Matières à penser

École d'architecture de la ville & des territoires à Marne-la-Vallée

Mémoire de master
Janvier 2013

Directeurs de mémoire
Jean-François Blassel
Guillemette Morel-Journel

Diébédo Francis Kéré à Gando
Comment sa recherche architecturale introduit-t-elle un questionnement climatique en Afrique ?

Laure Pédot

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Laure Pédot

Mémoire de master
Matières à penser
Janvier 2013

Directeurs de mémoire
Jean-François Blassel
Guillemette Morel-Journel

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Préambule **5**

Introduction **7**

1. Les fondements de l'architectude de Diébébo Francis Kéré **15**

1.1 L'influence de la culture constructive africaine 15

1.2 La transmission d'une culture architecturale à Berlin 17

1.3 L'ambition de Kéré : «jeter un pont» 17

1.4 Un point de vue sur l'architecture au Burkina Faso 19

1.5 La question de la durabilité et de l'adaptabilité 21

1.6 Le confort thermique comme priorité 23

1.7 Une posture centrée sur des questionnements globaux 25

2. Importation de techniques simples et diffusion de principes climatiques fondamentaux **27**

2.1 La rigueur du climat au Burkina Faso 27

2.2 Le choix de statégies architecturales adaptées au climat 29

2.3 Elaboration de solutions adéquates 29

2.3.1 Ventiler : La double toiture 29

2.3.2 Protéger : Les brise-soleils verticaux 31

2.3.3 Collecter : L'échangeur terre/air 33

3. Intégration au contexte et valorisation des ressources et des cultures locales **37**

3.1 Les techniques de construction traditionnelles 37

3.2 La recherches d'alternatives, la voûte nubienne 39

3.3 Réactiver les traditions locales 39

3.4 Vers une optimisation de la construction en terre 41

Conclusion **45**

Bibliographie **51**

Annexes iconographiques **55**

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Préambule

C'est par le biais du *Global Award for Sustainable Architecture*[1] que j'ai découvert les réalisations de l'architecte Diébédo Francis Kéré. J'ai été interpelée par sa démarche et son parcours atypique. En effet, l'architecte se situe à la croisée de deux cultures suggérant deux visions des enjeux mondiaux, entre son village d'origine au Burkina Faso et l'enseignement qu'il a reçu en Allemagne. Très engagé dans le développement durable, il oriente son travail autour d'une réflexion sur les questions climatiques. Il se positionne, de ce fait, comme un des pionniers de l'architecture durable africaine. En effet, dans ces régions rurales d'Afrique focalisées sur la nécessité d'une croissance économique rapide, Diébédo Francis Kéré semble initier, au sein de son architecture, la prise de conscience de la problématique environnementale actuelle. Sa renommée s'est faite à travers la construction d'écoles bioclimatiques au Burkina Faso. La rigueur de ce climat tropical sec et les contraintes liées au développement économique font de ses projets de véritables défis, en particulier autour des enjeux énergétiques. Cela m'a invité à étudier plus attentivement son travail dans le cadre de mon mémoire de Master sur la thématique Architecture et Énergie.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

1 Le Global Award for Sustainable Architecture a été initié en 2006 par la Fondation LOCUS et avec l'aide de la Cité de l'Architecture et du Patrimoine afin de stimuler le débat sur l'architecture et le développement durable. Ce prix a été proposé par l'architecte et critique Jana Revedin, présidente de LOCUS qui a le statut d'ONG. La Cité de l'Architecture et du Patrimoine, un des membres fondateurs du comité scientifique des Global Awards, assure la valorisation culturelle du prix et de ses lauréats à travers le monde. De plus, LOCUS est placée, depuis 2011, sous le patronage de l'UNESCO. Et, la fondation GDF SUEZ, engagée sur les problématiques liées à la ville et à son évolution, est un de ses partenaires privillégié autour de la thématique «Habiter demain». Chaque année, un jury international se réunit afin de récompenser cinq architectes s'interrogant sur les nouveaux enjeux de l'architecture et pour leur démarche qui porte une attention particulière aux contextes et aux sociétés. Le Global Award College rassemble désormais 30 architectes, dont LOCUS soutient les recherches et mobilise les interventions au sein d'expériences-pilote, nommées les Practice Projects, généralement ayant lieu dans des pays du Sud. *cf. le site de la fondation LOCUS http://locus-foundation.org/*

Introduction

Dans les années 70, comme le révèle l'ouvrage de Dennis et Donella Meadows, *Limits to Growth*[2], des intellectuels et des chercheurs font le constat d'une double fracture mondiale. A l'époque, l'augmentation démographique et la croissance économique sont considérables. On relève, respectivement, un doublement de la population en 32 ans et un doublement de la production de biens et de services marchands sur l'ensemble de la planète en seulement 10 ans. Néanmoins ces progressions, révélées par de nombreux indicateurs, se répartissent très inégalement. L'essor économique se concentre essentiellement dans les pays développés tandis que les pics démographiques sont les plus importants dans les pays non-industrialisés. Ce déséquilibre mondial soulève des questions globales sur le devenir de la planète. Dès lors, on observe l'émergence de deux grands troubles caractéristiques.

D'une part, on observe une crise humaine et sociale, qui sévit principalement autour des régions du Tiers Monde. Dans ces pays, la priorité est de lutter contre l'extrême pauvreté, les famines, les épidémies et ainsi de réduire les inégalités sociales. Ce combat est mené dans un contexte géopolitique très spécifique. Il s'agit de la décolonisation, moment opportun de maîtriser les instruments de domination de l'Occident sur ces pays, principalement en terme d'équipements et de structure sociale.

D'autre part, on constate l'émergence, au sein des débats internationaux, des enjeux environnementaux. L'apparition de cette problématique est liée à la succession de grandes catastrophes écologiques mais aussi à l'épuisement rapide des ressources naturelles qui matérialise, lors des deux chocs pétroliers en 1973 et en 1979, par une forte hausse du coût de l'énergie. Cette prise de conscience écologique marque le début d'une négociation internationale visant à réconcilier l'environnement avec le développement.

C'est dans ce contexte qu'apparait la notion du *développement durable* fixée dans

2 *Limits to Growth* est un ouvrage réalisé par des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology, dirigés par Donella et Dennis Meadows. Ce rapport est à l'initiative du Club de Rome et a pour ambitieux projet d'aider à comprendre et à maitriser le futur par le biais d'une approche globale et lucide. Réalisé en 1970, il alerte sur les dangers d'une croissance illimitée.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

le *rapport de Brundtland*[3]. On peut définir ce concept par le biais de la notion de durabilité qui induit une cohérence entre les besoins de l'humanité et les ressources de la planète. Le développement durable affirme donc un lien entre les problèmes écologiques et les enjeux du développement. Même si la notion tend à se généraliser, elle n'en reste pas moins partagée entre deux situations radicalement différentes.
D'abord, dans les pays occidentaux, ou ayant connu la révolution industrielle, qui considèrent les enjeux environnementaux comme une priorité. Ils amorcent une phase de reconversion ou de re-développement en tentant d'intégrer la pensée écologique à tout niveau de la société.
Ensuite, les pays du Tiers Monde, n'ayant pas connu de révolution industrielle, et qui eux doivent répondre à des situations d'urgence sociale. Ces régions estiment, par conséquent, les revendications écologiques comme étant secondaires.
Les objectifs mis en avant dans les différents Sommets Mondiaux de la Terre, de 1972 et 1992, ne sont pas sans conséquences sur l'architecture. En Europe, notamment, on assiste à l'explosion d' une série de règlementations visant à protéger l'environnement, préserver les ressources et économiser l'énergie. Cela a énormément influencé la façon dont on construit désormais. Néanmoins, c'est dans les pays en voie de développement que l'idée même de *développement durable* prend tout son sens. Là où véritablement se rencontrent les aspirations sociales et environnementales explicitées précédemment et qui ont fondé ce concept. En cela, ces pays peuvent être perçus comme un défi pour tenter de répondre aux questionnements planétaires et aux nouveaux enjeux de l'architecture du XXIème siècle.

C'est par l'instauration de cette vision commune qu'est fondé le Global Award for Sustainable Architecture. Ce prix vise à révéler des architectes internationaux qui mettent au cœur de leur démarche cette notion de développement durable. Ce ne sont pas les bâtiments qui sont mis à l'honneur lors de cette manifestation, mais bel et bien les architectes et leur démarche. Ils ont en commun l'intérêt pour la gestion des ressources, l'équité dans l'accès au développement, la définition du progrès, des migrations urbaines et de l'habitat populaire.
Le palmarès 2012 des Global Awards[4] révèle la volonté de récompenser une vision alternative de la «globalisation» de l'architecture. Elle ne signifierait plus occidentalisation mais prendrait en considération la richesse et la variété des cultures. Notons dans cette sélection, la présence importante d'architectes ayant quitté l'Europe pour construire au Sud et y appréhender une autre culture. Cette

3 Le Rapport Brundtland, rédigé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, et utilisé comme base au Sommet de la Terre de 1992. Ce rapport a défini et popularisé la notion de développement durable.

4 Les cinq architectes lauréats du Global Award 2012 sont : l'équipe norvégienne TYIN Tegnestue qui mène des actions d'urgence en Asie et en Afrique; Salma Samara Damludi, une architecte irakienne engagée au Yémen; Anne Feenstra, un architecte hollandais qui construit de l'architecture sociale notamment en Afghanistan; l'architecte thaïlandais, Suriya Umpansiriratana, constructeur de couvents bouddhistes; et enfin, l'architecte et théoricien français, Philippe Madec.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

démarche semble de plus en plus répandue et pose un certain nombre de questions sur la confrontation des savoirs et des techniques et l'appropriation des valeurs culturelles.
En 2009, Diébédo Francis Kéré est l'un des lauréats du Global Award for Sustainable Architecture. Burkinabé ayant étudié à Berlin, il est l'une des figures de l'architecture à double culture et tente aujourd'hui de mettre en œuvre une démarche durable dans son pays d'origine. Ce qui me semble intéressant dans son parcours, c'est la manière dont il assimile ce qu'il a appris en Allemagne pour le réinjecter et le transposer à la culture africaine. Issu d'une communauté rurale, sa motivation profonde est de promouvoir une architecture moderne et de transmettre les principes de durabilité pour développer l'Afrique. Cela implique la prise en compte de ce que signifie véritablement le développement durable.
Dès lors, on peut se demander comment l'architecture de Diébédo Francis Kéré amorce le questionnement énergétique en Afrique. En d'autre terme, il s'agit d'étudier la manière dont son architecture intègre les problématiques liées à l'énergie dans une perspective de développement social et économique.

Je concentre ma recherche sur le travail qu'il a entrepris pour le village de Gando, au Burkina Faso. Il s'agit de son village d'origine, où il réalise un ensemble d'équipements pédagogiques depuis le début des années 2000. Cet ensemble conçu pour Gando se compose de cinq projets dont le dernier est encore à l'étude. Sa première réalisation, qui pose les bases de sa recherche bioclimatique, est la nouvelle école primaire de Gando. Livrée en 2001, s'ajoute à ce bâtiment la construction de six maisons pour les professeurs et de l'extension de l'école entre 2004 et 2008. Puis, à proximité, la conception de la bibliothèque qui est aujourd'hui en cours de chantier. Enfin, Kéré est actuellement en train de concrétiser le vaste projet du collège. Concrétisation de son désir d'impulser dans ce village une réelle perspective de développement, Gando peut être vu comme le terrain d'expérimentations architecturales de Kéré. Pour lui, à Gando, l'acte de construire devient un moyen de développement pédagogique et un outil d'échange de savoirs. Lorsque l'on analyse la chronologie de ces projets, on comprend que chaque construction apporte une nouveauté technique et qu'elle mûrit un modèle à diffuser dans toute l'Afrique équatoriale.

L'objet de ce mémoire n'est pas de tenter une analogie avec la façon dont nous construisons en Europe, mais plutôt de mettre en lumière la démarche d'un architecte qui partage deux cultures et qui a pris conscience de l'importance d'un développement maitrisé et tourné sur les questions environnementales. Il ne s'agit pas d'évaluer l'adaptabilité de cette démarche mais d'en comprendre le champ d'actions et les enjeux.

Je propose d'analyser les projets de Kéré à Gando du point de vue de l'énergie. En effet, le climat particulièrement chaud de la région et le manque de moyens financiers du village rendent la recherche du confort thermique particulièrement compliquée. Ainsi, les contextes économique et climatique de Gando induisent le

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

développement de solutions simples et efficaces thermiquement. La rigueur de cet environnement permettra certainement de révéler des principes fondamentaux en matière d'énergie. L'enjeu de cette étude est de démontrer de quelles façons Kéré peut considérer le climat comme un allié dans sa quête du confort thermique. Je compte mener ma recherche sur quatre thématiques principales que sont la ventilation naturelle, la protection solaire, la gestion des eaux et l'inertie thermique. Elles me permettront de comprendre comment l'architecte améliore le confort thermique au sein de ses bâtiments. Mais également d'analyser quels sont les moyens qu'il met en œuvre pour matérialiser ses objectifs.

Dans un premier temps, j'expliquerai de quelles manières les différentes étapes de son parcours lui ont permis de bâtir sa culture d'architecte. Cela me permettra de caractériser la position de Kéré par rapport à ses deux cultures opposées. Dans un second temps, j'analyserai la posture architecturale qu'il adopte face aux questions écologiques posées dans ce contexte rural au Burkina Faso.
Les fondements de l'architecture de Kéré ainsi explicitées, j'articulerai ma réflexion autour de deux grands axes : l'apport des savoirs occidentaux et l'intégration au contexte local. Ces deux thématiques sont liées et il est difficile de les organiser chronologiquement. Cela dit, je propose, pour commencer, d'analyser les principes qu'il a importé et de questionner leur adaptabilité au climat. Et pour finir, je souhaiterai les confronter aux réalités culturelles et ainsi vérifier leur pertinence.
Tout d'abord, je me positionnerai sur les stratégies climatiques que l'architecte emploie. J'analyserai la façon dont il tente d'appliquer des principes simples, importés de sa formation européenne. J'étudierai quels sont les gestes architecturaux efficaces et plausibles qu'il met en œuvre pour répondre aux besoins liés à la rigueur climatique.
Enfin, j'étudierai la façon dont il intègre ces techniques à la culture et aux identités locales. J'insisterai sur les réalités locales qui justifient ses choix architecturaux. J'analyserai comment s'opère la revalorisation des savoirs traditionnels et la transmission culturelle. Puis, je m'intéresserai à la manière dont vient s'ancrer sa démarche dans un contexte déterminé de crise écologique et sociale.
Cette réflexion m'aidera à comprendre comment la recherche architecturale de Kéré introduit-elle un questionnement climatique en Afrique.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

1. Les fondements de l'architecture de Diébédo Francis Kéré

1.1 L'influence de la culture constructive africaine

Diébédo Francis Kéré est né en 1965 dans le village de Gando, à 200 kilomètres de Ouagadougou, au Sud du Burkina Faso. Il est le fils ainé du chef de village. Adolescent, il part pour la capitale du pays afin d'apprendre le métier de charpentier, qu'il exercera quelques années. Ceci est un véritable paradoxe, puisque le Burkina Faso est un des pays les plus pauvres de la planète souffrant de graves problèmes écologiques tels que la déforestation, l'appauvrissement des sols et la désertification du territoire. Face à la pénurie de bois qui sévit dans le pays, il devient très compromis de continuer à construire en bois et le métier de charpentier semble sans avenir.

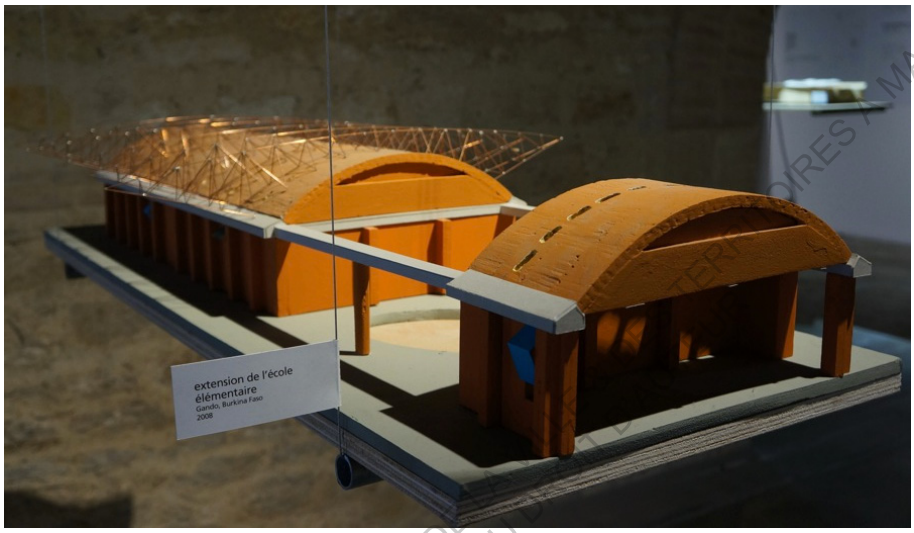
Ces conditions environnementales annoncent des changements radicaux dans la manière de construire. En effet, le bois est très présent dans la construction traditionnelle du Burkina Faso. Il sert principalement à la réalisation des charpentes ensuite couvertes de paille. Mais, il est également employé comme éléments de renfort structurel dans la construction des murs de terre et permet d'assurer un meilleur maintien de la charpente. La disparition du bois dans la construction traditionnelle met en péril la réalisation des toitures. Le toit pour s'abriter et se protéger des intempéries est pourtant, la base de l'architecture. Parallèlement à cela, à Ouagadougou, Kéré travaille au sein d'une ONG allemande, financée par le BMZ[5], qui se bat pour le développement de formations techniques destinées aux jeunes burkinabés. C'est par ce biais, qu'en 1990, à 25 ans, il obtient une bourse universitaire qui lui permet de partir étudier en Allemagne. Là bas, il passe son baccalauréat puis poursuit avec des études d'architecture à la Technische Universität de Berlin.

5 BMZ est le Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement en Allemagne. Il est né au début des années 70, dans le cadre de l'aide publique au développement (APD) mise en place par l'ONU après la seconde guerre mondiale. Ce ministère attache une grande importance aux ressources humaines du Tiers Monde et consacre la majorité de son budget dans le développement de formations spécialisées.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figure 1

Diébédo Francis Kéré entre deux cultures



1.1

1.2

Photographies de l'exposition «Bridging the gap / Jeter un pont» à Arc en rêve à Bordeaux du 13 décembre 2012 au 28 avril 2013

1.1 Maquette de l'extension de l'école
Cette réalisation témoigne de la façon dont les éléments constructifs sont assemblées, en particulier la toiture. Cette méthode de recherche en maquette atteste du travail architectural effectué en amont du chantier.

1.2 Collection d'objets burkinabés
Ces objets sont à la fois des produits traditionnels en terre mais aussi des outils de construction. Leur exposition démontre l'interêt et l'attachement que Kéré porte à la culture constructive du Burkina Faso.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE MARNE-LA-VALLEE

1.2 La transmission d'une culture architecturale à Berlin

L'enseignement qu'il reçoit à Berlin est fortement orienté vers les préoccupations environnementales, comme c'est le cas dans beaucoup d'écoles d'architecture en Europe, et particulièrement en Allemagne. C'est ici qu'il est sensibilisé à la question de l'énergie en architecture. Mais cet enseignement ne se limite pas à des stratégies énergétiques et à l'élaboration de techniques visant à valoriser les ressources de l'environnement.
Il suivra, notamment, les cours de Peter Herrle, qui est passionné par la relation entre l'architecture et l'identité. Dans son ouvrage, *Architecture and Identity*[6], il appuie sa recherche sur des projets d'architectes dans le monde entier qui mélangent traditions vernaculaires, styles internationaux et approches environnementales. Selon lui c'est ainsi que se construit l'identité et elle est un élément déterminant de l'architecture, aujourd'hui.
C'est également à Berlin que Diébédo Francis Kéré rencontre Gernot Minke, professeur à l'université de Kassel et qui effectue des recherches sur la construction écologique. Il porte un intérêt particulier à l'architecture vernaculaire allemande et a notamment écrit des ouvrages sur la façon de construire en terre et en paille.
Depuis 2004, Kéré est professeur au sein de TU Berlin où il enseigne le projet d'architecture spécifiquement dans le domaine de l'habitat. Il développe ses recherches sur la construction bioclimatique et durable (matériaux du site, respect du climat, savoir-faire locaux...) et poursuit l'enseignement de son maître, Peter Herrle, autour de la question de l'identité en architecture. Aujourd'hui, son architecture est au cœur de nombreux débats et sa renommée grandit au fur et à mesure que les récompenses s'accumulent. Il a notamment remporté le prestigieux prix d'architecture Aga Khan en 2004 et il intervient au sein de nombreuses universités et colloques à travers le monde, comme à l'université d'Harvard en 2012.

1.3 L'ambition de Kéré : «jeter un pont»

«Mon objectif est de jeter un pont entre l'Afrique et les pays développés, où, finalement, bâtir selon des critères de durabilité se révèle être un point commun.»[7] Kéré se positionne, lui même, entre ces deux cultures, celles de l'Occident qu'il qualifie comme «le monde de la science» et celle de l'Afrique qu'il considère comme «le monde de l'écoute et de la sagesse»[8]. *(cf. figure 1, page 16)*
Fort des savoirs qui ont nourri sa formation technique de charpentier africain, il appréhende en Europe, une nouvelle façon d'envisager la construction et

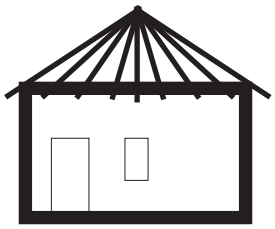
6 Peter Herrle et Erik Wegerhoff, *Architecture and Identity*, collection : Habitat international, Ed. Lit Verlag, Berlin, 2009
7 extrait du texte d'annonce de la conférence «Bridging the Gap» de Diébédo Francis Kéré, le 13 décembre 2012 pour Arc en rêve, centre d'architecture de Bordeaux
8 propos de Diébédo Francis Kéré extaits de l'article «Architecture : Le retour de la terre de Diébédo Francis Kéré», écrit par Gwénaëlle Deboutte et mis en ligne le 4 décembre 2011 sur le site internet jeuneafrique.com

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figure 2

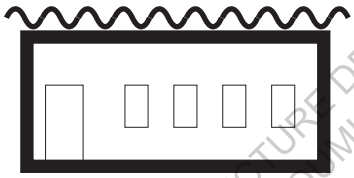
Modèles d'architecture au Burkina Faso

LOCAL



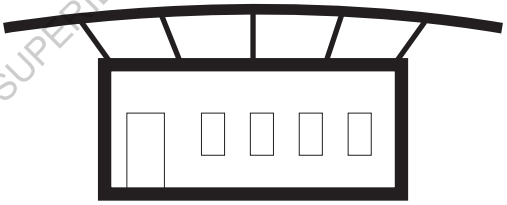
1. Architecture traditionnelle
Murs en terre et toiture en paille
- Ventilation naturelle à travers la toiture en paille.
- Inertie thermique de la terre.
- Résiste très mal aux intempéries.
- Usage du bois (ressource qui vient à manquer)

GLOBAL



2. Architecture post-coloniale
Murs en béton et toiture en tôle
- Résiste aux intempéries.
- Mise en oeuvre rapide et usage de matériaux pas chers.
- Produits issus de l'industrie.
- Faiblesse thermique de la tôle en toiture (problème de surchauffe)

HYBRIDE



3. Architecture contemporaine
Murs en terre et toiture en tôle
- Ventilation naturelle efficace grâce à une double toiture
- Mise en oeuvre nouvelle pour des matériaux locaux
- Savoir-faires importés (soudure des tiges d'acier et maçonnerie)

Schémas réalisés par LP

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

découvre la discipline architecturale. C'est précisément puisqu'il est formé par ces deux visions de l'architecture, qu'il détient entre ses mains la possibilité d'ouverture permettant à l'Afrique d'inventer sa modernité architecturale. En quelque sorte, Kéré fut d'abord un bâtisseur africain, puis il appris à être un architecte européen, pour enfin devenir un architecte africain.
En 1998, Kéré monte l'association *Schulbausteine für Gando* (Des pierres pour construire des écoles à Gando) qui recueille des fonds pour le développement d'équipements éducatifs adaptés au climat du Burkina Faso. Partant du postulat que le développement de son pays passe par la création d'infrastructures de qualité dédiées à l'éducation, il a à cœur d'améliorer les équipements actuels de son village d'origine, Gando. Cette volonté est née de sa propre l'expérience d'élève. Il se rappelle avoir beaucoup transpiré dans la salle de classe de la petite école surpeuplée de Gando et déplore le manque de confort, principalement thermique, rendant la concentration et l'apprentissage très difficile. Alors qu'il est encore étudiant au TU de Berlin, construire, dans son pays, des équipements pédagogiques qui offrent un confort optimal devient une de ses priorités. Et grâce à l'association qu'il a monté avec d'autres étudiants de Berlin, il concrétise ce souhait avec le projet pour la nouvelle école primaire de Gando. Cette construction se détache des bâtiments publics ordinaires africains et Kéré impose rapidement sa signature architecturale.

1.4 Un point de vue sur l'architecture au Burkina Faso

La posture architecturale de Kéré semble intimement liée à sa formation à Berlin et à son histoire personnelle en Afrique. Comme il l'explique lui même, dans une interview[9], il tente de transposer ce qu'il a vu et appris en Europe, tout en faisant cas de tout ce qui existe et ce qu'il connait déjà de l'Afrique.
Pour ce qui est de la culture architecturale du Burkina Faso, il y a, selon moi, deux types de modèles architecturaux qui composent le paysage rural burkinabé actuel *(cf. figure 2 page 18)*.
Le premier est celui que je nommerai le modèle local. C'est ce que l'on considère comme l'architecture traditionnelle d'Afrique équatoriale (Mali, Burkina Faso, Togo...). Dans les villages burkinabés, ce type d'architecture est principalement à des fins domestiques. Aucune des constructions n'est dédiée à la communauté et il s'agit essentiellement de maisons et de greniers privés qui s'organisent autour d'une place commune. On pourrait la qualifier d'architecture vernaculaire puisqu'il s'agit d'une architecture sans architecte qui est caractérisée par la mise en pratique de préoccupations locales et notamment par la valorisation des ressources du site. En effet, cette architecture est constituée de murs de terre façonnée et couverte en paille sur une charpente de bois. La terre, la paille, le bois, et d'une certaine manière, l'ensemble des matériaux qui servent à la réalisation de ces édifices proviennent directement du territoire à proximité de la construction et subissent très peu de transformations lors de leur mise en œuvre. La

9 Interview de Diébédo Francis Kéré réalisée par Natascha Chtena et publiée le 2 mars 2011 sur le blog thinkafricapress.com

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figure 3

L'architecture des écoles au Burkina Faso

3.1

3.2

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE ET LA VILLE ET DES TERRITOIRES / MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

3.1. Ecole type au Burkina Faso
Réalisation représentant l'archétype de l'école dans les villages d'Afrique équatoriale. Cette architecture est décrite dans la définition de ce que j'ai nommé le modèle global.
Illustrations extraites de la conférence vidéo de Kéré donnée pour Indaba Design en 2011

3.2. Ecole primaire de Gando
Première réalisation de l'architecte Diébédo Francis Kéré mettant en oeuvre les principes fondamentaux de sa recherche pour une architecture bioclimatique en l'Afrique équatoriale.
Illustrations tirées du site de Aga Khan Award for Architectue [http://www.akdn.org/]

disponibilité de ces ressources est un facteur déterminant leur choix. Or, les propriétés thermiques de ces matériaux sont exploitées de manière inconcsiente et spontannée.
Le second est celui que je nommerai le modèle global. Il réfère à une architecture postcoloniale, importée généralement par des organismes humanitaires, comme la Banque Mondiale. Ces édifices ont principalement une vocation publique et sociale, il peut notamment s'agir d'hôpitaux, d'écoles, de locaux associatifs.
Bien souvent, l'architecture de ces équipements est composée de murs de béton surplombés d'une couverture en tôle ondulée. Ce choix est dû essentiellement à des contraintes budgétaires. C'est ce que l'on peut considérer comme une architecture de type générique. En effet, ces constructions tiennent très peu compte des caractéristiques du site sur lequel elles sont implantées et en particulier du climat. Ces bâtiments sont conçus pour être économiquement viable mais sont totalement inadaptés au fortes chaleurs. Ils n'incluent aucun système pour compenser les faiblesses thermiques de la tôle, notamment.

1.5 La question de la durabilité et de l'adaptabilité

Diébédo Francis Kéré établit son travail dans une attitude critique par rapport à ces deux types d'architecture. Par le biais de l'analyse personnelle de ces deux modèles, je considère le modèle local comme étant obsolète et le modèle global comme étant inefficace. Ce sont les arguments mis en évidence, à la suite, qui me permettent de faire ce constat.

En effet, le modèle local a un intérêt particulier dans son rapport aux ressources de proximité, quelles soient matériel ou humaine. De plus, il possède des caractéristiques thermiques notables liées à l'inertie de la terre et à la porosité de la toiture de paille. Or, c'est précisément l'emploi de ces matériaux de construction qui est discutable. En effet, le Burkina Faso souffre d'une importante pénurie de bois. Face à l'épuisement ponctuel de cette ressource, il est donc difficile d'envisager un avenir pour ce type de construction. C'est en cela que je considère ce modèle comme désuet. De plus, la mise en œuvre traditionnelle de la terre est fortement remise en cause par les villageois. En effet, les édifices en terre supportent très mal les saisons des pluies et il est nécessaire de les remettre en état tout les ans. Devant la précarité de ce modèle, il semble urgent d'envisager de nouveaux modes constructifs durables.

Le modèle global, quant à lui, se compose de béton et de tôle, des matériaux qui, a priori, résistent mieux à la rigueur du climat burkinabé. Bien que ces matériaux ne soit pas directement disponibles sur le site et soient issus d'une filière industrielle, ils restent néanmoins financièrement très abordables. Or, c'est la mise en œuvre de ceux ci qui est le plus problématique. En effet, elle fait appel à des techniques importées qui ne sont pas enseignées aux populations locales. De plus, les matériaux utilisés, s'ils sont adaptés au contexte économique du pays, ne le sont pas du tout vis à vis du contexte climatique. Car, la tôle fixée au sommet de

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

l'édifice génère une surchauffe en toiture, liée à la conductivité thermique de ce matériau. De ce fait, la température à l'intérieur de la construction augmente considérablement durant la journée. *(cf. figure 3.1 page 20)* Aucun principe efficace de ventilation naturelle n'est mis en place et il devient inévitable d'avoir recours à des climatiseurs pour atteindre un niveau de confort acceptable et permettre une qualité dans l'enseignement donné aux enfants du village. Ce modèle ne répond pas aux enjeux climatiques de Gando et est, selon moi, inefficace thermiquement.

Face à ces techniques inadéquates, il semble indispensable de chercher des principes architecturaux adaptés au climat. C'est, en effet, à cela que s'attèle Kéré dans ses projets pour le village de Gando.

1.6 Le confort thermique comme priorité

La question de l'adaptation de l'architecture au climat n'est pas pris en compte dans la conception de ces deux modèles. Pourtant, le confort thermique, qu'il soit spontanné dans le modèle local ou subit dans le cas du modèle global, est une priorité dans la construction au Burkina Faso. Kéré a bien compris cet enjeu et en fait l'essence de sa recherche architecturale.
D'une manière extrêmement simpliste et schématique, on peut résumer les deux modèles révélés précédemment de cette façon :
- Le modèle local est composé de terre et de bois. Il met en œuvre les ressources disponibles localement mais pâtie d'un manque de viabilité ou de durabilité. Il s'agit, par conséquent, d' un modèle obsolète dont les qualités thermiques, bien que spontannées, demeurent intéressantes.
- Le modèle global est composé de béton et de tôle. Il met en œuvre des techniques de construction importées mais pâtie d'un manque de cohérence et d'adaptabilité vis à vis du climat. Il s'agit, donc, d'un modèle inefficace thermiquement dont les qualités économiques sont probantes.

Or, Kéré adopte une posture à cheval entre ces deux modèles. Il compose ce que j'appellerai un modèle hybride. *(cf. figure 3.2 page 20)*
- Le modèle hybride est composé de terre et de tôle. Il met en œuvre des techniques de construction importées et appropriées ainsi que, les ressources disponibles localement. Il s'agit d'un modèle dont l'élaboration est tournée vers des enjeux climatiques spécifiques.
En effet, l'architecture qu'il met en place est conçue dans le but de répondre humblement aux besoins liés au confort thermique, tout en permettant la valorisation des ressources locales et la diffusion de techniques simples et performantes. Il cherche à développer les principes d'une architecture durable dans le contexte africain. C'est cette cohérence qu'exprime Christophe Bouleau «Diébédo Francis Kéré, dont les réalisations d'écoles au Burkina Faso [...] ont contribué à renouveler l'expression de la construction en Afrique, tout en restant d'exécution simple et accessible à une main-d'œuvre locale peu qualifiée.»[10] Le

10 Christophe Bouleau, «Centre de l'architecture en terre à Mopti», D'A, mai 2011

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

journaliste souligne, ici, l'efficacité de la transposition des savoirs de l'architecte à un contexte particulier. De ce fait, on pourrait caractériser l'architecture de Kéré comme une sorte de métissage entre les deux cultures qui sont les siennes, celle des bâtisseurs burkinabé et celle des architectes bioclimatiques d'Allemagne.

1.7 Une posture centrée sur des questionnements globaux

«Penser Global, Agir Local»[11], cette approche du développement durable est au cœur de la démarche de Kéré et aussi de l'architecture du XXIème siècle, comme tente de le démontrer, depuis 2006, le comité scientifique des Global Awards. L'ambition de Kéré est de donner à son pays, et plus largement à l'Afrique, la possibilité de se développer et de s'assurer un avenir stable. Cela passe par une prise de conscience écologique pour les pays africains et une gestion mesurée du développement mais, aussi, par la reconsidération des valeurs identitaires d'une société ou d'une culture. Kéré exprime son objectif par le biais d'une revalorisation des traditions et une appropriation de techniques adaptées. «Nous parlons de globalisation. Mais global ne signifie pas forcément que c'est le plus fort qui diffuse son savoir. Il faut aussi apprendre des autres cultures, même des plus petites.» [12] D'un côté, il se positionne pour une remise en question d'un système occidental dominant et de l'autre, il cherche à intègrer la culture locale au sein de son architecture. Pour Kéré, la globalisation est un partage de savoir pour tendre vers une architecture en cohérence avec le climat et l'environnement. Cela se traduit de différentes façons : il profite des matériaux de construction disponibles provenant du site, il tire bénéfice des caractéristiques du climat afin d'assurer un confort optimal, il met en œuvre des techniques communément utilisées et emploie une main d'œuvre nombreuse et motivée à proximité.

Dans ses projets, l'architecte met en pratique ce désir d'échanges équitables exprimé dans les Sommets Mondiaux successifs pour la planète, sous la notion de développement durable. Pour l'architecte, il est question d'une part, de la transposition des savoirs acquis en Europe et, d'autre part, de l'intégration à la culture constructive locale. *(cf. figure 1, page 16)* La qualité de l'architecture réside dans la façon dont ces deux paramètres sont abordés, exécutés puis ingérés dans le contexte.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

11 formule employée par René Dubos, agronome, biologiste et écologue français, lors du premier sommet sur l'environnement en 1972 à Stockholm.

12 propos de Kéré extaits de l'article «Architecture : Le retour de la terre de Diébédo Francis Kéré», écrit par Gwénaëlle Deboutte et mis en ligne le 4 décembre 2011 sur le site internet jeuneafrique.com

2. Importation de techniques simples et diffusion de principes climatiques fondamentaux

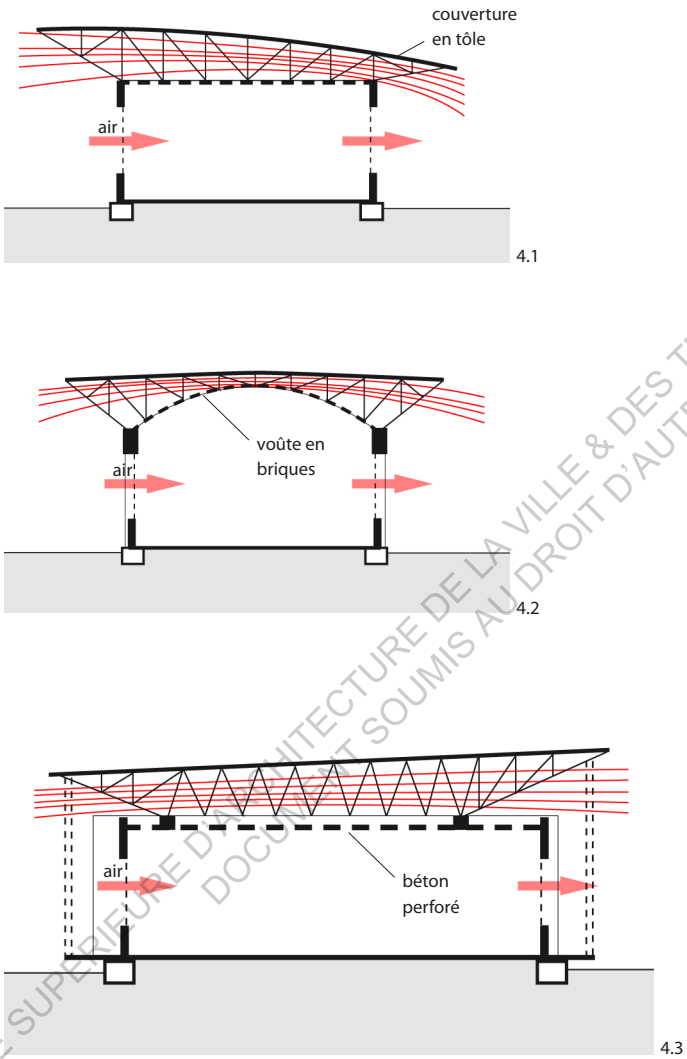
2.1 La rigueur du climat au Burkina Faso

Le climat du village de Gando est tropical équatorial, de type subsaharien. C'est un climat très chaud qui est défini par deux saisons principales très contrastées. La première est la saison sèche qui s'étend sur environ 8 mois, entre octobre et juin. Les températures y sont très élevées, dépassant 40°C durant certains mois. De plus, un fort vent chaud et sec provenant du Sahara, nommé l'harmattan, souffle régulièrement. La seconde est la saison des pluies ou hivernage qui s'étend de mi-juin à mi-octobre. Elle est définie, elle aussi, par de fortes températures, mais surtout par d'importantes précipitations. Le taux d'humidité relative est donc variable, selon les périodes. En effet, l'humidité moyenne de l'air peut atteindre 73% durant l'hivernage et baisser à 23% en saison sèche. Néanmoins, due à la quasi constance des températures d'une saison à l'autre, l'évapotranspiration potentielle est très importante et très peu variable sur toute l'année. Cela peut devenir un véritable avantage dans la conception de système de climatisation naturelle.
Une autre caractéristique du climat, qui peut être exploitée pour réguler les fortes températures, est la variation climatique entre le jour et la nuit. Même si les températures ne descendent que très rarement en dessous de 15°C, cette amplitude thermique peut cependant être importante de novembre à février avec des températures diurnes deux fois plus chaudes que les valeurs relevées au cours de la nuit. Prenons pour appui l'exemple des moyennes de températures du mois de décembre 2011, les minimales, généralement la nuit, sont de 17°C et les maximales de 35°C. Cela génère une amplitude thermique moyenne de 18°C pour ce mois ci. Or, l'amplitude thermique n'est pas constante et, en saison des pluies, elle baisse fortement, atteignant une moyenne de 7°C environ, comme au mois de mars 2011. *(cf. Annexes iconographiques, figure 3, page 57)*
Face à ces températures très élevées, à l'amplitude thermique variable et au taux hygrométrique parfois lui aussi très élevé, il est nécessaire pour obtenir un confort thermique acceptable dans les bâtiments de tenter de rafraîchir l'air ambiant. Cela doit ce faire par le biais de systèmes alternatifs à la climatisation mécanique car le village a peu de ressources financières et ne possède pas d'infrastructures

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figure 4

Une ventilation naturelle efficace



Schémas réalisés par LP

4.1 Ecole primaire
Espace ventilé entre la couverture courbée et inclinée et le plafond poreux en briques. Grandes ouvertures dans les murs avec des volets à persiennes qui laissent l'air circuler.

4.2 Extension de l'école
Usage d'une voûte de briques pour constituer lasous toiture. Resserrement de l'espace ventilé dans la double toiture permettant une accélération des flux d'air au centre de la pièce. Et toujours, de grandes ouvertures avec des volets à persiennes.

4.3 Bibliothèque
Même principe de toiture ventilée. Cette fois, le plafond est droit et perforé et la couverture est plane mais inclinée accentuant ainsi l'effet Venturi. De plus, la circulation de l'air à travers les parois verticales est facilitée entre les brise-soleils et les persiennes.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES À MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

électriques. Etant donné ce contexte, la climatisation et la circulation des flux d'air ne peuvent être que passive . C'est donc autour de cette question climatique que l'architecte, Diébédo Francis Kéré oriente son travail de recherche.

2.2 Le choix de stratégies architecturales adaptées au climat

Afin de s'accommoder le mieux possible à ce climat chaud et parfois humide, des stratégies architecturales sont mises en place par Kéré. Le climat est caractérisé par des températures très élevées, il est donc important de protéger le bâtiments des apports solaires pour réguler les températures trop importantes et difficilement supportables dans le bâtiment.
Cela dit, une autre des caractéristique de ce climat est la grande amplitude thermique. Cette caractéristique peut être un réel avantage. Kéré profite de la forte inertie thermique de la terre pour réguler la température interne de ses bâtiments entre le jour et la nuit. L'inertie thermique combinée à la sur-ventilation nocturne est le moyen le plus efficace pour assurer la fraîcheur intérieure.
Enfin, ce qui est la particularité de ce climat, ce sont également les fortes précipitations qui ont lieu durant la saison d'hivernage. Là, l'essentiel est de protéger le bâtiment, souvent construit en terre, des altérations dues aux intempéries. L'abondance des pluies durant cette période est aussi à percevoir comme une opportunité. Puisque l'eau, si elle est collectée et stockée peut être restituer en saison sèche, lorsque justement il en manque cruellement.
Kéré connait très bien le climat du Burkina Faso et il propose, dans tout ses projets à Gando, *(cf. Annexes iconographique à partir de page 59)* des moyens de tirer partie de celui . Cette posture marque une changement radical avec la construction traditionnelle et post-coloniale, étudiées précédemment, qui elles semblaient subir les aléas du climat sans les maîtriser.

2.3 Elaboration de solutions adéquates

La premier réalisation de Kéré, l'école primaire de Gando pose ainsi les fondements de sa recherche autour du confort thermique. *(cf. figures 4.1, 5.1 et 6.1)*
Outre l'usage de la terre comme matériau principal de construction, on voit émerger chez Kéré une forte volonté d'appliquer des systèmes de climatisation passive. Il explique, lui même, concevoir des bâtiments qui respirent. Par le biais de cette métaphore, il compte ainsi diffuser au plus grand nombre, des principes fondamentaux bioclimatiques, tels que la ventilation naturelle, la protection solaire et la valorisation des eaux pluviales.

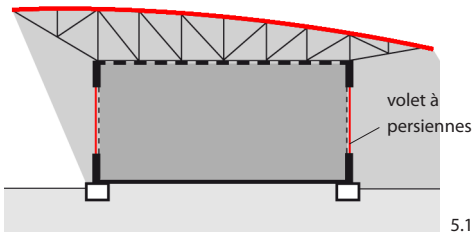
2.3.1 Ventiler : La double toiture

Comme je l'explique précédemment, une des premières préoccupations de Kéré est de concevoir des bâtiments dotés d'une très bonne ventilation naturelle.
Pour se faire, il fragmente ceux ci afin de laisser l'air circuler plus facilement. C'est notamment ce que l'on constate pour l'école et l'extension de l'école où il réalise trois volumes de salle de classe indépendants reliés par une grande toiture.

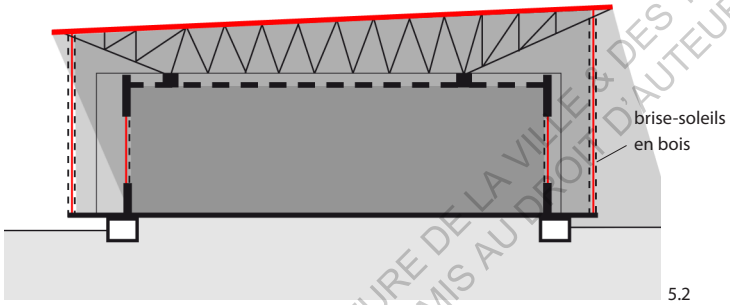
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

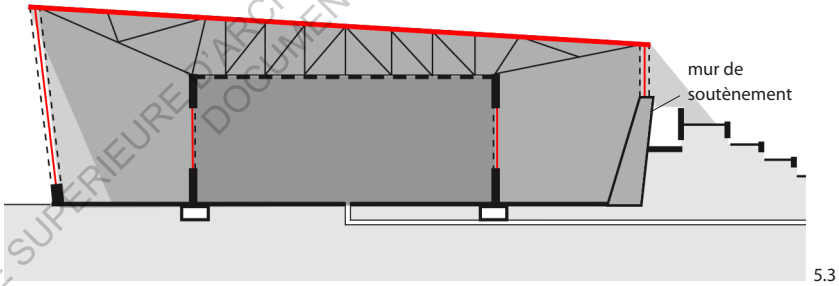
Figure 5

Une protection contre les rayonnements solaires



5.1 Ecole primaire
Grand débord de toiture permettant de conserver les murs à l'ombre durant toute la journée.
Volets à persiennes qui filtrent les rayonnements solaires à l'intérieur.





Schémas réalisés par LP

5.2 Bibliothèque
Même principe de toiture avec un décollement de la couverture évitant les surchauffes de la tôle. Usage de brise-soleils verticaux sur toute la périphérie du bâtiment afin de contrôler les apports solaires sur les murs de terre.

5.3 Collège
Système de toiture identique aux précedants. Tout comme l'usage des brise-soleils et des volets à persiennes. Réduction du nombre de façades exposées au soleil, grâce à la construction d'un mur de soutènement.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

On retrouve cette segmentation des programmes dans l'ensemble des projets réalisés à Gando. Mais cette exploration autour de la question de la ventilation est également fortement visible en toiture. Il utilise, en effet, le système très simple de la double toiture. *(cf. figure 4, page 28)* Dans le cas de l'école primaire, la sous-toiture ou plafond est constituée de briques assemblées et fixées sur des tiges d'acier. Les rangées de briques ne sont pas liées les unes aux autres. L'air qui pénètre dans le bâtiment par de larges ouvertures en façade, est ainsi facilement évacué en toiture entre ces rangées de briques. La sur-toiture quant à elle est composée de grandes plaques de tôle. Ce toit à large débord protège l'intérieur du bâtiment ainsi que les façades. Cette toiture qui dépasse d'une cinquantaine de centimètres protège les murs en terre des fortes pluies et produit une ombre portée sur le bâtiment limitant ainsi l'absorption calorifique des murs.
Un assemblage d'aciers à béton permet un décollement entre la sous-toiture et cette sur-toiture, empêchant donc les surchauffes dues à l'usage de la tôle comme matériaux de couverture. *(cf. figure 7.2, page 38)* L'espacement entre le deux éléments de toiture varie entre 20 et 50 cm et est fortement ventilé. De plus, l'inclinaison de la sur-toiture entraine une accélération de flux d'air, par effet Venturi. (*cf. figure 4.1, page 28)* Kéré applique ce principe de double toiture ventilée à l'ensemble de ses constructions à Gando, et plus largement en Afrique équatoriale.
Cela dit, pour l'extension de l'école, la sous toiture n'est pas plate avec usage d'acier à béton mais il s'agit simplement d'arcs maçonnés. (*cf. figure 4.2, page 28)*. L'espacement entre la sous-toiture et la couverture est de 80 cm en périphérie et se réduit à 20 cm au sommet des arcs. Grâce à ce resserrement, l'effet Venturi est renforcé au centre de la pièce et l'air circule davantage entre la toiture et les ouvertures en façade. Une ventilation naturelle performante contribue à l'amélioration du confort par le biais de la qualité de l'air. Néanmoins, elle ne permet pas d'atteindre une confort thermique suffisant au sein des bâtiments. En effet, la circulation des flux d'air ne permet pas de faire baisser les températures. Or, la nuit les températures baissent et une bonne ventilation naturelle couplée à une forte inertie des parois peut permettre de réguler la température à l'intérieur du bâtiment. La ventilation naturelle, seule, n'est pas suffisante et il faut donc user d'autres stratagèmes pour gérer la température de manière plus efficace.

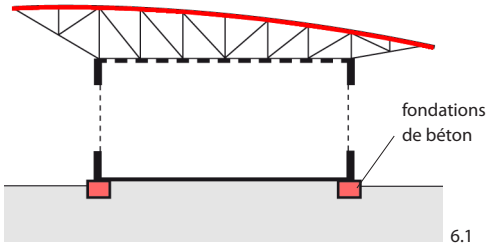
2.3.2 Protéger : Les brise-soleils verticaux

Kéré utilise la terre pour construire toutes ses réalisation à Gando. Or, la terre possède une grande inertie thermique. Afin que cette propriété ne devienne pas une contrainte dans ce milieu extrêmement chaud, il est important de préserver les murs des apports solaires de la journée. Ainsi, pour atténuer les fortes chaleurs à l'intérieur de ses bâtiments, Kéré propose de disposer des brise-soleils verticaux sur la périphérie des bâtiments. Il emploit notamment cette solution pour la bibliothèque, (*cf. figure 5.2, page 30)* où une sorte de rideau composé de lattes de bois d'eucalyptus est fixé sur les extrémités de la toiture. Cet ensemble vient constituer un filtre entre l'intérieur et l'extérieur, venant ainsi recréer une ambiance intermédiaire. Et surtout, il protège les murs en terre des rayonnements

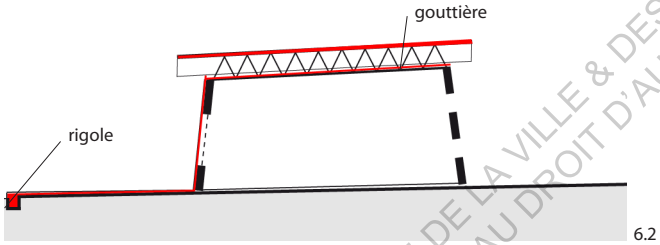
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

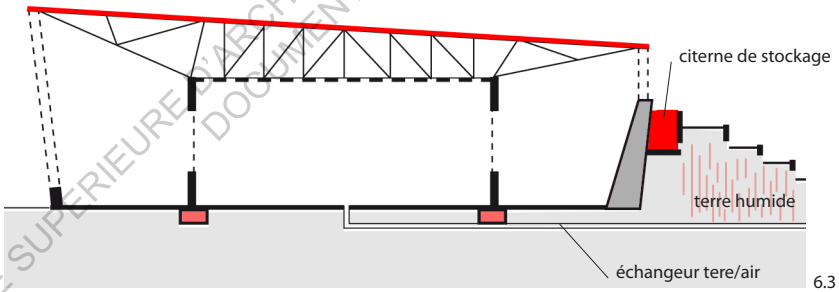
Figure 6

Une gestion raisonnée des eaux pluviales



6.1. Ecole primaire
Fondations en béton évitant les remontées capilaires dans les murs de terre.
Large toiture qui protège les murs des intempéries.





Schémas réalisés par LP

6.2 Maisons pour professeurs
Collecte des eaux s'écoulant en toiture grâce à la conception de gouttières et de rigoles.
Système de canaux visant à conduire l'eau vers le potager.

6.3 Collège
Récueil des eaux pluviales dans une citerne qui stocke l'eau permettant à celle-c i de s'infiltrer dans le sol. Ce système permet un transfert d'énergie utilisée pour climatiser le bâtiment.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

lumineux et ainsi permet de limiter la diffusion de la chaleur à l'intérieur du bâtiment. J'expliquerai plus tard la manière donc il exploite cette caractéristique de la terre pour rafraichir l'air ambiant à l'intérieur des locaux.
Il utilise également ce système pour le projet du collège. (*cf. figure 5.3, page 30)*
Pour ce bâtiment, il valorisera l'espace intermédiaire entre les brise-soleils et les murs en prévoyant l'installation d'un muret à la base des lattes de bois afin de pouvoir s'asseoir et profiter de cet espace extérieur ombragé. Ce muret permet également de protéger le bois de l'humidité du sol. De plus, l'ensemble du collège, qui se compose de nombreux bâtiments, sera aménagé en décaissé autour d'une sorte de placette de village. Les bâtiments sont tous orientés vers cette place et tous adossés à une sorte de but de terre de plus de 2,5m de haut. Une des quatre façades des bâtiments ne possèdent donc aucune ouverture et profite donc de l'inertie thermique de procure cette masse de terre.
Je remarque donc que la protection solaire et la recherche de l'ombre semblent être primordiales, dans ce climat où la végétation manque cruellement. De ce fait, Kéré tente également de développer autour de ces projets toute une stratégie à grande échelle autour de la re-végétalisation du village. L'objectif étant d'abord d'améliorer le confort thermique mais aussi de recréer et valoriser un écosystème et une agriculture qui a souffert de graves perturbations écologiques. Or, pour que ce type de programme puisse voir le jour, il est important de développer une stratégie paysagère à l'échelle du village, chose qui n'est pas visible dans le travail de Kéré.

2.3.3 Collecter : L'échangeur terre/air

Ce thème nous amène à nous interroger sur la gestion des eaux pluviales. Effectivement, l'alternance de saisons pluvieuses et de saisons sèches exige de canaliser ces eaux. Dans un premier temps, il faut gérer la saison pluvieuse en se protégeant des fortes pluies, en maitrisant leur écoulement, en les collectantet surtout en les stockant. Cette collecte permettra ensuite d'appréhender serreinement la saison sèche. C'est dans le projet des maisons pour professeurs (*cf. figure 6.2, page 32)* que l'architecte traite pour la première fois la question de la valorisation de l'eau de pluie. Il conçoit ces maisons en y intégrant des sortes de gouttières et de rigoles permettant à l'eau de s'écouler vers une zone prévue à cet effet. Là, l'eau s'infiltre dans la couche superficielle du sol. Cette parcelle de terre ainsi alimentée est en réalité le potager de l'école. Dans ce projet, l'abondance de l'eau est maitriser à des fins alimentaires, servant en effet, à cultiver des légumes et des fruits pour les habitants des maisons et les élèves de l'école.
Mais Kéré va plus loin dans le projet du collège. Cette fois l'eau participera au confort thermique de l'intérieur du bâtiment grâce au principe du puits canadien ou de l'échangeur terre/air. (*cf. figure 6.3, page 32)* Dans ce projet, il prévoit de récupérer l'eau des toitures à l'arrière des bâtiments dans des citernes puis dans la terre sur laquelle vient s'adossé le bâtiment. Cette sorte de butte serait en réalité une composition de terrasses intégrant des conduits d'air visant à amener de l'air à l'intérieur du bâtiment. Cet air qui passera dans des tubes à travers la terre humide sera rafraîchi grâce à l'évaporation de l'eau présente dans le sol.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Ce système est particulièrement adapté à ce climat qui bénéficie d'une forte évapotranspiration potentielle. *(cf. Annexes iconographiques, page 57)*
L'évaporation de l'eau contenue dans la terre demande une quantité d'énergie important, ce qui permet la régulation de la température sur le même principe que la transpiration chez l'Homme. L'air sert de fluide caloporteur tandis que le conduit, d'une dixaine de mètres de long, a un rôle d'échangeur thermique. L'air circule de manière totalement naturelle grâce à une surpression à l'entrée du tube en l'orientant face aux vents dominants. Ce système est relativement compliqué à mettre en place, par la nécessité de creuser le sol ou du moins de le modeler pour enterrer les tubes canalisant l'air. Cela dit, il peut acheminer de l'air frais dans le bâtiment et contribuer à l'amélioration du confort thermique des usagers.

Kéré a importé des principes simples visant à climatiser ses bâtiments de manière passive, c'est-à-dire, sans consommer aucune énergie (hormis celle fourni par des sources naturelles, renouvelables et accessibles, comme l'énergie solaire, l'impact du vent et la géothermie). Individuellement, ces principes améliorent le confort thermique, de façon très ponctuellement. Bien que je n'ai pas en ma possession de chiffre qui l'atteste, il semble qu'ils ne permettent pas d'atteindre un niveau de confort suffisant. Ce manque d'informations est principalement dû, au fait qu'aucune étude thermique n'est menée par manque de moyens financiers.
Or, l'ensemble de ces techniques cumulées et accompagnées d'une réelle gestion de l'écosystème peut avoir un impact fort sur la qualité de vie dans les bâtiments. Les interventions que l'architecte mène sont simples, sans technologie avancées, et facilement reproductible et transmissible. Elles sont adaptées à une cadre financier extrêmement serré comme celui de Gando et à des artisans locaux qui n'ont pas de compétences scientifiques.
L'adaptabilité de ces techniques est un facteur déterminant de leur bon fonctionnement. Le fait que son architecture puisse être reproductible par des artisans locaux est une véritable volonté de l'architecte. Il souhaite poser les bases d'un développement maîtriser de l'architecture africaine. Pour cela, il semble essentiel d'y intégrer la culture constructive locale. Ceci, m'amène à expliciter la manière dont Kéré est intervenu pour revaloriser un mode constructif qui était considéré comme désuet et comment il est parvenu à moderniser l'archaïque construction en terre.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

3. Intégration au contexte et valorisation des ressources et des cultures locales

3.1 Les techniques constructives traditionnelles

Traditionnellement, au Burkina Faso, les architectures domestiques, nommées les Tata Sombas, sont des constructions en terre. Elles mettent en œuvre la technique de la terre façonnée ou celle de la bauge[13]. Les murs sont construits en empilant des boules de terre malléable. L'abondance et la proximité du matériaux, ainsi que la simplicité de son application rendent ce mode constructif très usité dans de nombreuses régions du monde. Malgré le fait que ce savoir-faire soit extrêmement ancien et répandu, il n'est pas réellement adapté à tout les climats ou, du moins, il nécessité des mises en œuvre particulières.

Au Burkina Faso, il pleut abondamment pendant près de quatre mois de l'année. Or, la construction en terre doit faire face à deux problèmes majeurs. D'abord les remontées capillaires au contact de l'humidité du sol qui endommagent la base des édifices. Puis les infiltrations sur le sommet des murs qui l'affaisse. Paradoxalement, les soubassement et les grandes toitures ne sont pas inscrits dans le vocabulaire de l'architecture traditionnelle au Burkina Faso. Cela dit, pour remédier à ces phénomènes d'altérations, les bâtisseurs ont fait preuve d'ingéniosité. Ceci est notamment visible pour la construction de monuments communautaires, comme les mosquées. Puisque la pluie détruit un mur en terre par la base et par le sommet, une stratégie consiste à réaliser des couches d'usure à la base et sur le haut du mur en ogive, formant la toiture. Une seconde consiste à intégrer des échafaudages afin de facilité la réparation des murs qui sont refaçonnés régulièrement. Cela dit, ce type de stratégies n'est pas couramment utilisées pour l'architecture domestique. Or, les toitures de bois et de paille protègent partiellement les murs et parfois les constructions bénéficient de lit de graviers en guise de fondations. Toutefois, chaque année il faut refaçonner les murs abîmés par les intempéries, expérience que Kéré à lui même vécue lors de son enfance à Gando.

13 La bauge se distingue de la terre façonnée par l'adjonction de fibres végétales.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figures 7

La construction des toitures

7.1

7.1 La technique de la Voûte Nubienne
Les ouvriers testent la resistance de l'arc en maçonnerie de briques de terre visant à constituer une toiture.
Photographie illustrant l'article de Marc Armengaud, «L'identité au barycentre du développement durable ?» D'A n°200, mai 2011

7.2

7.3

7.2 La construction d'une toiture ventillée
Les ouvriers fixent les plaques de tôle composant la couverture de la toiture de l'école primaire de Gando en 2000.

7.3 La constitution de la double toiture
Détail montrant la couverture en tôle fixée à l'aide de tiges en acier sur une sous toiture composée de briques de terre crue et de poutrelles en béton armé.
Images extraites de la vidéo sur la conférence Ekopolis du 6 novembre 2009 «Concevoir et construire durable, du territoire au bâtiment», mise en ligne sur le site [http://www.ekopolis.fr/]

ECOLE NATIONALE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS A DROIT D'AUTEUR

3.2 La recherche d'alternatives, la voûte nubienne

Outre la vulnérabilité de la terre, l'architecture traditionnelle est mise en péril par un facteur tout aussi essentiel. Il s'agit de la pénurie grandissante de bois qui sonne la fin des toits en paille. Devant ce constat, des organismes tentent de diffuser des solutions alternatives à la construction traditionnelle et de faire face à la forte diffusion des toitures en tôle qui sont très peu performante thermiquement. C'est le cas de l'association La Vôute Nubienne[14], qui développement ce nouveau mode constructif en terre et le rend accessible au plus grand nombre par le biais de formations techniques. La technique de la voûte nubienne, historiquement centrée à Nord Est de l'Afrique, dans la région sud du Nil, apparaît comme un procédé architectural approprié aux graves problèmes constructifs auxquels sont confrontés les pays sahéliens et sub-sahariens, tel que le Burkina Faso.
Elle permet de construire avec des matériaux locaux et des techniques relativement simples, des bâtiments à toitures constituées d'un assemble de briques de terre. L'usage de cette technique est approprié aux contraintes climatiques et environnementales du Burkina Faso. En effet, les voûtes constituées de briques de terre *(cf. figure 7.1, page 38)* ont des propriétés thermiques plus adaptées aux fortes températures que les toitures de tôle. Toutefois, les toits de tôle se sont imposés comme un modèle de modernité dans ces régions reculées d'Afrique. Je m'appuie sur l'étude thermique de Wyss Urs et Sauret Hugues[15], publiée en novembre 2007, qui précise que dans les mêmes conditions, un bâtiment de toiture en tôle verra sa température intérieur de 38°C, tandis qu'elle sera de 34,7°C sous une toiture VN (voûte nubienne). Cette étude complète démontre le réel intérêt de cette technique constructive vis à vis du confort thermique et confirme la médiocrité thermique d'une simple toiture en tôle.

3.3 Réactiver les traditions locales

La construction en terre est ancrée dans la culture locale et définie l'identité architecturale du Burkina Faso. Kéré, grâce à l'enseignement qu'il a reçu de Peter Herrle, est très attaché à la question de l'identité, de la réminiscence d'une tradition, d'une forme, d'une histoire ou d'une culture. De plus, l'architecte a conscience de l'importance de la terre dans de la culture constructive burkinabée, en dépit de sa très mauvaise réputation au sein des communautés villageoises. En effet, quand Kéré a expliqué aux habitants de Gando qu'il allait construire une école en terre, la plupart l'ont regardé avec étonnement, considérant que la modernité résidait dans les constructions en béton, modèle dominant, importé de l'Occident et diffusé à toute l'Afrique. Malgré la volonté des habitants de

14 Association a été fondé en 2000 par un maçon français, Thomas Granier et un cultivateur burkinabé, Séri Youlou. Association de la Voûte Nubienne a adapté la technique de la voûte numbienne, a permis l'émergence d'une offre et l'apparition du métier d'artisan-maçon VN transmis sous forme de compagnonnage.

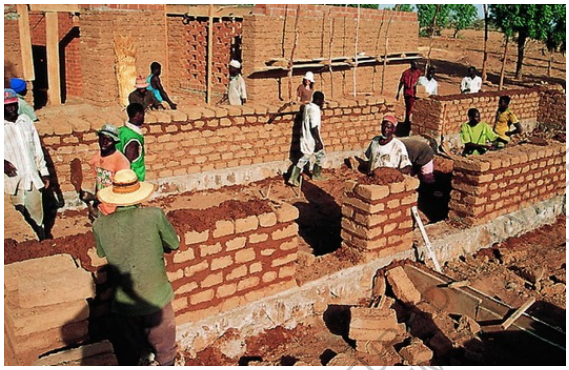
15 Wyss Urs est ingénieur civil, diplômé de ENPL et Sauret Hugues est ingénieur énergie chez ENERSOL-A.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Figures 8

La construction des murs en terre

8.1.1



8.1.2

8.1 Les briques de terre compressée
Les ouvriers utilisent une presse mécanique (8.1.1) afin de comprimer de la terre crue pour former des briques, de 20x10x5cm. Ils réalisent des murs (8.1.2) en maçonnerie composés de ces briques de terre.
Images extraites de la vidéo sur la conférence Ekopolis du 6 novembre 2009 «Concevoir et construire durable, du territoire au bâtiment», mise en ligne sur le site [http://www.ekopolis.fr/]

8.2.1

8.2.2

8.2 Les murs de terre banchée
Cela correspond à la techique du pisé.
Les ouvriers préparent le terre destinée à être compactée pour composer des murs. (8.2.1)
Pour la construction du collège, les ouvriers mettent en place un coffrage pour réaliser des murs de terre. (8.2.2)
Photographies issues du site de Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]

ECOLE NATIONALE D'ARCHITECTURE & DES TERRITOIRES À MARNE-LA-VALLEE
SOUMIS À DROIT D'AUTEUR

rompre avec les traditions constructives pour tendre vers la modernité, Kéré pense que la modernité doit se lire dans l'adaptation de nouveaux modes constructifs correspondant à l'environnement et au contexte de développement du pays. Effectivement, il ne faut pas négliger que la terre est une des principales matières locales de construction. Elle est disponible, de faible coût et possède des propriétés thermiques intéressantes. La terre se caractérise, en effet, par une très bonne inertie thermique qui, liée à la gestion des apports solaire et à la ventilation, peut devenir une réelle source de confort thermique. En effet, du fait de sa densité élevée et de sa perméabilité à la vapeur d'eau, la terre permet une régulation de l'hygrométrie et des températures à l'intérieur d'un bâtiment. Grâce à ce facteur, les constructions en terre du Burkina Faso peuvent, si elles sont ventilées correctement, stocker l'énergie reçue pendant la nuit et la restitue lentement durant la journée. Il parait donc intéressant de revaloriser ce matériaux de construction pour le Burkina Faso. De plus, pour Kéré la dimension sociale et pédagogique de ces projets est primordiale. En offrant la possibilité aux villageois de participer à la construction, il compte sur une appropriation rapide de nouvelles techniques et bousculer leurs préjugés sur la construction en terre.

3.4 Vers une optimisation de la construction en terre

Ce qui compte pour Kéré c'est «d'exploiter la construction traditionnelle en terre, par nature provisoire, en modifiant le matériau et en utilisant de nouveaux principes pour en faire un mode de construction durable aux bonnes qualités techniques. Il importait également de réaliser une architecture moderne et esthétique»[16]

Dans la plupart de ses réalisations à Gando, Kéré utilise la technique des blocs de terre comprimée ou briques de terre crue (BTC)[17]. *(cf. figure 8.1, page 40)* Elle permet une revalorisation de la construction en terre et est également le symbole d'une modernité constructive.

Il s'agit de sortes de briques fabriquées dans des presses mécaniques qui compriment de la terre homogène, humide et pulvérulente (poussières). Bien que la technique des briques de terre crue partage tout les avantages liés à la construction maçonnée, elle est plus économe en énergie. En effet, sa fabrication ne nécessite pas l'usage d'un four, comme c'est le cas pour les briques de terres traditionnelles qui sont cuites. La brique est donc produite localement, à proximité même du chantier. Or, sa mise en œuvre, bien que relativement simple, nécessite toutefois une formation technique des artisans pour la maçonnerie.

La BTC est, d'une certaine façon, une réinvention de la traditionnelle brique de terre qui jouit de performances techniques et architecturales reconnues, permettant notamment la réalisation d'arcs et des voûtes de grandes portées. Pour l'école, les maisons, l'extension de l'école et pour la bibliothèque, Kéré a

16 Propos de Diébédo Francis Kéré extrait de l'article de Alex Moussa Sawadogo mis en ligne le 16 janvier 2006 sur le site internet : lefaso.net

17 Inventée en 1952 par un ingénieur colombien, c'est dans les années 80, 90 que la technique de BTC connait un essor dans les pays en développement d'Afrique et d'Amérique latine.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

employé la BTC à la fois dans la fabrication des murs et dans la constitution des sous-toitures. Cela dit, pour le projet du collège de Gando, l'architecte propose d'utiliser la technique de la terre banchée pour la construction des murs. *(cf. figure 8.2, page 40)* C'est une technique nécessitant un coffrage et qui est généralement utilisée avec des terres argileuses. On l'appelle communément la technique du pisé. Ce système constructif nécessite une composition particulière de terre. Or, la terre de Gando n'est pas argileuse mais plutôt ferrugineuse. Kéré a donc, proposé d'ajouter à la terre, un faible pourcentage de ciment afin de constituer une sorte de béton de terre et d'améliorer la liaison de l'ensemble. Cette solution nouvelle est adaptée au projet, puisque tout les murs sont identiques. L'architecte amorce une solution alternative à la BTC, efficace et simple qui ouvre vers d'autres recherches en terme de production de masse pouvant répondre rapidement au contexte de développement du pays.
La conductivité thermique à travers ces deux techniques dépend bien évidement de la composition de la terre employée. Cela dit, elles sont très proches les unes des autres et ce facteur ne peut pas déterminer le choix de l'une plutôt que de l'autre. Toutefois, il faut noter que, la BTC est fragile et résiste mal en cas de choc et le pisé quand à lui ne résiste pas bien à la pluie. Il faut donc tenir compte de ces faiblesses pour utiliser la terre de manière cohérente et raisonnée.

En BTC ou en murs banchée, l'usage de la terre semble une solution répondant aux enjeux de la construction durable. D'une part, elle emmagasine très peu d'énergie grise dans sa fabrication et dans sa mise en œuvre. En effet, il s'agit d'une ressource disponible et sa mise en oeuvre n'éxige pas de consommations énergétiques. Et d'autre part, elle possède de très bonnes performances thermiques. Cela dit, elle peut difficilement répondre à un contexte urbain puisque la question de l'approvisionnement et de l'acheminement risque de devenir un vrai problème. En dépit, de ses qualités thermiques, la construction en terre n'est donc pas transposable au sein des villes africaines. De plus, ce type de mode de construction nécessite du temps et de la main d'œuvre nombreuse, ce qui est parfois plus compliqué à trouver en ville. Or, ces mises en oeuvre expérimentées par Kéré semblent être une réponse cohérente et plausible pour les villages d'Afrique équatoriale. En effet, cette recherche sur les modes constructifs en terre est basée sur des principes bioclimatiques et est ancrée dans les réalités locales des villages africains. Elle permet de revaloriser un matériau qui possède un fort potentiel en terme de durabilité et de très bonnes qualités thermiques.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Conclusion

Pour conclure, il semble que Kéré a su extraire de ses deux cultures les outils pour concevoir une architecture durable en Afrique. Inspiré par les traditions locales et avisé par sa formation occidentale, Kéré établit un lien entre la pratique architecturale et les perspectives africaines. Dans le contexte social, économique et environnemental du village de Gando, là où les enjeux mondiaux sont les plus perceptibles, Kéré propose d'amorcer la prise de conscience des questions énergétiques et d'engager l'Afrique sur la voie de l'architecture bioclimatique. Ses projets à Gando témoignent de la manière dont il a introduit des principes appris à Berlin tout en les adaptant aux réalités de son village.

Une des ambitions de son architecture est de permettre la diffusion de principes climatiques fondamentaux. C'est notamment ce que représente la construction de l'école primaire, qui demeure le projet emblématique de la démarche de Kéré. Néanmoins, si l'on analyse ses projets à Gando de manière chronologique, on constate que chaque projet met en oeuvre un nouveau système pour améliorer le confort thermique. Mais surtout, on observe que chaque projet est la synthèse des expérimentations menées précédemment. Ainsi, le projet le plus récent, celui du collège, cumule de nombreux principes :
- le principe de ventilation naturelle grâce au système de la double toiture et par le biais de larges ouvertures en façade
- la volonté de se protéger des rayonnements solaires et de créer des endroits ombragés, grâce à des débords de toiture et des brise-soleils
- la nécessité de maîtriser les eaux pluviales pour protéger la construction mais surtout pour générer de la fraîcheur.

Toutefois, Kéré porte un réel intérêt à la question de l'adaptabilité des solutions qu'il propose. L'idée est que ces systèmes soient reproductibles par le plus grand nombre, pour être en adéquation avec la pratique de l'autoconstruction qui est dominante en Afrique. C'est pour cette raison qu'il utilise des techniques simples et facilement transmissibles.
De plus, il s'attache particulièrement à intégrer son architecture aux réalités locales, quelles soient sociales ou économiques mais aussi ,et surtout, culturelles. C'est pour cette raison qu'il fonde sa démarche sur les valeurs de l'architecture

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

traditionnelle de terre. La terre est une ressource disponible localement et a de réelles qualités thermiques. Cela va dans le sens de sa recherche bioclimatique.

A Gando, il met en place des solutions spécifiques qui répondent à une situation précise mais aussi aux enjeux mondiaux liés au développement et à l'environnement. Il est le premier à initier une réflexion autour de l'architecture bioclimatique dans ces villages africains. Néanmoins, sa recherche n'est pas encore aboutie. Les systèmes qu'il a mis au point pour Gando permettent, en effet, d'améliorer le confort thermique dans les bâtiments mais elles sont loin d'être suffisantes. C'est seulement dans le projet du collège, qu'il aborde la question de la climatisation par évaporation. En effet, l'eau pluviale possède un véritable potentiel qui pourrait permettre de rafraîchir l'air et peut mener à des techniques plus efficaces encore que cette du l'échangeur terre/air. Selon moi et d'après les données climatiques que j'ai exploitées, un système de climatisation passive par évaporation est une piste de recherche pertinente et adaptée au climat et au contexte économique du Burkina Faso.
Kéré a fondé son architecture bioclimatique sur la valorisation des ressources locales et particulièrement de la terre. Néanmoins, je pense, que la valorisation des eaux pluviales, dans la quête du confort thermique, est un axe de travail intéressant pour poursuivre cette recherche.

La terre est une ressource disponible localement qui peut être utilisée pour construire des bâtiments performant thermiquement. La culture constructive africaine a intégré cette idée de manière spontanée.
L'eau est une ressource locale dont l'abondance est variable au cours de l'année mais qui peut permettre de réguler les températures au sein des bâtiments. C'est ce que Kéré tente de démontrer dans le projet du collège.
Le soleil, quant à lui, est une autre ressource particulièrement abondante et stable en Afrique. Toutefois, l'architecture traditionnelle et les réalisations architecturales de Kéré cherchent à s'en protéger. Aucun ne recherche pas le moyen d'en tirer un bénéfice énergétique. Le climat africain semble, pourtant, propice au développement de la technologie solaire. On peut ainsi voir en Afrique un réel potentiel d'innovation en terme d'énergie solaire.

Or, Kéré cherche à diffuser à l'architecture africaine des solutions passives, c'est-à-dire sans consommer d'énergie ou d'électricité. Effectivement, il adopte une position très réservée face à la technologie au sein de l'architecture africaine. Il défend une vision vernaculaire de l'architecture mais opte pour une remise en question permanente des techniques et des matériaux. Il développe une architecture bioclimatique et low tech qui semble répondre parfaitement aux contraintes climatiques et financières des villages d'Afrique équatoriale.
Or, il est difficile d'envisager un développement économique du village de Gando sans l'usage de l'électricité et de technologies avancées. Bien qu'il propose des systèmes passifs qui semblent s'adapter au contexte, Kéré parait faire totalement abstraction des dépenses d'énergie qui seraient liées aux autres installations que

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

celles destinées à climatiser le bâtiment. Focalisé sur le confort thermique, il ne prend pas en compte la nécessité de produire de l'électricité pour s'éclairer, pour se relier aux réseaux internationaux par le biais d'internet, pour chauffer de l'eau ou cuisiner. Ce type d'équipements semble, aujourd'hui, primordial pour amorcer un développement serein du pays.
La posture architecturale de Kéré, vis-à-vis de l'énergie et par rapport aux autres architectes africains, est singulière. Effectivement, sa démarche nie sur la question de l'innovation technologique en terme d'énergie. Sans doute puisqu'il ne considère pas ça comme une priorité dans l'Afrique rurale. Ou peut être puisqu'il considère cette recherche comme vaine. Ou encore repose-t-il ses espoirs sur des cultures plus avancées sur la technologie solaire.

Toutefois, la plupart des architectes africains, comme Romarick Atoke, Samuel Ngwé Beleg ou Mohaman Haman, défendent l'innovation technologique solaire en la percevant comme un véhicule de perspective de développement pour l'Afrique. Citons, notamment, l'exemple de Mohaman Haman[18] qui est l'inventeur du *Haman solarbrick*. Ce projet consiste à produire de l'électricité grâce à des briques de fibres végétales photovoltaïques disposées en toiture. Selon lui, c'est un produit 100% naturel et sain qui utilise les ressources locales. L'architecte a reçu le premier prix de l'innovation technologique, économique, sociale et environnementale en 2011 à Yaoundé au Cameroun. Cet architecte croit en l'adaptation de la technologie solaire pour les besoins des villages africains. Ce type d'avancée technologique permet d'envisager le réel développement du continent dans le respect de la notion de développement durable.
Cette technologie n'est pas encore au point et elle nécessite un déroulement d'opérations industrielles importantes. Néanmoins, il est intéressant d'envisager l'énergie solaire comme une ressource exploitable, telles que la terre ou l'eau.

En cela, les recherches sur l'énergie solaire se rapprochent de la démarche de Kéré. En effet, elles entrent dans un vaste processus de valorisation des ressources locales auxquelles l'architecte burkinabé est très attaché. Peut-être que le défi en Afrique réside dans cette question de la valorisation des ressources disponibles ? Peut-être que l'on pourra synthétiser l'architecture africaine de demain de la manière suivante : de la terre pour bâtir, de l'eau pour climatiser et du soleil pour produire de l'énergie ? Ces trois ressources semblent, en effet, chacune répondre aux besoins de l'Afrique en terme de développement et d'environnement.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

18 Architecte urbaniste camerounais, formé à l'Ecole des Travaux publics de Cachan puis à l'Ecole des Beaux-arts et diplômé de l'Ecole d'Architecture de Paris-La Défense. Lors de son diplôme en 1977, il se penche sur la question de la ville évolutive construite avec des matériaux locaux et des énergies renouvelables. Il est alors missionné par l'UNESCO pour mener un projet pilote de village solaire. Aujourd'hui, il poursuit ses expérimentation et espère commercialiser la Haman solarbricks en 2013. *Interview sur la radio RFI, le 21juillet 2012 [http://www.rfi.fr/emission/20120721-invite-mohaman-haman]*

Bibliographie

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Ouvrages

- Gernot Minke, *Building with earth, design and technology of a sustainable architecture*, Ed. Birkhauser, Berlin,2006
- Peter Herrle et Stephanus Schmitz, C*onstructing Identity in Contemporary Architecture : Case Studies from the South*, collection : Habitat international, Ed. Lit Verlag, Berlin, 2010
- Donella.H. Meadows, Dennis Meadows et Jorgens Randers, *Les limites à la croissance (dans un monde fini)*, Ed. Rue de l'échiquier, Paris, 2012
- Sylvie Brunel, *Le développement durable*, collection Que sais-je, Ed. PUF, Paris, 2004
- Marie Hélène Contal et Jana Revedin, *Sustainable Design II – vers une nouvelle éthique de l'architecture et de la ville*, Ed. Actes Sud, Arles, 2011
- Pierre Frey, *Learning From Vernacular – vers une nouvelle architecture vernaculaire*, Actes Sud, Arles, 2010
- Hassan Fathy, *Natural Energy and Vernacular Architecture : principles and examples with reference to Hot Arid Climates*, Ed. University of Chicago, 1986
- Pierre Fernandez et Pierre Lavigne, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques, Fondements et méthodes*, Ed. Le Moniteur, Paris, 2009
- Antoni Folkers, *Modern Architecture in Africa*, Ed. SUN, Amsterdam, 2010
- Esther Giani, *Diébédo Francis Kéré fare architetture in africa*, Collection Interviste pour la 12ème Biennale de Venise, Ed. Fischi editore, 2010
- Savatore Spataro, *Needs : Architecture in developing countries*, Ed. Lettera Ventidue, Siracusa, 2011
- Basile Kéré, *Architecture et cultures constructives au Burkina Faso*, monographie pour le programme de recherches «Architecture et Cultures» du laboratoire CRATerre-EAG sous la direction de Patrice Doat et Hubert Guillaud, Grenoble, mai 1995
- Laetitia Fontaine et Romain Anger, *Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture*, Ed. Belin, Cité des sciences et de l'industrie, Paris, 2009
- Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, Ed. Parenthèses, Marseilles, 2006

- Wyss Urs et Sauret Hugues, *Rapport sur l'indicateur de confort dans la technique de la voûte nubienne*, diffusé sur le site de l'association La Voûte Nubienne en novembre 2007

Conférences

- conférence intitulée «Bridging the Gap» de Diébédo Francis Kéré, le 13 décembre 2012 pour arc en rêve centre d'architecture de Bordeaux.
- vidéo de la conférence donnée par Diébédo Francis Kéré pour la session Design Indaba du 23 au 25 février 2011 au Cap, en Afrique du Sud.
- vidéo de l'intervention du 6 novembre 2009 de Diébédo Francis Kéré, réalisée lors du cycle de formation Ekopolis 2009, «Concevoir et construire durable, du territoire au bâtiment».

Articles

- Entretien réalisé par Philippe Hugron, «Anna Heringer, Tyin, ou l'architecture low tech et la réactivation des traditions», Le courrier de l'architecte, le 10 mars 2010
- Laura Bossi, «School in Dano, Burkina Faso», Domus n°927, 07.08.09, p.66
- Dossier sur Aga Khan Awards 2004, «Learning from the earth», The Architectural Review, n°1295, janvier 2005, p.66
- Marc Armengaud, «L'identité au barycentre du développement durable ?» D'A n°200, mai 2011, p.30
- C. N. Awanou, P. F. Kieno et X. Berger, «Climatisation en pays chauds et secs par toiture diode», Physics Abstracts n°22, juin 1987, p 413
- Jeanette Kunsmann, «Clay-bound utopia», Domus n° 962, octobre 2012

Articles internet

- Joe Osae-Addo, conférence «Technologies locales Inno-native» dans le cadre de l'évènement Perspectives africaines pour TU Delft, le 8 décembre 2007
- Alex Moussa Sawadogo correspondant en Allemagne pour le site Lefaso.net, «Diébédo Francis Kéré : quand l'architecture construit l'avenir», mis en ligne le 16 janvier 2006
- Gwénaëlle Deboutte, «Architecture : Le retour de la terre de Diébédo Francis Kéré», mis en ligne le 4 décembre 2011 sur le site jeuneafrique.com

Sites internet

- Francis Kéré Architecture [http://www.kerearchitecture.com/]
- CRAterre : cultures constructives et développement durable [http://craterre.org/]
- L'association la Voute Nubienne: une architecture adaptée, le plus rapidement possible, et pour le plus grand nombre [http://www.lavoutenubienne.org/]

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

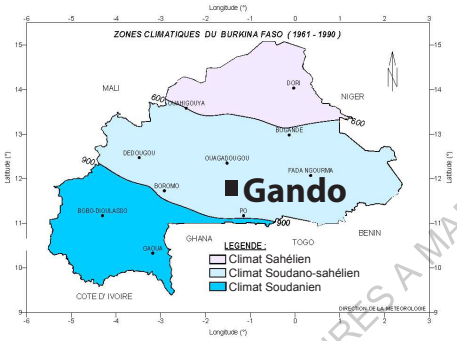
Annexes iconographiques

	Données météorologiques à Gando	**57**
	Les projets de Diébédo Francis Kéré à Gando	**59**
1	L'école primaire	60
2	Les maisons pour professeurs	61
3	L'extension de l'école	62
4	La bibliothèque	63
5	Le collège	64

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

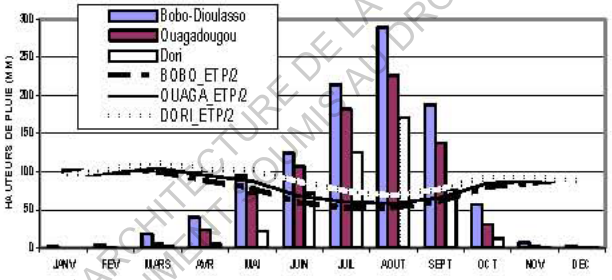
Données météorologiques
à Gando, Burkina Faso

La plupart des données sont enregistrées pour la capitale Ouagadougou. Cela dit, Gando se situe dans la même zone climatique soudano-sahélienne ou subsaharienne. Les données ci dessous réfèrent donc, approximativement à celle qui pourraient être prises à Gando.
Informations tirées du dossier Programme d'action national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques du Burkina Faso, réalisé par le Ministère de l'environnement et du cadre de vie du Burkina Faso, novembre 2007 et publié sur unfccc.int.com

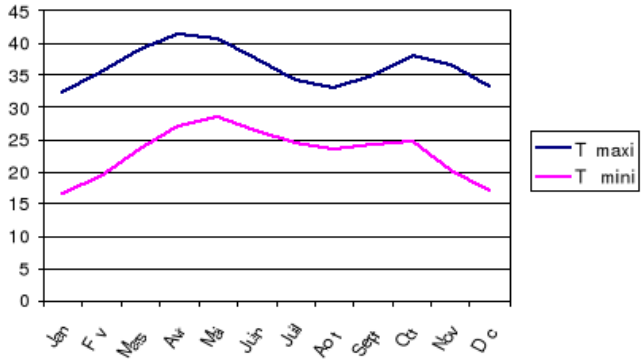


Pluviométrie annuelle	600 à 900 mm
Durée de la saison des pluies (jours)	150
Nombre de jours de pluies	50-70
Température moyenne annuelle	28°C
Amplitude saisonnière	8°C
Humidité moyenne de l'air - Saison sèche - Saison humide	 23% 75%
Evaporation annuelle (bac classe A)	2 600-2 900mm

1. Caractéristiques principales
Tableau tiré des données de la Direction de la Météorologie de 1961 à 1990



2. Evolution annuelle de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle
Graphique adapté des données de la Direction de la Météorologie de 2006



3. Evolution mensuelle des températures à Gando de 1976 à 2005
Graphique adapté des données de la Direction de la Météorologie de 2005

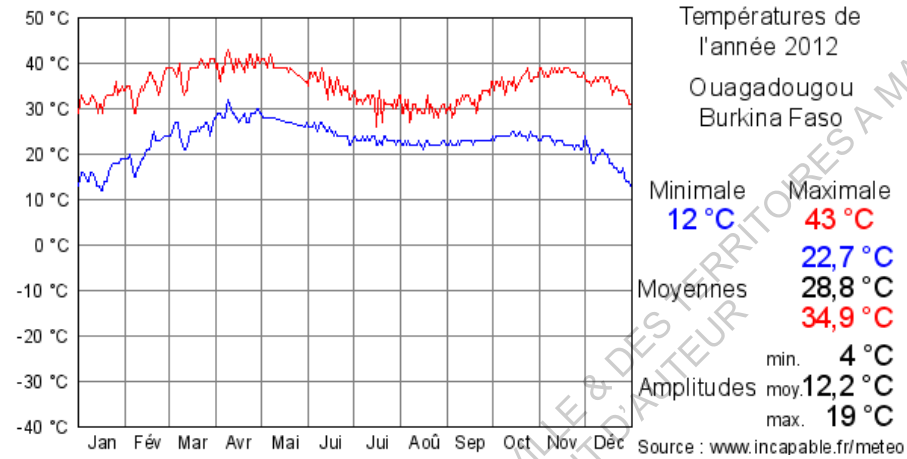
Moyenne des températures pour 2011
Tirées des données du site [www.incapable.fr/meteo]

	MIN.	MAX.	AMP.
Janvier	16°C	33°C	17°C
Mars	23°C	30°C	7°C
Mai	26°C	38°C	12°C
Juillet	23°C	33°C	10°C
Septembre	23°C	32°C	9°C
Décembre	17°C	35°C	18 °C

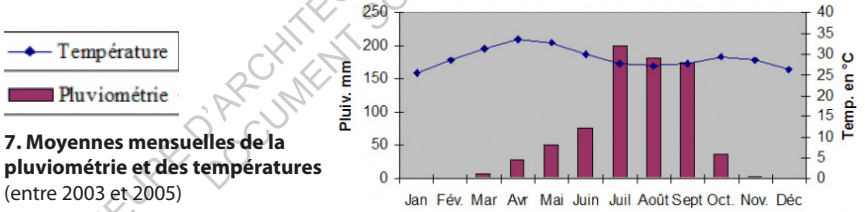
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT ÉLABORÉ AVEC L'AUTEUR
DROIT D'AUTEUR

Mois	Année	Jan	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Moyennes (°C)	27	24	27	30	32	31	29	27	26	26	28	27	25
Précipitations (mm)	7960	0	10	50	220	740	1060	1760	2400	1360	330	20	0

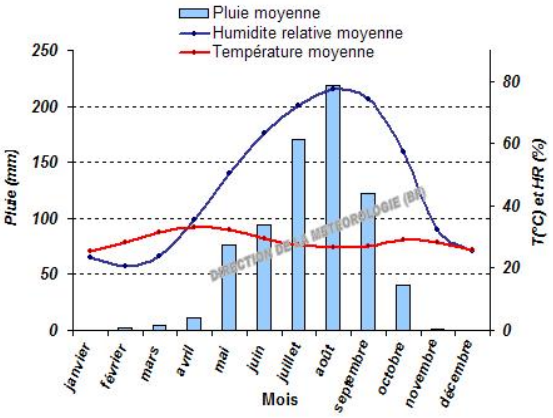
5. Moyennes mensuelles de la pluviométrie et des températures
Tableau extrait du site [http://meteo.visoterra.com/meteo/burkina-faso.html]



6. Moyennes mensuelles des température et amplitude thermique
données prises pour l'année 2012 à Ouagadougou
Visuel tiré du site [www.incapable.fr/meteo]



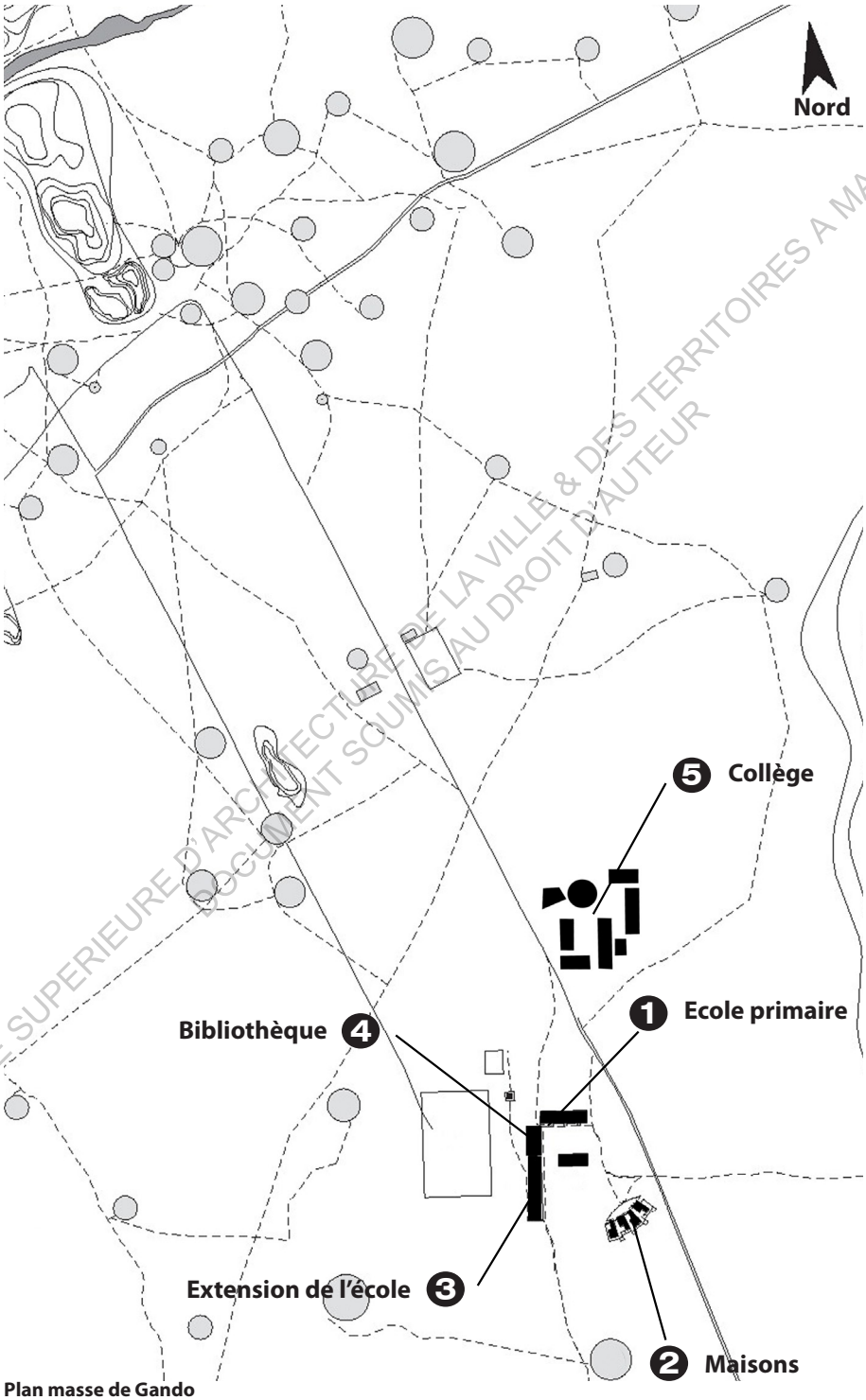
7. Moyennes mensuelles de la pluviométrie et des températures
(entre 2003 et 2005)



8. Moyennes mensuelles de la pluviométrie, de l'humidité relative et des températures
données prises entre 1971 et 2000
Graphique extrait du site météo Burkina Faso [http://www.meteoburkina.bf]l

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Projets de Diébédo Francis Kéré
à Gando, Burkina Faso



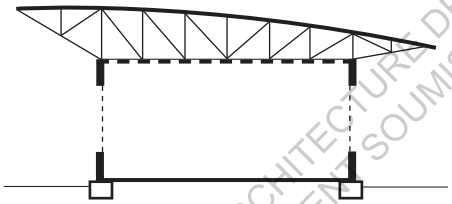
Plan masse de Gando
Réalisé par LP

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

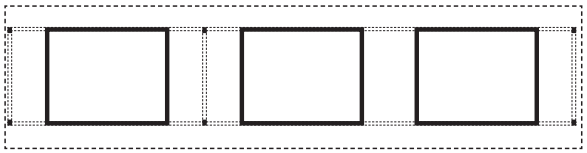
1 Ecole primaire

Livrée en 2001

Photographies issues du site de Diébédo Francis Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]



Coupe schématique
Réalisée par LP



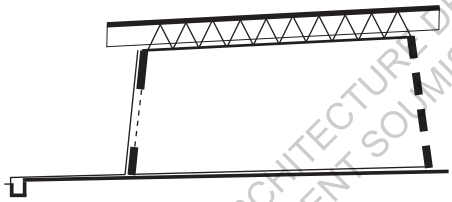
Plan schématique
Réalisé par LP

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

2 Maisons pour professeurs

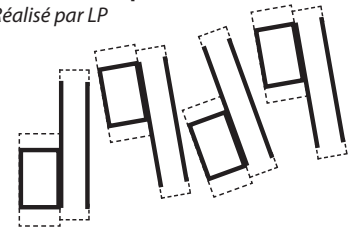
Livrées en 2007

Photographies issues du site de Diébédo Francis Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]



Coupe schématique
Réalisée par LP

Plan schématique
Réalisé par LP

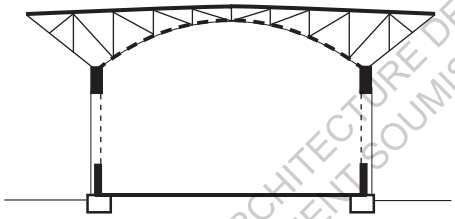


ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES À MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

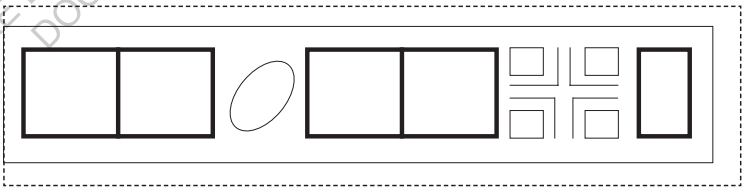
3 Extension de l'école

Livrée en 2008

Photographies issues du site de Diébédo Francis Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]



Coupe schématique
Réalisée par LP

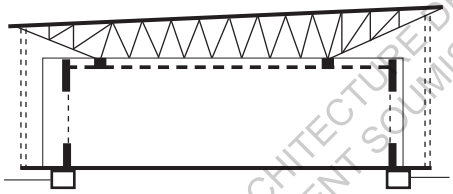


Plan schématique
Réalisé par LP

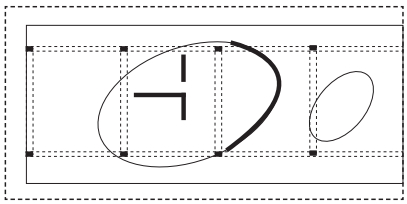
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

4 Bibliothèque
En cours de chantier

Illustrations et photographies issues du site de Diébédo Francis Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]



Coupe schématique
Réalisée par LP

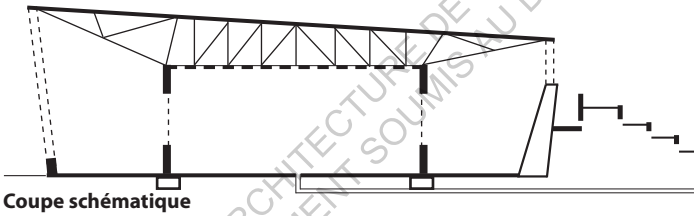


Plan schématique
Réalisé par LP

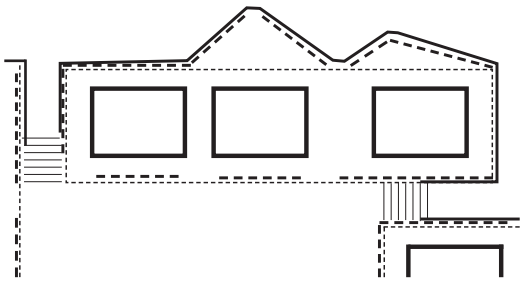
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES À MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

5 Collège
En cours de projet

Illustrations issues du site de Diébédo Francis Kéré [http://www.kerearchitecture.com/]



Coupe schématique
Réalisée par LP



Plan schématique
Réalisé par LP

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES À MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Laure Pédot
Mémoire de master
Janvier 2013

Directeurs de mémoire
Jean-François Blassel
Guillemette Morel-Journel

Résumé

Ce mémoire traite des recherches climatiques de l'architecte Diébédo Francis Kéré dont le parcours atypique se situe à la croisée de deux cultures, entre son village d'origine au Burkina Faso et l'enseignement qu'il a reçu à Berlin. Très engagé dans le développement durable, il se positionne comme un des pionniers de l'architecture bioclimatique africaine. La rigueur du climat tropical sec du Burkina Faso et les contraintes liées au développement économique font de ses projets de véritables défis autour des enjeux énergétiques.
L'objet de cette étude est de démontrer comment Kéré considère le climat comme un allié à travers quatre thématiques principales : la ventilation naturelle, la protection solaire, la gestion des eaux et l'inertie thermique. De plus, l'étude s'articule autour de deux grands axes qui constituent la démarche de l'architecte, l'apport des savoirs occidentaux et l'intégration au contexte local. Kéré s'attache à diffuser des principes climatiques fondamentaux. Chaque projet à Gando met en œuvre un nouveau système pour améliorer le confort thermique.
- le principe de ventilation naturelle grâce au système de la double toiture et par le biais de larges ouvertures en façade
- la volonté de se protéger des rayonnements solaires et de créer des endroits ombragés, grâce à des débords de toiture et des brise-soleils
- la nécessité de maîtriser les eaux pluviales pour protéger la construction mais surtout pour générer de la fraîcheur.
Cela dit, Kéré fonde son architecture sur la valorisation des ressources locales et il porte un réel intérêt à la question de la cohérence des solutions qu'il propose. C'est pour cette raison que sa démarche s'appuie sur les valeurs de l'architecture traditionnelle en terre.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Laure Pédot
Mémoire de master
Janvier 2013

Directeurs de mémoire
Jean-François Blassel
Guillemette Morel-Journel

Summary

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE LA VILLE & DES TERRITOIRES A MARNE-LA-VALLEE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR