



HAL
open science

Intérêts croisés des échanges transdisciplinaires entre architecture, archéologie et développement durable

David Gandreau, Thierry Joffroy, Philippe Garnier, Nuria Sanchez Munoz, Majid Hajmirbaba, Mauricio Corba Barreto

► To cite this version:

David Gandreau, Thierry Joffroy, Philippe Garnier, Nuria Sanchez Munoz, Majid Hajmirbaba, et al.. Intérêts croisés des échanges transdisciplinaires entre architecture, archéologie et développement durable. Adeline Bats; Nadia Licitra. Storage in Ancient Nubia. Earthen architecture and building techniques, SidestonePress, pp.141-149, 2023, 978-94-6426-225-4. hal-04644908

HAL Id: hal-04644908

<https://hal.science/hal-04644908>

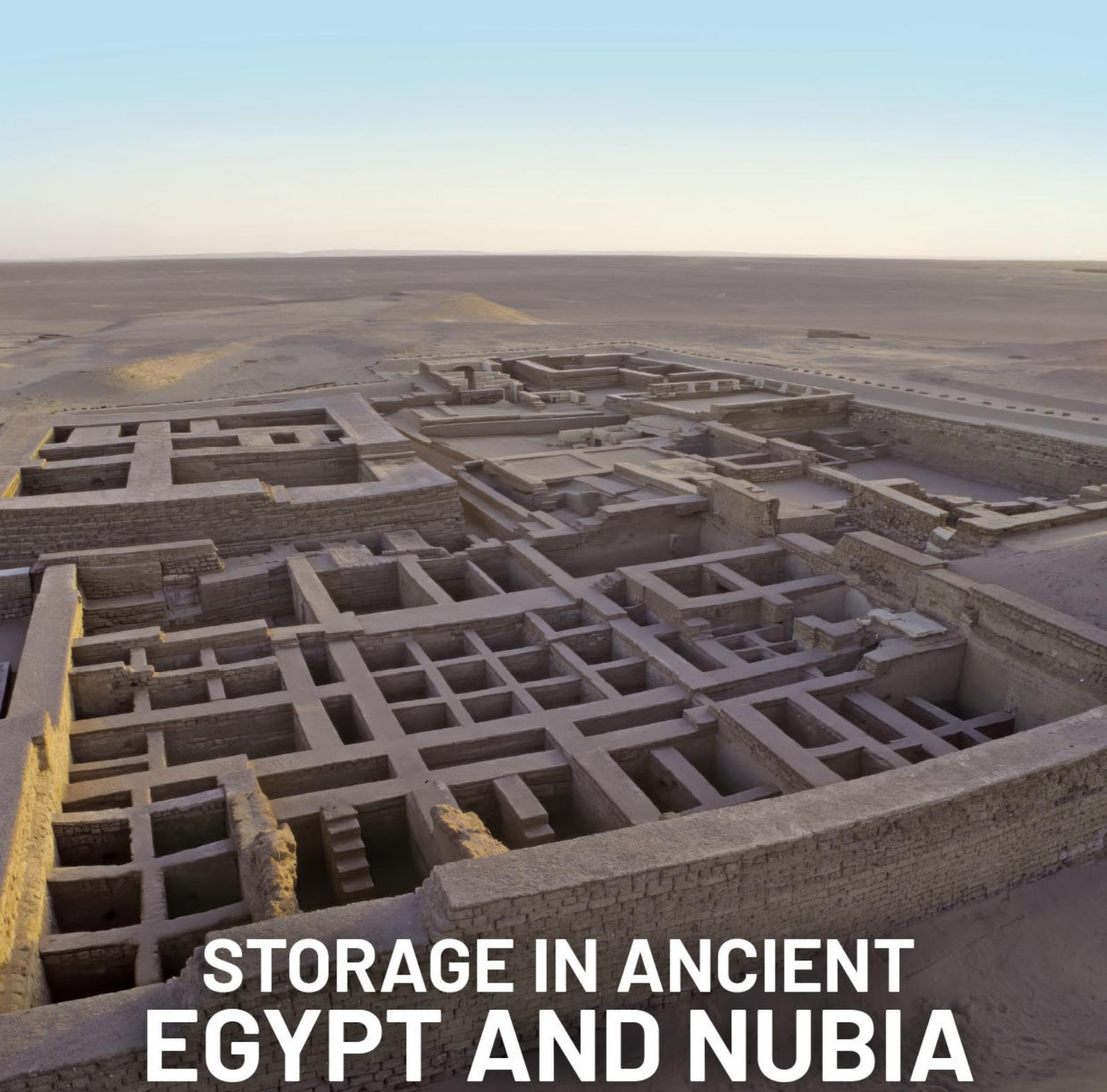
Submitted on 11 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

An aerial photograph of an archaeological site in a desert landscape. The site features a complex grid of rectangular structures, likely storage rooms, built with mud-brick. The structures are arranged in a regular pattern, with some larger rectangular enclosures and smaller individual rooms. The surrounding terrain is flat and sandy, with a clear horizon line under a pale sky. The lighting suggests a bright, sunny day.

STORAGE IN ANCIENT EGYPT AND NUBIA

Earthen architecture and building techniques

ADELINE BATS & NADIA LICITRA (EDS)



This is a free offprint – as with all our publications the entire book is freely accessible on our website, and is available in print or as PDF e-book.

www.sidestone.com

STORAGE IN ANCIENT EGYPT AND NUBIA

Earthen architecture and building techniques

ADELINE BATS & NADIA LICITRA (EDS)



Orient & Méditerranée



© 2023 Individual Authors

Published by Sidestone Press, Leiden
www.sidestone.com

Layout and cover design: Sidestone Press
Front cover: The *thēsaurus* of Tebtynis in 2023. © Ifao/Mohamed Ibrahim Mohamed.

ISBN 978-94-6426-223-0 (softcover)
ISBN 978-94-6426-224-7 (hardcover)
ISBN 978-94-6426-225-4 (PDF ebook)

DOI: 10.59641/o29221ra

Contents

Acknowledgements	7
List of figures	9
List of tables	13
Contributors	15
Preface	19
Abbreviations	21
Storage buildings in ancient Egypt and Nubia. Issues and perspectives	25
Adeline Bats & Nadia Licitra	
Pits, pots and silos. Storage facilities at the Predynastic and early pharaonic settlement of Elkab	55
Wouter Claes, Stan Hendrickx & Elizabeth Hart	
Les structures circulaires de stockage à Karnak aux XII^e et XIII^e dynasties	69
Marie Millet	
Le bâtiment BAT 603 de Kôm el-Nogous/Plinthine : un édifice de stockage polyvalent de l'époque saïto-perse ?	83
Bérangère Redon	
Le <i>thésauros</i> ptolémaïque de Tebtynis (Fayoum)	97
Gisèle Hadji-Minaglou	
Un <i>thésauros</i> à Bouto. Architecture et organisation d'un bâtiment de stockage dans le Delta nord-occidental à l'époque impériale	107
Loïc Mazou	
Variabilité des dispositifs de stockage en Afrique de l'Ouest : approches ethnoarchéologiques	117
Anne Mayor & Thomas Pelmoine	

Intérêts croisés des échanges transdisciplinaires entre architecture, archéologie et développement durable	141
David Gandreau, Thierry Joffroy, Philippe Garnier, Nuria Sanchez Muñoz, Majid Hajmirbaba & Mauricio Corba Barreto	
The Egyptian mud-brick silo. Technical and functional analysis of a grain storage device	151
Adeline Bats, Nadia Licitra, Thierry Joffroy, Bastien Lamouroux, Aurélie Feuillas & Julie Depaux	
References	173
Chronology of ancient Egypt	191
Chronology of ancient Nubia	193
Map of ancient Egypt and Nubia	194
Abstracts	195

Intérêts croisés des échanges transdisciplinaires entre architecture, archéologie et développement durable

David Gandreau, Thierry Joffroy,
Philippe Garnier, Nuria Sanchez Muñoz,
Majid Hajmirbaba & Mauricio Corba Barreto

Archéologie, Architecture, Transdisciplinarité, Rétro-ingénierie, Développement durable
Archaeology, Architecture, Transdisciplinarity, Reverse design, Sustainable development

1. Archéologie et Architecture, vers un nouveau rapprochement des disciplines

Dans un ouvrage collectif récent dirigé par Philippe Fraisse, onze auteurs, archéologues et architectes, font état des relations « étroites et fécondes » entretenues entre les deux disciplines depuis la Renaissance :

« La première fournissait les modèles nécessaires à la formation des architectes, tandis que ceux-ci contribuaient efficacement à la découverte et à l'étude des ruines, permettant ainsi de faire progresser la connaissance des époques auxquelles s'intéressait l'archéologie » (FRAISSE 2020, 4^e de couverture).

Mais au cours du xx^e siècle, les apports mutuels des deux disciplines ont été remis en question, avec tout d'abord l'essor du mouvement moderne en architecture qui s'est éloigné des références antiques, puis, et de façon plus spécifique en France, avec le développement des écoles d'architecture (sous la tutelle du ministère de l'Équipement) au détriment des écoles des beaux-arts (sous la tutelle du ministère de la Culture) après Mai 68 : « L'histoire et, encore moins, l'archéologie ne sont plus considérées comme les piliers de l'enseignement désormais dispensé au sein des écoles d'architecture » (FRAISSE 2020, 4^e de couverture).

1.1 Apports de l'architecture pour l'archéologie

Les intérêts croisés des échanges transdisciplinaires entre architecture et archéologie ne se sont pas complètement dissipés pour autant. Des archéologues ont continué de collaborer étroitement avec des architectes, notamment sur certains sites emblématiques construits en terre, pour lesquels les questions de conservation et ou restauration étaient

particulièrement sensibles et hors des compétences des archéologues.

Tel fut le cas sur le site élamite de Tchogha Zanbil en Iran, célèbre pour sa grande *ziggurat* centrale en briques de terre crues et cuites. À partir de 1954, l'archéologue Roman Ghirshman fit appel à une équipe d'architectes supervisée par Jacques Vicari pour conserver les vestiges fouillés (GHIRSHMAN 1966). Le parti pris fut de remonter les murs de parement en briques cuites, avec les briques retrouvées en fouille, au fur et à mesure que les vestiges étaient dégagés. Le principe de drainage adopté lors de l'édification du monument devait aussi être repris et adapté au nouveau profil érodé de la *ziggurat*. Les détails de la mise en œuvre furent décidés en fonction des informations que l'archéologie avait pu fournir (localisation des parements d'origine, systèmes d'appareillage, une rangée de briques inscrites toutes les onze assises, etc.). Le cœur de la *ziggurat* en briques crues fut ainsi maintenu grâce aux parements restaurés et les eaux de pluie purent être dirigées convenablement vers des systèmes techniques adaptés. Cette étroite collaboration entre archéologues et architectes, alors innovante sur un site d'architecture de terre, a permis de conserver la ziggourat et de mener des actions conjointes sur l'ensemble de la concession archéologique jusqu'en 1962 (GANDREAU 2017, p. 71-72).

De même, sur le site de Mari en Syrie, datant du III^e millénaire avant notre ère, la collaboration entre l'archéologue Jean-Claude Margueron et les architectes de CRAterre, spécialistes de la construction en terre crue, a également permis d'expérimenter des réponses techniques aux problèmes de conservation des vestiges en adobe (BENDAKIR *et al.* 2011). Plus encore, les échanges avec les architectes ont participé à la formalisation de certaines hypothèses émises par le directeur de la mission archéologique (1979 – 2004) concernant les spécificités du matériau terre pour le développement de la ville le long de l'Euphrate (MARGUERON 2013). C'est ainsi, notamment, qu'une meilleure compréhension de l'action de l'eau sur le matériau en terre a permis à l'archéologue d'identifier et d'expliquer certains systèmes constructifs observés en fouilles : « Le système architectural était pensé en amont, particulièrement en milieu urbain avec l'aide de l'infrastructure compartimentée (système de fondations en murs continus et pendage courbe), de canalisations enterrées et de chaussées absorbantes sous les rues » (MARGUERON 2014, p. 28).

Les apports des architectes sont aussi précieux dès qu'il s'agit de faire des propositions de restitution des vestiges archéologiques. À travers ses nombreux dessins et aquarelles, Jean-Claude Golvin a fortement contribué aux débats scientifiques sur les possibles élévations des structures antiques arasées et mises à jour par les fouilles archéologiques tout en développant de remarquables outils de valorisation à destination de la communauté scientifique et du grand public (GOLVIN, GROS DE BELER 2021).

1.2 Apports de l'archéologie pour l'architecture

Dans la deuxième moitié du XX^e siècle, la discipline architecturale a continué, quant à elle, de développer des recherches sur le patrimoine, mais en s'orientant essentiellement vers l'analyse des architectures vernaculaires encore en usage. Cette vision est centrale chez l'architecte Bernard Rudofsky qui a fait l'éloge, dans les années 1960, de ces « architectures sans architectes » dont une exposition présentée en 1964 au Museum of Modern Art (MoMA) à New York a eu de forts retentissements sur une génération d'architectes pionniers, sensibles aux questions culturelles et écologiques, notamment pendant la décennie qui suivit, marquée par les deux premières grandes crises du pétrole :

« There is much to learn from architecture before it became an expert's art. The untutored builders in space and time – the protagonist of this show – demonstrate an admirable talent for fitting their buildings into the natural surroundings. Instead of trying to 'conquer' nature, as we do, they welcome the vagaries of climate and the challenge of topography. » (RUDOFSKY 1964, p. 14).

Nous citerons aussi les travaux de Paul Oliver, qui ont contribué, par la suite, à une meilleure connaissance encyclopédique de ces architectures vernaculaires (OLIVER 1997) et à une analyse culturelle de leur diversité (OLIVER 2006), ou encore l'ouvrage plus récent de Pierre Frey dont le titre, *Learning from vernacular*, est particulièrement explicite (P. FREY 2010), tout comme celui du projet Européen *VerSus: Lessons from vernacular heritage to sustainable architecture*, fruit d'une collaboration entre cinq écoles d'architecture en France, Espagne, Portugal et Italie (GUILLAUD *et al.* 2014).

Concernant les leçons pouvant être tirées du patrimoine archéologique plus ancien et d'habitats inoccupés depuis des centaines, voire des milliers d'années, les références bibliographiques récentes sont plus rares. Force est de constater, pourtant, que les sites antiques ont continué de marquer les esprits de nombreux architectes, pourtant bien connus pour leurs postures modernistes. Dans son ouvrage *Le voyage de l'architecte* Philippe Potié décrit notamment comment les œuvres d'architectes comme Louis Khan, Le Corbusier et Aldo Rossi ont été empreintes de références aux monuments de l'antiquité grecque et romaine (POTIÉ 2018).

Depuis le début des années 2000, l'émergence du concept de rétro-ingénierie des cultures constructives locales notamment développé par CRAterre (JOFFROY 2012) laisse présager d'une nouvelle étape dans les échanges entre les disciplines de l'archéologie et de l'architecture. En effet, dans le contexte actuel de recherche d'une plus grande frugalité

et d'éco-responsabilité par le secteur de la construction, cette approche interroge les pratiques anciennes en tentant, au-delà des postures intellectuelles, de décliner des réponses théoriques et techniques vertueuses inspirées des processus et pratiques de conception architecturale préindustriels (GARNIER *et al.* 2013 ; MORISET *et al.* 2022 ; RADJU, PRAHBU 2015). Cette approche est de plus en plus adoptée par des organisations du milieu humanitaire en charge de l'habitat (*Manifeste* 2011).

L'archéologie du bâti (REVEYRON 2002) et l'archéologie de la construction (DESSALES 2017) se révèlent être des méthodes d'analyse essentielles dans cette quête, par la précision scientifique des descriptions qu'elles apportent à la lecture architecturale des bâtiments dans leurs contextes (environnemental, culturel, social, économique et de la gouvernance) et dans leurs évolutions dans le temps. S'ouvrent alors de nouvelles voies de recherches transdisciplinaires basées sur un croisement des outils propres à chacune des disciplines pour concevoir l'architecture et l'urbanisme et aménager les territoires, en mobilisant les ressources du patrimoine archéologique bâti. Après en avoir une première fois défini les enjeux et potentiels (GANDREAU 2019), nous proposons ici différentes thématiques de recherches envisageables :

- Localisation et lieux d'implantation
- Adaptation à l'environnement naturel et physique
- Techniques et modes d'organisation de la construction
- Utilisation rationnelle et raisonnée des ressources locales
- Gestion des carrières et des ressources en géo et biomatériaux
- Saisonnalité de la construction
- Organisation des espaces communs
- Disposition des unités de logement
- Modalités d'utilisation des différents espaces
- Modalités d'entretien des bâtiments
- Valeurs immatérielles associées aux cultures constructives locales
- Modalités de gouvernance
- Adaptation et résilience

Pour chacune de ces thématiques, une analyse multi-scalaire est possible, du territoire au matériau, en passant par l'agglomération, le village, le quartier, la rue, le bloc, l'édifice, l'élément de construction, la source d'approvisionnement. À chaque échelle, l'analyse des cycles de production, usage, entretien régulier ou réfections partielles, abandon et éventuel recyclage peut produire des connaissances enrichissantes pour la rétro-ingénierie des cultures constructives locales.

2. Étude de cas : des greniers améliorés en matériaux locaux pour contribuer à la sécurité alimentaire au Sénégal

2.1 Contexte et problématique

Dans la région de Matam au Sénégal (fig. 1), la culture de l'oignon est un enjeu majeur pour les populations en termes de sécurité alimentaire et de développement rural. Les petits exploitants sahéliens vivent dans un état de grande précarité et d'insécurité, et les populations souffrent de sous-alimentation chronique en période de soudure¹. Dans un contexte fortement exacerbé par le changement climatique, induisant, entre autres, une modification du régime pluviométrique et une intensification des épisodes de sécheresse, les pertes agricoles s'aggravent.

En ce qui concerne la culture des oignons, la question du stockage dans de bonnes conditions de conservation est une problématique de longue date (SIGAUT 1981). D'après le CGER, le « déficit en structures de stockage et de conservation de l'oignon [...] entraîne d'énormes pertes post-récoltes » (CGER n. d., p. 6). Comme le note encore le CGER, cela entraîne des « difficultés à approvisionner régulièrement le marché surtout durant la période de l'intersaison en raison du caractère saisonnier des récoltes et de la qualité de l'oignon inadapté à une conservation de longue durée » (CGER n. d., p. 6). Cette situation provoque une mise sur le marché des oignons sur une période très courte, ce qui conduit à une chute des cours et par suite à une faible valorisation possible de cette filière agricole, alors qu'elle présente un potentiel important pour les petits producteurs et plus largement pour la population locale. En effet, l'oignon est à la fois une denrée alimentaire largement consommée par les ménages et une importante source de revenus pour les agriculteurs.

Si de prime abord la solution paraît « simple », stocker, faire sécher et conserver des oignons demande la prise en compte de divers aspects et paramètres qui peuvent interagir les uns avec les autres. Cela a été confirmé par un état des lieux amenant les constats suivants :

- Le stockage de denrées agricoles tel que préconisé par les instances internationales (FAO) est majoritairement réalisé dans des atmosphères proches de 0°C. Cela sous-entend que les architectures doivent être équipées de systèmes actifs, non contextualisées, et donc hors de portée d'un point de vue technique et économique des producteurs locaux.
- Les greniers réalisés aujourd'hui en zone sahélienne sont souvent des bâtiments rectangulaires en blocs de ciment avec une couverture en tôle et quelques

1 La période qualifiée de soudure est celle qui se situe juste avant la nouvelle récolte, les réserves de la précédente étant souvent déjà taries.



Figure 1. Carte du Sénégal et de la région de Matam.
© CRAterre/Nuria Sanchez Muñoz.

orifices de ventilation, donc, à l'encontre des principes bioclimatiques. Ils sont souvent financés sur fonds propres ou dans le cadre de grands projets. La plupart sont inefficaces et ne sont donc pas utilisés.

- Les greniers traditionnels fonctionnent plutôt bien, ils sont très ventilés, avec des parois fines et, souvent, dotés de dispositifs pour isoler les récoltes du sol. En revanche, ils présentent le « désavantage² » d'être des espaces de stockage de faible volume.

De nombreuses tentatives ont été faites au cours des dernières décennies pour améliorer ou « massifier » le stockage des oignons, tout en essayant de prendre en compte les données du problème. Cependant, la majorité de ces expériences n'a pas été concluante, car – la plupart du temps – techniquement trop complexes et trop chères, autant pour leur installation que pour leur fonctionnement. De plus, elles privilégient une approche non holistique et/ou non intégrée de la problématique et du contexte.

À l'initiative de l'ONG Entrepreneurs du Monde et de ses partenaires, en particulier CRAterre, l'idée a été de reprendre le problème à la base, de s'inspirer de certaines pratiques traditionnelles de stockage, à la fois locales ou issues d'autres contextes, mais aussi de revisiter le patrimoine architectural et les connaissances vernaculaires afin d'identifier des solutions pérennes et abordables.

² Cela n'est pas nécessairement un désavantage dans tous les cas de figure.

Une première réflexion a donc été lancée, impliquant les parties prenantes³ avec le soutien de partenaires internationaux⁴, pour fixer les principes du projet et définir les objectifs et le cahier des charges d'un bâtiment de stockage-type pour la conservation des oignons, avant d'initier une réflexion méthodologique basée sur la rétro-ingénierie.

Il a donc été convenu que le projet devait contribuer à :

- apporter un soutien aux petites exploitations agricoles familiales, afin de rendre leurs activités plus durables et rentables ;
- améliorer les conditions de vie des petits exploitants et des populations locales ;
- et sécuriser l'accès à des revenus réguliers et à une alimentation de qualité.

Pour ce projet d'ampleur, Entrepreneurs du Monde a missionné CRAterre pour concevoir, avec les partenaires locaux, un modèle de grenier à oignons répondant à un cahier des charges pour un bâtiment qui serait :

- simple à construire, à entretenir et à reproduire en contexte villageois ;

³ Association Karwal Nguenar et Bossea (AKNB), collectivités locales, association APOV (producteurs d'oignons), fédération départementale des comités de gestion communautaire de Matam (groupement de promotion féminine – GPF) de la Vallée du Fleuve, association FANSOTO, Université Gaston Berger de Saint-Louis.

⁴ Entrepreneurs du Monde, CRAterre, Schneider Electric, Fondation EDF, Coopération Monégasque.

- capable de maintenir une température moyenne de 25°C jour et nuit pendant toute l'année ;
- bien ventilé (renouvellement de l'air de l'ordre de 150 m³/heure) ;
- permettant la conservation des produits dans le noir complet, avec une densité de stockage importante sans abîmer les produits ;
- d'une durée de vie minimale de 30 ans ;
- d'un coût de construction à terme inférieur à 50 000 € / unité (hors systèmes de production d'énergie et de froid) pour une capacité de stockage de 40 tonnes.

Le projet a été conçu autour de phases de prototypage et d'expérimentations suivies d'une évaluation afin de valider ou non les hypothèses scientifiques. La mise au point *in situ* a valeur de démonstration, et le projet a vocation à être étendu, à partir de Matam, à d'autres zones le long du fleuve Sénégal.

2.2 Méthodologie

Dans un premier temps, un état de l'art des différents sujets associés à l'objet de recherche a été réalisé sur les questions d'infrastructures agricoles et de stockage pour les oignons (vernaculaires et contemporaines ainsi que des pratiques courantes), sur les modes d'organisation dans la construction, les compétences et la disponibilité des matériaux de construction locaux, leur mise en œuvre et les coûts associés. Les systèmes vernaculaires des greniers et des bâtiments de stockage ont fait l'objet d'une étude poussée étendue à des dispositifs anciens y compris hors du continent africain, notamment en s'inspirant des structures très massives des anciennes glaciers iraniennes. Cette étude a permis de retenir des principes constructifs développés localement (i.e. utilisation de l'adobe, c'est-à-dire des briques de terre moulées), ainsi que le principe du *bad gir*, un système traditionnel iranien de « tours à vent » étudié de longue date par les archéologues, architectes et ingénieurs (TALEGHANI *et al.* 2010). Les aspects climatologique et hydrologique de la région concernée, ainsi que les approches bioclimatiques nationales, ont été pris en compte. Dans le même temps, une étude sur les différentes approches énergétique/frigorifique a été menée (LEUTCHER 2018).

L'ensemble de ces éléments a permis de définir différents scénarios. Après des discussions sur les avantages et les inconvénients de chaque solution identifiée, des choix ont été faits. Ceci a servi de base à la conception du premier prototype, privilégiant des solutions contextualisées, facilement réalisables par les acteurs locaux, et à des coûts de construction et de maintenance abordables, tout en visant la facilité d'usage et la fonctionnalité (CORBA BARRETO *et al.* 2019).

2.3 Premier prototype

Les options retenues, à la fin de l'année 2019, pour le premier prototype, ont privilégié la conception d'une construction de forme rectangulaire en plan, à la volumétrie régulière, afin de faciliter une logistique simple du cycle des oignons. Ce choix architectural devait permettre une hybridation entre options traditionnelles et solutions techniques plus contemporaines (fig. 2-4). Le bâtiment envisagé a été construit en matériaux traditionnels d'une part (maçonneries en adobe, murs doubles pour l'inertie et limiter le transfert de chaleur) et industriels d'autre part (fondations en béton et toiture en tôle). Il a bénéficié d'une production de froid d'appoint à l'aide d'un dispositif à air conditionné (8 climatiseurs). Ce dernier peut être mis en marche lorsque les températures sont trop élevées, ou lors des phases du processus de conservation les plus critiques. Ce dispositif est alimenté par des panneaux solaires.

Le projet initial s'inspirait donc beaucoup de dispositifs architecturaux anciens, notamment du fonctionnement des tours à vent iraniennes (ZARANDI 2009). Toutefois, si la maçonnerie porteuse a bien été réalisée en adobe et était constituée d'un mur double avec une cavité centrale, afin de préserver au maximum l'intérieur des fortes chaleurs, l'option de la tour à vent a dû être ajournée du fait des contraintes techniques qu'elle imposait pour ce premier chantier⁵, solution trop risquée aux vues des compétences localement disponibles. Pour ce qui est des matériaux utilisés pour la construction, le béton armé a été choisi pour les fondations et le chaînage, l'adobe pour les murs doubles, des nattes de *typha*⁶ (à fortes capacités isolantes) pour le plafond et pour les murs les plus exposés, et une toiture de tôles ondulées sur une charpente métallique a été retenue comme solution de couverture de l'édifice, avec un comble ventilé pour dégager l'excès thermique des pics de chaleur.

Le bâtiment a une emprise au sol de 15 x 20 mètres. À l'instar de la pratique architecturale existante dans la région, il est orienté est-ouest avec une véranda en façade sud pour limiter l'exposition du bâtiment au rayonnement aux heures les plus ensoleillées de la journée. L'espace de stockage des oignons forme une boîte quasi hermétique et sombre occupant la plus grande partie de l'espace. Il est constitué de 12 « chambres » modulaires ouvertes mitoyennes, desservies par un couloir central. On y accède par une pièce qui fait office de sas.

Ces dispositions architecturales et systèmes constructifs ambitionnaient de fournir un bâtiment adapté au contexte climatique permettant de tirer profit des cultures constructives locales et des savoirs associés. Du point

5 Celle-ci sera réintégrée dans le second prototype qui sera bâti par la suite.

6 Le *typha* est un roseau largement disponible le long du fleuve Sénégal, et ce d'autant plus que celui-ci est invasif.



Figure 2. Restitution 3D du grenier en phase projet. © CRAterre/Nuria Sanchez Muñoz.

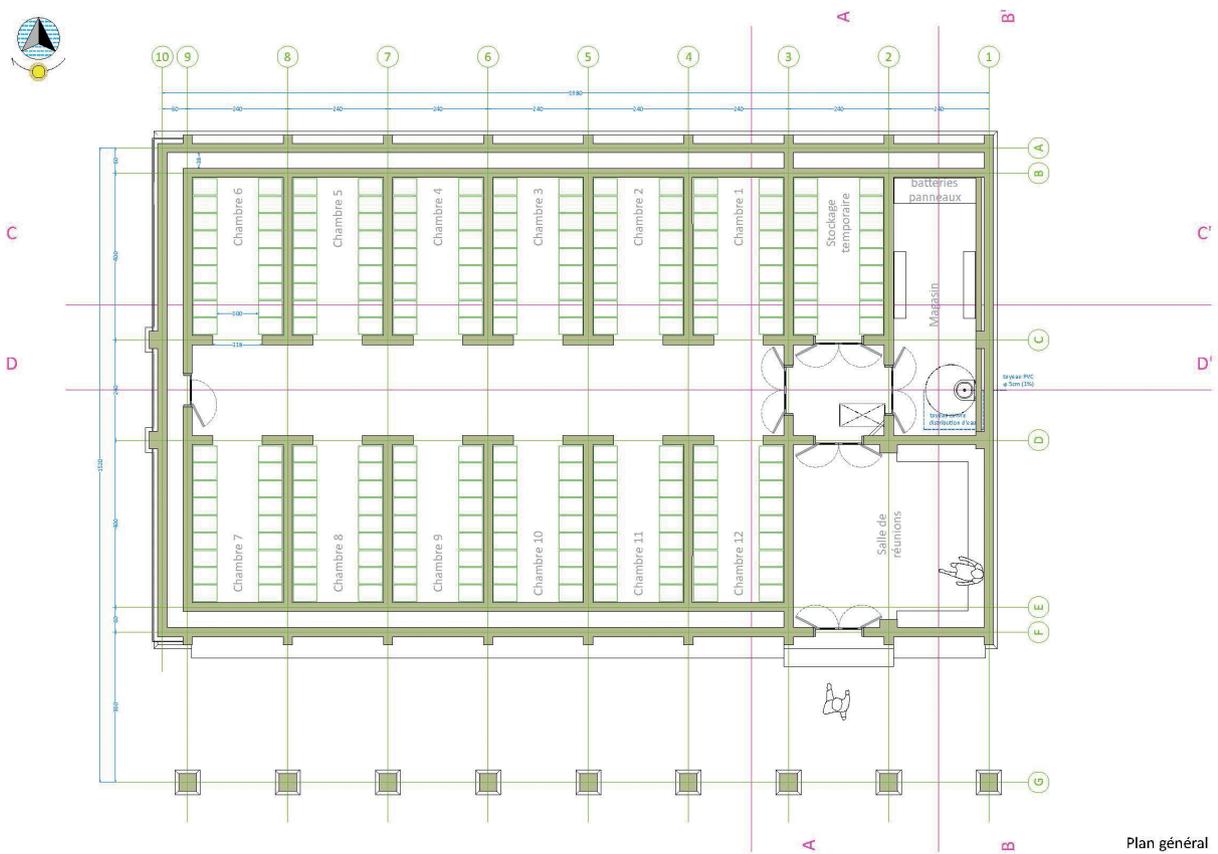


Figure 3. Plan du bâtiment. © CRAterre/Nuria Sanchez Muñoz.

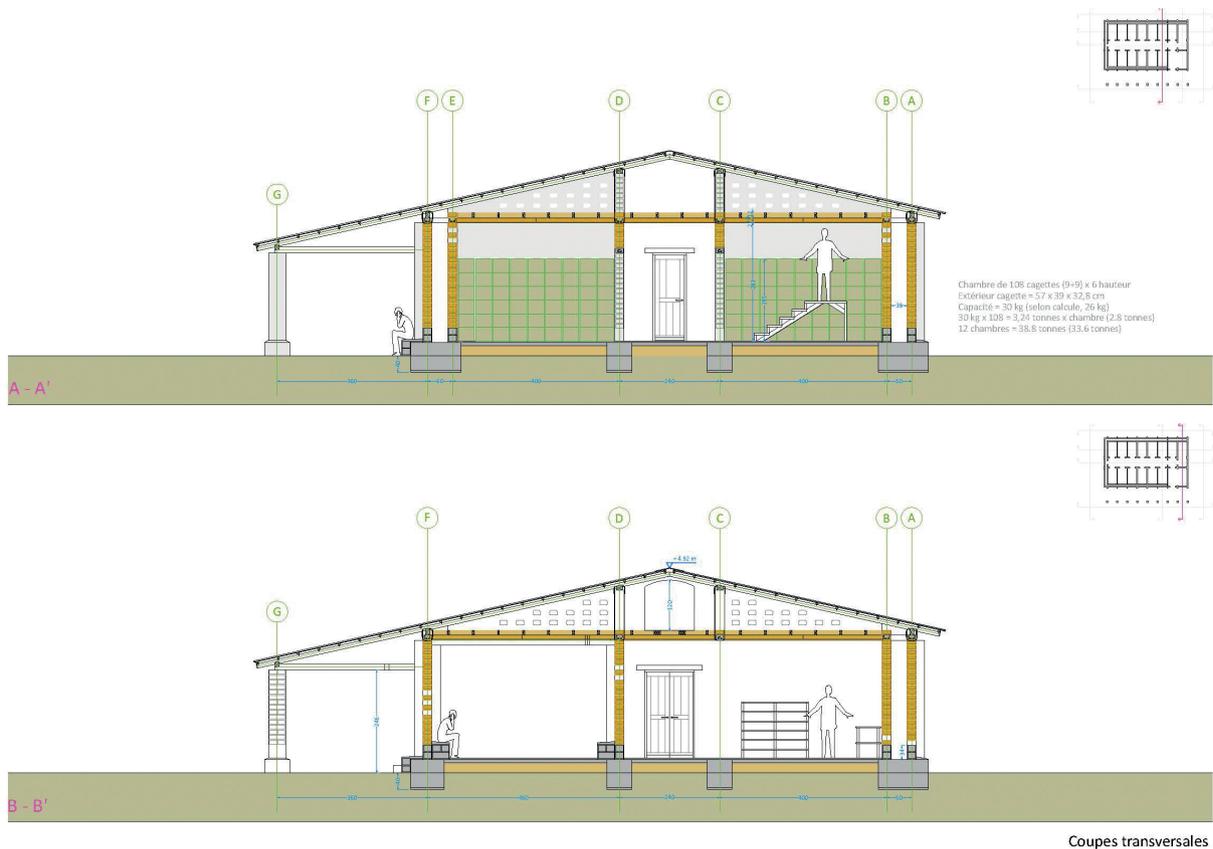


Figure 4. Coupes transversales du bâtiment. © CRAterre/Nuria Sanchez Muñoz.

de vue technique, la proposition architecturale devait permettre d'obtenir un déphasage de température dans la zone « stérile » et aveugle de stockage, grâce notamment à un système de régulation simple pour obtenir et maintenir des conditions hygrométriques optimales. Par ailleurs, il s'agissait aussi d'avoir une configuration qui offre des espaces de circulation interne permettant un transport et une manipulation simple des oignons par le personnel, ainsi que leur « stockage chaud »⁷ plus facile à mettre en œuvre en zone intertropicale et performant dans le déclenchement de l'entrée en dormance⁸ de l'oignon⁹.

Le chantier a eu lieu entre décembre 2019 et mai 2020 permettant dans l'urgence la mise en stockage de 30 tonnes d'oignons, soit 80% de la capacité du grenier.

7 Le « stockage chaud » se fait à environ 25 -30°C. Il est beaucoup plus facile à mettre en œuvre en zones intertropicales que le « stockage froid » à 0°C qui requiert une humidité relative de 64 %.

8 État biologique où l'oignon entre en « hibernation » et se déshydrate.

9 Situé entre 0°C et 25°C environ.

2.4 Résultats et perspectives

À issue de la première campagne d'utilisation qui a eu lieu entre mai et septembre 2020, les résultats obtenus ont été très encourageants, non seulement du fait de la température intérieure¹⁰, conforme aux objectifs visés (fig. 5), mais surtout du fait d'un taux de perte à l'issue des 3 mois de stockage limité à 10%, sans avoir encore installé le système de climatisation. Bien souvent les pertes dépassent les 30% avec les dispositifs existants quand les oignons ne sont pas tout simplement laissés en champ et jamais récoltés.

Les oignons stockés se sont donc bien conservés (de l'ordre de 83 % du stock contre 0 à 30 % habituellement) malgré des taux d'humidité parfois très élevés. En réponse, des aménagements ont été réalisés *in situ* pour favoriser le renouvellement d'air et réduire l'humidité intérieure due au refroidissement par climatisation et à la « transpiration » lente des 30 tonnes d'oignons.

À la suite de la prise de mesures de températures et de l'humidité relative avec une dizaine de capteurs, un

10 Le bâtiment a été instrumenté à cette fin.

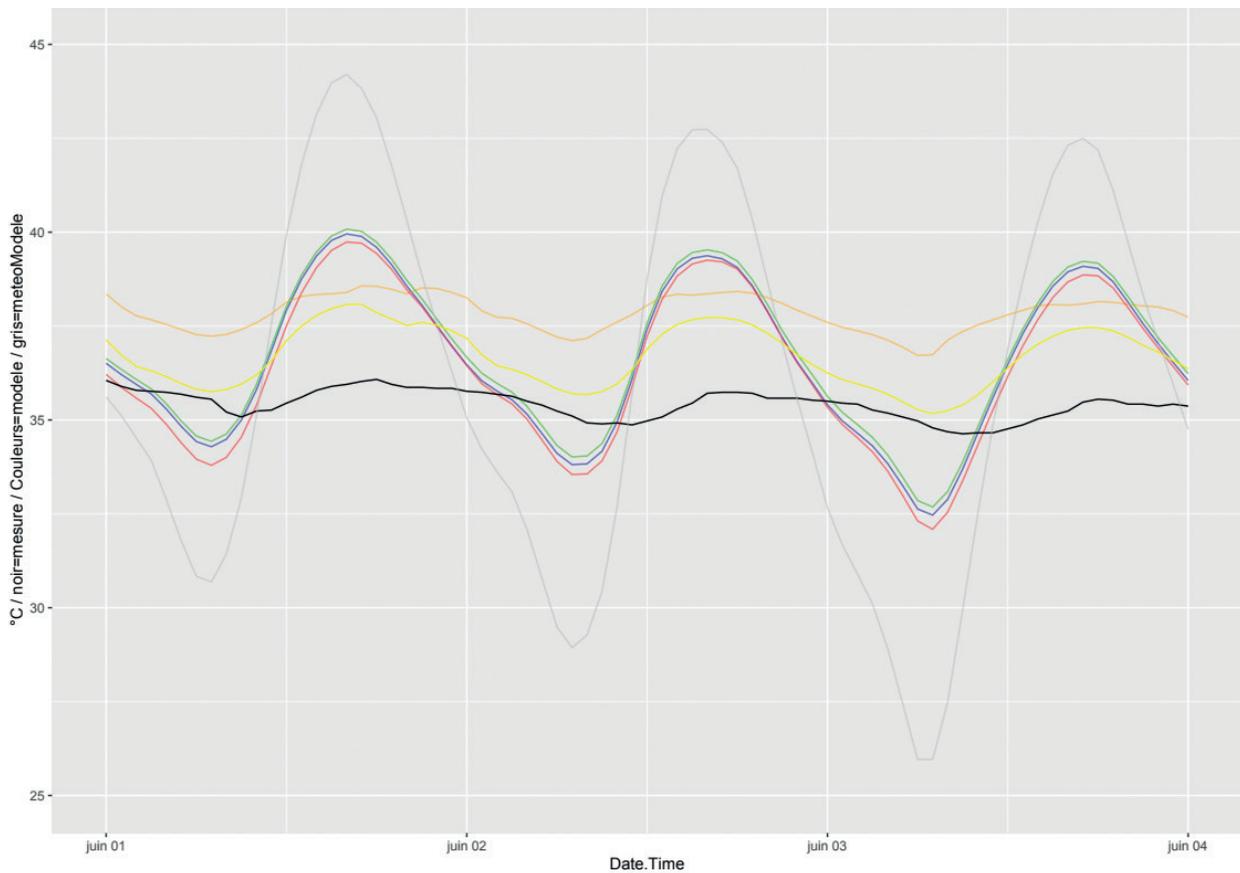


Figure 5. Comparaison des températures mesurées et des températures issues des modèles utilisés pour la conception : température extérieure (gris), moyenne des températures mesurées à l'intérieur (noir) températures issues de plusieurs modèles étudiés (autres couleurs). © CRAterre/Nuria Sanchez Muñoz.

problème de ventilation a été constaté, ce qui a amené l'équipe de conception à reconsidérer pour le deuxième prototype l'usage d'une tour à vent en suivant les principes de l'architecture vernaculaire iranienne. En effet, son système de fonctionnement correspond bien au besoin identifié, celui de forcer le renouvellement d'air autour des oignons pour évacuer l'humidité et limiter la possibilité de développement de germes. La difficulté restera toutefois de concilier ce double fonctionnement, d'une part, d'un système ventilé, et, d'autre part, d'une « boîte » de stockage la plus hermétique possible, ce qui va nécessiter une surveillance humaine accrue pour activer l'un ou l'autre système : climatisation solaire le jour, ventilation la nuit.

2.5 Enseignements du projet

Au regard de l'idée théorique de possibles inspirations de pratiques architecturales et constructives anciennes pour la conception de bâtiment de stockage adaptés aux exigences contemporaines, les enseignements qui découlent de ce projet au Sénégal pour l'amélioration des conditions de stockage des oignons peuvent se résumer de la façon suivante :

- la pertinence de porter un regard sur le patrimoine, qui est une véritable source d'inspiration et le résultat de processus empiriques de solutions adaptées au contexte en tirant le meilleur profit des ressources disponibles sur un territoire ou à proximité ;
- l'importance de prendre en compte non seulement le patrimoine culturel ou vernaculaire mais aussi les pratiques et les compétences locales afin de développer des solutions qui soient appropriables au niveau local et qui soient source de renforcement de capacités ;
- les difficultés de transfert d'échelle de production qu'impliquent les pratiques contemporaines culturelles, sociales, économiques et les modes de gestion toujours influencés par des phénomènes de globalisation ;
- les difficultés pour faire les bons choix techniques et plus particulièrement pour concilier d'éventuelles contradictions entre les pratiques anciennes et les opportunités techniques contemporaines dans la quête de leurs complémentarités.

Si pour les projets d'habitat économique, la pratique et les méthodes de travail, notamment de retro-conception et de rétro-ingénierie des procédés vernaculaires et anciennes commencent à être bien maîtrisés, avec des réalisations aujourd'hui d'ampleur¹¹, en ce qui concerne plus spécifiquement le cas des bâtiments de stockage de produits agricoles beaucoup de travail reste à faire. En effet, les conditions favorables à la bonne conservation des denrées varient beaucoup selon la nature de ces dernières, le contexte climatique ainsi que les durées et les périodes de l'année souhaitées pour la conservation. Par ailleurs, peu d'études ont été menées sur les bâtiments ou dispositifs de stockage des périodes anciennes ou appartenant au domaine du vernaculaire, ce qui fait qu'actuellement très peu de données existent auxquelles les concepteurs puissent se référer comme base à leurs réflexions. Nous voyons ainsi comment sur ce sujet précis – un projet de recherche transdisciplinaire alliant architecture, archéologie, mais aussi ingénierie et ethnologie – permettrait d'aller encore plus loin sur la conception de greniers de stockage contextualisés et plus durables.

3. Conclusions

Si les relations entre les disciplines architecturales et archéologiques s'avèrent avoir été fluctuantes depuis la Renaissance, il apparaît à travers notre exposé que celles-ci tendent aujourd'hui à se nouer de nouveau pour répondre aux enjeux du développement durable. Il y a un enjeu patrimonial d'une part, avec la question de la conservation et valorisation des vestiges d'architecture en contexte archéologique qui nécessite un effort conjoint des deux disciplines pour mieux les étudier et éviter qu'ils ne disparaissent. Un enjeu pour le secteur de la construction est également présent, d'autre part, avec l'émergence du concept de rétro-ingénierie des cultures constructives locales qui redéfinit les apports potentiels de l'archéologie pour développer des projets d'architecture, d'urbanisme et d'aménagement mieux contextualisés et plus durables. Cette trajectoire reste toutefois à renforcer en définissant des voies de recherches interdisciplinaires au niveau académique, en favorisant les interactions durant les formations et en multipliant les échanges des praticiens sur le terrain. Une autre difficulté reste en effet d'échapper aux phénomènes de cloisonnements disciplinaires encore trop présents dans le monde scientifique en posant

les bases d'une bonne entente collaborative entre les architectes et les archéologues de demain. Il s'agit également de renforcer, par ce biais, l'utilité sociale de la recherche et les apports conjoints de disciplines complémentaires.

11 Notamment à Haïti, où plusieurs milliers de logement ont été reconstruits suite aux séismes de 2010 et 2021, projet qui tend à confirmer très largement la pertinence de l'hypothèse que les cultures constructives locales présentent un potentiel très important comme source d'inspiration pour la conception d'habitats très économiques (JOFFROY 2019).

