle d'ouest en est (de l'avant à l'arrière du *Tata Somba*). Sur ces poutres est ensuite posé un lattis de fines branches serrées les unes contre les autres (figure 19). Les trois types d'éléments en bois (poteaux, poutres, lattis) qui constituent la structure porteuse de la terrasse proviennent essentiellement d'espèces telles que le Burkea (*Burkea africana*), le Karité (*Vitellaria paradoxa*) et le Bouleau d'Afrique (*Anogeissus leiocarpus*) ou « l'arbre de fer » (*Prosopis africana*) (Natta *et al.*, 2017). Ils sont soit récupérés des ruines d'anciens *Tata Somba*, soit coupés bien avant le début des travaux et stockés sur le site de construction jusqu'à séchage complet.

Chape

Une fois le plancher de la terrasse achevé, les constructeurs y posent une chape en terre crue. Sur un lit de feuilles en branches, ils étalent un mortier de terre, qu'ils foulent et égalisent ensuite (figure 20).



△ Figure 19. Lattis constituant le plancher de la terrasse, © HTC-Atacora.



△ Figure 20. Pose de la chape en terre crue de la terrasse sur un lit de branchage et de feuilles, © HTC-Atacora.



△ Figure 21. Lissage de la chape au galet, © HTC-Atacora.



△ Figure 22. Branche de *Karité* (*Vitellaria paradoxa*), © HTC-Atacora.

Avant séchage du mortier, la surface de la chape est battue avec un maillet en bois et lissée au moyen d'un galet. Cette activité est traditionnellement réservée aux femmes (figure 21).

Afin de renforcer la résistance à l'eau de l'ouvrage, la chape est aspergée ou badigeonnée avec une solution aqueuse obtenue par macération ou décoction de cosses de *Néré*. En complément, la chape se voit aussi appliquer des résidus de la production du beurre obtenu à partir des amandes du *Karité* (*Vitellaria paradoxa*), lesquels sont chargés en matières grasses végétales hydrophobes (figure 22).

Toiture

Mercier (1954) décrit les toitures coniques qui coiffent la plupart des tourelles, comme constituées d'« une série de branches, espacées à la base de 15 cm environ, s'appuyant par un ressaut sur le mur et entremêlant leurs fourches au sommet, retenues ensemble par une ligature sommaire » (figure 23). Les branches proviennent pour la plupart des mêmes espèces de bois que celles utilisées pour la charpente de la terrasse. Pour recouvrir leurs toitures, les *Bètãmmaribè* utilisent de la paille provenant des chaumes de différentes espèces de la famille des *Poaceae* (Natta *et al.*, 2017). Une calebasse en poterie (*canari*), ou une bassine, est posée au sommet pour lester la toiture et maintenir les pailles serrées.



△ Figure 23. Toiture vue de l'intérieur d'une chambre, © HTC-Atacora.

Poterie

La construction des greniers s'apparente plus à de la poterie qu'à de la maçonnerie. Elle se déroule, d'ailleurs, après les travaux de maçonnerie, selon un ordre conventionnel ; on construit d'abord le grenier de l'épouse, puis celui du mari et enfin celui des enfants. Les greniers sont construits avec une terre de termitière, mélangée à du sable fin et des fibres végétales ; le même mélange que celui utilisé pour la fermeture des joints entre les murs d'enceinte et les tourelles (cf. Maçonnerie, p.60).

L'*Otāmmari* chargé de la construction du grenier fait humidifier le mortier auquel est ajoutée de la paille de *fonio*, céréale produite et consommée en Afrique de l'Ouest. Le mélange est pétri jusqu'à ce que le mortier atteigne la consistance jugée idéale par l'*Otāmmari*. Pratiquement, on commence par former le fond du grenier, on ménage ensuite la cuvette qui sert de base, et on élève enfin graduellement les parois. La construction du grenier, qui dure plusieurs jours, se fait par couches successives, en respectant toujours le sens des aiguilles d'une montre, comme dans le cas des tourelles et des murs. À mesure que la construction des parois évolue, la colonne centrale du grenier et les éléments de cloisonnement marquant les séparations intérieures sont eux aussi construits. La construction du grenier se termine par le façonnage du rebord de son ouverture (Padenou et Pastor-Barrué, 2006).

Crépissage

Chez les *Somba*, le crépissage des ouvrages est réalisé par les femmes. L'enduit couramment utilisé est un mélange de terre, de bouse de vache et d'eau. La terre, moyennement argileuse, est prélevée soit dans des gisements spécifiques, soit dans les « bas-fonds » à proximité des ruisseaux et des rivières.

La bouse de vache peut être fraîche ou fermentée. Dans ce dernier cas, la bouse humide a été placée durant deux jours dans un trou, et recouverte de terre[37]. La bouse de vache apporte une meilleure ouvrabilité à l'enduit (celui-ci est plus souple et cohérent lors de son application) et une excellente armature qui réduit les fissurations grâce aux courtes fibres de cellulose assouplies par la fermentation (Vissac *et al.*, 2017).

37 La fermentation est un processus anaérobie.

L'eau de gâchage est le plus souvent de l'eau claire, mais peut être avantageusement remplacée par une solution aqueuse issue de la macération ou de la décoction de cosses de *Néré*. Les tanins, libérés dans la décoction, remplissent un double rôle. Comme défloculants, ils permettent de réduire la quantité d'eau dans le mélange et, ainsi, de limiter les risques de fissuration. Combinés avec les oxydes de fer abondamment présents dans les terres d'Atacora, ils forment des tannâtes de fer qui améliorent fortement la résistance à l'eau de l'enduit (cf. Adjuvants, p.44).

Ces éléments sont mélangés jusqu'à obtention d'un composé homogène et maniable. L'enduit est appliqué à la main, en une couche d'une épaisseur comprise entre 0,5 et 1 cm. Dans l'enduit frais, les femmes tracent avec leurs doigts, sinon au moyen de peignes ou de pointes métalliques (figure 24), des figures géométriques qui évoquent les scarifications que portent les *Bètãmmaribè* au visage (Mercier, 1954).



△ Figure 24. Outils pour le parachèvement du *Tata Somba*, © HTC-Atacora. De gauche à droite : maillets servant à battre la chape ; galets servant à lisser la chape ; peignes et pointes métalliques servant à tracer des dessins géométriques dans l'enduit frais ; tube en terre cuite servant de gargouille.

Pour imperméabiliser les enduits et prévenir l'infiltration d'eaux dans les murs, les parois sont aspergées ou badigeonnées avec une solution aqueuse obtenue par macération ou décoction de cosses de *Néré*. Les parties les plus exposées aux intempéries reçoivent éventuellement des résidus gras issus de la fabrication du beurre de *Karité* (Padenou et Pastor-Barrué, 2006). L'application régulière de ces produits, à l'occasion de la préparation de la moutarde de *Néré* ou du beurre de *Karité*, confère aux ouvrages une patine qui participe de leurs qualités esthétiques.

#03

RÉNOVER UN *TATA SOMBA*

Malgré l'ingéniosité de leur conception et le soin apporté à leur exécution, les *Tata Somba* présentent des faiblesses structurelles, inhérentes à leurs matériaux de construction (terre crue, bois, paille) et à leurs dispositifs techniques (tourelles, terrasses), qui les rendent vulnérables aux intempéries, aux variations d'humidité et de température, et aux animaux nuisibles. Soumis à de fortes averses durant la saison des pluies, dont l'intensité s'est accrue ces dernières décennies, à des variations hygrométriques importantes entre phases pluvieuses et ensoleillées, offrant un abri aux rongeurs et aux insectes, les *Tata Somba* se dégradent inévitablement au fil du temps et nécessitent un entretien régulier et même des réparations lorsque les dégâts sont importants. La relative indépendance structurelle des différentes parties qui constituent l'ouvrage (murs d'enceinte/tourelles/planchers) évite que la ruine d'un élément n'entraîne celle des autres (figure 25) et permet aussi d'intervenir sur un élément, sans risquer de nuire aux autres.

Dans cette partie, nous étudions, d'abord, les pathologies constructives des *Tata Somba*, et nous proposons, ensuite, un ensemble de techniques de réparation et d'entretien appropriées. Soucieux de promouvoir la construction en terre crue, nous nous concentrerons principalement sur les pathologies des murs et des enduits en terre crue. Nous ne traiterons pas de la rénovation des charpentes et des toitures, considérant que la dégradation des premières, comme l'usure des secondes, réclament des travaux qui s'apparentent à ceux d'une construction neuve.



△ Figure 25. Tourelle effondrée et murs d'enceinte mobilisés, © HTC-Atacora.

PATHOLOGIE

Pour chaque ouvrage ou partie d'ouvrage considérée, nous décrivons les dégâts les plus couramment observés, donnons les causes probables de ces dégâts, notons leurs inconvénients et indiquons, lorsqu'elles existent, les mesures à prendre pour éviter qu'ils ne se reproduisent à l'avenir ou, du moins, pour retarder leur prochaine apparition.

Murs

S'agissant des murs, murs de tourelles ou murs d'enceinte, nous en considérons successivement les trois parties que sont : le pied de mur, le corps de mur, la tête de mur. Nous ne considérons pas ici les fondations du mur. Les dégradations qui affectent les fondations, portions du mur de section plus épaisse et à demi enterrée, sont généralement liées à un défaut d'implantation, sans remède, qui rend toute réparation vaine.

Pied de mur

Les pieds de mur sont susceptibles de présenter des réductions de leur section, voire un percement, dans les cas graves. De tels dégâts peuvent résulter de différents types d'usure liés à diverses causes :

- érosion mécanique due à l'entreposage d'outils, au passage fréquent d'animaux ;
- mobilisation du mur par le développement de racines ;
- effondrement provoqué par la remontée capillaire d'eau stagnante en pied d'ouvrage ;
- érosion hydrique due à des écoulements d'eau au pied de l'ouvrage ou à des projections d'eau provenant des gargouilles (figure 26).

Ce type de dégâts peut, s'il s'aggrave, porter atteinte à la stabilité de l'ouvrage et doit être réparé rapidement. Pour éviter l'apparition de tels dégâts, il convient de : remplacer, voire prolonger, au besoin, les gargouilles existantes ; déblayer les objets encombrants en contact avec le pied de murs ; arracher les plantes adventices qui s'y développent ; remblayer les dépressions locales dans le sol ; le cas échéant, reprofiler le terrain autour du *Tata Somba*. Pour ce faire, on creuse d'abord un chenal autour du *Tata Somba*, à une distance de ± 3 m du pied de l'ouvrage. On retire, ensuite, ce qu'il faut de terre entre le *Tata Somba* et le chenal pour former une pente allant du pied de l'ouvrage au fond du chenal.

▷ Figure 26. Usure du pied de mur, due aux projections de l'eau provenant de la gargouille, © HTC-Atacora.



Corps de mur

Les corps de mur sont, à leur tour, susceptibles de plusieurs types de dégâts. Il y a d'abord des dommages habituels dans les murs en banco.

À l'instar du pied de mur, le corps de mur peut être sujet à des réductions de la section, voire à des percements. Ces dégâts ont les mêmes inconvénients et s'expliquent, généralement, par les mêmes causes que celles présentées dans le cas du pied de mur. Par conséquent, les mesures préventives à appliquer sont les mêmes.

Le corps de mur peut présenter des fissures verticales. Sans gravité, celles-ci ont surtout un inconvénient esthétique. Si leur réparation est nécessaire, elle n'est pas urgente. Résultant des cycles de gonflement et de retrait liés aux variations hygrométriques, le phénomène de fissuration, propre aux ouvrages en terre crue, est inévitable.

Le corps de mur peut aussi présenter des fissures horizontales. En plus de leur inconvénient esthétique, ces dernières font courir un risque important de dégradation de l'enduit et du mur en cas d'exposition à la pluie battante et doivent être réparées sans attendre (Joffroy et Moriset, 1996). Causées principalement par des remontées capillaires, elles peuvent être évitées en rectifiant et en profilant le terrain alentour de manière à évacuer les eaux stagnantes ou courantes à distance du pied de mur.

Les corps de mur présentent en outre deux types de désordres spécifiques au *Tata Somba*. Les ouvertures qui apparaissent à la jonction des murs de tourelle et des murs d'enceinte, suite à des tassements différentiels ou aux retraits consécutifs au séchage des ouvrages, constituent un premier type de désordre (figure 27).

Les ouvertures du joint entre ces éléments est l'indice d'une désolidarisation qui met en péril la stabilité des murs d'enceinte. En effet, compte tenu de leur faible épaisseur, la stabilité de ces murs tient non seulement à leur courbure, mais aussi à leurs appuis latéraux. Exposant le mur d'enceinte aux intempéries, elles lui font courir un risque d'érosion prématurée. Leur réparation est impérative et peut, lorsque la situation le permet, donner lieu au placement préventif d'ancrages.



△ Figure 27. Ouverture du joint entre un mur d'enceinte et une tourelle, © HTC-Atacora.

Les ouvertures qui apparaissent à la jonction des chapes des terrasses et des murs d'enceinte ou de tourelle constituent un second type de désordre propre au *Tata Somba* (figure 28). Celles-ci peuvent résulter de tassements différentiels (terrasses et murs sont structurellement autonomes et supportent des charges d'ampleur différentes), du phénomène de retrait accompagnant le séchage de la chape ou encore d'une érosion liée à l'écoulement localisé d'eau de pluie. Exposant l'épaisseur de la chape en terre crue aux intempéries et offrant une voie d'accès à l'eau de pluie vers la substructure en bois, ces ouvertures, en plus de l'inconfort qu'elles peuvent susciter, mettent en danger la pérennité des ouvrages et doivent, elles aussi, être réparées impérativement. Pour pallier l'érosion hydrique, on peut rectifier les pentes et renforcer le joint en posant un talus à l'occasion des réparations (cf. Rebouchage des ouvertures de joints, p. 94)



△ Figure 28. Fissure à la jonction d'un mur d'enceinte et de la chape de terrasse, © HTC-Atacora.

Tête de mur

On constate, fréquemment, la détérioration ou l'effondrement des têtes de mur. Faisant office de parapet, les parties supérieures des murs d'enceinte présentent une fragilité structurelle inhérente au fait qu'elles sont libres de toute attache supérieure et, dans bien des cas, de liaisons latérales (la faible hauteur des tourelles et la présence de couvertures en paille empêchent en effet leur jonction aux murs contigus). Les dégâts affectant ses parties résultent, le plus souvent, de chocs et/ou d'une érosion relativement rapide due à leur position éminente (figure 29). Les têtes de mur sont, en effet, exposées aux intempéries, à l'écoulement des eaux sur la terrasse et au déversement des eaux de ruissellement provenant des toitures. Lorsque ces dégradations se trouvent limitées à une altitude supérieure à celle de la terrasse, elles présentent, certes, des inconvénients en matière de sécurité et d'aspect, mais elles ne mettent pas en péril la pérennité des ouvrages adjacents. L'unique remède contre leur dégradation prématurée est le renforcement de leur entretien.



△ Figure 29. Usure de l'about d'un parapet causée par les eaux de ruissellement provenant de la toiture en surplomb, © HTC-Atacora.

Enduits

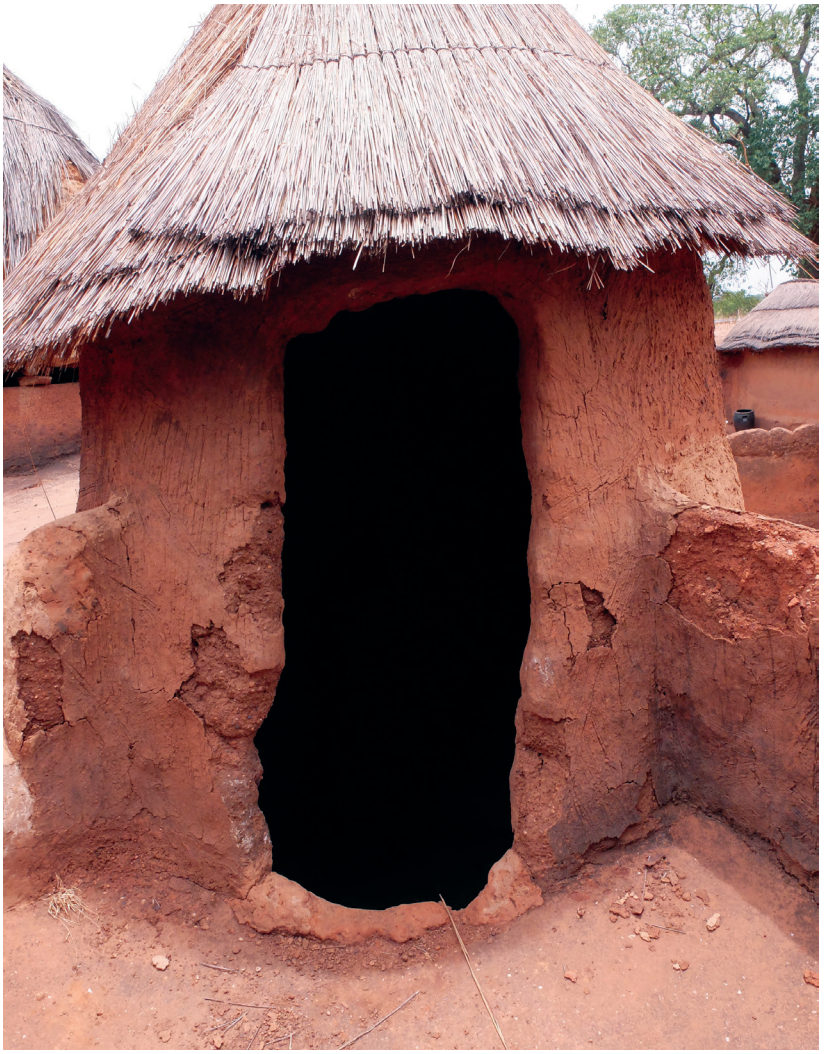
Premier élément de protection, l'enduit est soumis à de nombreuses sollicitations chimiques, mécaniques, thermiques. Sujet à l'usure et aux chocs, il présente fréquemment des défauts qui affectent ses performances et justifient son entretien régulier.

Les enduits présentent deux types de défauts. Le premier est la réduction, voire la disparition, de la couche d'enduit du fait de l'érosion inévitable causée par les précipitations et les écoulements d'eau de pluie (figure 30). Outre le fait qu'il altère les qualités esthétiques de l'enduit, ce défaut expose les éléments de structure sous-jacents, murs et planchers, aux intempéries, et peut donc avoir pour conséquence une ruine prématurée de l'ouvrage.



△ Figure 30. Usure de l'enduit, © HTC-Atacora.

Le second défaut est une disparition de l'enduit qui peut avoir différentes causes : un mélange trop humide ou trop sec au départ ; un serrage de l'enduit inadéquat ou trop intensif ; la pression exercée sur le support par l'évaporation de l'humidité accumulée dans l'enduit par capillarité (Joffroy et Moriset, 1996 : 47), etc. Comme le précédent, ce défaut ruine les performances protectrices et esthétiques de l'enduit (figure 31). Dans les deux cas, le seul remède à la dégradation de l'enduit est son entretien régulier et l'application d'un mélange adéquat.



△ Figure 31. Décollement de l'enduit, © HTC-Atacora.

Chapes

La chape est principalement sujette à un décapage causé par l'action combinée d'une érosion mécanique, liée à l'usage de la terrasse (au passage fréquent et aux activités de production qui s'y déroulent), et d'une érosion hydrique, liée au ruissellement, à l'écoulement et à l'évacuation en un point des eaux de pluies tombées sur la terrasse. Le décapage de la chape présente l'inconvénient d'exposer son support aux intempéries et de rendre l'aspect de la terrasse inesthétique. Outre un entretien régulier (cf. Entretien des chapes, p. 97), il pourrait être opportun de corriger les pentes et de vérifier le bon fonctionnement des dispositifs d'évacuation de la terrasse.

RÉNOVATION

Nous décrivons ici les techniques de rénovation des parties en terre crue des *Tata Somba*. La première section est consacrée à la préparation des différents matériaux à utiliser. La seconde, aux modalités d'exécution des travaux de réparation et d'entretien.

Préparation

Dans l'Atacora, les sols les plus courants sont des sols tropicaux évolués de type ferrallitiques ou ferrugineux, remarquablement riches en oxydes de fer et d'aluminium. Le lessivage des sols tend à concentrer ces oxydes en surface, provoquant une induration de la couche supérieure du sol, voire la formation d'une carapace ferrallitique, ou latéritique. Les sols présentant une telle évolution doivent être évités, car ils sont difficiles à travailler et contiennent une faible proportion d'argile dans les couches supérieures. De façon générale, l'argile la plus courante est une kaolinite très fine, qui a d'excellentes qualités constructives, de par sa finesse et sa très faible tendance au gonflement. Enfin, les sols présentent une tendance à l'acidité, avec un pH entre 4 et 5. En matière de sols, de nombreuses variations locales existent. Les *Cartes pédologiques de reconnaissance* au 1/20 000 peuvent être consultées pour obtenir des informations plus précises, mais la pratique de tests sur site reste incontournable (cf. Sélection, p. 40) pour connaître le sol et évaluer les propriétés de la terre disponible.

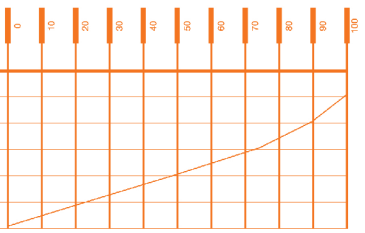
Nous proposons ci-dessous trois mélanges de terre destinés à différents travaux de réparation et une solution aqueuse destinée à la finition des enduits. Pour chacun des mélanges, nous décrivons successivement la composition de la terre de base, la granulométrie du mélange, son mode de préparation et les propriétés plastiques à atteindre pour une mise en œuvre optimale. Dans tous les cas, il convient de ne pas utiliser de terre entreposée ayant été longtemps exposée à la pluie, car cette dernière lessive la terre et emporte les argiles, ce qui réduit sa capacité de cohésion.

Terre à construire d'Atacora

Le mélange *Terre à construire d'Atacora* est destiné aux petites et moyennes réparations : reconstitution de tête de mur, bourrage d'ouverture de joints, etc. Il correspond au mélange couramment utilisé pour le banco lors de la construction des *Tata Somba* (tableau 1).

Terre à construire d'Atacora

Cailloux	*2 cm < Ø*	10 %	± 5 %
Graviers	*2 mm < Ø < 2 cm*	15 %	± 5 %
Sables	*60 µm < Ø < 2 mm*	25 %	± 10 %
Limons	*2 µm < Ø < 60 µm*	25 %	± 10 %
Argiles	*Ø < 2 µm*	25 %	± 5 %



△ Tableau 1. Composition de la *Terre à construire d'Atacora*.

La terre de base est une terre moyennement argileuse, avec une granulométrie équilibrée. Elle est idéalement prélevée dans un sol de type « dans quartzite à grain[38] » (très répandu dans l'Atacora), à une profondeur de 15-60 cm (éviter la couche superficielle qui contient des matières organiques : il s'agit d'une terre « pour nourrir » et non d'une terre « pour construire »). Toutefois, pour faciliter l'approvisionnement et garantir la cohérence des ouvrages, il est recommandé d'utiliser la même terre que celle utilisée lors de leur construction. Pour plus de certitude, il est recommandé de prendre connaissance de l'emplacement du gisement d'origine.

À partir de la terre sélectionnée, le mélange est obtenu par addition d'eau et malaxage jusqu'à obtention d'un amalgame homogène et plastique. Il importe

38 Cf. Faure (1969;1971).

de malaxer les ingrédients suffisamment longtemps pour assurer l'homogénéité du mélange et pour fluidifier l'argile (thixotropie), et, après le malaxage, de laisser le mélange reposer plusieurs heures avant de le remélanger.

Une motte de *Terre à construire d'Atacora* de 20 cm d'épaisseur et 30 cm de haut est stable sous son propre poids.

Astuce

L'ajout de paille hachée (brin de plus ou moins 5 cm) permet d'éviter la fissuration et donc d'augmenter la résistance mécanique du mélange sec (cf. Adjuvants, p. 44).

Terre à colmater d'Atacora

Le mélange *Terre à colmater d'Atacora* est destiné au rebouchage des joints et des fissures[39]. Il correspond au mélange traditionnellement utilisé pour réaliser et entretenir les joints entre les ouvrages en banco lors de la construction des *Tata Somba*.

La terre de base est prélevée sur des termitières abandonnées, qui constituent ainsi des gisements à ciel ouvert, aisément repérables. La terre de termitière est constituée de grains de taille régulière agglomérés avec des fibres végétales et des excréments des termites, contenant de la lignine (colle du bois). Ce mélange produit par les termites, confère à la terre de termitière une résistance et une étanchéité accrue (cf. Maçonnerie, p. 60 et Poterie, p. 71).

À partir de la terre sélectionnée, le mélange est obtenu par addition d'eau et de poudre de *Néré*, le tout pétri jusqu'à obtention d'un amalgame homogène et plastique.

Astuce

La quantité d'eau doit être minimale, pour limiter le phénomène de retrait au séchage. Le mélange doit se tenir à la limite entre l'état humide et l'état plastique.

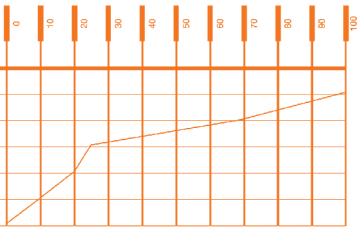
39 L'usage traditionnel de la *Terre à colmater d'Atacora* a été constaté lors de la Fête de l'enduit organisée dans le cadre du projet HTC-Atacora en mars 2021.

Béton terre d'Atacora

Le mélange dit *Béton terre d'Atacora* est destiné aux réparations lourdes, comme la reprise de murs en sous-œuvre.

La terre de base est une terre graveleuse à caillouteuse, comprenant des quantités importantes de graviers et de cailloux (tableau 2). Idéalement, la terre de base est prélevée dans un sol dit de « type rouge » (ferrugineux ou ferrallitique) jusqu'à une profondeur maximale de 100 cm.

Béton terre d'Atacora			
Cailloux	*2 cm < Ø*	30 %	± 5 %
Graviers	*2 mm < Ø < 2 cm*	45 %	± 5 %
Sables	*60 µm < Ø < 2 mm*	5 %	± 5 %
Limons	*2 µm < Ø < 60 µm*	10 %	± 10 %
Argiles	*Ø < 2 µm*	10 %	± 10 %



△ Tableau 2. Composition du *Béton terre d'Atacora*.

Le *Béton terre d'Atacora* est préparé en deux étapes. On passe, d'abord, la terre de base au tamis 0,5 cm pour en conserver le refus (cailloux et graviers avec fines adhérentes). Ce dernier est, ensuite, mélangé avec de l'eau dans une bétonnière jusqu'à obtention d'un mélange plastique.

Une colonne de *Béton terre d'Atacora* de 25 à 30 cm de diamètre et de 60 cm de haut est stable sous son propre poids. La stabilité de ce mélange encore humide permet d'éviter l'utilisation de coffrages et de réduire le temps de réparation. En outre, la faible teneur en argile permet de limiter les retraits. Ce mélange, non traditionnel, est inspiré du *Pisé* H_2O mis au point par Le Tiec et Paccoud (2006), pour la rénovation d'ouvrages en pisé de la région de l'Isère, en France.

Enduit terre d'Atacora

L'*Enduit terre d'Atacora* est destiné au crépissage des ouvrages en terre crue. S'inspirant de l'enduit traditionnel, il incorpore de la bouse de vache, qui améliore considérablement la résistance mécanique du crépi par l'apport de fibres. La terre à utiliser est une terre faiblement argileuse, très sablonneuse et dépourvue de graviers et cailloux (tableau 3). Idéalement, la terre de base est prélevée dans un sol dit de « type jaune », jusqu'à une profondeur de 45 cm. Elle peut aussi être prélevée dans un « sable de marigot[40] » ou de « bas-fond », jusqu'à une profondeur de 100 cm. Le mélange est obtenu aisément à partir de la terre de base, par addition d'eau et mixtion jusqu'à obtention d'une pâte visqueuse (± 20 % d'eau en volume).



Astuces

Pour améliorer les performances du mélange, on peut y ajouter de la bouse de vache fermentée et de l'*Eau de Néré*. On peut aussi avantageusement y ajouter l'*eau gluante* issue de la macération du *Diyouani*. Enfin, l'ajout de feuilles de *Neem* pilées dans le mélange protège les ouvrages contre les termites (figure 32). Le *Neem* ou margousier (*Azadirachta indica*) contient en effet de l'azadirachtine, qui est un insecticide et acaricide naturel efficace (Bélanger et Musbyimana, 2005).

△ Figure 32. Feuilles de *Neem* (*Azadirachta indica*), © HTC-Atacora.

▽ Tableau 3. Composition de l'*Enduit terre d'Atacora*.

Enduit terre d'Atacora			
Cailloux	*2 cm < Ø*	0 %	± 0 %
Graviers	*2 mm < Ø < 2 cm*	0 %	± 2 %
Sables	*60 µm < Ø < 2 mm*	60 %	± 5 %
Limons	*2 µm < Ø < 60 µm*	30 %	± 5 %
Argiles	*Ø < 2 µm*	10 %	± 5 %

40 Le mot *sable* est d'usage courant dans l'Atacora pour désigner un sol exploitable dans le domaine de la construction. En l'occurrence, le « sable de marigot » est une terre de ruisseau, contenant un mélange de sable et de dépôts alluvionnaires.

Avertissement

Pour des raisons à la fois de durabilité et de pérennité, il est fortement déconseillé d'appliquer des enduits à base de ciment ou qui incorporent du ciment. D'une part, le procédé de fabrication du ciment, au départ de calcaire et d'argile, inclut une opération de cuisson qui consomme beaucoup d'énergie et émet une quantité notable de CO_2. D'autre part, les coefficients thermiques et la perméabilité à la vapeur d'eau de l'argile et du ciment sont différents, ce qui conduit, suite à des variations de température et d'humidité répétées, à une désolidarisation progressive de l'enduit et de son support en terre crue, voire à une dégradation du mur en terre. Enfin, l'ajout de ciment à la terre (stabilisation de la terre) consomme beaucoup de ciment pour un résultat moyen (van Damme et Houben, 2018), mais en plus le ciment modifie la structure de la terre de façon irréversible et interrompt le cercle de réemploi de la terre.

Eau de Néré

L'*Eau de Néré* se présente sous une forme liquide et est destinée au badigeonnage du crépi (tableau 4). Riche en tanins et en oxydes de fer, elle contribue à la cohésion des plaquettes d'argile qui garantissent la cohérence des mélanges de terre crue.

Eau de Néré	
Eau	80 %
Cosses de Néré	20 %

△ Tableau 4. Composition de l'*Eau de Néré*.

L'*Eau de Néré* est obtenue par décoction, en plongeant un volume (un seau, par exemple) de cosses de *Néré* pilées dans quatre volumes d'eau (quatre seaux, par exemple) portés à ébullition durant 2 heures. La concentration de tanin dans l'*Eau de Néré* peut être augmentée en faisant macérer les cosses de *Néré* durant 24 h avant de les faire bouillir. L'ajout d'oxyde de fer (Fe_2O_3) durant la cuisson permet de produire des tannâtes de fer qui améliorent sensiblement

les qualités protectrices de l'*Eau de Néré*. Les sources d'oxyde de fer peuvent être les pierres de limonite, des morceaux de métal fortement rouillés, ou à défaut de la terre de sol rouge (sol ferrallitique ou ferrugineux).

Astuces

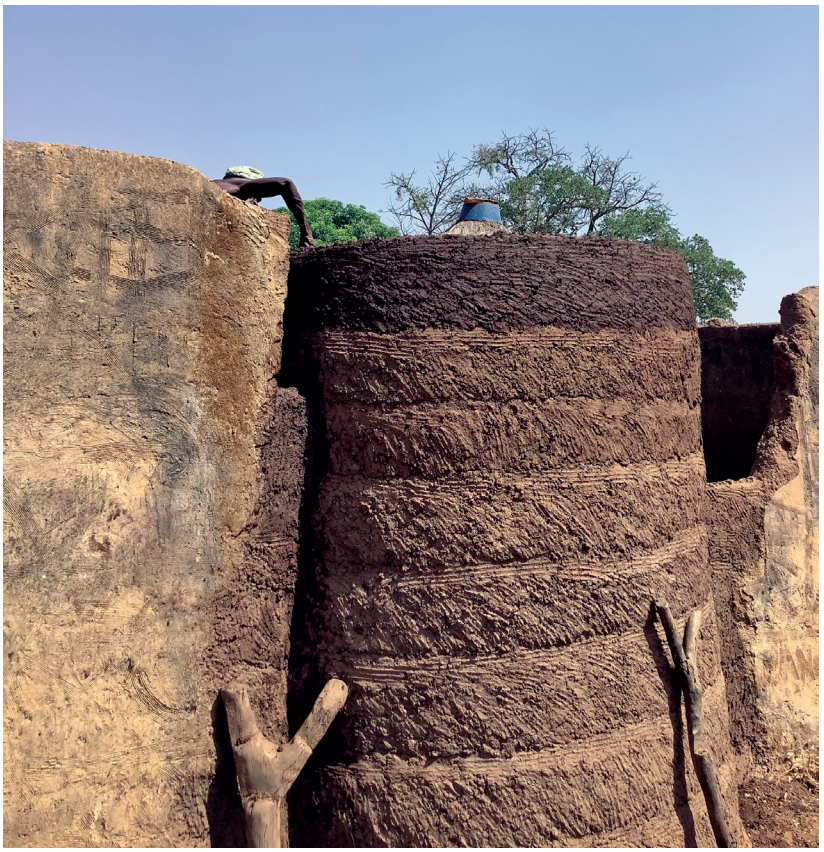
Outre l'*Eau de Néré*, il est aussi recommandé d'utiliser de l'*Eau de Karité*. Celle-ci est obtenue par simple lessivage à l'eau claire des outils ayant servi à la préparation du beurre de *Karité*. De plus, l'aspersion d'une décoction de feuille de *Diyouani* sur les ouvrages leur apporte une protection complémentaire contre les termites.

Exécution

Nous expliquons ci-dessous, sous la forme d'une notice technique, les modalités d'exécution des travaux pour la reprise et le remontage de mur, le rebouchage de joints et de fissures ainsi que l'entretien des enduits muraux et de la chape.

Réparation de mur

Dans le cas d'une réduction de la section courante du mur ou de son percement, démolir, à la main ou au maillet, toutes les parties contiguës instables, retirer et conserver la terre excédentaire pour l'incorporer au mélange décrit ci-dessous et nettoyer les parties stables à la brosse dure. Dans un seau, un bac ou une fosse creusée sur place (en fonction de la quantité nécessaire), préparer le mélange de *Béton terre d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. Au moyen d'une truelle, remplir la cavité de *Béton terre d'Atacora* sur une hauteur de 60 cm maximum. En se servant d'une règle (en bois ou en métal), racler l'excédent de mélange encore frais de manière à ce que l'apport épouse les formes et corresponde aux dimensions du mur à cet endroit. Au besoin, après séchage, répéter l'opération par passes successives de 60 cm de haut. Une fois que le *Béton terre d'Atacora* est sec, crépir au moyen d'un *Enduit terre d'Atacora* et, avant séchage complet, badigeonner l'enduit avec de l'*Eau de Néré*.



△ Figure 33. Réparation d'une tourelle, © HTC-Atacora.

Remontage de mur

Dans le cas d'une tête de mur effondrée, démolir, à la main ou au maillet, toutes les parties contiguës instables, retirer et conserver la terre excédentaire pour l'incorporer au mélange décrit ci-dessous et nettoyer les parties stables à la brosse. Dans un seau, un bac ou une fosse creusée sur place (en fonction de la quantité nécessaire), préparer la quantité utile de *Terre à construire d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. À la main, former des boules de *Terre à construire d'Atacora*. Appuyer les boules les unes contre les autres à l'aplomb du mur et façonner celles-ci pour qu'elles épousent la courbure et l'épaisseur du mur,

sans dépasser la hauteur maximale de 30 cm. Au besoin, répéter l'opération par passes successives de 30 cm de haut, en humidifiant légèrement le support et en conservant entre chaque passe un temps de séchage d'une nuit au minimum (figure 33). Dans ce cas, la face supérieure, en attente, est laissée rugueuse pour permettre une bonne accroche de la passe suivante. Une fois que la *Terre à construire d'Atacora* est sèche, crépir au moyen d'un *Enduit terre d'Atacora* et badigeonner avant séchage complet avec de l'*Eau de Néré*.

Rebouchage des ouvertures de joints

Dans le cas d'ouverture d'un joint vertical entre un mur d'enceinte et un mur de tourelle, agrandir, avec l'angle d'une spatule, l'ouverture du joint en faisant tomber toutes les parties instables et nettoyer à la brosse dure les lèvres de l'ouverture. Si l'écart entre le mur d'enceinte et le mur de tourelle est supérieur à 5 cm, enfoncer dans le mur de la tourelle et sur toute la hauteur du joint (lieu de rencontre entre le mur d'enceinte et la tourelle) des chevilles de bois d'une longueur de 10 à 15 cm. Veiller à maintenir entre les chevilles une distance maximale de 15 cm et à les laisser dépasser du mur de 5 à 10 cm. Une fois noyées dans le mélange de terre, ces chevilles amélioreront la cohérence du joint[41]. Dans un seau ou dans un bac, préparer la quantité utile de *Terre à colmater d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. Par l'apport répété de poignées de *Terre à colmater d'Atacora*, pressées vigoureusement les unes sur les autres et contre les murs adjacents, remplir le joint sur toute l'épaisseur du mur (figure 34). Une fois que le joint entre les murs est rebouché, appliquer, presser et lisser un boudin de terre, sur toute la hauteur de la réparation, de manière à former un congé de la taille d'un pouce entre les murs. La *Terre à colmater d'Atacora* séchée, crépir la réparation avec de l'*Enduit terre d'Atacora* et badigeonner avant séchage complet avec de l'*Eau de Néré*.

41 L'usage de clous métalliques, à la place des chevilles en bois, est aussi à recommander, mais il pourrait se heurter à des interdits cultuels. L'usage d'éléments métalliques dans la construction du *Tata* serait en effet proscrit parce que symbolisant le dieu de la forge.



△ Figure 34. Étapes de réparation de la jonction entre une tourelle et un mur d'enceinte, © HTC-Atacora.

Dans le cas de joints horizontaux entre un mur et une chape, agrandir avec l'angle d'une spatule l'ouverture du joint en ôtant toutes les parties instables et nettoyer à la brosse les lèvres du joint. Dans un seau ou dans un bac, préparer la quantité utile de *Terre à construire d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. Remplir l'ouverture par apport d'un boudin de *Terre à construire d'Atacora*. Presser la matière apportée contre la chape et le mur. L'ouverture rebouchée, apporter un boudin de terre complémentaire et, au moyen d'un racloir *ad hoc*[42], former un talus d'une profondeur et d'une hauteur ± égales à 4 cm, en pressant vigoureusement la terre contre la chape et le mur. Une fois sec, appliquer sur la réparation un *Enduit terre d'Atacora* et badigeonner avant séchage complet avec de l'*Eau de Néré*.

Rebouchage de fissures

Dans le cas de fissures, avec l'angle d'une spatule, agrandir la fissure en faisant tomber toutes les parties instables et nettoyer à la brosse dure les parties stables. Dans un seau ou dans un bac, préparer la quantité utile de *Terre à colmater d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. Remplir la fissure par apports successifs de poignées de *Terre à colmater d'Atacora* ; les presser vigoureusement les unes sur les autres et contre les murs adjacents. Avec un racloir, retirer l'excédent. Avant séchage complet, appliquer sur la réparation une couche d'*Enduit terre d'Atacora* et un badigeon d'*Eau de Néré*.

Entretien des enduits sur mur

Pour l'entretien d'un enduit sur mur, retirer au racloir, toutes les parties instables et nettoyer à la brosse les parties stables. Dans un seau ou dans un bac, préparer la quantité utile d'*Enduit terre d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire.

42 Le racloir peut être fabriqué aisément à partir d'une plaque métallique rectangulaire de 10 cm par 10 cm de côté.

À la main ou au moyen d'une palette, appliquer sur le mur une couche d'*Enduit terre d'Atacora* d'une épaisseur de 5 mm à 1 cm. Avant séchage complet de l'enduit, appliquer sur le mur, par projection ou au moyen d'un pinceau-brosse, un badigeon d'*Eau de Néré.*

Entretien des chapes

Pour entretenir une chape, retirer avec un racloir toutes les parties instables et nettoyer à la brosse dure les parties stables. Dans un seau ou un bac, préparer la quantité utile d'*Enduit terre d'Atacora*. Humidifier la zone à réparer avec un peu d'eau, en débordant de 10 à 20 cm autour de celle-ci. Répéter plusieurs fois l'opération durant 30 min. jusqu'à constater un changement de couleur du support et avant la coulée d'eau excédentaire. À la main ou au moyen d'une palette, appliquer sur la chape une couche d'*Enduit terre d'Atacora* d'une épaisseur de ± 1 cm. Avant séchage complet de l'enduit, appliquer sur la chape un badigeon d'*Eau de Néré*, par projection ou au moyen d'un pinceau-brosse, lisser et serrer l'enduit à la pierre.

CONCLUSION

Outre une présentation des propriétés physiques et chimiques de la terre crue, en tant que matériau, et une analyse des éléments architecturaux qui constituent le *Tata Somba*, en tant qu'édifice, ce manuel propose un ensemble de techniques de réparation et d'entretien qui visent à pallier les dommages et l'usure qui, faute de soin, affectent tôt ou tard leurs parties en terre crue. Les techniques recommandées dans cet ouvrage concernent autant la préparation des matériaux *ad hoc* que l'exécution des travaux de rénovation.

Pour la plupart, ces techniques de préparation et d'exécution sont celles que mobilisent traditionnellement les populations *Somba*. Ce manuel ne prétend pas apporter des solutions innovantes, mais bien, à rebours d'une culture de la disruption, rassembler et transmettre de manière quelque peu formalisée le savoir-faire de *l'Otãmmari*. Ancestral et local, ce savoir-faire technique est susceptible de perfectionnements et pourrait être appliqué à d'autres habitats en terre crue. Ce manuel n'a pas pour objet de figer et cantonner l'application des techniques proposées aux seuls *Tata Somba*, mais bien de stimuler la construction en terre crue dans l'Atacora, de la rendre vivante, actuelle et désirable.

TRANSMISSION

Les recommandations techniques que contient ce manuel sont fondées sur les littératures technique et scientifique relatives à la terre crue ; sur des études ethnographiques portant, entre autres, sur l'habitat *Somba* ; sur des enquêtes de terrain conduites par les auteurs ; sur des chantiers de rénovation réalisés dans le cadre de campagnes de rénovation de *Tata Somba* conduites sous la direction d'hommes de métier expérimentés. Moments privilégiés pour la transmission de savoir-faire, ces chantiers, en particulier, ont permis le partage et la collecte d'informations précieuses concernant les mélanges de terre à préparer et les procédés à exécuter.

Mélanges

La rénovation d'un *Tata Somba* requiert la préparation de mélanges de terre crue appropriés aux diverses tâches de réparation et d'entretien. Ce manuel n'en propose pas moins de quatre. La *Terre à construire d'Atacora* et la *Terre à colmater d'Atacora* sont les matériaux traditionnels dévolus à la maçonnerie des murs du *Tata Somba*. Le premier mélange est employé pour l'exécution des parois verticales (murs de tourelle, murs d'enceinte), le second, pour le colmatage des joints verticaux entre ces parois, ainsi que pour le rebouchage des fissures. Le *Béton terre d'Atacora,* directement inspiré du *Pisé* H_2O mis au point par Le Tiec et Paccoud (2006), est proposé pour la réparation de parois présentant des percements locaux. La stabilité de ce mélange encore humide permet d'éviter l'utilisation de coffrages et de réduire le temps de réparation. L'*Enduit terre d'Atacora* est un mélange traditionnel recommandé pour l'exécution, la réparation et l'entretien du crépi en terre qui protège les parois du *Tata Somba*. À ces mélanges de terre crue, s'ajoute une solution à badigeonner sur l'enduit frais. D'usage traditionnel, L'*Eau de Néré* est une décoction de cosses de *Néré* dont l'application augmente la dureté et la durée de l'enduit. Divers adjuvants sont aussi conseillés. L'*eau gluante* issue de la macération du *Diyouani* permet de fluidifier l'*Enduit terre d'Atacora* et d'améliorer son ouvrabilité. Tandis qu'une décoction de *Diyouani* aspergée régulièrement sur les enduits est un répulsif efficace contre les termites.

Travaux

La rénovation des parties en terre crue d'un *Tata Somba* fait appel à différents types de travaux : réparation ou remontage de mur, rebouchage de joints ou de fissures, entretien des enduits sur mur ou de la chape des terrasses. Ce manuel décrit chacun de ces travaux, qui met en œuvre un ou plusieurs mélanges décrits ci-dessus, et inclut l'enchaînement d'opérations qui vont du nettoyage des supports, à la finition et la protection des ouvrages, en passant par leur exécution proprement dite et les éventuels temps de pause.

Les recommandations émises dans ce manuel synthétisent, pour mieux les transmettre, des savoir-faire traditionnels. Pour autant, elles ne prétendent ni à l'innovation disruptive, ni à la solution unique et définitive. Certes, en s'appuyant sur un savoir-faire traditionnel, elles offrent de bonnes garanties de succès, mais il revient aux prochain·es restaurateur·trices de *Tata Somba* de les adapter aux circonstances : aux dégâts à réparer, à la matière première disponible et aux nombres et à l'expérience des personnes participant à la rénovation.

STIMULATION

Visant à la préservation d'un patrimoine culturel remarquable, ce manuel fournit un guide à la rénovation des *Tata Somba*. Sa vocation est aussi de stimuler une pratique actuelle et étendue de la construction en terre crue dans l'Atacora et ailleurs ; en Afrique et dans le monde.

Actualisation

Bien que la terre crue jouisse d'un regain d'intérêt notable dans la construction contemporaine, dans l'opinion commune, en Europe ou en Afrique, l'habitat en terre crue, en tant que pratique constructive et en tant que lieu de vie, est encore considéré comme obsolète, renvoyé à un passé révolu, sinon à des modes de production et d'existence vouées à disparaître face aux « avancées », supposées inéluctables et préférables, de la globalisation. Ce manuel, résolument, participe d'une conviction inverse et rejoint l'enthousiasme que suscite aujourd'hui les habitats en terre crue. Les *Tata Somba*,

sur lesquels il se concentre, ne sont pas des vestiges à conserver. Ils constituent l'une des pièces maîtresses de l'habitat d'un peuple bien vivant, qui, malgré les pressions économiques et les changements climatiques, persiste dans l'Atacora. Pour les populations qui l'habitent, cet habitat est actuel, autant que les gestes effectués pour son édification. Construire en terre crue se conjugue au présent.

Une des vocations de ce manuel est de rendre manifeste l'actualité du *Tata Somba* et, plus loin, de la terre crue. Loin de reléguer cette dernière au rang des techniques dites traditionnelles ou vernaculaires, il s'agit de montrer, en actes, que la construction en terre crue, nous occupe et nous préoccupe encore, et il s'agit d'affirmer, avec de nombreux autres, que la construction en terre crue est autant une question qu'une solution d'avenir.

Extension

Ayant pour objet spécifique la rénovation du *Tata Somba*, ce manuel n'en fournit pas moins des recommandations utiles pour la rénovation de tout habitat en terre crue dans l'Atacora, et ailleurs. Une part importante des recommandations relatives aux matériaux et aux techniques de réparation des *Tata Somba* peuvent, en effet, être appliquées aux grands nombres d'habitations récentes, construites en banco ou en briques d'adobe, qui présentent, plus encore que les *Tata Somba*, des défauts de fabrication et d'entretien.

La construction en terre crue dans l'Atacora possède de nombreux avantages écologiques (faible énergie grise, émission de gaz à effet de serre nulle, préservation des ressources, absence de polluant), économiques (faible coût, maintien des réseaux économiques locaux), physique (régulation thermique et hygrométrique, isolation acoustique) et esthétiques (intégration paysagère, formes « organiques »). Malgré ces indéniables avantages, elle présente un inconvénient : l'obligation d'un entretien régulier, qui s'accorde mal avec les modes de vie promus par la globalisation (exode rural, économie monétariste, individualisme) et qui devient plus impérieuse avec les changements climatiques (épisodes pluvieux intenses). Mais, lorsqu'on considère la rénovation des habitats en terre crue non plus comme un problème, mais comme une solution ; lorsque l'entretien et la réparation deviennent services rendus, moyens de subsistance, voire occasions de fêtes, l'habitat en terre crue, alors, est idéal.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. *Tata Somba*, © HTC-Atacora. 18
Figure 2. *Tata Somba* en ruine, © HTC-Atacora. 19
Figure 3. *Tata Somba* présentant des dégradations, © HTC-Atacora. 20
Figure 4. Exemple d'empilement apollonien, © HTC-Atacora. 28
Figure 5. Boules de banco, © HTC-Atacora. 48
Figure 6. Construction en adobe, © HTC-Atacora. 48
Figure 7. *Tata Somba* comportant six tourelles, formule parmi les plus courantes dans l'Atacora, © HTC-Atacora. 53
Figure 8. Unique formule de *Tata Somba* comportant douze tourelles, © HTC-Atacora. 54
Figure 9. Terrasse d'un *Tata Somba* ; à droite, entrée dans une des chambres, © HTC-Atacora. 56
Figure 10. Grenier posé sur une tourelle, © HTC-Atacora. 57
Figure 11. Dessin de motifs géométriques dans l'enduit frais, © HTC-Atacora. 58
Figure 12. Cosses de *Néré* (*Parkia biglobosa*), © HTC-Atacora. 61
Figure 13. Branche de *Diyouani* (*Cissus Populnea*), © HTC-Atacora. 61
Figure 14. Une équipe est chargée de pétrir le mortier et de façonner les boules de terre, © HTC-Atacora. 61
Figure 15. Pose du premier lit de banco, © HTC-Atacora. 62
Figure 16. Érection des tourelles, © HTC-Atacora. 63
Figure 17. Jonction entre une tourelle et un mur d'enceinte, © HTC-Atacora. 65
Figure 18. Nervure modelée sur l'axe du mur d'enceinte, © HTC-Atacora. 66
Figure 19. Lattis constituant le plancher de la terrasse, © HTC-Atacora. 68
Figure 20. Pose de la chape en terre crue de la terrasse sur un lit de branchage et de feuilles, © HTC-Atacora. 68
Figure 21. Lissage de la chape au galet, © HTC-Atacora. 69
Figure 22. Branche de *Karité* (*Vitellaria paradoxa*), © HTC-Atacora. 69

Figure 23. Toiture vue de l'intérieur d'une chambre, © HTC-Atacora. 70
Figure 24. Outils pour le parachèvement du *Tata Somba*, © HTC-Atacora 72
Figure 25. Tourelle effondrée et murs d'enceinte mobilisés, © HTC-Atacora. 77
Figure 26. Usure du pied de mur, due aux projections de l'eau provenant de la gargouille, © HTC-Atacora. 79
Figure 27. Ouverture du joint entre un mur d'enceinte et une tourelle, © HTC-Atacora. 81
Figure 28. Fissure à la jonction d'un mur d'enceinte et de la chape de terrasse, © HTC-Atacora. 82
Figure 29. Usure de l'about d'un parapet causée par les eaux de ruissellement provenant de la toiture en surplomb, © HTC-Atacora. 83
Figure 30. Usure de l'enduit, © HTC-Atacora. 84
Figure 31. Décollement de l'enduit, © HTC-Atacora. 85
Tableau 1. Composition de la *Terre à construire d'Atacora*. 87
Tableau 2. Composition du *Béton terre d'Atacora*. 89
Tableau 3. Composition de l'*Enduit terre d'Atacora*. 90
Figure 32. Feuilles de *Neem* (*Azadirachta indica*), © HTC-Atacora. 90
Tableau 4. Composition de l'*Eau de Néré*. 91
Figure 33. Réparation d'une tourelle, © HTC-Atacora. 93
Figure 34. Étapes de réparation de la jonction entre une tourelle et un mur d'enceinte, © HTC-Atacora. 95

MÉDIAGRAPHIE

ANGER, Romain (2005). *Grains de bâtisseurs : La matière en grains, de la géologie à l'architecture*. CRATerre.

ANGER, Romain (2011). *Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction* (thèse de doctorat). Lyon, Institut National des Sciences Appliquées.

BASSET, Jérémie (2015). *La colonne de sable* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119950577].

BASSET, Jérémie (2015). *Le bâton béton* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119932986].

BASSET, Jérémie (2015). *Le comprimé de poudre* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119951630].

BASSET, Jérémie (2015). *Les grains photoélastiques* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119932987].

BASSET, Jérémie (2015). *Les pâtés de sable fin et de sable grossier* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119950578].

BASSET, Jérémie (2015). *Les plaques de verre* (Vidéo). Les films du Lierre, Grains de batisseurs. [En ligne : https://vimeo.com/showcase/3264861/video/119947069].

BOKO-KOUDAKOSSI, Hermione (2014). « Société civile et gestion du patrimoine culturel au Bénin : Étude du cas de la Perle de l'Atacora à Koussoukoingou, République du Bénin ». Thembi Malao (dir.), [Conférence internationale Vivre avec le patrimoine mondial en Afrique, Johannesburg, 2012]. Midrand, Fonds pour le patrimoine mondial africain, pp. 141-153.

BOSCO K. VODOUNOU, Jean et Yvette ONIBON DOUBOGAN (2016) « Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin ». *Cybergeo : European Journal of Geography*, n° 794.

FONTAINE, Laetitia, Romain ANGER, Patrice DOAT *et al.* (2009). *Bâtir en terre : Du grain de sable à l'architecture*. Paris, Belin.

GUILLAUD, Hubert et Hugo HOUBEN (1989). *Traité de construction en terre*. Marseille, Parenthèses.

JOFFROY, Thierry et Nayondjoua DJANGUENANE (2005). *«Koutammakou» le pays des Batammariba «ceux qui façonnent la terre»*. Villefontaîne, CRATerre.

LE TIEC, Jean-Marie et Grégoire PACCOUD (2006). *Pisé H2O : De l'eau et des grains pour un renouveau du pisé en Rhône-Alpes*. Villefontaîne, CRATerre.

MAURICE, Albert-Marie (1986). *Atakora, Otiau, Otāmmari, Osuri, peuples du Nord Bénin (1950)*. Paris, Académie des sciences d'outre-mer.

MERCIER, Paul (1954). *L'habitation (à étages) dans l'Atakora*. Cotonou, Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.

MERCIER, Paul (1968). *Tradition, changement, histoire : Les «Somba» du Dahomey septentrional*. Paris, Éd. Anthropos.

MINKE, Gernot (2013). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture* (2d éd.). Bâle, Boston, Berlin, Birkhäuser.

MOEVUS, Mariette, Laetitia FONTAINE, Romain ANGER *et al.* (2013) « Projet : Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.) ».

NOUKPAKOU, Fabrice, Ghita BARKOUCH, Nawri KHAMALLAH *et al.* (2020) « Red Chalk Palimpsest: The Logic of Somba Landscape ». *Urban Planning*, vol. 5, n° 2, pp. 191-204.

PADENOU, Guy-Herman et Monique PASTOR-BARRUÉ (2006). *Architecture, société et paysage Bétammaribé au Togo : Contribution à l'anthropologie de l'habitat*. Toulouse, Presses universitaires du Mirail.

RAPOPORT, Amos (1983). *Pour une anthropologie de la maison*. Paris, Dunod.

RUDOFSKY, Bernard (1964). *Architecture without Architects : A Short Introduction to Non-pedigreed Architecture*. New York, Doubleday & Company.

VAN DAMME, Henri (2013) « La terre, un béton d'argile ». *Pour la science*, n° 423, pp. 50-57.

VAN DAMME, Henri et Hugo HOUBEN (2018) « Earth concrete. Stabilization revisited ». *Cement and Concrete Research*, n° 114, pp. 90-102.

VISSAC, Aurélie , Ann BOURGÈS, David GANDREAU *et al.* (2017). *Argiles et biopolymères : Les stabilisants naturels pour la construction en terre*. Villefontaîne, CRAterre.

VISSAC, Aurélie, Laetitia FONTAINE et Romain ANGER (2012). *Recettes traditionnelles et classification des stabilisants d'origine animale ou végétale*. Villefontaîne, CRAterre.

Notes

Notes

Notes

Notes

Notes

Notes

L'ensemble des données enregistrées au cours de ce projet HTC-Atacora (inventaire de *Tata Somba* [gis], relevé de villages *Somba* [orthophotos] et relevé 3D de *Tata Somba* [photogramétrie]) sont disponibles en libre accès sur https://uclouvain.be/fr/instituts-recherche/lab/laa/htc-atacora.html



La collection *forma loci* émane de la Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme et du Louvain research institute for Landscape, Architecture, Built environment de l'UCLouvain. De façon concise, cette Faculté est également nommée « LOCI », d'après le mot latin *loci*, qui se traduit par « les lieux ». Le syntagme nominal « forma loci » signifie quant à lui « la forme générale d'un lieu ».

Qu'est-ce qui mérite d'être mieux connu, mieux prévu, mieux conçu dans notre habitation du monde ?

La collection *forma loci* propose au réseau académique, aux praticiens concernés ainsi qu'au public des amateurs l'état des lieux le plus aiguisé de l'enseignement et de la recherche sur « l'habitat » au sens large.

La collection *forma loci* couvre des domaines aussi variés que l'aménagement du territoire, les structures et les technologies, la théorie de l'architecture, depuis l'élaboration des fondements jusqu'à leurs mises en actes.

La collection *forma loci* s'intéresse de près aux changements qui marquent en profondeur nos lieux d'habitation et notre environnement construit : la mobilité, les ressources en voie d'épuisement, la migration, le vieillissement de la population, le réchauffement climatique, l'apport du numérique…

La collection *forma loci* est dirigée par Jean Stillemans.

forma loci

Déjà parus dans la collection *forma loci* :

Anticrise architecturale : analyse d'une discipline immergée dans un monde numérisé. Sous la direction de Damien Claeys, 2021.

Penser à partir de l'architecture : poétique, technique, éthique, sous la direction de Marie-Clotilde Roose, 2020.

Théorie du fait architectural : pour une science de l'habitat, Renaud Pleitinx, 2020.

Naples lab: Resaerch and tentative Design, sous la direction de Christine Fontaine, Renata Valente, Valeria D'Ambrosio, 2020.

Sustainable Dwelling: Between Spatial Polyvalence and Residents' Empowerment, sous la direction de Gérald Ledent, Chloé Salembier, Damien Vanneste, 2020.

Recherche et enseignement en architecture, génie architectural, urbanisme : influences et complémentarités, sous la direction de Diane Leduc et Denis Zastavni, 2019.

Charleroi, ville ouverte : une cartographie des possibles, Renaud Pleitinx, 2018.

Tours et détours : pour une théorie de l'architecture, sous la direction de Cécile Chanvillard, Pierre Cloquette, Renaud Pleitinx, Jean Stillemans, 2017.

Pourquoi est-il si difficile de parler d'architecture ?, sous la direction de Cécile Chanvillard, Pierre Cloquette, Renaud Pleitinx, Jean Stillemans, 2014.

Cet ouvrage a été imprimé en juin 2022,
sur les presses de la Ciaco SCRL, à Louvain-la-Neuve.

MANUEL POUR LA RÉNOVATION DES TATA SOMBA

Construits en terre crue, les *Tata Somba*, habitats traditionnels du peuple *Somba* qui réside dans l'Atacora (Bénin), réclament un entretien régulier. En vue de leur préservation, ce manuel propose un ensemble de techniques de rénovation et de réparation appuyées sur une connaissance du matériau terre et tirées de l'observation des modes de construction traditionnels.

Fabrice **Noukpakou**, sociologue et spécialiste en gestion du patrimoine (UAC), conduit une recherche doctorale (LAB, UCLouvain) sur la composition de l'habitat *Somba*.

Elie **Pauporté**, architecte (ULB) et assistant (LOCI+LAB, UCLouvain), enseigne le projet d'architecture et conduit une recherche doctorale sur la vulnérabilité des constructions en terre crue.

Renaud **Pleitinx**, ingénieur architecte et docteur en sciences de l'ingénieur, est professeur de projet et de théorie d'architecture (LOCI+LAB, UCLouvain) et l'auteur d'une théorie médiationniste de l'architecture.



forma loci

Qu'est-ce qui mérite d'être mieux connu, mieux prévu, mieux conçu dans notre habitation du monde ?

Collection dirigée par Jean Stillemans

UCLouvain
Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme
Louvain research institute for Landscape, Architecture, Built environment

i6doc.com
la librairie des documents académiques

103925 20€
9 782390 612520