

L'architecture bioclimatique

Problématique

L'architecture bioclimatique est l'architecture la plus ancienne : utilisation de matériaux locaux, volonté de se protéger des contraintes climatiques, recours à des systèmes ingénieux pour améliorer le confort, habitations troglodytes ou verna-culaires, etc. La standardisation actuelle tend à éloigner l'architecture de son environnement, mais le retour de tels concepts apparaît inévitable dans des pays confrontés à un manque de moyens et à un problème d'accès à l'énergie ne leur permettant pas de disposer autrement de logements confortables. Ainsi, l'architecture bioclimatique répond en partie à cette problématique par l'intégration de concepts passifs permettant de minimiser le recours à la consommation énergétique (notamment pour la climatisation dans les pays chauds) et l'impact sur l'environnement sans négliger le bien-être de l'occupant.

L'enjeu est de proposer des habitations confortables et économes énergétiquement en utilisant au maximum les ressources disponibles à proximité (ressources matérielles, main-d'œuvre, valeurs culturelles également).

Principes de base

L'architecture bioclimatique en quelques mots

L'architecture bioclimatique utilise le potentiel local (climats, matériaux, main-d'œuvre...) pour recréer un climat intérieur respectant le confort de chacun en s'adaptant aux variations climatologiques du lieu. Elle rétablit l'architecture dans son rapport à l'homme et au climat. C'est pourquoi on ne peut définir une unique typologie de l'architecture bioclimatique : il y en a autant que de climats. Ceci est d'autant plus vrai que le confort de chacun se déplace avec les conditions climatologiques. L'architecture bioclimatique passe donc inévitablement par une excellente connaissance de son environnement.

Les climats chauds

Les climats chauds sont caractérisés par des températures moyennes annuelles comprises entre 20 et 35 °C et se répartissent en deux catégories principales en fonction de

Figure 1 : Rayonnement solaire

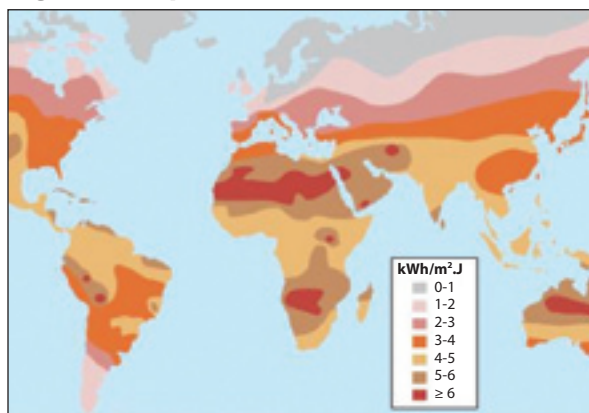
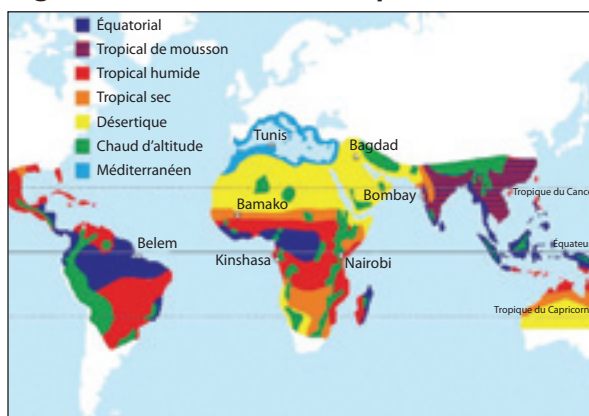


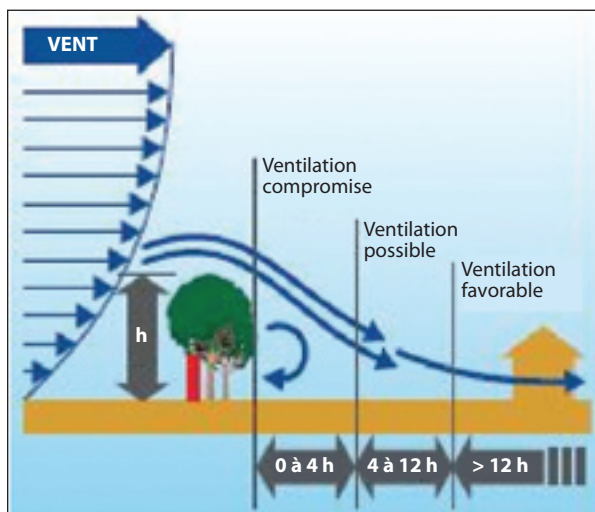
Figure 2 : Les zones climatiques chaudes



l'humidité, qui a un effet conséquent sur la proportion de radiations solaires directes ou diffuses (figures 1 et 2) :

- sec, pour une humidité relative inférieure à 55 % (climats tropical sec, désertique, chaud d'altitude)
- humide, pour une humidité relative supérieure à 55 % (climats équatorial, tropical de mousson, tropical humide, méditerranéen)

Figure 4: Effet d'un obstacle sur le potentiel de ventilation



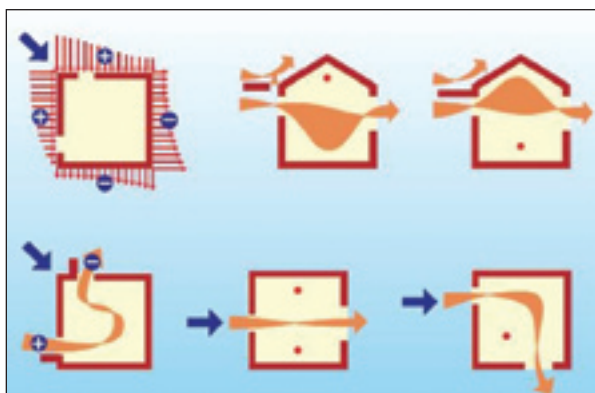
Lorsque c'est un projet de bâtiments collectifs qui est en cours, l'impact de chacun d'entre eux sur les autres est à considérer : il permettra d'évaluer une distance à respecter entre ces derniers et d'optimiser la forme géométrique de chacun.

Comment valoriser les éléments naturels ?

L'orientation d'un bâtiment dépend principalement de l'axe dans lequel souffle le vent et surtout de la nécessité ou non de profiter des apports solaires (c'est-à-dire s'il y a une saison froide). Ainsi, en climats chauds on privilégiera un axe longitudinal Est/Ouest de façon à réduire l'exposition au soleil bas des façades dont il est difficile de se protéger. Malgré tout, on aura tendance à s'écarter de cet axe en climat désertique ou méditerranéen où les apports solaires peuvent être valorisés durant la saison froide, en direct par les vitrages, ou la nuit, en déphasage par l'inertie.

L'orientation est également choisie pour permettre aux vents dominants de pénétrer dans le bâtiment. En effet, la ventilation naturelle est toujours due à une différence de pression, causée par le vent ou par un écart de température : dans ce type de climat, la ventilation est essentielle pour évacuer des locaux la chaleur interne ou les apports solaires (figure 5).

Figure 5: Ventilation naturelle



Quelle forme du bâtiment est à suggérer ?

La compacité est généralement une règle en architecture bioclimatique car elle permet de limiter les surfaces déperditives ou soumises à un éclairage solaire important. On passera outre cette règle en climat désertique où une cour intérieure (totalement ouverte) est souhaitable, l'objectif étant de créer le plus d'ombre possible. Cette disposition est d'autant plus efficace dans le cas de logements groupés (elle peut alors être complétée par la mise en place de nombreuses ruelles).

La forme géométrique à proprement parler peut être pensée urbanistiquement pour permettre la ventilation naturelle d'un ensemble de bâtiment soumis au vent.

Quels matériaux de construction choisir ?

Le choix des matériaux se fait en fonction de ceux qui sont disponibles à proximité. Ils sont particulièrement adaptés au climat et le coût de construction sera limité.

- Les constructions en **Pierre locale** sont ainsi adaptées au climat à forte variation de température journalière.
- Les constructions en **bois** permettront une rapide montée en température du bâtiment particulièrement adaptée aux climats dont l'hiver est très rigoureux (climat de montagne).
- Les constructions en **terre crue ou sable** permettent d'accumuler les fortes radiations solaires et montées en température et ainsi limiter les risques de surchauffe.

En ce qui concerne le choix des isolants, on optera pour des isolant végétaux (laine de chanvre, laine de bois...), voire animaux (laine de mouton). On peut imaginer que si aucun végétal ne pousse dans le milieu d'implantation, c'est qu'il n'est pas indispensable d'isoler le bâtiment (climat chaud et sec)... Rappelons finalement que les produits industrialisés ne valorisent pas la situation socio-économique du lieu de construction, impliquant des importations massives, une réduction de la valeur ajoutée locale et une déqualification des métiers traditionnels.

Comment limiter les variations de température journalière ?

L'inertie thermique d'un bâtiment a pour principale qualité d'amortir les fortes variations thermiques journalières en créant un déphasage. Lors de journées chaudes, l'enveloppe lourde (construction en pierre, mur en terre crue épais) accumule la chaleur, limitant ainsi les risques de surchauffe. Durant la nuit, lorsque la température extérieure diminue, toute la chaleur accumulée durant la journée est transmise à l'intérieur du bâtiment évitant ainsi le recours à un éventuel appoint de chauffage.

La figure 6 illustre la transmission de chaleur de l'extérieur à l'intérieur avec un certain déphasage et amortissement, fonction de l'épaisseur et de la conductivité thermique des

matériaux. Accumulation et déphasage constituent l'inertie thermique. Ces données sont représentées physiquement par la diffusivité et l'effusivité thermique qui expriment la capacité d'un matériau respectivement à transmettre une variation de température et à absorber (ou restituer) un flux thermique instantané. Pour les climats présentant une forte variation de température journalière, on privilégiera des matériaux présentant une faible diffusivité et une forte effusivité. La figure 7 indique la qualité de l'inertie de quelques matériaux pour des épaisseurs usuelles d'utilisation.

Figure 6 : Réaction d'un local aux apports solaires

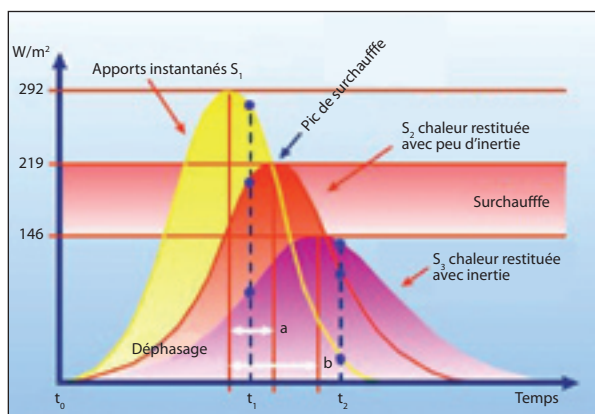
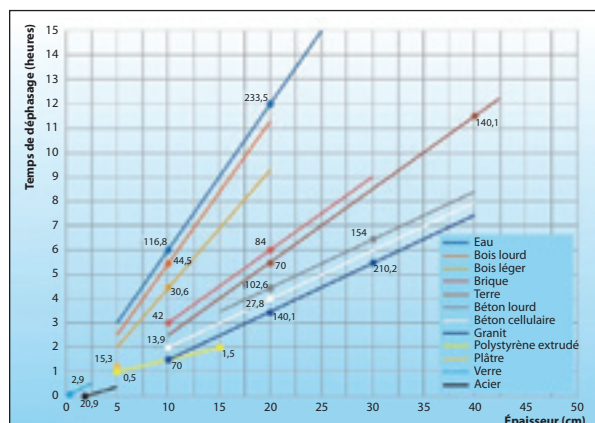


Figure 7 : Temps de déphasage de différents matériaux de construction



L'inertie thermique est complétée par l'isolation extérieure de la toiture, responsable des 2/3 de transfert de chaleur vers l'intérieur.

Comment bien ventiler l'espace intérieur ?

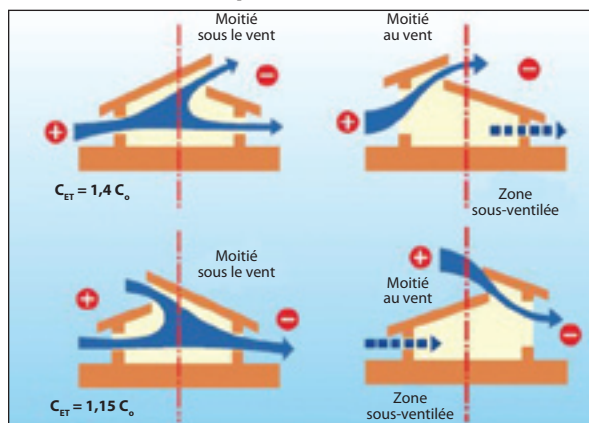
En climat chaud, particulièrement, la ventilation naturelle est le cœur de la conception bioclimatique. Elle permet non seulement de limiter l'utilisation d'un système de ventilation

mécanique pour apporter la juste quantité d'air neuf mais aussi d'éviter le plus souvent le recours à la climatisation. Avant toute chose, il faudra évaluer le potentiel de ventilation, éloigner le bâti des obstacles à l'écoulement, protéger l'abord et l'enveloppe du bâtiment des rayonnements solaires et anticiper l'aménagement intérieur afin de limiter les pertes de charges du courant d'air.

Une conception optimale de la forme et de l'emplacement du bâtiment, d'une part, et du positionnement et de la taille des ouvertures, d'autre part, permettra de créer la différence de pression entre les façades du bâtiment nécessaire à la création du courant d'air. Cette différence de pression est créée soit par l'admission et l'extraction du vent sur deux façades judicieusement orientées, soit par une différence de température entre deux façades (avec ouvertures) soit par une différence de hauteur (effet cheminée).

Il existe différents types d'ouverture qui permettront de renforcer la ventilation par prise et extraction d'air. Les écopés, les percées, les sheds ou tout simplement les fenêtres lorsqu'elles sont bien orientées et dimensionnées (surface aérodynamique) permettent de brasser la totalité de l'air intérieur (figure 8).

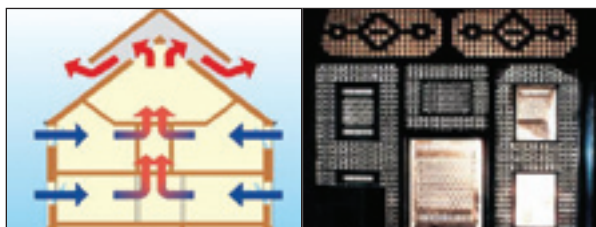
Figure 8 : Influence de l'implantation de l'écope en toiture



La surventilation nocturne couplée à une forte inertie du bâtiment peut s'avérer très efficace lorsque les températures extérieures sont importantes (même la nuit). Cette surventilation peut se faire transversalement ou par effet cheminée (figure 9). Les murs lourds ayant accumulé leur chaleur durant la journée verront leur température diminuer plus vite. Toutes sortes de dispositifs sont envisageables et il serait difficile d'en effectuer un inventaire. Les références bibliographiques permettent d'aller plus loin dans cette démarche.

La porosité à l'air des parois est une alternative lorsque la surface disponible pour disposer des ouvertures est limitée. Ainsi en Égypte, l'utilisation de Moucharabiehs est fréquente (figure 10). Ce dispositif a l'avantage de créer une protection contre les radiations solaires, les intrusions et les insectes tout en permettant la circulation d'air.

**Figure 9 :
Surventilation**



**Figure 10: Maouchara-
biehs d'une maison du
Caire (Égypte)**



La ventilation naturelle en climat sec peut être couplée à une humidification de l'air qui créera une sensation de fraîcheur. Cette dernière peut se faire par la mise en œuvre de fontaines, de jarres humides ou de végétation sur le parcours de l'air. Les tours à vent ou Malqaf (figure 11) utilisées en climat désertique, permettent lorsqu'elles sont bien conçues (forme d'entonnoir, orientées face aux vents dominants) une climatisation naturelle par humidification.

**Figure 11 : Tours à vent dans le Sud Tunisien et
principe de fonctionnement**



CRATerre

Comment limiter les apports solaires ?

Une multitude de protections solaires existe : stores extérieurs verticaux (efficaces quelle que soit l'orientation des radiations), pare-soleil horizontaux (casquette – efficaces pour les façades orientées au midi), réflecteurs (compromis entre protections solaires et éclairage naturel), protections solaires amovibles, double-peau (crée une ventilation par convection le long du mur – figure 13 – par exemple, cour d'appel de Niamey au Niger, Architectes C. et L. Mester de Parajd), végétation, couleur de paroi claire et faible coefficient d'absorption des matériaux.

Leur choix dépendra de l'orientation de la façade à protéger mais aussi de l'intégration avec l'environnement extérieur, les coutumes locales et les usages de l'espace intérieur.

**Figure 12: Facteurs solaires de différentes
protections solaires (vitrage simple)**

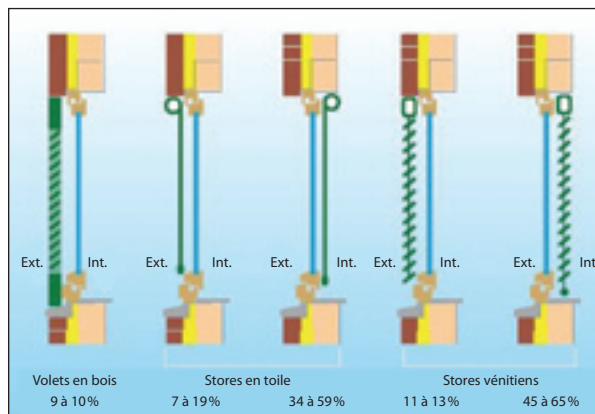
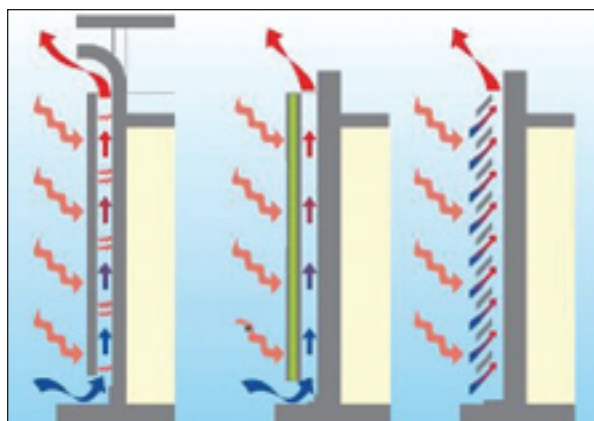


Figure 13: Typologies de pare-soleil verticaux



Ces protections jouent un rôle multiple : elles permettent une meilleure ventilation naturelle et une protection contre la vue, le bruit, l'effraction, les rongeurs, les moustiques et bien entendu le soleil.

Comment organiser les espaces intérieurs ?

La hiérarchisation des espaces assure la transition entre l'extérieur et l'intérieur. Ceci est d'autant plus vrai qu'en climat chaud, un certain nombre d'activités s'effectuent en extérieur (la cuisson, par exemple). Les pièces produisant l'air humide et chaud sont placées au niveau de la façade sous le vent afin que leur volume d'air soit directement rejeté vers l'extérieur sans interagir avec les pièces propres (situées du côté de la façade au vent). Le positionnement du mobilier, le cloisonnement de l'espace et la disposition des pièces devront faciliter l'écoulement de l'air dans la direction souhaitée.

La véranda (terrasse couverte) est un espace inévitable en architecture bioclimatique pour climat chaud, constituant des espaces fortement ventilés, protégés de la pluie et du rayonnement

solaire. Par ailleurs, dans les climats secs, certains espaces offrent une multidisciplinarité : on parle alors de nomadisme à l'intérieur des bâtiments.

Comment se protéger de la pluie ?

Les longs débords de toiture ainsi que les constructions sur pilotis sont largement utilisés en climat humide, soumis à de fortes pluies, voire à des inondations. La construction sur pilotis permet en outre d'augmenter l'état dépressionnaire de la façade sous le vent et donc le potentiel de ventilation naturelle.

Résultats attendus et stratégies de mise en œuvre

L'objectif d'une conception bioclimatique est triple :

- Améliorer les conditions de vie ;
- Limiter l'impact sur l'environnement de la construction, de sa mise en œuvre à sa fin de vie en réduisant un maximum le recours à l'énergie ;
- Valoriser les matériaux et savoir-faire locaux et relancer ainsi l'économie locale.

Les résultats attendus sont difficilement quantifiables économiquement ou énergétiquement car ce n'est qu'au cas par cas que l'on peut les évaluer.

Une architecture bioclimatique permet de se passer ou de limiter toute consommation d'énergie annexe, notamment le recours à la climatisation, à la ventilation mécanique, à l'éclairage artificiel, ceci avec un très faible surcoût à la construction. L'exploitation de l'énergie solaire permet également de chauffer l'eau (systèmes thermiques) ou produire de l'électricité (systèmes photovoltaïques) par exemple pour le pompage d'eau, l'éclairage ou la production de froid pour le stockage de nourriture.

Outre des phénomènes objectifs, c'est toute une série de phénomènes subjectifs que le bioclimatisme apporte. Si c'est une consommation énergétique que l'on économise, c'est une ambiance intérieure, une qualité architecturale, un confort visuel, thermique ou acoustique que l'on valorise.

Cette conception passe par une démarche bien spécifique qui tend à hiérarchiser les recommandations. Carl Mahoney (professeur en architecture et à la base d'un plan d'action de l'architecture bioclimatique dans les pays en développement <http://cma.alphalink.com.au/>) a mis au point un ensemble de tables destinées à récapituler et à analyser les données climatiques, pour formuler et hiérarchiser des recommandations précises liées à un climat. La figure 14 représente la table de Mahoney pour le climat équatorial, à savoir celui de la ville de Belém au Brésil. Ces principales recommandations visent à se protéger efficacement du rayonnement solaire, améliorer la ventilation et abaisser l'humidité relative de l'air.

Figure 14: Table de Mahoney pour la ville de Belém (Brésil)

Indicateur						Recommandations
H1	H2	H3	H4	H5	H6	
						Plan masse 1. Orientation suivant un axe longitudinal E-O 2. Plan compact avec cour intérieure
						Espaces 3. Grands espacements entre les bâtiments 4. Idem avec protection contre le vent 5. Plan compact
						Circulation d'air 6. Circulation d'air permanente 7. Circulation d'air intermittente 8. Circulation d'air inutile
						Ouvertures 9. Grandes ouvertures des façades N et S 10. Très petites ouvertures (10 à 20%) 11. Ouvertures moyennes (20 à 40%)
						Murs 12. Murs légers 13. Murs massifs
						Toitures 14. Toitures légères et isolantes 15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air 16. Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie 17. Protection contre la pluie

Conclusion

L'architecture bioclimatique permet de retrouver les principes de construction d'antan et de les adapter aux progrès effectués en la matière. L'efficacité de tous ces concepts est reconnue et prouvée et permet de proposer des bâtiments exemplaires en termes d'architecture, de confort, d'efficacité énergétique et environnementale. Elle valorise en outre les cultures et traditions locales en dégagant une architecture spécifique à chaque région du monde. Plus que de l'architecture, c'est tout un paysage qui est travaillé car l'intégration optimale des bâtiments par le choix des matériaux ou l'implantation d'un quartier respecte le lieu. Finalement, elle s'inscrit dans un cadre global de développement durable.

Références

Les images sont issues du *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : concevoir, édifier et aménager*.

Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : concevoir, édifier et aménager. André de Herde et Alain Liebard. Éditions Le Moniteur. 2005.

http://www.editionsdumoniteur.com/pages/recsimp/fichliv.asp?PRO_ID=630

Maîtrise de l'énergie dans les établissements de santé des pays en développement : guide technique. Réalisé par la région PACA, le conseil régional des Bouches du Rhône, l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie IEPF, l'Agence intergouvernementale de la francophonie, l'ADEME et le GERES. 2003.

http://www.iepf.org/docs/prisme/Energ_sante.pdf

Étude de cas

Centre de santé de Barkoundouba au Burkina Faso

Raisons du projet

La construction de centres de santé dans les pays en développement constitue un enjeu de taille en raison de conditions sanitaires souvent précaires dues notamment à un manque de moyens et à des conditions climatiques peu propices. Au Burkina Faso, la population est principalement rurale et le manque d'infrastructures sanitaires ne permet pas le soin de l'ensemble de la population : il s'avère qu'un seul centre de soins est disponible pour 100 000 personnes. L'architecture bioclimatique se présente alors comme une solution face à ce problème en permettant la construction de centres de santé ou dispensaires offrant des conditions intérieures saines et confortables. En outre, l'utilisation de matériaux, main-d'œuvre et techniques de construction locaux permet de limiter les coûts de conception et d'exploitation.

L'objectif du projet de développement national burkinabé est d'amorcer un plan de développement de centres de santé ruraux pour proposer à la population locale un accès aux soins. Il apparaît que l'architecture bioclimatique est la réponse à ce défi.

Description

Le projet de construction du centre de santé et de promotion sociale à Barkoundouba a pour but l'accès aux soins pour un millier de personnes sur un rayon de 5 km. Quatre bâtiments sont prévus regroupant un dispensaire, une maternité et deux logements destinés au personnel.

L'objectif du projet est de trouver le meilleur compromis entre confort et coût (de construction et d'exploitation) : compromis qui sera trouvé par simulations dynamiques et étude économique. Les meilleures conditions de confort sont atteintes en adoptant au maximum des concepts de bioclimatisme.

La démarche vise tout d'abord à limiter l'utilisation de matériaux importés et favorise ainsi une construction en bloc de terre compressée de 30 cm d'épaisseur. Cette solution a de multiples impacts :

- Excellente résistance mécanique ;
- Bonne régulation de l'humidité de l'air ;
- Très bonne inertie ;
- Terre disponible et pressée manuellement sur chantier ;
- Limite l'importation de matériaux et le coût de construction.

Un excellent compromis entre confort thermique et visuel est indispensable et souvent difficile à trouver dans ce genre de climat. Une attention toute particulière est portée non seulement sur l'orientation suivant un axe Est/Ouest mais aussi sur la protection des fenêtres : le rayonnement solaire direct est ainsi masqué par des débords de toiture au-dessus des murs Sud et Nord, par un auvent sur la façade Est et un mur claustra en façade Ouest. Les murs ajourés permettent la circulation d'air et offrent une protection solaire.

La toiture est l'élément constructif le plus soumis à l'énergie solaire : sa conception permet de limiter les risques de surchauffe en évacuant la chaleur emmagasinée la journée. Ainsi, un large espace est prévu entre la toiture et le plafond épais qui isole l'intérieur du bâtiment. Cet espace permet une aération naturelle en continu et la toiture permet d'ombrer complètement le plafond.

Le site n'ayant pas accès au réseau d'électricité, les différents bâtiments ne peuvent avoir recours à un système de climatisation traditionnel. L'architecture bioclimatique permet de s'en passer par les différents principes énoncés ci-dessus (protections solaires, conception de la toiture, inertie thermique), mais il est indispensable de sensibiliser le personnel sur le fonctionnement des bâtiments : durant la journée, toutes les fenêtres sont fermées et protégées, durant la nuit, les dispositifs de ventilation naturelle sont adoptés : évacuation de la chaleur emmagasinée par l'inertie par circulation d'air entre les différents ouvrants.

Stratégie de mise en œuvre et financement

Aux vues du constat de la situation sanitaire du pays, le projet a été initié en 1998 et financé intégralement par l'association Barkoundouba dans la Drôme en France. La conception bioclimatique s'est avérée la solution constructive la plus adaptée là où l'accès à l'énergie est difficile et les contraintes climatiques peu favorables au maintien de conditions intérieures confortables. L'association Barkoundouba a donc confié la conception bioclimatique à l'ONG française GERES avec un objectif de surcoût limité à 15 %.

Le programme de Promotion de l'Artisanat au Burkina (PAB) a assuré la coordination de tous les acteurs et le bon déroulement de la mise en œuvre du projet. Le cahier des charges a été établi par du personnel médical

Étude de cas (suite)

du Burkina Faso, le fonctionnement étant assuré par du personnel burkinabé.

Le programme PAB a favorisé l'engagement de petites entreprises locales permettant de valoriser l'économie et les savoirs-faire du pays.

Résultats techniques et financiers

Les résultats techniques de ce projet sont difficilement chiffrables car il n'y a aucune consommation d'énergie. Et c'est là tout l'enjeu : la conception bioclimatique permet d'atteindre des conditions intérieures confortables sans système de ventilation mécanique ou de climatisation.

Les résultats financiers laissent apparaître un coût de 150 €/m² pour un total de 64 200 € qui a été optimisé par une excellente organisation des bâtiments. Le surcoût lié au bioclimatisme est évalué à 15 %. Les résultats semblent tout à fait satisfaisants car le même type de projet a été reproduit à Douma, toujours au Burkina Faso.

Conclusion

Ce projet est une solution pertinente à l'amélioration du cadre de vie d'une population n'ayant pas accès aux mêmes services de santé des pays développés. Il s'avère qu'il est tout à fait possible d'éviter le recours à l'énergie pour satisfaire le confort des occupants.

Malgré tout, on pourrait penser que l'accès à l'électricité et/ou à l'eau chaude sanitaire est une nécessité dans ce type d'établissement. Éviter le recours à des combustibles importés ou à un raccordement au réseau électrique se fait par valorisation de l'énergie solaire, photovoltaïque ou thermique.

Le projet a permis aux acteurs burkinabés d'acquérir une certaine expérience non seulement en architecture bioclimatique mais aussi dans le déroulement de tel projet. De fait, ces derniers possèdent en main toutes les clés nécessaires à la reproduction d'une telle expérience dans la mesure où les financements sont disponibles.

Références

Maîtrise de l'énergie dans les établissements de santé des pays en développement : guide technique réalisé par la région PACA, le conseil régional des Bouches du Rhône, l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie IEPF, l'agence intergouvernementale de la francophonie, l'ADEME et le GERES.

http://www.iepf.org/docs/prisme/Energ_sante.pdf

Dispensaires – « Soigner et se soigner dans le confort d'une architecture bioclimatique ». BARKOUNDOUBA ET DOUMA, 2003.

http://162.23.39.120/dezaweb/ressources/resource_fr_23960.pdf



Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie
IEPF

L'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) est un organe subsidiaire de l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF). Il est né en 1988 de la volonté des chefs d'État et de gouvernement des pays francophones de conduire une action concertée visant le développement du secteur de l'énergie dans les pays membres. En 1996, cette action a été élargie à l'Environnement. Basé à Québec (Canada), l'Institut a aujourd'hui pour mission de contribuer au renforcement des capacités nationales et au développement de partenariats dans les domaines de l'énergie et de l'environnement.

Institut de l'énergie et de l'environnement
de la Francophonie (IEPF)
56, rue Saint-Pierre, 3^e étage
Québec (QC) G1K 4A1 Canada
Téléphone : (1 418) 692 5727
Télécopie : (1 418) 692 5644
Courriel : iepf@iepf.org
Site Web : www.iepf.org



Imprimé avec des encres végétales sur du papier dépourvu d'acide et de chlore et contenant 50 % de matières recyclées dont 15 % de matières post-consommation.

Imprimé en janvier 2008

Les fiches techniques PRISME (Programme International de Soutien à la Maîtrise de l'Énergie) sont publiées par l'IEPF.

Directeur de la publication :

Fatimata DIA Touré, directrice, IEPF

Comité éditorial :

Sibi Bonfils, directeur adjoint, IEPF

Jean-Pierre Ndoutoum, responsable de programme, IEPF

Supervision scientifique et technique :

Maryse Labriet, Environnement Énergie Consultants

Rédaction :

Frédery Lavoye en collaboration avec André De Herde,

Cellule de recherche « Architecture et Climat »,

Université Catholique de Louvain, Belgique

fredery.lavoye@gmail.com

Édition et réalisation graphique :

Communications Science-Impact