



ARCHITECTURE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

DIX CAS DE BONNES PRATIQUES AU MAROC



ÉDITION NOVEMBRE 2016

RÉSUMÉ

Ce catalogue met en valeur des cas pertinents de bâtiments prenant en considération les meilleures pratiques en termes d'efficacité énergétique et d'intégration des énergies renouvelables. Il reflète ainsi la capacité et l'ingéniosité des praticiens du bâtiment au Maroc à explorer différents moyens et systèmes passifs pour concevoir et mettre en œuvre l'architecture bioclimatique. En effet, il est basé sur la contextualisation de l'énergie dans les bâtiments par rapport aux conditions environnementales spécifiques du Maroc, ce qui lui confère un caractère innovant. Son processus d'élaboration a adopté une méthodologie scientifique définissant les variables et les critères essentiels pour évaluer ou concevoir un bâtiment conforme aux réglementations et normes énergétiques. En outre, ce catalogue permet de circonscrire et de comprendre les avantages et les inconvénients inhérents aux aspects énergétiques dans le bâtiment. Il peut être également déployé comme un manuel technique au service des architectes, des ingénieurs, des étudiants et des constructeurs intéressés par l'optimisation de la consommation énergétique et l'amélioration du confort thermique de leurs projets de bâtiments tout en respectant la réglementation thermique nationale. Ainsi, à travers la diversité des bâtiments pilotes qu'il relate, ce catalogue contribuera sûrement à une meilleure dissémination des techniques d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans la conception et la construction des bâtiments.

ABSTRACT

This catalogue presents a fieldwork on renewable energies and energy-efficiency in buildings in Morocco. It showcases some key practices that reflect relevant solutions related to energy-efficiency and bioclimatic architecture. Moreover, the innovative side of this catalogue is that it contextualizes the issue of energy in buildings in the specific Moroccan environment. This is achieved through a scientific methodology that set key variables and criteria, which are essential to evaluate or conceive a building according to energy regulations and norms in order to reach a national passive-thermal standard. In addition, this catalogue is a gauge to understand strengths and weaknesses of this energy area. Being designed as a guide, this catalogue can be considered as a technical manual for architects, engineers, students and builders, who are keen to apply techniques of renewable energies or energy-efficiency and abide by the concurrent national energy rules and regulations in their projects. These pinpointed cases of practices would incite the exploration and use of energy-efficiency and renewable energies techniques in designing and constructing buildings.



ARCHITECTURE
ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
DIX CAS DE BONNES PRATIQUES AU MAROC



REMERCIEMENTS

NOS VIFS REMERCIEMENTS À TOUTES LES PERSONNES QUI ONT CONTRIBUÉ À LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL

- **M. Philippe SIMONIS**, Coordinateur du Secteur Energie de la GIZ au Maroc et Conseiller Technique Principal du Projet Initiative Allemande pour les Technologies favorables au Climat.
- **Mme Fatiha ELMAHDAOUI**, Conseillère Technique Sénior chargée de la composante «Recherche » du Projet Initiative Allemande pour les Technologies favorables au Climat.
- **M. Michael Grausam**, Architecte, Consultant/Expert, Allemagne.
- **Mme Lamia KADIRI**, Architecte, Fondation Al Omrane pour la qualité et le développement durable, Groupe Al Omrane, Rabat.
- **Mme Bahaa BENOUAHOUD**, Chargée de l'Entité Développement Durable, Fondation Al Omrane pour la qualité et le développement durable, Groupe Al Omrane, Rabat.
- **M. Reda MAHMAJ**, Chef de Projets – Al Omrane Nador.
- **M. Nabil Boumert**, Chef de Projets – Al Omrane Tamansort, Marrakech.
- **M. EL HARCH**, Chef de Projets – Al Omrane Meknès.
- **Pr. Brahim BENHAMOU**, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences, Marrakech.
- **Pr. Amin BENNOUNA**, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences, Marrakech.
- **M. Elie MOUYAL**, Architecte DPLG, AEM, Marrakech.
- **M. Lahoussaine EL BAHA**, Responsable de la Formation à la FIMME, Membre du Directoire de "IFMERE SA", Institut de Formation aux Métiers des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique.
- **M. Fouad AKALAY**, Architecte, DG Archi Media, Casablanca.
- **M. Zakaria SADIK**, Ingénieur, Président de Morocco Green Building Council, DG Associé de ALTO EKO, Casablanca.
- **M. Rachid NAANANI**, PDG Groupe Oro Brique, Président du Cluster EMC, Settat-Berchid.
- **Mme Myriam SOUSSAN** et **M. Laurent MOULIN**, Architectes, Archibionik, Rabat et Essaouira.
- **Mme Samiya Kaouachi**, Présidente de l'Association Assafae à Oujda.
- **M. Hicham Ben Abderrahman Ezzine** et **M. Alpha Sanoussy Diallo**, étudiants à l'Ecole Nationale d'Architecture, Rabat.



PRÉFACE

Avec 28% de la consommation d'énergie finale au niveau mondial, le secteur du bâtiment est le second secteur économique consommateur d'énergie après le transport. Au Maroc, ce secteur représente 25% de la consommation énergétique totale du pays, dont 18% pour le résidentiel et 7% pour le tertiaire. En outre, la consommation énergétique de ce secteur connaît une croissance soutenue en phase avec l'évolution rapide du parc d'habitation. Le secteur du bâtiment représente dès lors un potentiel conséquent en termes de rationalisation de la consommation énergétique et par conséquent un gisement important de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le Maroc a adopté une réglementation thermique des constructions en 2014 qui a pour objectif d'inscrire progressivement le secteur du bâtiment sur la voie de la sobriété énergétique tout en mettant l'accent sur le confort thermique des usagers des bâtiments. Cette réglementation est un pas important franchi par le Maroc qui dénote de sa volonté de renforcer la cohérence entre sa stratégie des énergies renouvelables et sa politique d'efficacité énergétique, deux piliers majeurs de sa Contribution Nationale Déterminée (NDC) qui représente ses engagements en matière de lutte contre les changements climatiques.

En parallèle, plusieurs initiatives publiques et privées ont vu le jour ces dernières années, mettant en exergue, à travers des projets à la fois innovants, efficaces énergétiquement, confortables et esthétiques, des bonnes pratiques du recours à des éléments, systèmes et techniques de construction adaptés à la diversité climatique et des usages au Maroc.

Ainsi, à l'occasion de la 2ème conférence des parties à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, organisée à Marrakech du 7 au 18 novembre 2016, l'Ecole Nationale d'Architecture (ENA) avec le soutien de la Coopération Allemande (Initiative Allemande pour les Technologies favorables au Climat – DKTI / GIZ), a procédé à l'élaboration et à l'édition de ce catalogue de cas pilotes d'intégration de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans le bâtiment au Maroc. Ce document a pour objectif principal de diffuser les bonnes pratiques recensées ainsi que les enseignements tirés par les porteurs de ces projets. L'objectif ultime est de créer un espace de communication et d'échange entre les professionnels et les usagers des bâtiments permettant de relever les meilleures approches et techniques pour des bâtiments à la fois sobres en énergie et où il fait bon vivre. Cette première édition ne prétend nullement à l'exhaustivité. Elle a donné la priorité à la diversité des cas présentés tout en prenant en considération la disponibilité de la documentation permettant de les caractériser.

A travers ce document, nous souhaitons adresser tous nos remerciements aux auteurs pour leur rigueur d'analyse et leur sens de la synthèse, et aussi à tous les porteurs de projets qui ont bien voulu communiquer les données nécessaires à son élaboration.



Dr. HASSAN RADOINE
DIRECTEUR DE L'ECOLE
NATIONALE D'ARCHITECTURE
RABAT



M. PHILIPPE SIMONIS
COORDINATEUR DU SECTEUR
ENERGIE DE LA GIZ/MAROC



SOMMAIRE

RÉSUMÉ / ABSTRACT REMERCIEMENTS PRÉFACE

INTRODUCTION

Contexte de l'étude

Approche méthodologique et outils d'investigation

12 CHAPITRE 01

ARCHITECTURE, ENERGIE ET CLIMAT

14 L'objet « énergie » en relation avec l'architecture

15 Le concept et les bases de l'architecture bioclimatique

19 La stratégie du chaud, la stratégie du froid

19 Synthèse des principes de l'architecture bioclimatique

20 CHAPITRE 02

CADRE RÉGLEMENTAIRE DE L'EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE ET DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTIMENT AU MAROC

22 Lois sur l'Efficacité Energétique et les Energies Renouvelables

22 Réglementation Thermique des Constructions au Maroc

24 CHAPITRE 03

DIX CAS PILOTES D'INTÉGRATION DE L'EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE ET DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTIMENT AU MAROC

30 Dar AMYS, Villa haut standing

40 Villas pour les chercheurs de l'Université Mohammed VI

52 Maison Marocaine Moderne Nassim

58 Immeubles logements sociaux R+5, Opération Jacaranda

68 Maison des architectes

76 Centre de Documentation et d'Information, Lycée Descartes

84 Petit Hôtel Mobilier de 5 chambres

92 Immeubles logements sociaux R+4, Opération Al Ouroud II

100 Immeubles logements sociaux R+3, Opération Al Karama

108 Institut de Formation aux Métiers des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique, IFMEREUE Oujda

116 CONCLUSION GÉNÉRALE LES AUTEURS



ARCHITECTURE
ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

DIX CAS DE BONNES PRATIQUES AU MAROC



AVANT PROPOS

L'Ecole Nationale d'Architecture (ENA) de Rabat par sa vocation de formation, d'expertise et de recherche, a d'ores et déjà inscrit dans ses programmes d'enseignement, de formation et de recherche, les questions relatives à l'architecture bioclimatique, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. Dans cette optique, l'ENA avec le soutien de la coopération allemande (Projet Initiative Allemande pour les technologies favorables au Climat de la GIZ) au Maroc a procédé à l'élaboration d'un Catalogue de cas pilotes d'intégration des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment au Maroc.

INTRODUCTION

01 CONTEXTE

De part sa forte consommation énergétique, supérieure au tiers de la consommation nationale en énergie finale, le secteur du bâtiment au Maroc représente un gisement conséquent d'économie d'énergie par des mesures d'efficacité énergétique. Une réglementation thermique des constructions (RTCM) a été adoptée en 2014. De même, le secteur du bâtiment représente un potentiel important d'intégration des énergies renouvelables en lien avec la stratégie énergétique du Maroc qui ambitionne de porter la part des énergies renouvelables en termes de capacité installée à 52% et d'atteindre 15% d'économie d'énergie par des mesures d'efficacité énergétique à l'horizon 2030.

Cette stratégie concourt à la réalisation des engagements climatiques du Maroc qui prônent une contribution effective aux efforts de la communauté internationale de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) à travers une transition vers un développement sobre en carbone et résilient au changement climatique. En effet, la Contribution Déterminée au niveau National (NDC) du Maroc prévoit une réduction des émissions de GES de 42% à l'horizon 2030 par rapport au scénario Business As Usual (BAU). Tous les secteurs d'activités de haute consommation énergétique, y compris le bâtiment, sont concernés par cette réduction des émissions de GES selon leur potentiel de verdissement.

Pour le secteur du bâtiment, qui représente à lui seule 25 % de la consommation nationale en énergie, il s'agit de réduire au maximum les besoins d'énergie en assurant une isolation appropriée des bâtiments et en recourant le plus possible aux énergies renouvelables pour subvenir aux besoins énergétiques résiduels. L'association de l'architecture et de l'énergie a été toujours un élément central pour la soutenabilité d'un bâtiment, d'un quartier, d'une ville et même d'un territoire.

Le Maroc par sa diversité géographique et climatique représente un exemple pertinent en matière de pratiques empiriques d'adaptation de son cadre bâti à ses différents milieux naturels. En conséquence, les architectures vernaculaires ou traditionnelles, comme les ksour et les maisons traditionnelles type médina, ont toujours répondu à certains enjeux environnementaux en composant parfaitement avec les différents climats : humide, subhumide, semi aride, aride et désertique. Ces architectures sont qualifiées de constructions durables utilisant :



- Les matériaux locaux thermorégulants comme la terre, la pierre et le bois .
- Des murs épais et des toitures terrasses massives créant de l'inertie et du confort à l'intérieur.
- Des ambiances conçues bien ventilées et évitant les surchauffes liées aux apports solaires.
- Des formes architecturales compactes dans des tissus anciens également compacts.

Ce sont des exemples, parmi d'autres qui montrent que le Maroc a hérité d'un savoir faire ancestral, qu'il faudrait explorer pour promouvoir aujourd'hui les questions de durabilité et de soutenabilité afin d'orienter son mode de production architecturale. La problématique des corrélations entre architecture et énergie est une question d'actualité, elle se décline selon les questions suivantes :

1. Les aspects sociaux et culturels sont-ils importants dans les décisions de la gestion d'énergie relatives aux bâtiments ?
2. Les nouveaux moyens techniques d'efficacité énergétique appliqués à la construction sont-ils bien développés et orientés ?
3. L'économie d'énergie dans les bâtiments est-elle liée à la pratique des architectes et/ou aux ingénieurs spécialisés dans la thermique et l'énergétique ?
4. Comment l'architecture peut-elle contribuer à la réflexion sur la transition énergétique ?
5. Les usagers sont-ils sensibilisés à l'efficacité énergétique, aux énergies renouvelables et à la réglementation thermique dans leur bâtiment ?

Cette problématique est un défi pour les pratiques architecturales et urbaines, qui au cours des 20 dernières années, ont évolué rapidement pour tenir compte des principes associés au développement durable. D'où la nécessité de trouver de nouvelles façons de concevoir et d'aménager l'espace qui cherchent à réduire la consommation énergétique, à limiter les émissions du CO₂, à améliorer le confort des usagers, à proposer des modes de développement plus respectueux de l'environnement et à offrir des solutions durables aux problèmes urbains et ruraux.





S'inscrivant dans le cadre de la stratégie énergétique nationale, plusieurs actions ont été initiées, y compris sur le plan institutionnels et juridiques, dont on peut citer :

- La Loi n°47-09 relative à l'efficacité énergétique.
- La Loi n°13-09 relative aux énergies renouvelables.
- La Loi n°58-15 modifiant et complétant la Loi n° 13-09 relative aux énergies renouvelables.
- Le Code de l'Efficacité Energétique dans le Bâtiment (CEEB), dont notamment la Réglementation Thermique de construction au Maroc (RTCM) fixant les règles de performance énergétique des constructions et instituant le Comité National de l'Efficacité Energétique dans le Bâtiment.
- Le guide des bonnes pratiques pour la maîtrise de l'énergie à l'échelle de la ville et de l'habitat initié par le Département de l'Habitat et de l'Urbanisme.
- La mise en place du contrat programme Etat - Opérateurs Immobiliers, visant la production d'un habitat à faible consommation énergétique.
- L'initiation, en partenariat avec le Ministère de l'Energie des Mines, de l'Eau et de l'Environnement et le Holding d'aménagement Al Omrane, de l'étude d'impact énergétique pour la ville nouvelle Lakhyayta en tant que projet pilote.

Nous pouvons donc avancer que c'est dans le bâtiment que les attentes sont grandes, à la fois au niveau du recours à l'architecture passive, l'architecture solaire et l'architecture bioclimatique que l'adoption de l'efficacité énergétique active.

Au Maroc, le concept de bâtiment moderne qui intègre les principes de sobriété énergétique commence à émerger à travers une multitude d'initiatives publiques et privées. Il est appelé à se développer progressivement avec l'entrée en vigueur de la RTCM et aussi grâce à une prise de conscience croissante de sa pertinence en termes de confort et d'économie.

S'inscrivant dans une démarche pédagogique se basant sur la pratique et la démonstration à travers des cas réels, l'ENA a élaboré un catalogue qui relate des cas pertinents de bâtiments prenant en considération les meilleures pratiques en termes d'efficacité énergétique et d'intégration des énergies renouvelables, confrontées au contexte national avec sa diversité climatique.

Ainsi l'élaboration de ce catalogue a pour objectifs :

- Mettre en avant les avantages comparatifs à court, moyen et long termes des bâtiments sobres en énergie dans le contexte marocain.
- Recenser et documenter les cas pilotes les plus pertinents.
- Offrir aux élèves architectes et aux professionnels pour enseignement et inspiration une compilation de références nationales en la matière.
- Permettre aux porteurs de projets innovants de communiquer sur leurs projets, les techniques utilisées, les défis et challenge rencontrés et les leçons tirées.

Pour des raisons de clarté, ce catalogue est organisé comme suit :

- La première partie est consacrée à la dimension architecturale et technique en établissant des relations entre le bioclimatisme, l'architecture, le confort thermique, le climat et l'énergie.
- La deuxième partie présente le cadre réglementaire au Maroc de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et de la réglementation thermique dans le bâtiment.
- La troisième partie expose une sélection de cas pilotes d'intégration des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment au Maroc.







02 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ET OUTILS D'INVESTIGATION

I MÉTHODE D'APPROCHE

L'enjeu principal dans l'élaboration d'un Catalogue de cas pilotes d'intégration des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le bâtiment au Maroc, n'est pas seulement d'avoir des modèles référentiels avec de bonnes pratiques. Encore faut-il adopter une méthodologie cohérente susceptible d'atteindre correctement les objectifs escomptés.

L'approche méthodologique s'avère le point crucial de tout le processus d'élaboration et c'est pourquoi, il convient d'y prêter la plus grande attention.

A partir des objectifs spécifiques de l'élaboration de ce catalogue visant l'encouragement de l'utilisation des techniques d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans le bâtiment, l'approche méthodologique de par son contenu et la portée de ses investigations, nous pousse à adopter d'abord une approche contextuelle à travers l'analyse de l'existant en terme de documents, études et données disponibles à cet effet, l'analyse également des entretiens avec des personnes ressources et des acteurs institutionnels et professionnels. Cette approche contextuelle est de nature à nous amener à analyser quelques bâtiments, selon la disponibilité d'informations et de données, et mettre en évidence les ressources, les dysfonctionnements et les carences sur les plans Réglementaire (normes, réglementations, lois), Conceptuel (urbanisme et architecture) et Technique (matériaux et procédés de construction, équipements énergétiques).

L'étude, en s'appuyant sur l'analyse contextuelle, adopte ensuite une approche analytique utilisant trois entrées pour analyser et mesurer l'efficacité et l'efficience de ces cas pilotes : L'aspect énergétique par type de bâtiment résidentiel (habitat individuel et collectif, habitat social et économique, moyen et haut standing) et tertiaire, est analysé pour un échantillon de bâtiments réalisés en tenant compte de critères tels que le climat, la singularité du bâtiment, sa conception, son usage et la disponibilité d'informations. Grâce à des analyses qualitative, bioclimatique, énergétique et à des simulations numériques, l'étude est en mesure de réaliser une première approche du confort bilan énergétique, de déterminer l'impact des consommations énergétiques sur l'environnement, et d'analyser ces bâtiments à différentes échelles : conception (urbaine et architecture : aménagements, dispositions, type de bâtiment et usage, ...); technique (matériaux de construction : isolation,...); équipement (chauffage, climatisation, ECS, ...); gestion (gestion et performance énergétique,...).

I ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT EN TERMES DES ASPECTS SUIVANTS

- Orientation
- Forme et compacité
- Ouvertures
- Matériaux, peau, revêtement et albédo
- Inertie thermique
- Isolation thermique de l'enveloppe (murs, toiture, vitrage)

I AMBIANCE INTÉRIEURE

- Usage
- Confort thermique

I ENERGIE

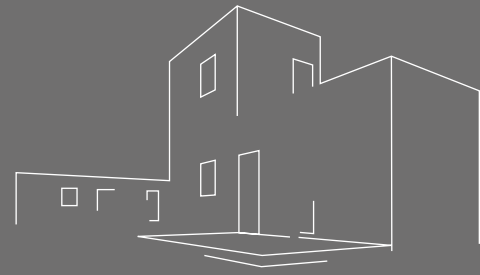
- Énergie renouvelable (solaire, thermique, photovoltaïque,...)
- Gestion et performance énergétique selon la réglementation en vigueur

CHAPITRE) |

ARCHITECTURE, ENERGIE ET CLIMAT







L'OBJET « ÉNERGIE » EN RELATION AVEC L'ARCHITECTURE

Actuellement, l'évolution des techniques de construction a permis de concevoir des espaces de plus en plus large ; ce qui a engendré la nécessité d'intégrer la composante du confort thermique dans tout le processus de conception architecturale. Allant des techniques énergétiques passives comme la convection, la conduction, l'évaporation et le rayonnement, la conception architecturale permet de proposer des solutions aux exigences de régulation thermique à travers des moyens naturels.

En effet, le confort thermique doit être l'objectif principal de toute conception architecturale et ce, en explorant les différentes composantes du bâtiment : la forme de l'enveloppe, la qualité thermique des matériaux, la lumière naturelle et les modes d'éclairage, de chauffage, de ventilation, d'articulation spatiale, d'orientation des ouvertures, etc.

Pour ce faire, tous les potentiels existants dans le site, la composition spatiale et le mode de construction doivent être explorés d'une manière intrinsèque de la conception à la réalisation. L'architecte a donc une responsabilité à protéger les milieux naturels et les écosystèmes, et ne peut continuer à suivre la démarche esthétique classique de genèse de formes fantaisistes qui incitent le gaspillage des ressources.

Cette dimension d'intégration des mesures énergétiques dans la démarche architecturale a fait l'objet de plusieurs recherches et a suscité l'intérêt de plusieurs architectes praticiens. A titre d'exemple nous citons quelques témoignages.

Roberto Gonzalo et Karl J. Habermann, dans *Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de construction*, a déclaré : **« Ces bâtiments doivent satisfaire à des exigences énergétiques très complexes... Nous devons nous soucier en même temps de la température, du degré d'hygrométrie, de l'éclairage, des dispositifs de protection solaire et de la qualité de la mise en valeur des pièces ».**

Hassan Fathy, dans *Natural Energy & Vernacular Architecture*, a évoqué l'importance de l'architecture traditionnelle et l'architecture vernaculaire pour générer des solutions énergétiques naturelles dans la conception architecturale contemporaine.

Luis Fernandez-Galiano, dans son ouvrage *Fire and Memory on Architecture and Energy*, a reconstruit la relation historique et théorique entre l'architecture et l'énergie, en préconisant une architecture passive, bioclimatique, organique, en représentant

le côté optimiste de la thermodynamique.

Reyner Banham, dans *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, a défini trois principaux modes de contrôle climatique : le mode conservatif qui utilise les matériaux et qui convient à la plupart des climats sec, chaud ou froid ; le mode sélectif qui agit sur les éléments architecturaux permettant de procurer l'air frais et évacuer de l'air vicié des espaces intérieurs humides ; et le mode génératif qui utilise les équipements pour la maîtrise énergétique des ambiances.

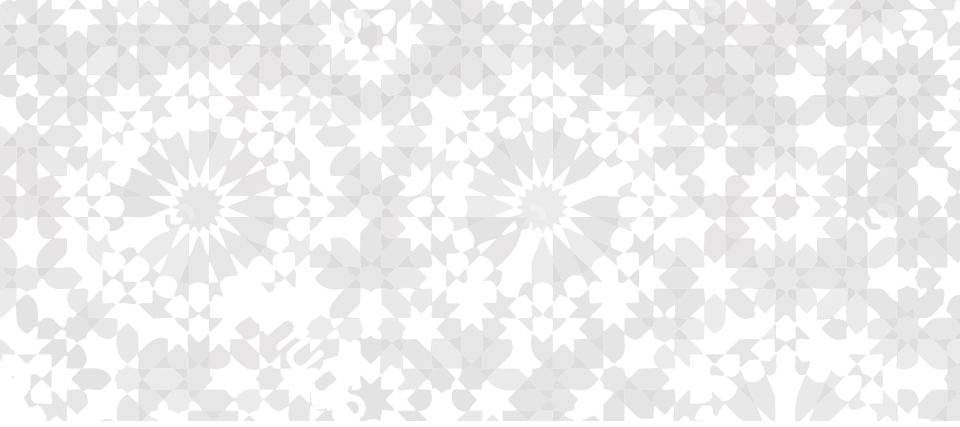
En plus de ces témoignages, les recherches concernant l'énergie renouvelable et surtout l'énergie solaire sont développées dès le début de XXe siècle. Le concept de l'architecture solaire a été ainsi introduit par les américains en faisant la distinction entre l'architecture active (ou l'architecture solarisée) et l'architecture passive (ou l'architecture bioclimatique).

Pour le secteur du bâtiment objet de cette étude et selon la réglementation en vigueur : **« Le Maroc s'est fixé des objectifs d'économie d'énergie primaire à travers la mise en place d'un plan d'efficacité énergétique dans les différents secteurs économiques. Parmi ces secteurs, le bâtiment qui constitue le premier consommateur d'énergie avec une part importante de la consommation énergétique totale du pays ».**

Aujourd'hui, la mise en œuvre du règlement général de construction fixant les règles de performance énergétique s'avère une priorité économique et sociale au regard de la croissance de la demande énergétique et de la facture considérable. La problématique énergie/environnement devrait conduire à entamer une transition vers une utilisation optimale de l'énergie dans l'exploitation des bâtiments en ayant recours aux méthodes du design climatique urbain, aux principes de l'architecture bioclimatique, aux énergies renouvelables et aux pratiques les plus appropriées et les plus propices aux économies d'énergie.

Parmi les objectifs du design climatique urbain dans tout aménagement urbain, d'une part, et ceux de l'architecture bioclimatique à l'échelle du bâtiment, on peut citer :

- L'amélioration du confort des espaces urbains qui permet également d'améliorer le confort à l'intérieur des logements.
- La diminution de la consommation d'énergie, notamment l'optimisation des besoins énergétiques en matière de chauffage pendant l'hiver et de refroidissement pendant l'été.
- La réduction des émissions carbone.



LE CONCEPT ET LES BASES DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Les consommations d'énergie peuvent être diminuées tout en augmentant le confort thermique, et ceci grâce à une conception architecturale adaptée au climat et tenant compte de l'orientation et surtout par l'isolation thermique. Ainsi, des concepts réapparaissent de nouveau dans le vocabulaire architectural : «architecture bioclimatique», «solaire passive» ou «architecture climatique» ou tout simplement une conception consciente de l'énergie prenant en considération les mécanismes du confort et l'économie d'énergie.

Dans ce qui suit, différents aspects de l'architecture bioclimatique seront présentés pour une bonne compréhension, et une prise de conscience des mesures et des solutions existantes et innovantes, permettant d'allier architecture, énergie, climat et environnement.

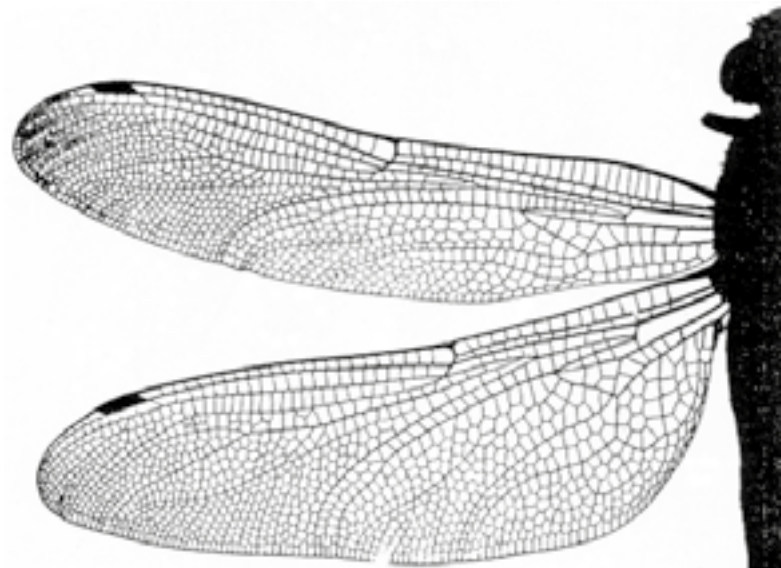
LA CONCEPTION ARCHITECTURALE SOLAIRE PASSIVE OU BIOCLIMATIQUE

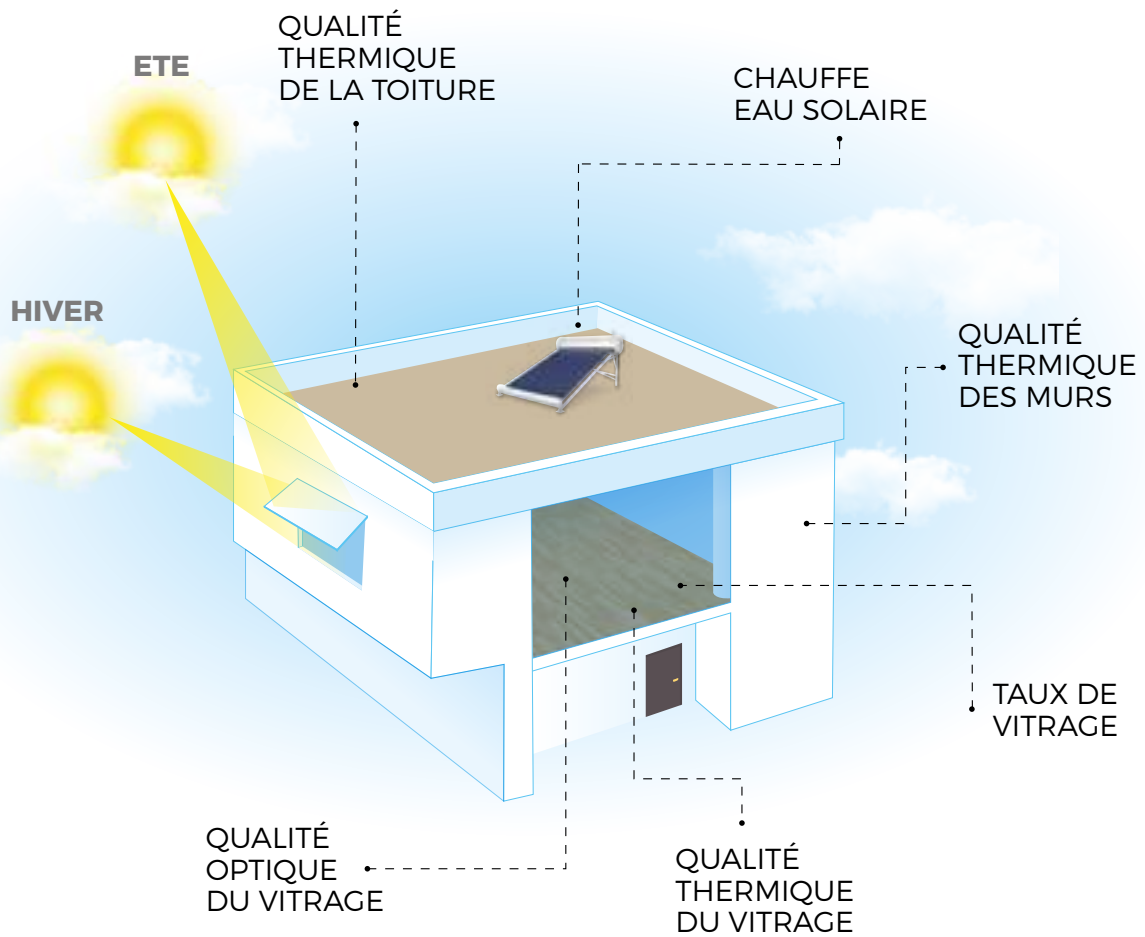
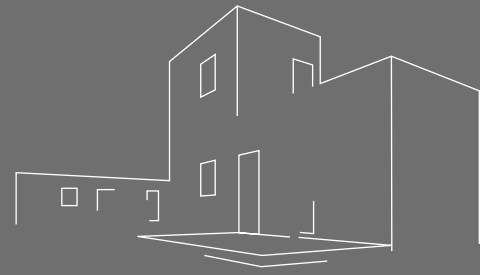
La recherche de la meilleure adéquation entre le bâtiment, le climat et ses occupants dans une conception architecturale est qualifiée de « passive » parce qu'elle n'exige pas d'appareils spéciaux. Cette conception est aussi désignée comme celle d'une « architecture bioclimatique » qui tire le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air pour réduire les besoins énergétiques, maintenir des températures agréables, contrôler l'humidité et favoriser l'éclairage naturel.

Bâtiment solaire, bâtiment à énergie positive, bâtiment de haute qualité environnementale et bâtiment de haute performance énergétique, etc. sont autant de noms pour évoquer les principes de l'architecture bioclimatique. Toutes ces appellations relatives aux méthodes de conception et de construction répondent à une même préoccupation : concevoir un bâtiment plus respectueux de l'environnement.

Ainsi, l'architecture bioclimatique bénéficie au maximum de la chaleur du soleil en raison du caractère judicieux de sa conception (forme compacte, orientation, répartition des ouvertures, isolation, inertie thermique, etc.), de la qualité de ses composants (murs, toiture, sol, fenêtres et portes...) et d'une ventilation performante pour maîtriser les apports d'air et le degré d'humidité. Concevoir une architecture bioclimatique implique de penser également à la végétation avec des arbres à larges feuilles procurant ainsi un ombrage doux l'été sans masquer la lumière de l'hiver, et aux espaces extérieurs convenablement aménagés avec un albédo approprié des revêtements des surfaces urbaines.

L'illustration suivante permet de résumer les caractéristiques principales de l'enveloppe d'un bâtiment énergétiquement performant.





CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'ENVELOPPE D'UN BÂTIMENT ÉNERGÉTIQUEMENT PERFORMANT

SOURCE : MISE EN PLACE DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE ET ÉNERGÉTIQUE EN TUNISIE





Les choix architecturaux ont un impact très important sur le comportement thermique d'un bâtiment. C'est donc dès la phase d'avant projet qu'il faut appliquer quelques principes qui permettent de réduire les déperditions d'un bâtiment pendant l'hiver et de ne pas créer d'importantes surchauffes l'été. La principale recommandation concerne l'orientation du bâtiment et la présence d'ouvertures qui doivent permettre d'optimiser les gains solaires. Il y a d'autres règles de l'art communément admises comme la compacité de la construction qui permet de limiter pour un volume donné la surface des murs en contact avec l'extérieur, et donc les déperditions, mais aussi la disposition des espaces intérieurs. L'architecture du bâtiment doit également anticiper sur le confort d'été en prévoyant des protections pour les ouvertures et les baies vitrées.

Les techniques de construction et les matériaux n'ont pas cessé d'évoluer pour apporter toujours plus de confort et d'économie d'énergie. Les principes et les règles architecturaux sont simples et faciles à mettre en œuvre et à adapter pour chaque projet à son environnement particulier.

FORME COMPACTE

La compacité est généralement une règle en architecture bioclimatique car elle permet de réduire les déperditions à travers l'enveloppe en minimisant les surfaces en contact avec l'extérieur.

IMPLANTATION ET L'ORIENTATION

L'orientation du bâtiment détermine la qualité d'usage (habitat, tertiaire) et conditionne sa bonne isolation. Une orientation au sud permet un meilleur contrôle de l'ensoleillement. Le soleil intervient pour dispenser lumière et chaleur. Une orientation adaptée aux contraintes du bâtiment permet de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage.

• Capturer la chaleur du soleil en évitant les surchauffes :

Les ouvertures orientées au sud reçoivent les rayons du soleil qui en réchauffent l'air. Ce dernier, en circulant naturellement par convection ou par ventilation, redistribue ensuite la chaleur dans tout le bâtiment. Ces ouvertures participent ainsi à la diminution des dépenses de chauffage. Une solution plus abordable est d'ouvrir de larges fenêtres au sud. Il faut alors utiliser des vitrages à isolation thermique afin de limiter les déperditions thermiques.

Paradoxalement, le plus difficile n'est pas de capter la chaleur du soleil mais de s'en protéger en été : la température de confort ne devant pas dépasser un certain seuil à l'intérieur. Des protections extérieures sont nécessaires pour les ouvertures les plus exposées au soleil. Mais un débord (horizontal et/ou vertical), s'il est correctement dimensionné, est bien plus efficace. Il laisse pénétrer directement le soleil en hiver et le masque complètement l'été.

• Inertie thermique et matériaux :

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 épais en terre crue) 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.

Accumulation et déphasage constituent l'inertie thermique. Ces aspects sont représentés physiquement par la conductivité, 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.

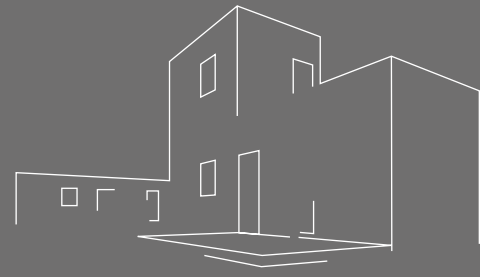
Pour les climats présentant une forte variation de température journalière, on privilégiera des matériaux présentant une faible diffusivité et une forte effusivité.

Les parois extérieures de l'enveloppe du bâtiment permettent le contrôle de l'amplitude entre la température interne et externe. C'est grâce à l'inertie du matériau que la durée du transfert de chaleur est retardée, et elle agit donc sur l'amplitude et le déphasage. L'inertie thermique de la paroi est proportionnelle à l'épaisseur de la paroi et inversement proportionnelle au coefficient de conductibilité thermique du matériau. Le temps de déphasage exprimé en heures est fonction de l'épaisseur ainsi que de la conductivité thermique des matériaux (λ) exprimée en W/m.K.

ISOLATION THERMIQUE

L'inertie thermique est complétée par l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, aussi bien contre les basses températures que les hautes températures. La qualité thermique d'une paroi de





l'enveloppe (mur, toiture, fenêtre,...) est évaluée par le coefficient de transmission surfacique ou la valeur U, s'exprimant en $W/m^2.K$. La paroi opaque sera d'autant plus performante que sa valeur U sera très petite (entre 0,4 et 1,2 $W/m^2.K$, voir Réglementation Thermique au Maroc, alors que cette valeur est inférieure à 0,15 $W/m^2.K$ pour l'enveloppe d'un bâtiment passif situé dans un environnement climatique pertinent).

OUVERTURES, BAIES VITRÉES ET FENÊTRES

Cette composante de l'enveloppe du bâtiment devient importante et à prendre en considération pour sa performance énergétique, à travers le taux global des baies vitrées (TGBV). Ce paramètre exprimé en pourcentage (%) est défini par le rapport entre la surface totale des baies vitrées des murs extérieurs des espaces chauffés et/ou refroidis, et la surface totale brute de ces murs extérieurs.

La performance énergétique des baies vitrées est caractérisée par la valeur U qui exprime la qualité thermique du vitrage, et par ses propriétés optiques ainsi que par la qualité de l'isolation de la menuiserie. Par exemple, la valeur U d'un simple vitrage clair de 4 mm est de l'ordre de 5,8 $W/m^2.K$ alors que celle du double vitrage ordinaire 4/10/4 (lame d'air sec de 10 mm entre deux vitres de 4 mm) est d'environ 3 $W/m^2.K$.

Un troisième paramètre à prendre également en considération lors du choix du vitrage est le Facteur Solaire (FS) qui est la quantité d'énergie solaire, exprimée en pourcentage (%), que l'on retrouve derrière les baies vitrées exposées au rayonnement solaire (sans protections solaires extérieures et intérieures). On définira également le Facteur Solaire équivalent (FS*) des

baies vitrées qui est la quantité d'énergie solaire, exprimée en pourcentage (%), que l'on retrouve derrière les baies vitrées associées à leurs protections solaires architecturales extérieures (voir Réglementation Thermique au Maroc).

CIRCULATION DE L'AIR

L'air extérieur s'introduit dans les bâtiments soit par l'effet volontaire de la ventilation, soit par infiltration au droit des défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Les techniques de ventilation sont dimensionnées afin de respecter le confort de l'occupant. Par contre, l'infiltration de l'air dans le bâtiment est susceptible de produire des situations d'inconfort dès qu'un défaut d'exécution est responsable d'un courant d'air.

L'air extérieur introduit dans le bâtiment par la ventilation ou par l'infiltration doit être chauffé ou refroidi pour être porté à la température de confort intérieur. Il faut éviter les pièces fermées où se confine l'air. La circulation de l'air dans la maison sera favorisée par un système mécanique ou par un effet cheminée naturel.

PONTS THERMIQUES

Les ponts thermiques sont une source importante des déperditions thermiques et peuvent ainsi engendrer des ambiances intérieures inconfortables et malsaines à cause de la condensation et même parfois occasionner une dégradation du bâti. Ils sont également la source de surconsommations de chauffage. Ils sont dus à une mauvaise exécution de la construction au niveau des jonctions de différentes parois, notamment aux angles entre deux façades, entre mur et toiture, à l'entourage des menuiseries extérieures, etc.





LA STRATÉGIE DU CHAUD, LA STRATÉGIE DU FROID

Deux stratégies sont à adopter suivant les besoins :

- Au confort d'hiver répond la stratégie du chaud qui consiste à capter l'énergie solaire et la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment.
L'énergie du soleil pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres, elle est absorbée par les murs, les planchers et les meubles, pour être libérée sous forme de chaleur.
Une fois que la chaleur est stockée dans le bâtiment, la redistribution de cette chaleur se fait lorsque les températures extérieures sont plus faibles que les températures intérieures désirées.
- Au confort d'été répond la stratégie du froid qui consiste à se protéger du rayonnement solaire, minimiser les apports internes, dissiper la chaleur en excès et refroidir naturellement.
La climatisation passive consiste à minimiser les risques de surchauffe par diverses techniques d'ombrage (stores, rideaux, plantation d'arbres à des endroits stratégiques, etc.) ou par la circulation d'air à l'intérieur des bâtiments.

SYNTHÈSE DES PRINCIPES DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

S'INSCRIVANT DANS UNE DÉMARCHE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE, L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE SE BASE SUR LES PRINCIPES SUIVANTS :

Minimiser les pertes énergétiques en s'adaptant au climat environnant :

1. Compacité du volume.
2. Isolation performante pour conserver la chaleur.
3. Réduction des ouvertures et des surfaces vitrées sur les façades exposées au froid ou aux intempéries.

Privilégier les apports thermiques naturels et gratuits en hiver :

1. Ouvertures et vitrages sur les façades exposées au soleil.
2. Stockage de la chaleur dans la maçonnerie lourde.
3. Installations solaires pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Privilégier les apports de lumière naturelle :

1. Intégration d'éléments transparents bien positionnés.
2. Choix des couleurs.

Privilégier le rafraîchissement naturel en été :

1. Protections solaires fixes, mobiles ou naturelles.
2. Ventilation.
3. Inertie appropriée.

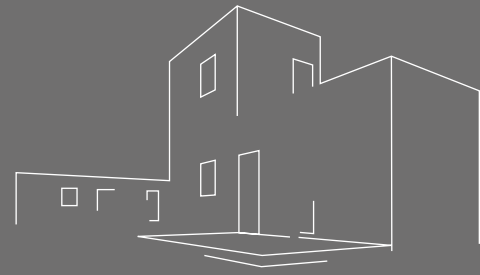
Ainsi, une architecture bioclimatique permet de se passer ou de limiter toute consommation d'énergie, notamment le recours à la climatisation, à la ventilation mécanique, à l'éclairage artificiel, ceci avec un faible surcoût à la construction. L'exploitation de l'énergie solaire permet également de chauffer l'eau (systèmes thermiques) ou à la limite produire de l'électricité (systèmes photovoltaïques).

An aerial, black and white photograph of a city, likely Marrakech, showing a dense urban layout with many buildings and a central square. A bright yellow banner is positioned at the top of the image, containing the chapter title. The text is in a clean, sans-serif font. The number '2' is significantly larger than the word 'CHAPITRE'.

CHAPITRE) 2

CADRE RÉGLEMENTAIRE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
ET DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTIMENT
AU MAROC





LOIS SUR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

- La Loi n°13-09 relative aux énergies renouvelables et la Loi n°58-15 la modifiant et la complétant, instaurent un cadre juridique offrant des perspectives de réalisation et d'exploitation d'installations de production d'énergie électrique à partir de sources d'énergies renouvelables par des personnes physiques ou morales, publiques ou privées, en précisant en particulier les principes généraux qu'elles doivent suivre, le régime juridique applicable y compris pour la commercialisation et l'exportation. Elles ouvrent et réglementent les possibilités de production, de transport et de commercialisation de l'énergie électrique à partir des énergies renouvelables.
- La Loi n°47-09 relative à l'efficacité énergétique a pour objet de renforcer la sobriété dans la consommation de l'énergie, d'éviter le gaspillage, d'atténuer le fardeau

du coût de l'énergie sur l'économie nationale. Sa mise en application repose principalement sur les principes de la performance énergétique, des études d'impact énergétique, de l'audit énergétique et du contrôle technique. Elle tend également à intégrer de manière durable les techniques d'efficacité énergétique au niveau de tous les programmes de développement sectoriels, à encourager les entreprises industrielles à rationaliser leur consommation énergétique, à généraliser les audits énergétiques, à mettre en place des codes d'efficacité énergétique spécifiques aux différents secteurs, à promouvoir le développement des chauffe eau solaires, à généraliser l'usage des lampes à basse consommation et des équipements adaptés au niveau de l'éclairage public.

RÉGLEMENTATION THERMIQUE DE CONSTRUCTION AU MAROC (RTCM)

La réglementation thermique de construction au Maroc est l'une des composantes du Code d'Efficacité Énergétique dans le Bâtiment initié dans le cadre du Programme National d'Efficacité Énergétique dans le Bâtiment.

Rappelons que ce Code s'articule autour de trois volets :

- Réglementation Thermique dans le bâtiment : Enveloppe.
- Réglementation Énergétique dans le bâtiment : Equipements énergétiques (Chauffage, Ventilation, Climatisation, Éclairage et Eau Chaude Sanitaire).
- Gestion des Services Énergétiques.

La RTCM a été publiée en 2014 dans le Bulletin Officiel à travers le Décret Urbanisme N° 2-13-874 approuvant le Règlement Général de Construction fixant les règles de performance énergétique des constructions et instituant le comité national de l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

Elle vise l'amélioration des performances thermiques à travers :

- La réduction des besoins de chauffage et de refroidissement des bâtiments.
- L'amélioration du confort des ambiances intérieures.
- La réduction de la puissance des équipements de chauffage et de refroidissement à installer.
- L'incitation des architectes, ingénieurs et maîtres d'œuvre à l'utilisation des approches de conception thermique performante de l'enveloppe du bâtiment.

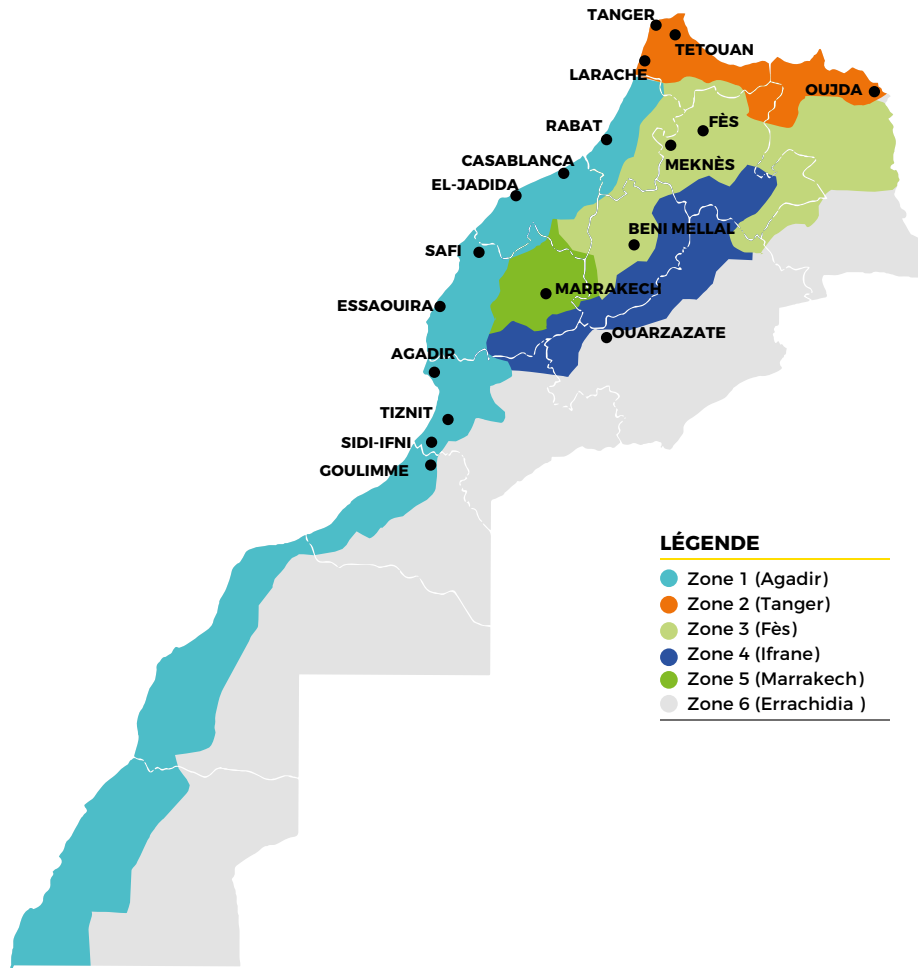
La réglementation thermique concerne uniquement l'enveloppe des bâtiments et couvre à la fois les secteurs résidentiel (habitat) et tertiaire (les équipements collectifs et structurants). Elle est basée sur des obligations de performance énergétique en limitant par zone climatique, soit le coefficient de transmission de déperditions (valeur U) des éléments constituant l'enveloppe du bâtiment (Approche prescriptive), soit les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement (Approche performantielle).

Elle ne repose aucunement sur une obligation de moyens. En effet, la conception architecturale tenant compte du climat et de l'environnement, le choix des matériaux (gros œuvre, second œuvre et isolation) et leur mise en œuvre, incombent au maître d'œuvre, pour autant que les exigences minimales de la réglementation thermique soient respectées.

Il faudrait rappeler que l'on considère uniquement l'énergie d'exploitation en matière de chauffage et de refroidissement et non l'énergie grise, générée pour la fabrication des produits et matériaux utilisés dans l'acte de bâtir.

ZONAGE CLIMATIQUE :

Le Règlement Thermique des Constructions au Maroc adopte la carte du zonage climatique comprenant six zones climatiques, circonscrites en respectant les limites administratives, pour une application facile et efficace. Ces zones sont représentées dans la carte suivante.



LÉGENDE

- Zone 1 (Agadir)
- Zone 2 (Tanger)
- Zone 3 (Fès)
- Zone 4 (Ifrane)
- Zone 5 (Marrakech)
- Zone 6 (Errachidia)

CARTE DU ZONAGE CLIMATIQUE AU MAROC ADAPTÉ AUX BESOINS DU RÈGLEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION

SOURCE : RÈGLEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION AU MAROC

LES APPROCHES D'APPLICATION :

Le RTCM propose deux méthodes pour l'expression des spécifications techniques réglementaires et pour la vérification de la conformité des bâtiments vis-à-vis de la performance énergétique :

- **L'approche dite performantielle** : elle définit les besoins annuels de chauffage et de refroidissement (exprimés en kWh/m².an), selon la zone climatique et le type du bâtiment. Les spécifications sont exprimées en termes d'exigences minimales en ces besoins énergétiques, par rapport à des températures intérieures de référence (20 °C pour le chauffage et 26 °C pour le refroidissement).

Pour l'humidité, les valeurs de référence sont respectivement 55% et 60% pour l'hiver et l'été.

Cette approche nécessite le recours à un outil de simulation thermique dynamique.

- **L'approche simplifiée dite prescriptive** : elle consiste à fixer, en fonction du taux global des baies vitrées (TGBV), les spécifications techniques des parois de l'enveloppe d'un bâtiment, exprimées pour chaque type de bâtiment et chaque zone climatique. Ces caractéristiques thermiques et énergétiques des parois de l'enveloppe du bâtiment correspondent au coefficient de transmission thermique (valeur U) des toitures, des murs extérieurs et des baies vitrées ainsi qu'au facteur solaire équivalent (FS*) des baies vitrées et à la résistance thermique (R) des planchers bas sur sol plein. L'approche prescriptive est applicable seulement dans le cas où le taux global des baies vitrées (TGBV) reste inférieur à 45%.

CHAPITRE 3

DIX CAS PILOTES D'INTÉGRATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
ET DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTIMENT
AU MAROC





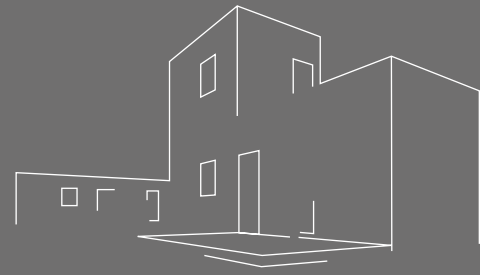


TABLEAU RÉCAPITULATIF DE QUELQUES CAS PILOTES D'INTÉGRATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE BÂTIMENT AU MAROC

CAS PILOTES	ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
1	Z5 Marrakech	Dar AMYS, Villa haut standing	Mohamed EL Anbassi	Propriétaire Amin Bennouna
2	Z5 Benguerir	Villas pour chercheurs de l'Université Mohammed VI	Elie Mouyal	OCP
3	Z5 Marrakech	Maison Marocaine Moderne Nassim		Propriétaire Abderrahim Bakez
4	Z5 Tamansourt	Logements sociaux Immeubles R5+ Opération Jacaranda	Souad Belkeziz Youssef Bouchriha	Al Omrane Tamansourt
5	Z1 Rabat	La maison des architectes	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Propriétaires Myriam Soussan et Laurent Moulin
6	Z1 Rabat	Centre de Documentation et d'Information, Lycée Descartes	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Lycée Descartes
7	Z1 Tamanar, Essaouira	Petit Hôtel Mobilier de 5 chambres	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Propriétaires Myriam Soussan et Laurent Moulin
8	Z2 Al Aroui, Nador	Immeubles logements sociaux R4+ Opération Al Ouroud II	Ahmed Barhdadi	Al Omrane Oujda
9	Z4 El Hajeb	Immeubles logements sociaux R3+ Opération Al Karama	Alla El Hassan Claire Patteet	Al Omrane Meknès
10	Z2 Oujda	IFMERE Institut de Formation aux Métiers des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique	Reda Chraïbi	Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle

Ces produits architecturaux par zone climatique seront présentés dans une structure permettant d'apprécier progressivement la consistance de chaque proposition et surtout d'élucider la spécificité d'un cas à un autre.



STRUCTURE DE PRÉSENTATION PAR CAS DE PROJET

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

ORIENTATION	FORME ET COMPACITÉ
OUVERTURES	MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO
INERTIE THERMIQUE	ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, ...)

AMBIANCE INTÉRIEURE

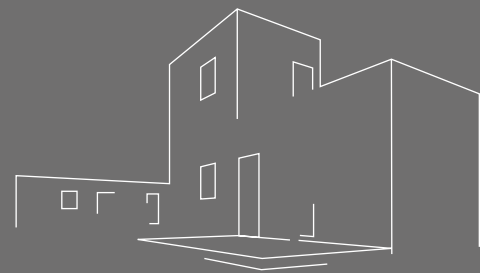
- Usage
- Confort thermique

ENERGIE

- Energie renouvelable (solaire, thermique, photovoltaïque,...)
- Gestion et performance énergétique selon la réglementation en vigueur (RTCM)







CAS PILOTE 1

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z5 Marrakech	Dar AMYS, Villa haut standing	Mohamed El Anbassi	Propriétaire Amin Bennouna

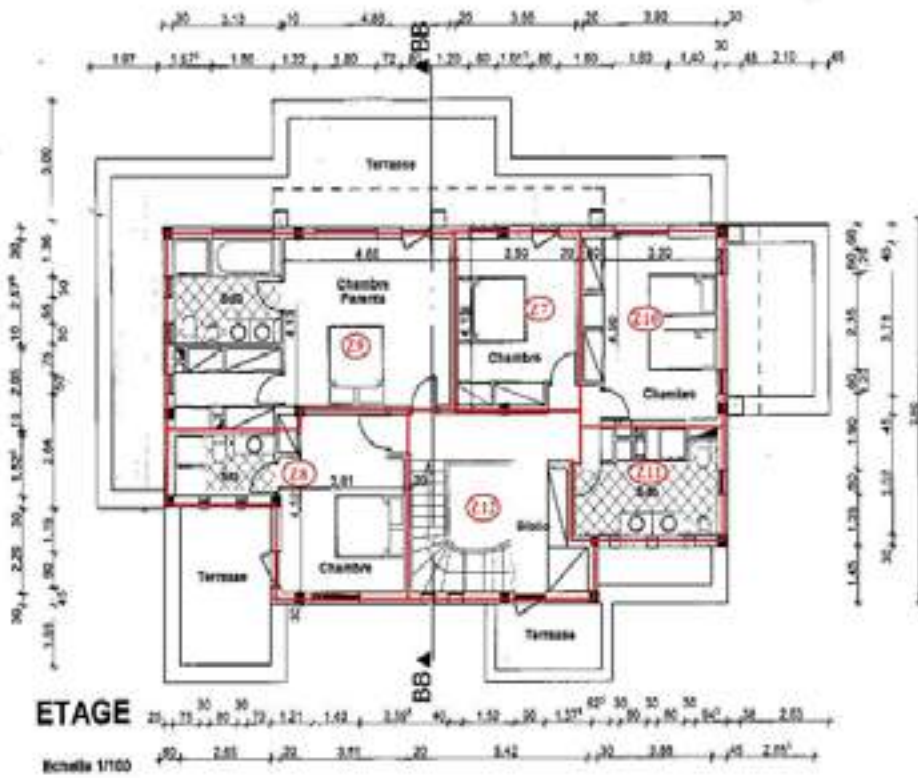
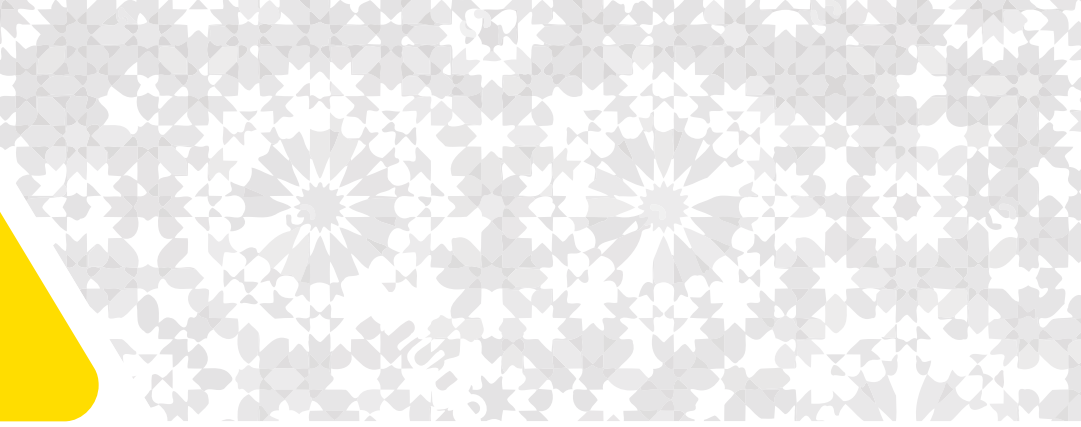
ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

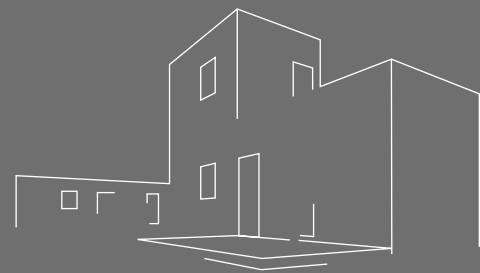
ORIENTATION

Bâtiment de conception longiligne orienté est-ouest de sorte à ce que ses grandes dimensions soient face au sud (une désorientation de 17° a été tolérée).

FORME ET COMPACITÉ





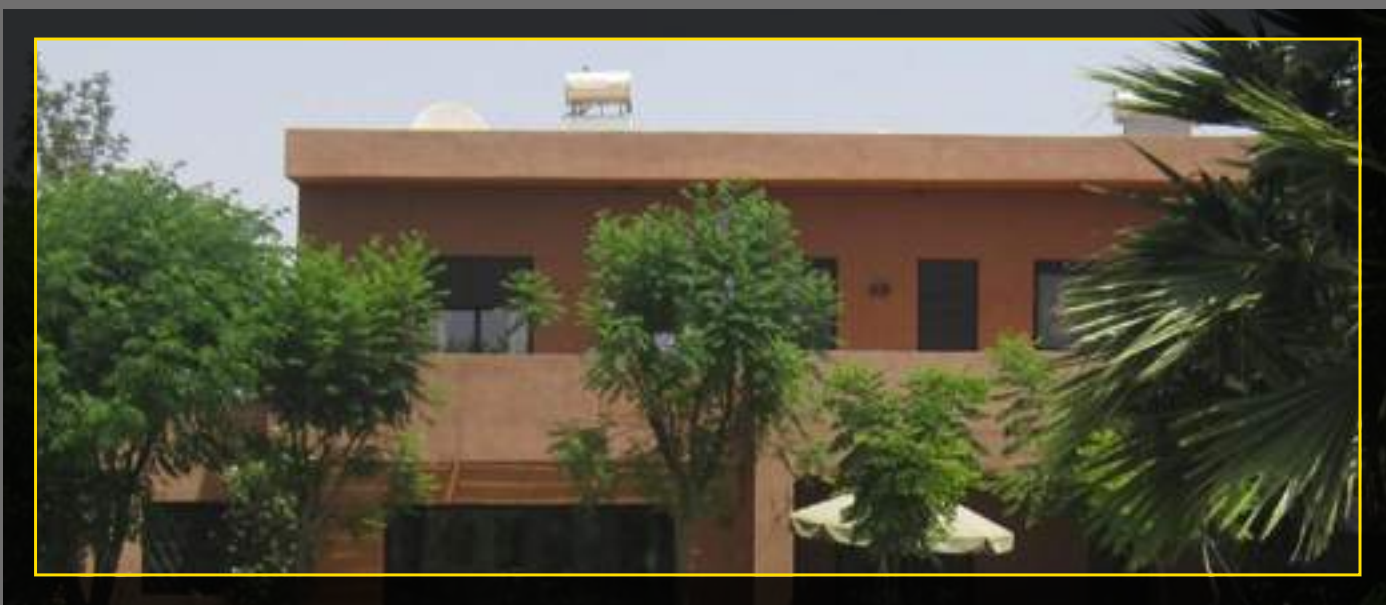


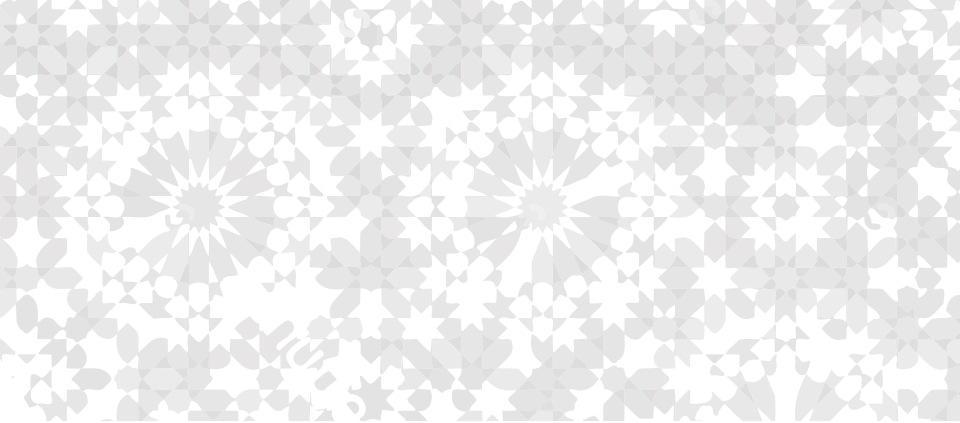
MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO

MURS D'ENVELOPPE (OU MURS EXTÉRIEURS)	MURS INTÉRIEURS	TOIT	PLANCHER INTERMÉDIAIRE
Plâtre	Brique de Parpaing (rempli de sable au RDC)	Plâtre	Plâtre
Parpaing		Hourdi	Hourdi
Laine de Verre		Béton armé	Béton armé
Brique de terre cuite		Mousse de polyuréthane	Mortier
Mortier de ciment		Mortier	Carrelage
		Carrelage	

OUVERTURES

Les murs sud sont caractérisés par un grand pourcentage de surface vitrée, ce pourcentage est de 36 % pour le rez-de-chaussée et 18 % pour l'étage. Un auvent horizontal surplombe l'étage sur toute la longueur de la façade Sud au dessus de la grande terrasse, sa profondeur est de 1.20 m.





INERTIE THERMIQUE

LES MURS D'ENVELOPPE OU MURS EXTÉRIEURS

COUCHES	EPAISSEURS e_i (CM)	RÉSISTANCE THERMIQUE TOTALE R (M ² .K/W)	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U (W/M ² .K)
PLÂTRE	1	2,55	0,39 La paroi proposée est très performante car la valeur de U est inférieure aux exigences limites réglementaires fixées par la RTCM
PARPAING	15		
LAINES DE VERRE	1		
BRIQUE DE TERRE CUITE	15		
MORTIER DE CIMENT	1,5		

LES MURS INTÉRIEURS

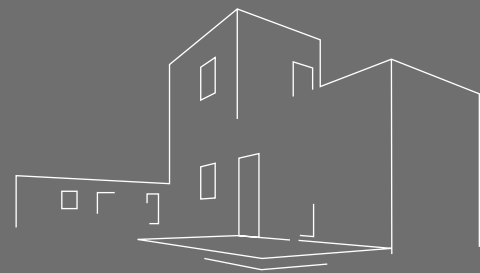
Brique de Parpaing (remplie de sable au rez-de-chaussée).
Sa conductivité thermique est de 1,4 W/m.K.

PLANCHER INTERMÉDIAIRE

COUCHES	EPAISSEURS e_i (CM)	RÉSISTANCE THERMIQUE TOTALE R (M ² .K/W)	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U (W/M ² .K)
PLÂTRE	1	2,37	0,42 La paroi proposée est très performante car la valeur de U est inférieure aux exigences limites réglementaires fixées par la RTCM
HOURDI	16		
BÉTON ARMÉ	5		
MORTIER DE CIMENT	6		
CARRELAGE	2		

LE TOIT

COUCHES	EPAISSEURS e_i (CM)	RÉSISTANCE THERMIQUE TOTALE R (M ² .K/W)	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U (W/M ² .K)
PLÂTRE	1	2,67	0,37 La paroi proposée est très performante car la valeur de U est inférieure aux exigences limites réglementaires fixées par la RTCM
HOURDI	16		
BÉTON ARMÉ	5		
MOUSSE DE POLYURÉTHANE	6		
MORTIER DE CIMENT	6		
CARRELAGE	2		



ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, ...)

ISOLATION DES MURS

Les murs sont formés des briques alvéolées en terre cuite de 15 cm, de 10 cm de laine de roche, et d'un parpaing de 15 cm du côté intérieur.

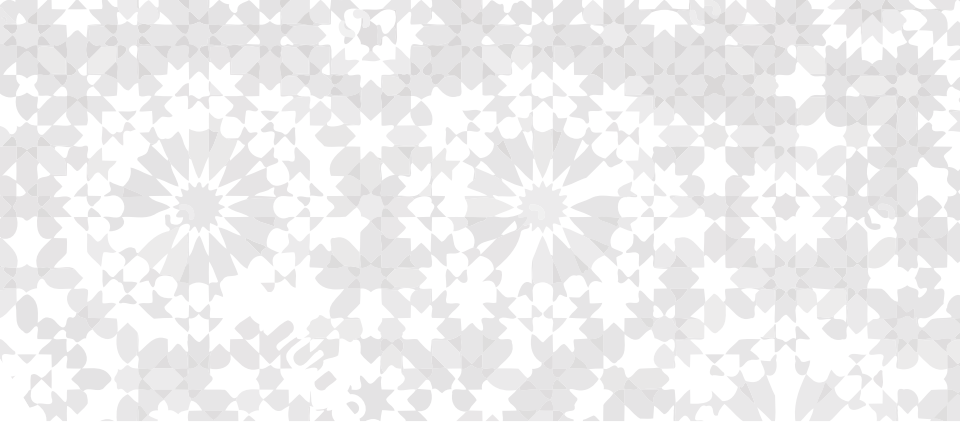
ISOLATION DE LA TERRASSE

La terrasse est formée d'une dalle de hourdis et béton, de 6 cm de mousse de polyuréthane injectée et d'une chape de forme de pente armée par maille soudée de 3,5 mm.

ISOLATION DES OUVERTURES TRANSPARENTES

A part les petites fenêtres ouvrant à la française, toutes les autres ouvertures transparentes sont en double vitrage coulissant et équipées de volets roulants en alu mousse.





AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

La maison objet de cette étude est une villa située dans la banlieue de Marrakech. Elle est construite sur une surface au sol de 168.63 m².

CONFORT THERMIQUE

Confort passif : mesure des températures sur site / Résultats de simulations

A. EQUIPEMENT DE MESURE

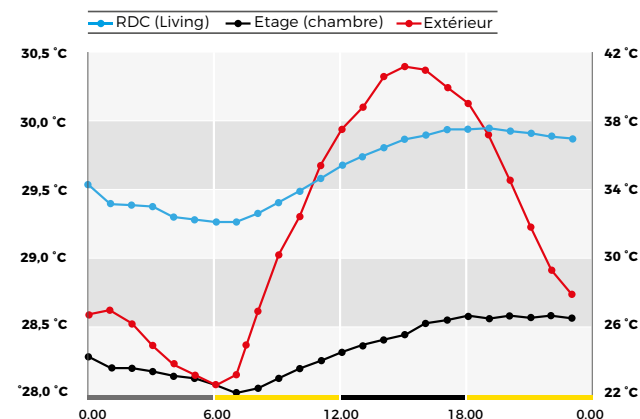
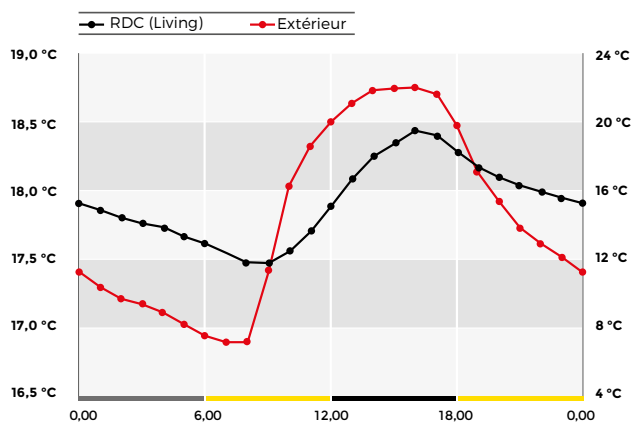
La maison est équipée d'une station de mesure Oregon Scientific avec une base recevant, sans fil, les données d'ambiance mesurées par quatre capteurs intérieurs et un extérieur (la photo montre l'anémomètre, girouette, thermomètre, hygromètre et baromètre extérieurs).

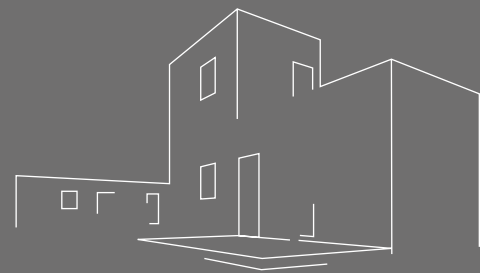
B. TEMPÉRATURE MESURÉE - HIVER 2011

Alors que la température extérieure parcourait entre 7 et 23°C, la température intérieure de la maison (portes, fenêtres et volets fermés), était très stable à 18±0,5°C. L'ouverture des volets durant le jour permet de gagner 1 à 2°C de plus.

C. TEMPÉRATURE MESURÉE - ETÉ 2011

La maison étant entièrement fermée (volets inclus), alors que la température extérieure parcourait entre 23 et 41°C, la température intérieure était très stable à 28,3±0,3°C au rez-de-chaussée et 29,6±0,3°C à l'étage.





ENERGIE

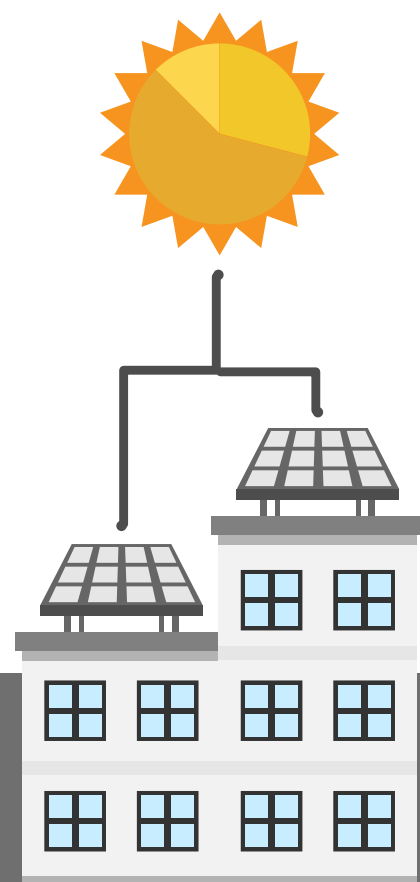
ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)

PUITS CANADIEN

La maison est climatisée par un puits canadien formé de 3 tubes descendant jusqu'à 3,50 m de profondeur qui assurent 500 m³/h d'air à 24°C en été et 19°C en hiver (en fait, l'usage en hiver s'avère inutile).

ENERGIE SOLAIRE

Deux chauffe-eau solaires avec échangeur (à cause du calcaire et du risque de gel) totalisant 4 m² assurent l'approvisionnement en eau chaude des salles de bain et de la cuisine



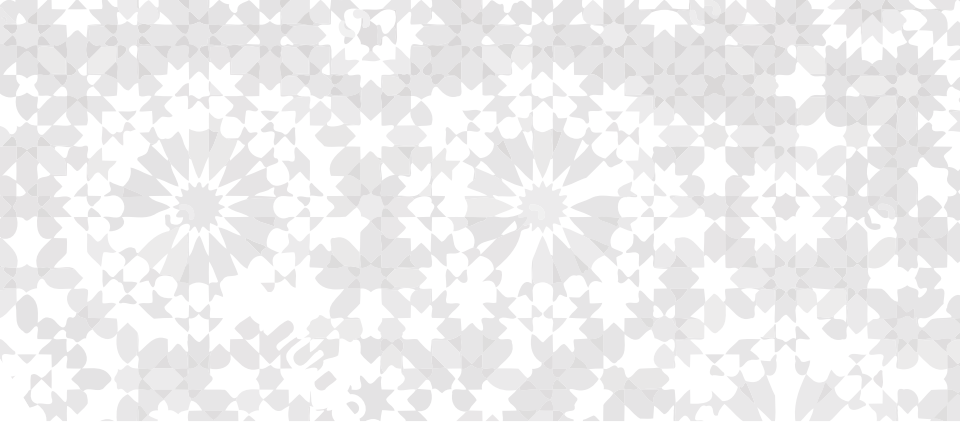
IMPACT DES MESURES EE & ER SUR LA CHARGE D'ÉNERGIE

1. BESOINS EN ÉNERGIE DE L'AMBIANCE DU BÂTIMENT SANS ISOLATION :

En hiver, c'est près de 40 kWh/m² de chauffage qu'il faudrait pour maintenir 20°C en continu. En été, pour maintenir à 26°C, c'est près de 65 kWh/m². Soit près de 105 kWh/an par m².

2. BESOINS EN ÉNERGIE DE L'AMBIANCE DU BÂTIMENT AVEC ISOLATION DE LA TERRASSE, DES MURS, DES OUVERTURES TRANSPARENTES ET DES PONTS THERMIQUES :

En hiver, 15 kWh/m² de chauffage suffisent pour maintenir 20°C en continu. En été, il n'en coûte plus que 23 kWh/m² pour maintenir 26°C. Soit, 38 kWh/an par m² habitable et 2/3 d'énergie économisée.



ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

C'est un cas pilote illustrant parfaitement les bonnes pratiques en matière d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de confort thermique. Ce cas d'école se présente également comme étant un laboratoire pédagogique et scientifique. Il démontre que la stratégie adoptée pour sa conception a atteint son objectif : son enveloppe et ses ambiances intérieures répondent aux exigences d'un référentiel plus que conforme à la réglementation thermique en termes de besoins en chauffage/refroidissement et en terme de confort thermique.

La villa combine la capacité d'emmagasiner la chaleur du soleil, à travers les ouvertures orientées sud, et la capacité de réguler la température ambiante grâce à sa grande inertie thermique. L'isolation de la toiture et des murs est une mesure très importante qui permet de réduire les apports et les déperditions de chaleur.

Ce dispositif, et renforcé par la végétation, fonctionnant en feuilles caduques durant la période hivernale, laissant ainsi passer un maximum de rayonnement solaire à l'intérieur, et par un effet d'ombrage au printemps-été : pendant cette période, les feuilles encore persistantes sur les arbres, interceptent le rayonnement solaire intense. Un plan d'eau, sous forme d'une piscine est placé volontairement du côté de la façade sud, joue le rôle de régulateur thermique par sa capacité à absorber la chaleur.

Ce cas montre que l'isolation thermique du toit est nécessaire pour le climat de Marrakech. En effet, cette isolation diminue le besoin en climatisation de 42 % pour le refroidissement, et de 18 % pour le chauffage.

La maison est climatisée par un puits canadien; l'air est soufflé dans les pièces à 24°C en été et 19°C en hiver ; toutefois, l'usage en hiver s'avère inutile (l'écart thermique soufflé, n'est pas significatif).

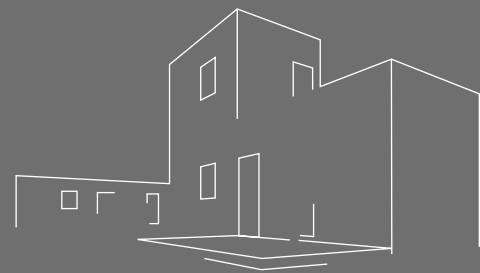
Ces mesures ne doivent pas forcément être des prescriptions fixes. Cela permettra plus de flexibilité à la fois aux architectes, aux ingénieurs et aux constructeurs pour agir sur les différents paramètres nécessaires au développement des bâtiments durables et énergétiquement performants.







VILLAS POUR LES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ MOHAMMED VI

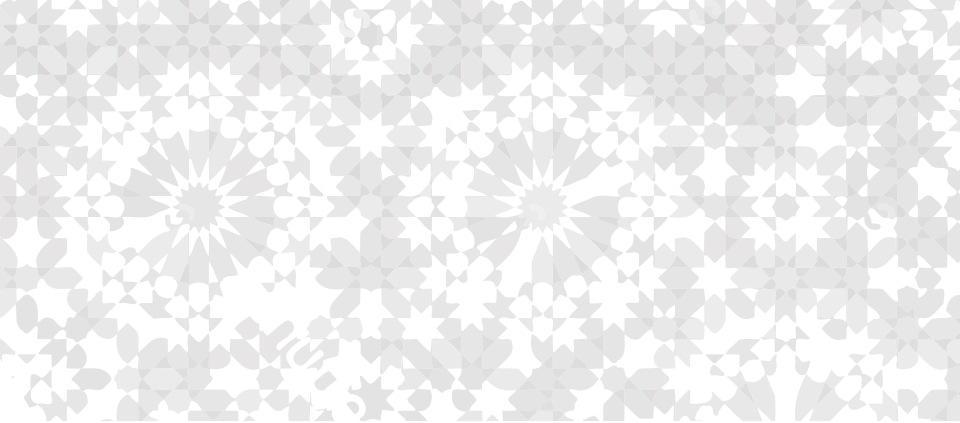


CAS PILOTE 2

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z5 Benguerir	Villas pour chercheurs de l'Université Mohammed VI	Elie Mouyal	OCP

CONSISTANCE DU PROJET

			DESTINATION	SURFACE (m²)
100 VILLAS	Villas Zitoune		Chercheurs de l'Université Mohamed VI.	353
	Villas Limoune			376
	Villas Roumane			398
	Villas Kermous			498
				1620
	Total			39.276
100 SABAS	Bureau ou chambre d'amis			7.200
	Total			46.476
GROUPE SCOLAIRE	Complexe scolaire regroupant : crèche, jardins d'enfants	352 élèves		1300
	Maternelle et école primaire			
	Cantine (%80 des élèves)	280 élèves		560
	Total			1860
CLUB	Accueil/Club/Restaurent			600
	Hammam/SPA	408 personnes		300
	Salle de Fitness		150	
	Piscine couvert		1000	
	Salle de réunion		120	
	Bibliothèque/Cyber		160	
	Salle polyvalente		200	
	Club arts martiaux		300	
	Total			2830
COMMERCES	Superettes, Marché, Souika			1500
	Total			1500
FOYER JEUNES	Café	192 jeunes		150
	Médiathèque		100	
	Restaurent		450	
	Espace d'activité (atelier dessin, musique, modelage)		800	
	Salle polyvalente et de projection		250	
	Total			1750



ESPACE VISITEURS	30 appartements y compris circulation	30 chercheurs		1800
	Amphithéâtre de 50 places			50
	Salle de réunion de 20 places			20
	Espace petit déjeuner			60
	Accueil			100
	Total			2030

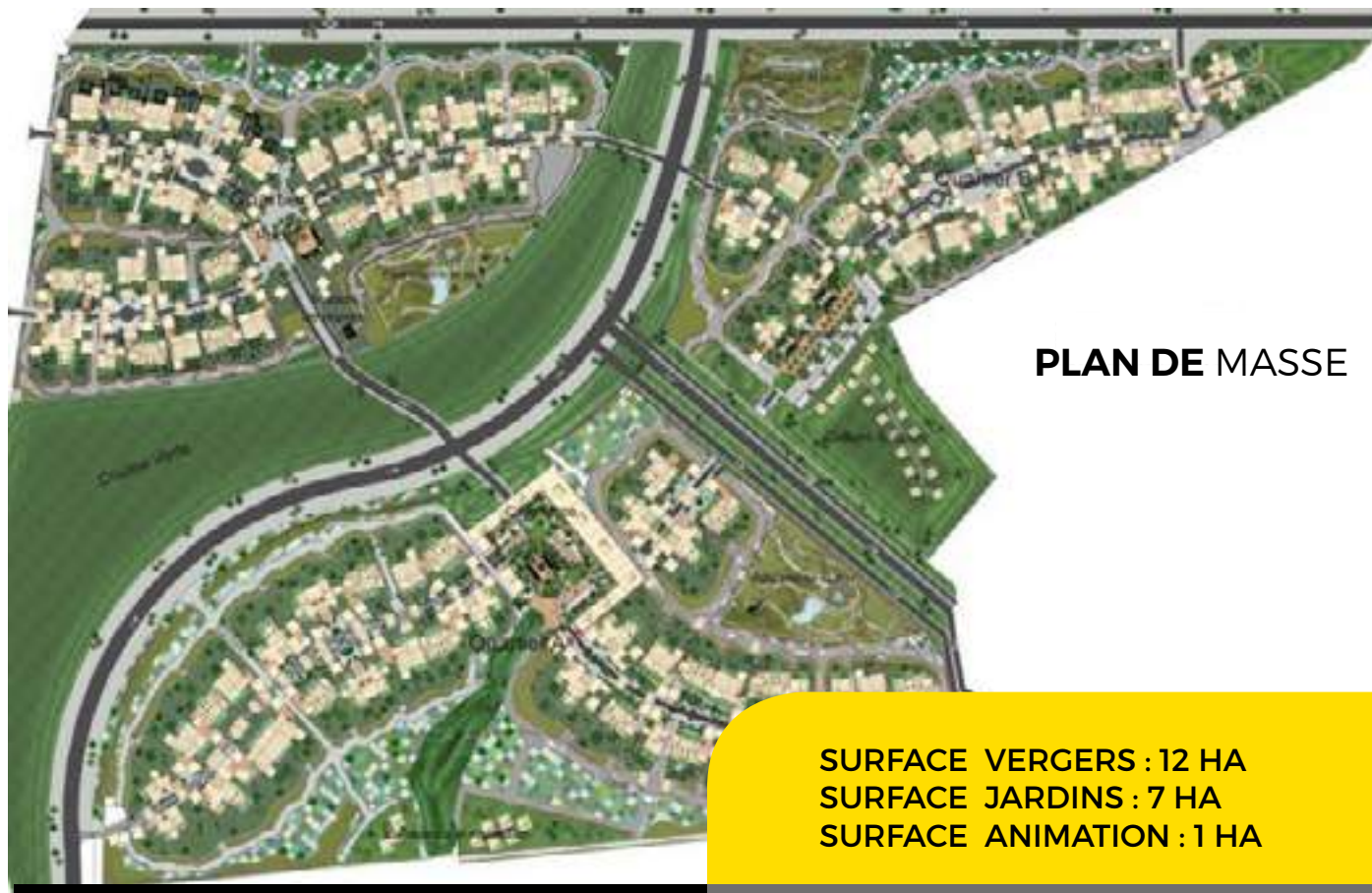
CONCEPT ARCHITECTURAL

Le concept architectural, s’inspire fortement de la médina traditionnelle marocaine. Une composition urbaine basée sur des villas avec jardins, dispersées en chapelet le long d’une voie imaginée, comme Derb, celui-ci étant un espace de mixité, jouant le rôle de rencontre et d’échanges.

ESPACES VERTS URBAIN :

Voulant s’inspirer des villes vertes et cités jardins, le quartier Villas pour chercheurs, comporte plusieurs espaces ouverts et productifs, dédiés à l’agriculture urbaine.

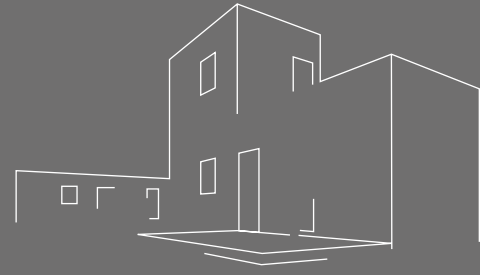
Il s’agit d’une agriculture urbaine multi-fonctionnelle, avec un rôle social, productif, récréatif : ce système végétal, est intégré au climat par son rôle d’atténuation des îlots de chaleurs urbains et par l’absorption du CO2.



PLAN DE MASSE

**SURFACE VERGERS : 12 HA
SURFACE JARDINS : 7 HA
SURFACE ANIMATION : 1 HA**

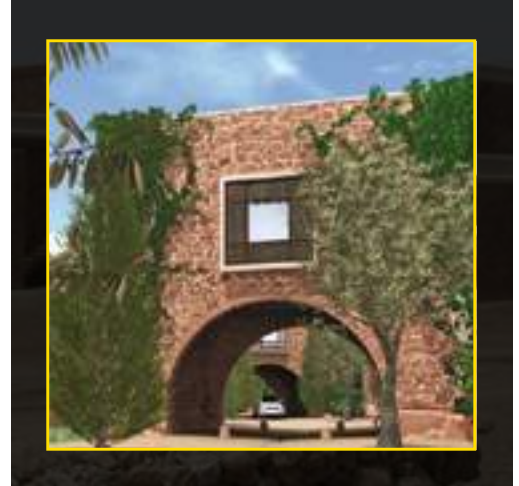
VILLAS POUR LES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ MOHAMMED VI



MATÉRIAUX LOCAUX UTILISÉS

Le choix motivé et engagé de construire l'ensemble des villas en maçonnerie porteuse de moellons de pierre de porphyre rose, répond à six objectifs :

1. Mise en valeur des ressources minérales locales ; ouverture des carrières de pierres abandonnées à Benguéir ; relancer la formation et l'emploi intensif d'une main d'œuvre locale en déperdition.
2. Renforcer le système poteau-poutre béton armé par des refends porteurs chaînés, très économes en acier et ciment.
3. Présenter une image forte pour revaloriser l'architecture régionale et lui conférer un cachet original qui participera au rayonnement de la ville nouvelle.
4. Miser sur une démarche Bioclimatique, alternative aux maisons confinées et super isolées, en réhabilitant les vertus des constructions traditionnelles, naturellement aérées, à très forte inertie et déphasage thermique, en réduisant les écarts de température jour/nuit (stock tampon).
5. Donner à la ville verte un caractère singulier, en utilisant la pierre rose locale.
6. Les maisons en pierre ne nécessitent ni reprise d'enduit, ni peinture pour des siècles à venir.



REVÊTEMENT TRADITIONNEL

EN BEJMAT TRADITIONNEL PONCÉ ET CIRÉ, ET ZELLIGE

La majeure partie des matériaux utilisés à l'intérieur des villas est d'origine locale, provenant de carrières à proximité de Benguéir. Cela concerne notamment l'utilisation de la pierre pour le revêtement des sols et construction des arcs, piliers, etc. et le choix de Tadelakt pour la partie basse des murs intérieurs, les plafonds en tataoui ou encore le zellige sont autant de procédés choisis afin de valoriser le savoir faire des artisans locaux.

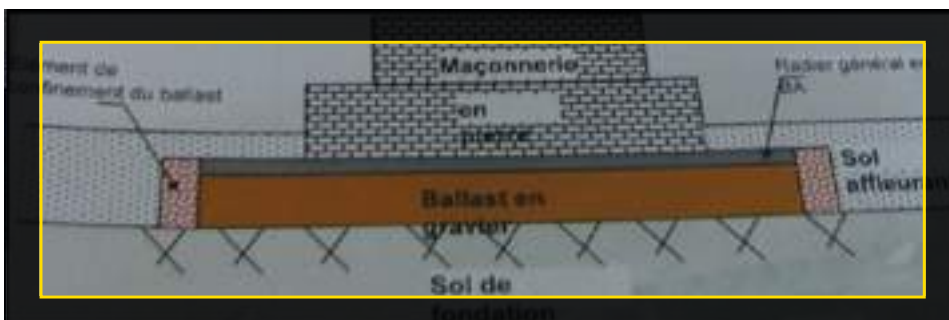
SYSTÈME CONSTRUCTIF

Murs porteurs en maçonnerie de pierre naturelle, posés sur un radier fondé sur lit de galet. Il s'agit d'une fondation sur sol substitué, compacté qui sert doublement à la structure et crée un système de climatisation bioclimatique.

Le principe d'assoir les maisons sur un radier posé sur un lit de galet, est à la fois une solution économique et technique, comparé à un système classique de semelles isolées ou filantes, sur du schiste à 1.5 m de profondeur.

Le lit de galets fait 80 cm d'épaisseur, avec des variations allant de 15 à 20 cm. La croute calcaire sera soustraite, car son irrégularité risque de générer des affaissements différentiels.

Pour les besoins du fonctionnement thermique du lit de galets, on cherche des alluvions d'oued; un matériau de forme arrondie, dur et dense qui présente un pourcentage de vide important.





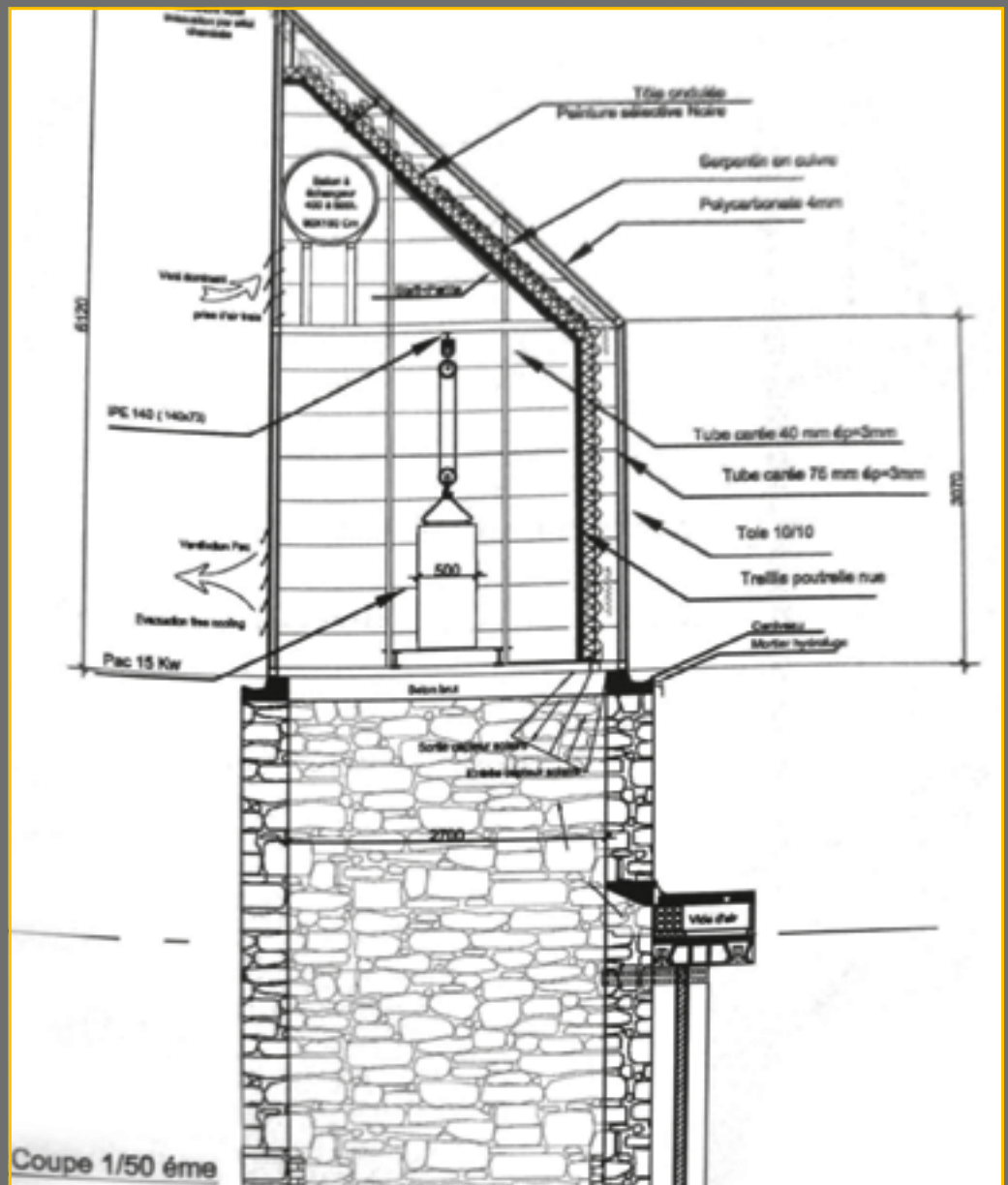
L'ISOLATION

MURS MASSIFS EN PIERRE, ISOLÉS EN CHANVRE

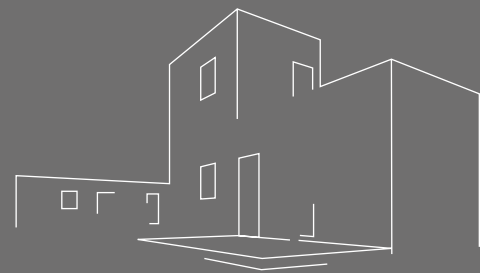
Les murs de type massif, en pierre dure, épaisseur 40 cm reçoivent une isolation par l'extérieur en béton de chanvre de 10cm, en plus d'une contre paroi en pierre de 10cm. Les toitures sont isolées par 12 cm de béton de chanvre avec un doublage, dalettes préfabriquées supportées par des plots en béton de chanvre, avec une étude minutieuse des ponts thermiques. Double dalles au niveau des terrasses avec isolation en perlite ou béton de chanvre.

DOUBLE DALLE VENTILÉE

Système de la double dalle ventilée pour les toitures terrasses, là où la chaleur est la plus importante. Ce système participe activement au rafraîchissement nocturne, par ventilation naturelle entre les deux parois du double toit ; l'air plus frais entrant par les faces extérieures est canalisé vers la tour à vent, où il s'échappe par tirage thermique en partie haute.



VILLAS POUR LES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ MOHAMMED VI



Tour à vent sous forme de cheminées métalliques, et dispositif de soufflage, à l'instar d'un fluide caloporteur, chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température; Selon la saison, l'air se réchauffe ou se refroidit au niveau de la couche du galet, puis il sera soufflé, après filtration dans les locaux.

CLIMATISATION NATURELLE ET ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

La conception bioclimatique est intégralement réfléchi en adéquation avec l'aspect durabilité de ce projet.

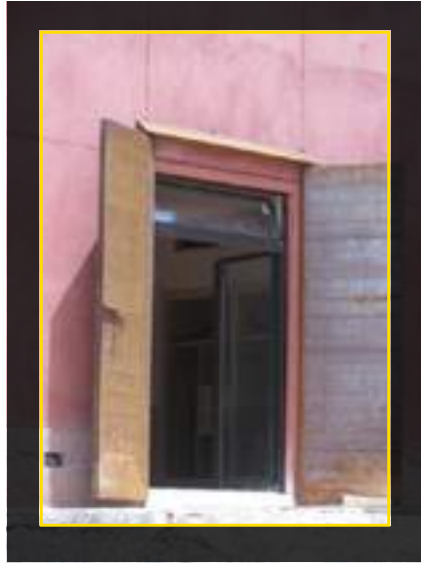
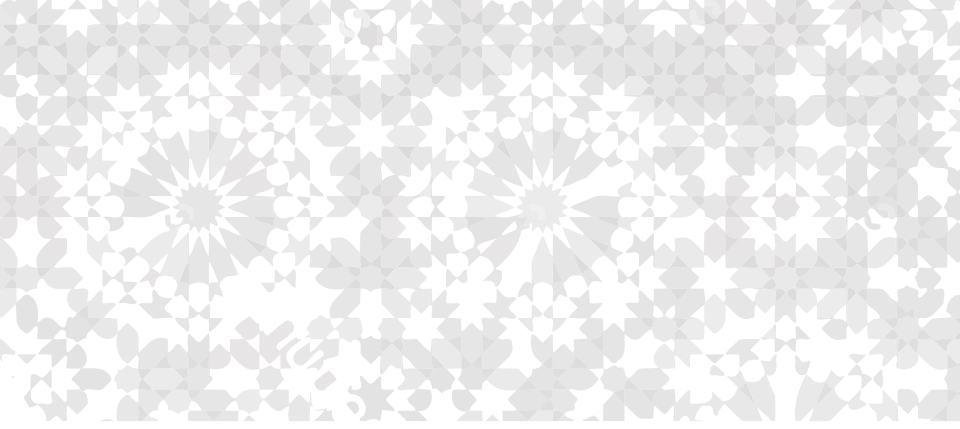
Le principe est basé sur l'utilisation d'un lit de galets, combiné à une tour à vent avec des capteurs solaires à air.

Le lit de galets sert de chaudière en hiver et de « groupe froid » en été. Durant l'hiver, le lit de galet est chauffé à partir de 40 jours, avant le démarrage du stockage, par les capteurs à air, se trouvant sur la tour à vent, par le biais de dispositif de soufflage reprise, fonctionnant en cycle de charge, puis la récupération de la chaleur accumulée dans le stockage se fait par la suite grâce au même dispositif fonctionnant cette fois-ci en cycle décharge.

Pour la période chaude, on chargera le lit de galet en froid, en se servant, la nuit de l'air extérieur, plus frais, comme fluide caloporteur. Dans les deux cas, l'air rentrant se réchauffera ou se refroidira suivant la saison, puis il sera soufflé, après filtration dans les locaux, par un réseau de gaines, passant en sous dalle du rez de chaussée, et dans les hourdis pour les locaux en mezzanine et étage. A la fin du cycle, l'air sera repris par transfert vers le groupe de reprise pour être à nouveau réinjecté dans le lit de galets, et ainsi de suite...

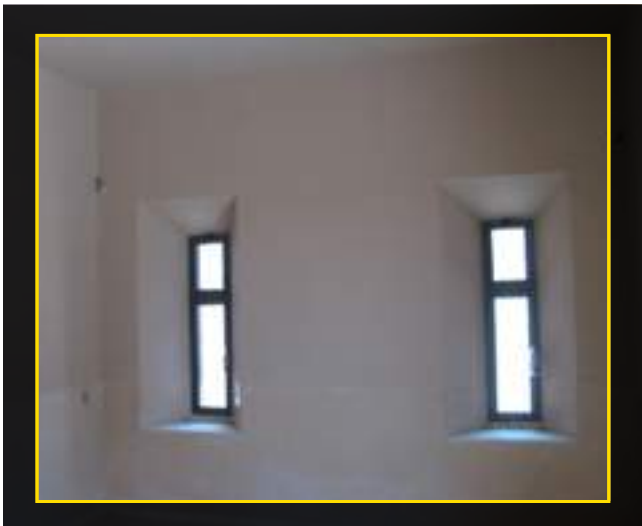
En ce qui concerne la production d'eau chaude sanitaire, celle-ci est assurée par l'énergie solaire, depuis un ensemble de tubes en cuivre, placés dans les capteurs à air.





Brise soleil métallique et volets en tôle.

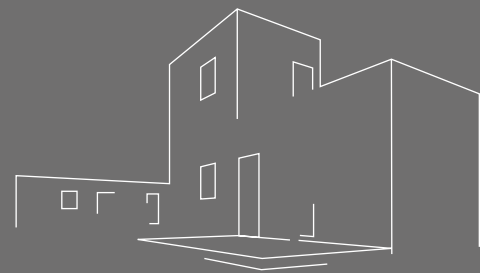
Ouvertures en double vitrage et protection solaire : le principe consiste à limiter la pénétration du soleil en été tout en profitant de sa chaleur en hiver.



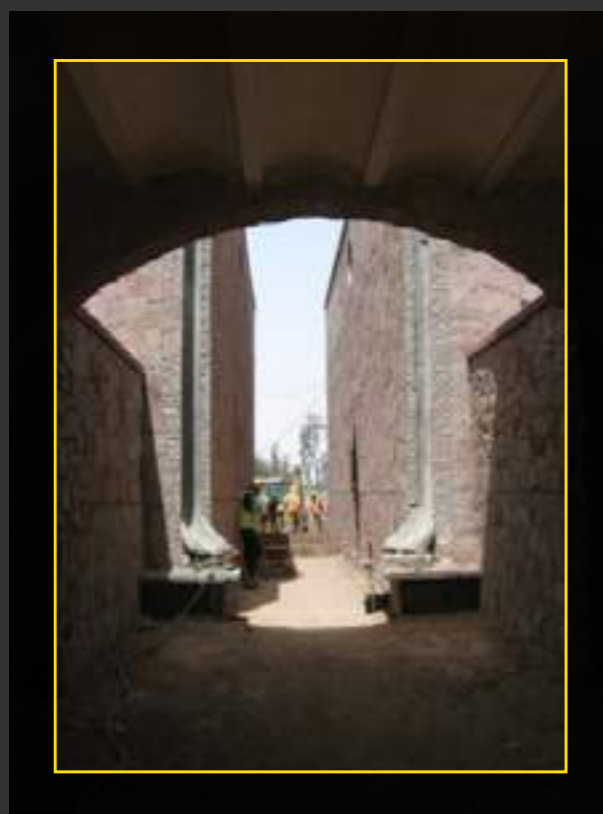
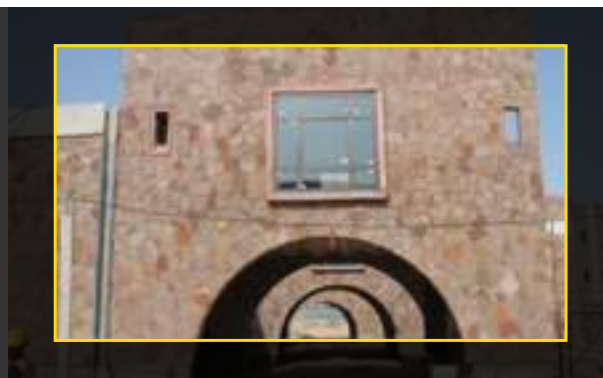
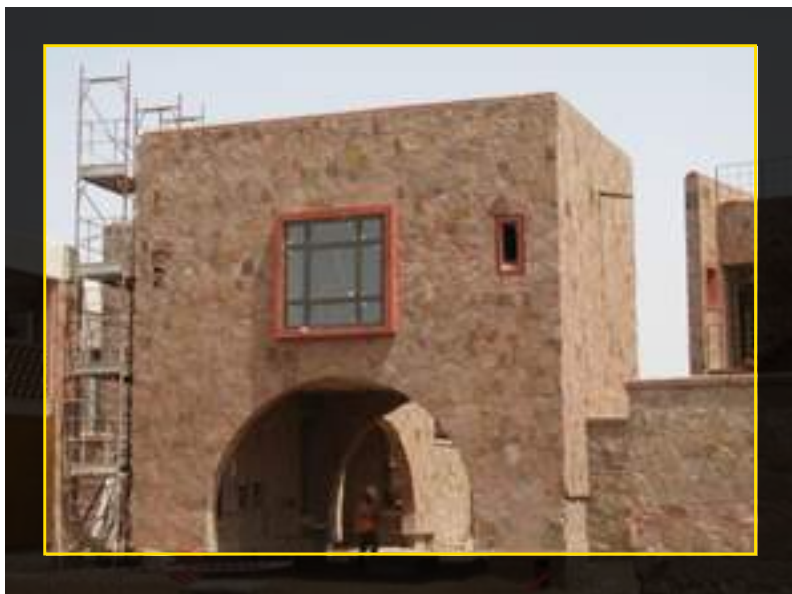
Ouvertures adaptées pour contrôler les surchauffes : en été, ces pièces étant exposées à un rayonnement solaire intense.

Un bel exemple de ventilation naturelle, la partie haute surplombant le toit est constituée de petites ouvertures au nombre de douze permettant au flux ascendant chaud de s'évacuer. Cela crée un mouvement d'air qui va aspirer l'air frais des sous-sols afin de rafraîchir la pièce.

VILLAS POUR LES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ MOHAMMED VI

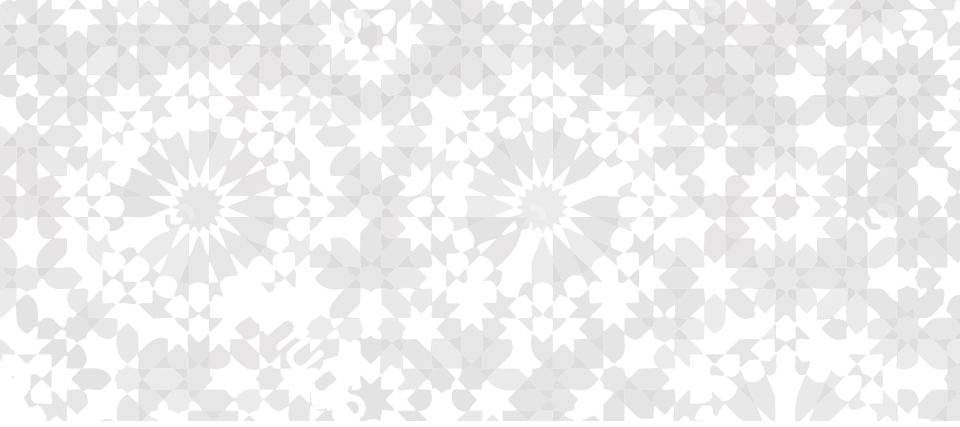


Des rues, conçus avec une succession de placettes générant un continuum ; Le passage sous sabat crée de l'ombre et procure de la fraîcheur ; des entrées en chicanes pour préserver l'intimité des espaces privés.



Récupération des eaux pluviales, grâce à une descente traditionnelle d'eau en façade en vue de leurs réutilisations paysagères : entretien des espaces ouverts productifs.

Assainissement séparatif, traitements des eaux grises et injection des eaux noires dans le réseau général.



**PERGOLAS À ARCEAUX D'ACIER
ET MUR VÉGÉTAL :**

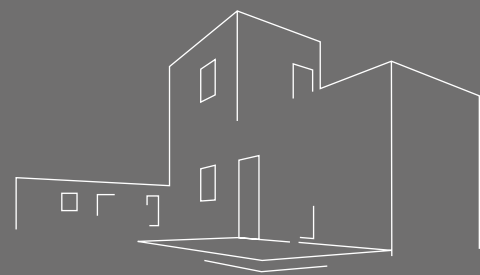
- Grille métallique
- Support d'une végétation grimpante



**TECHNIQUES
TRADITIONNELLES :**

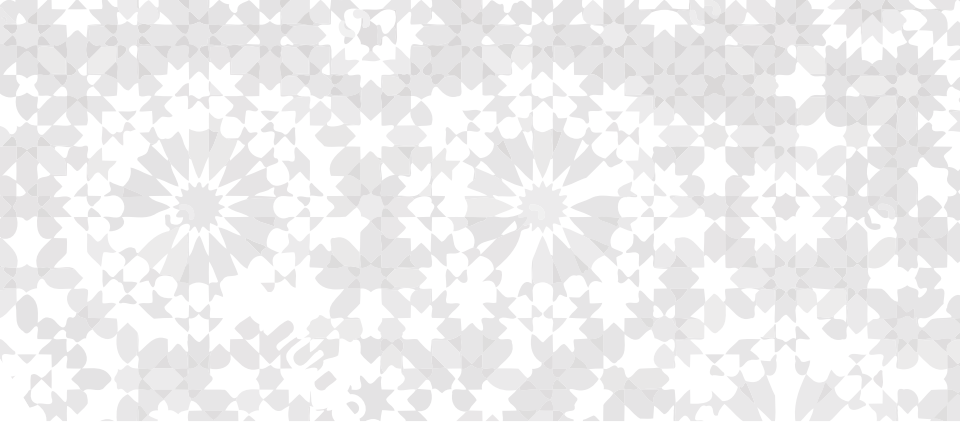
- Maçonnerie porteuse
- Voûte
- Coupoles et arcs porteurs
- Pierre porphyre pour revêtement

VILLAS POUR LES CHERCHEURS DE L'UNIVERSITÉ MOHAMMED VI



REVÊTEMENT TRADITIONNEL





ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Elie Mouyal , a commencé son cycle d'étude au centre de recherches sur le Maghreb, vers la fin des années 70 ; il a introduit la Médina dans ses projets modernes avec beaucoup de production, mais peu de prolongement. Pour lui, la bonne pratique, loin de l'affichage de la façade, est d'abord une sincérité vis-à-vis des lieux et des usagers.

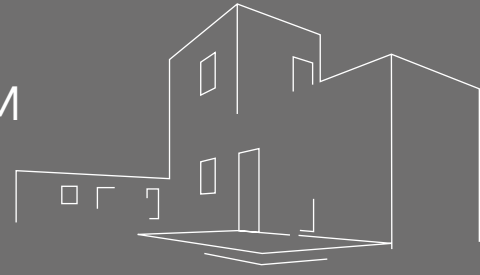
La qualité environnementale dans le cas du projet villas pour chercheurs à Benguerir est respectée. La technique d'échange thermique entre l'air et la couche de galets par un dispositif de stockage et soufflage, dans les locaux, représente une véritable innovation en matière de stratégie bioclimatique du chaud et du froid. Les principes de l'écologie urbaine sont intégrés en amont du projet. En effet, nous constatons une meilleure organisation de la voirie et des espaces publics, un choix adapté des matériaux, une réduction des surfaces asphaltées. La préservation des surfaces perméables dans ce projet, participe à la diminution des îlots de chaleur par la rétention des eaux, les échanges thermiques liés à l'évapotranspiration, et la végétation. La morphologie des bâtiments, l'espacement entre ceux-ci, et les passages sous Sabats, créent de l'ombre et réduisent le rayonnement solaire au sol.

En guise de conclusion, la réalisation de l'éco-quartier villas des chercheurs à Benguerir, ne peut pas obéir aux simples normes d'un lotissement standard ; cela nécessite beaucoup de recherches, une certaine liberté au niveau de la conception, un investissement en terme de temps, et un surcoût financier.









CAS PILOTE 3

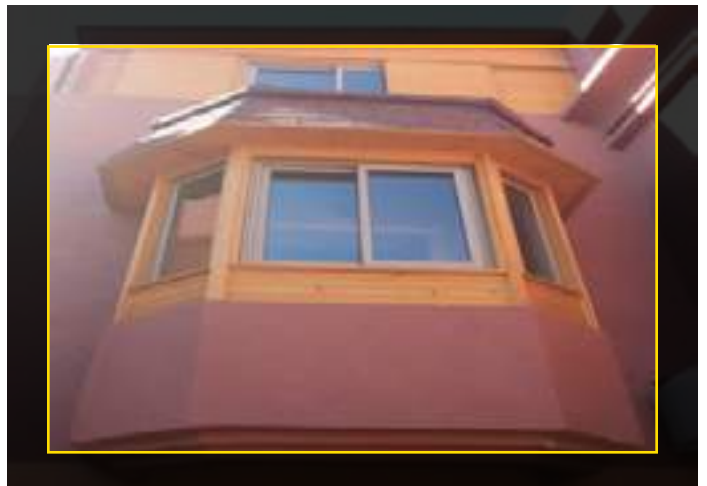
ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z5 Marrakech	Maison Marocaine Moderne Nassim	Finition et rénovation par le propriétaire	ERAC Tenssift Propriétaire Abderrahim Brakez

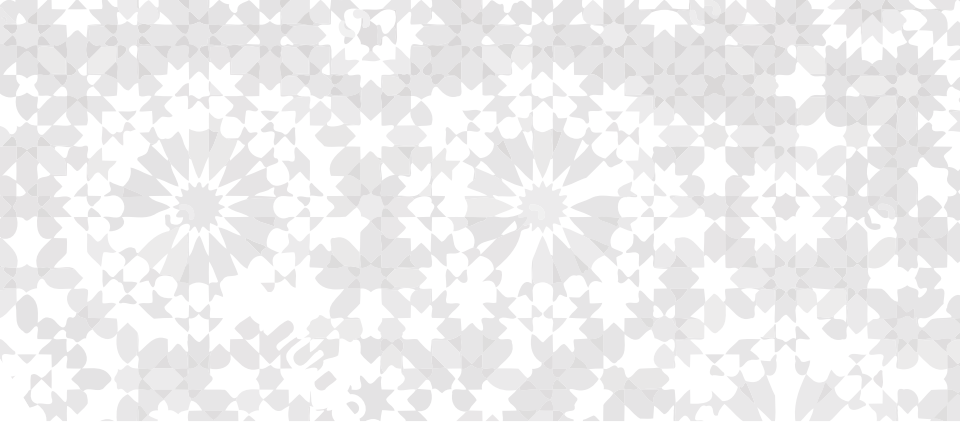
ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

La maison Nassim, construite sur une surface au sol de 70 m², a été achetée en 2002 semi finie chez l'ERAC Tenssift. Son propriétaire l'a finie en 2005 et a fait sa rénovation en 2014.

OUVERTURES

Les deux façades, est-ouest, donnant sur des jardins de 30,6 m² et 25,8 m² respectivement. Les faces nord-sud sont collées sur les murs des bâtiments voisins de même type et de mêmes dimensions.





I ENVELOPPE ET MATÉRIAUX AVANT RÉNOVATION

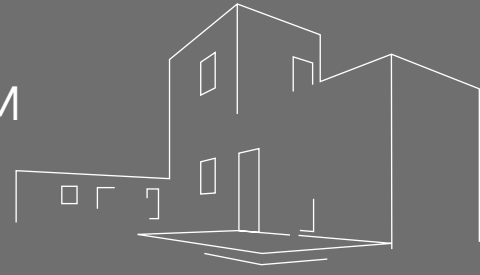
SITUATION DE BASE :

- Les façades est-ouest sont en double cloison, 10 cm de brique rouge avec une lame d'air de 5 cm et entouré de deux couches de mortier de ciment de 1,5 cm. L'épaisseur globale de ces murs est de 28 cm avec un coefficient de transmission thermique $U = 1.42 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- L'épaisseur des murs sud et nord, les murs mitoyens inclus, dépasse 40 cm. Ils sont composés de deux couches de 2 cm de mortier de ciment et deux couches de parpaing de 20 cm dans chacun des côtés. Le coefficient de transmission thermique est estimé à $1,83 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- La toiture est composée des couches suivantes : 1 cm de plâtre, 20 cm de plancher à hourdis (16 cm du corps creux en béton et 4 cm de table de compression en béton armé), 10 cm de mortier et 2 cm de carrelage. Son coefficient de transmission thermique est estimé à $2,22 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- Le plancher bas sol est composé des couches suivantes : 50 cm de galets, 7 cm béton armé, 7 cm couche de forme et 1 cm de carrelage. Sa résistance thermique est estimé à $0,50 \text{ m}^2.\text{K/W}$.

I ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)

Consistance de la rénovation énergétique : isolation de la toiture par 40 mm de XPS ; utilisation des doubles vitrages ; ombrage du toit par un dispositif mobile ; couleur claire de la menuiserie exposée au rayonnement solaire.



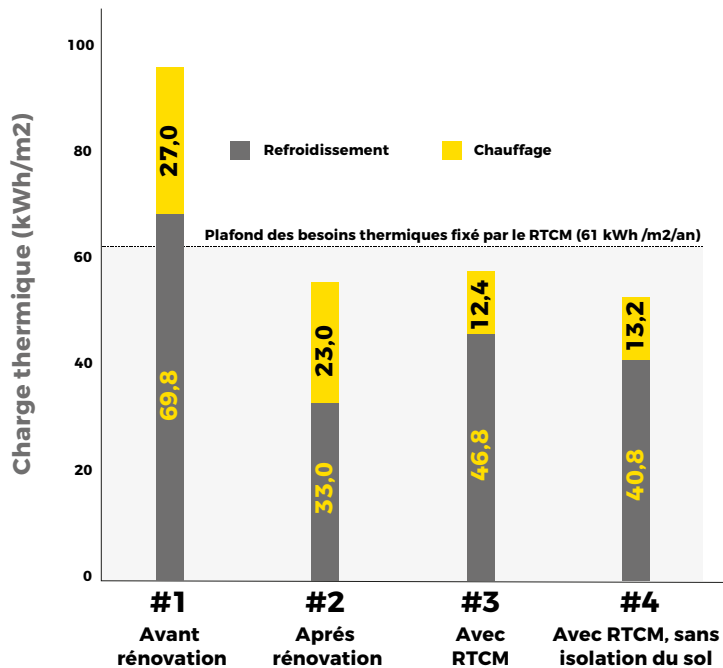


SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES :

Quatre différentes configurations ont été étudiées et simulées afin d'évaluer l'effet de l'application des exigences techniques de la RTCM sur les performances énergétiques et le confort thermique de l'ambiance de la maison Nassim. La première variante étudiée présente la maison avant rénovation (situation de référence) et la deuxième variante présente le bâtiment après rénovation. La troisième variante présente la maison avec l'application des exigences de la RTCM et la dernière correspond à la troisième, application de la RTCM, mais sans prendre en considération l'isolation thermique du plancher bas sol.

Les charges thermiques, besoins en chauffage / refroidissement dans la maison, sont évaluées à travers les simulations thermiques dynamiques, et sur la base d'une température de consigne de 20 °C en Hiver et 26 °C en Été.

Le cas n°2 (Maison actuelle, après rénovation) représente relativement la variante la plus performante sur le plan thermique et énergétique durant toute l'année. Il en est de même pour le cas n° 4 avec application de la RTCM en termes de valeurs U des parois de l'enveloppe mais sans isolation du sol. Celle-ci n'est pas du tout souhaitable pour un climat semi aride comme celui de Marrakech.



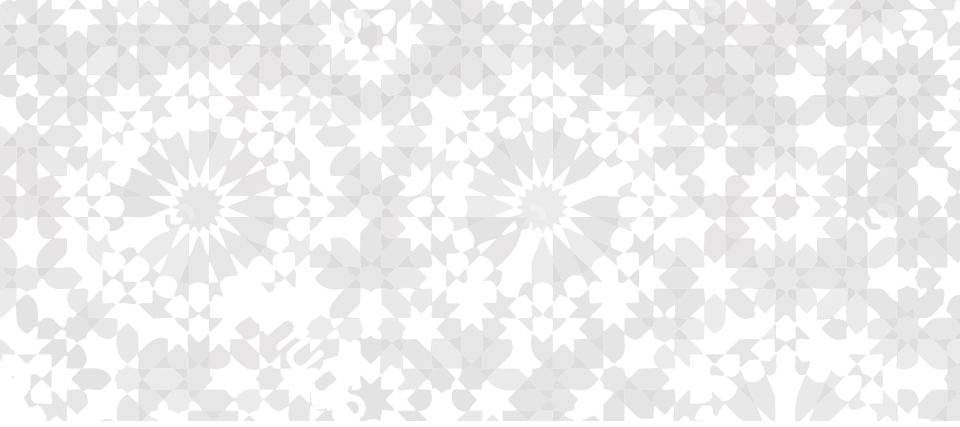
AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

Cette maison nommée Nassim, est un bâtiment résidentiel, type Maison Marocaine Moderne (MMM), selon la classification du Département de l'Habitat. La maison est construite sur une surface au sol de 70 m², dans un quartier résidentiel. Le bâtiment est composé de deux niveaux, le rez-de-chaussée se compose d'un salon, une cuisine, un couloir, et une salle d'eau, tandis que l'étage est constitué d'un couloir, trois chambres et deux salles d'eau.

CONFORT THERMIQUE

D'après les simulations thermiques, la configuration 2 (Maison actuelle, rénovée) est relativement la variante la plus confortable durant toute l'année avec des indices de confort thermique moyens, PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), qui ne dépassant pas $\pm 0,5$ et 16% respectivement.

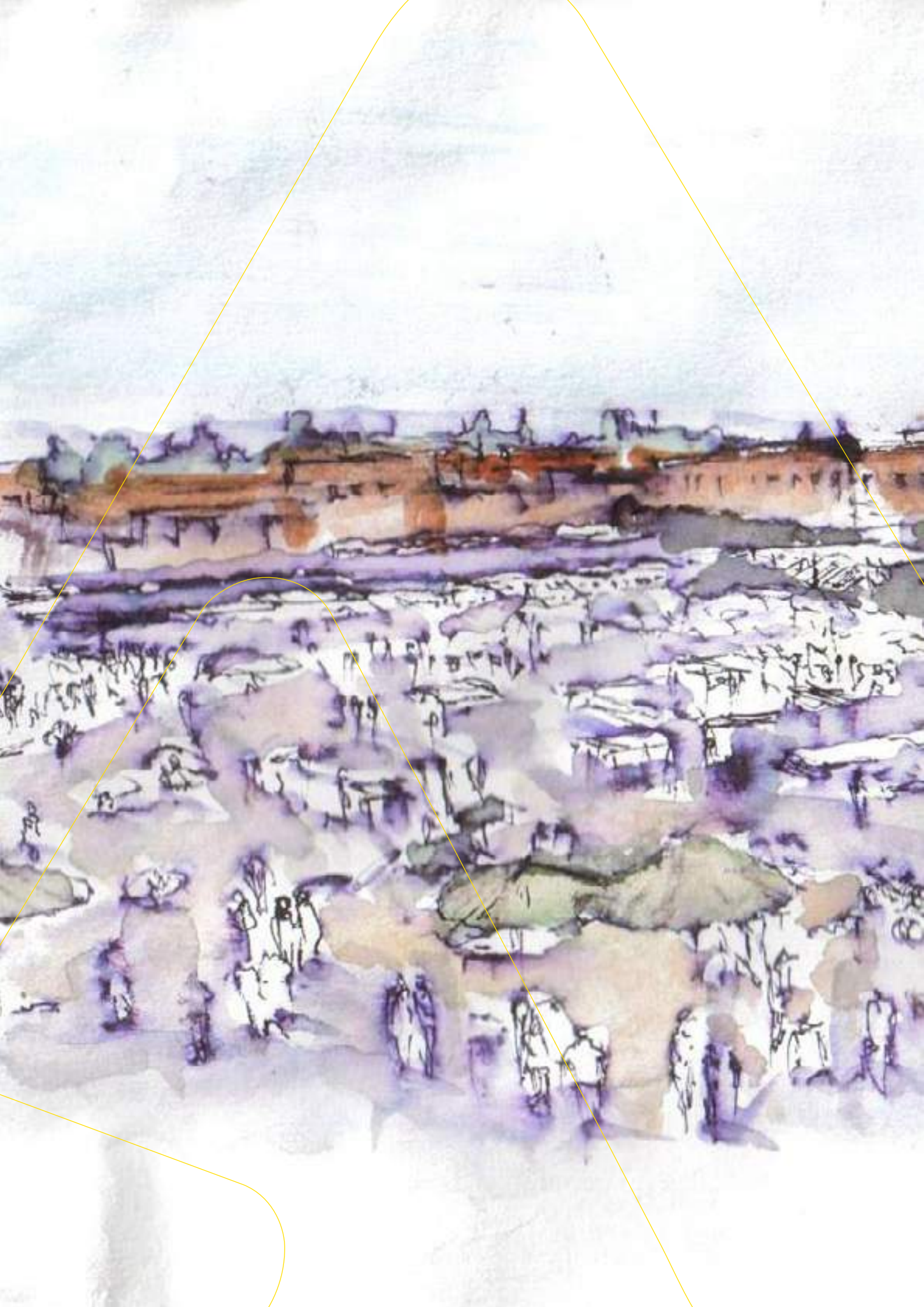


ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Dans un climat chaud comme celui de Marrakech, la charge de refroidissement présente un pourcentage très important par rapport à celle de chauffage, presque 3 fois plus grande.

Contrairement à ce que préconise la RTCM, il s'avère que l'isolation du plancher bas sol n'est pas souhaitable à Marrakech et il faudrait plutôt bénéficier de l'inertie thermique du sol pour réduire la charge de refroidissement et pour augmenter le confort thermique. L'isolation thermique des murs externes par le polystyrène au lieu de la lame d'air conduit à une surchauffe de la maison en été.







IMMEUBLES LOGEMENTS SOCIAUX R5+, OPÉRATION JACARANDA

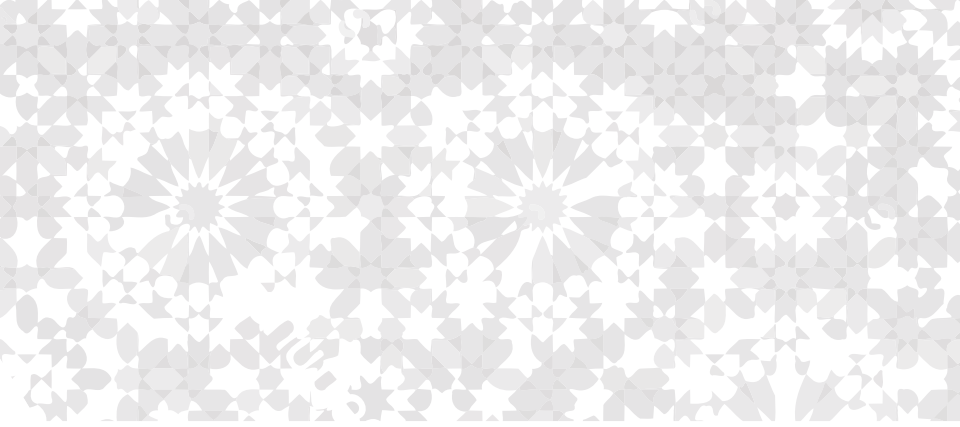
CAS PILOTE 4

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z5 Tamansourt	Logements sociaux Immeubles R5+ Opération Jacaranda	Souad Belkeziz Youssef Bouchriha	Al Omrane Tamansourt

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

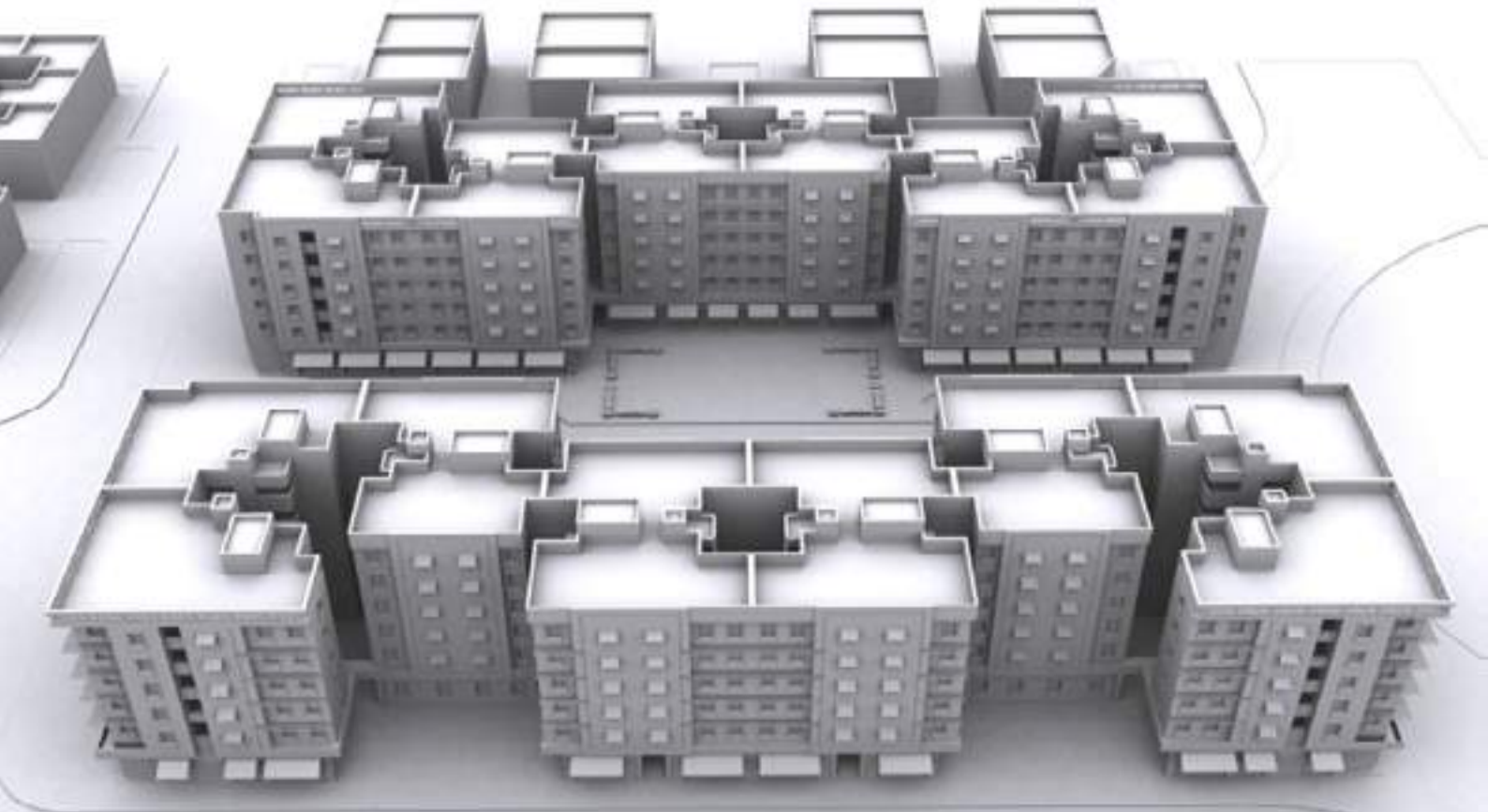
ORIENTATION

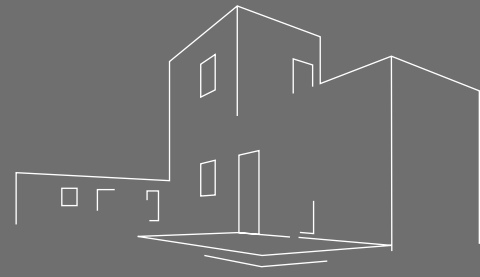




FORME ET COMPACITÉ

Le mode de groupement et la conception d'appartements traversants permettent une bonne ventilation et un renouvellement d'air.





OUVERTURES

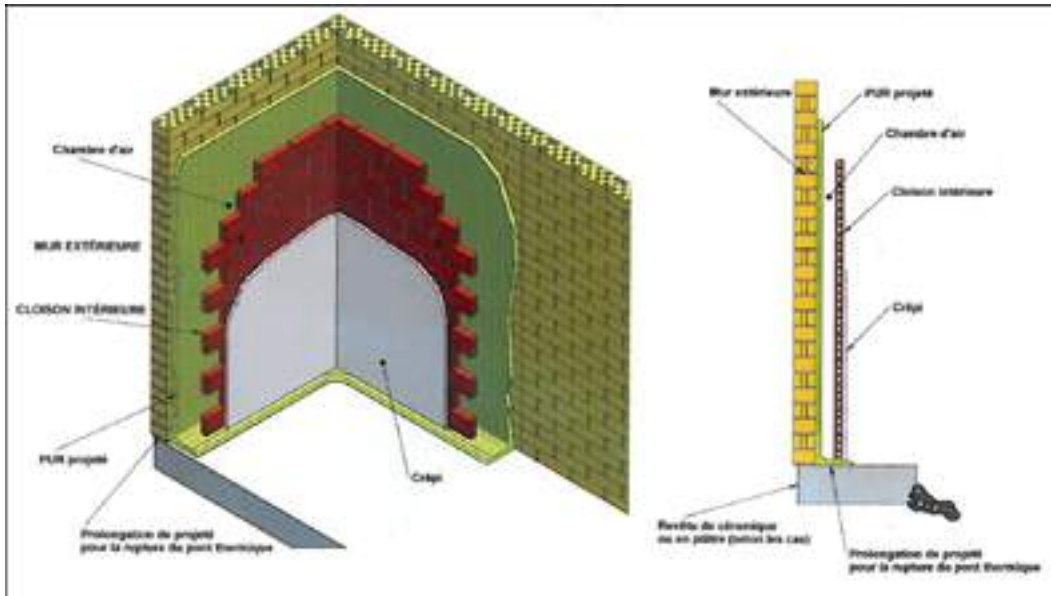


**MATÉRIAUX, PEAU,
REVÊTEMENT ET ALBÉDO**



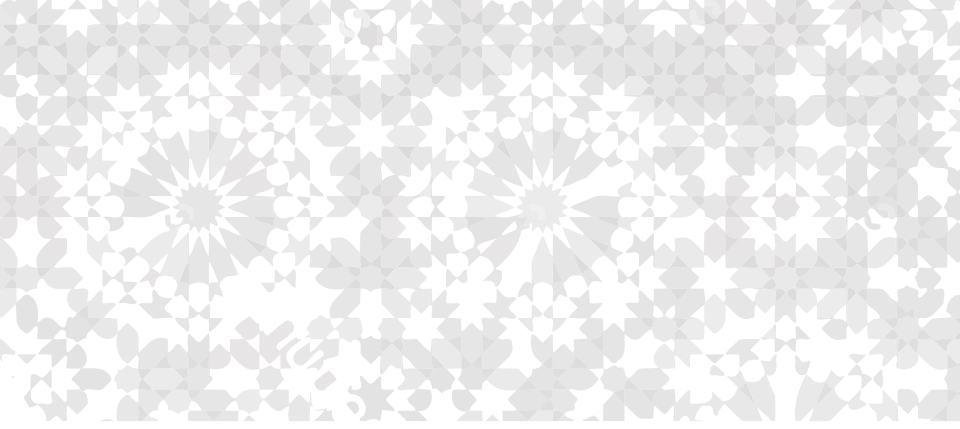
**INERTIE
THERMIQUE**

AU NIVEAU DES DOUBLES CLOISONS



AU NIVEAU DES PLANCHERS





I ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)

ISOLATION PAR POLYURÉTHANE PROJETÉ

Isolation des murs donnant sur l'extérieur en double cloison de briquettes alvéolées par une couche de 4 cm de polyuréthane projeté et une lame d'air de 3 cm situées en intermédiaire.

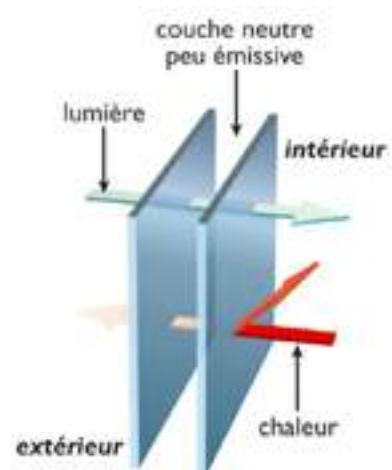
- Isolation de la toiture par une couche de polyuréthane de 6 cm en sous face.
- Isolation du plancher bas sur terre pleine par une couche de polyuréthane de 3 cm en sous face.
- Isolation des planchers intermédiaires donnant sur les commerces du RDC par une couche de polyuréthane de 5 cm en sous face.

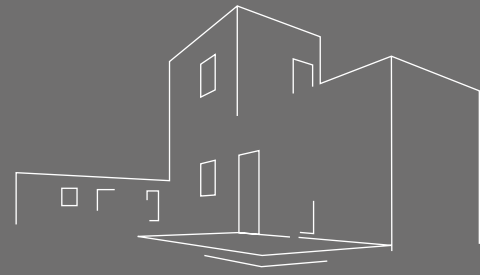


DOUBLE VITRAGE PERFORMANT

Utilisation d'un double vitrage constitué de deux feuilles de verre assemblées et scellées en usine, séparées par un espace hermétique clos renfermant du gaz d'argon.

L'intérêt du dispositif est de bénéficier du pouvoir isolant apporté par la lame de gaz, et de faire baisser de la sorte le coefficient de transmission thermique de l'ensemble du vitrage.





PROTECTIONS SOLAIRES

Grâce à leur conception modulable, les volets à projection peuvent être adaptés à différents types de construction. Une fois installés, ils apportent une protection solaire optimale et sont très pratiques car il est possible de continuer à les abaisser après la projection.

Leur fonction est de contrôler la luminosité, tout en restant esthétique.

La lame bascule sur un axe vertical logé dans un cadre aluminium.



AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

Le projet consiste à concevoir une résidence (R+5) offrant une stratégie très performante de solutions architecturales, urbanistiques, environnementales, techniques et constructives visant à offrir aux habitants des conditions optimales de cadre de vie et de bien être tout en garantissant une réduction maximale des émissions polluantes et des consommations d'énergies.

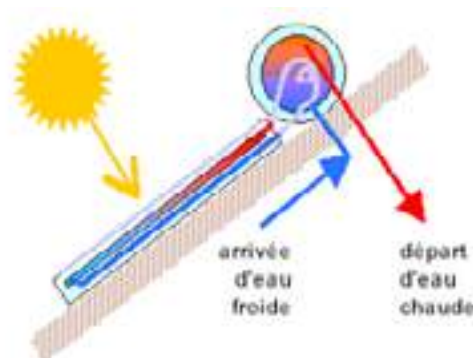
Construction : 272 logements.

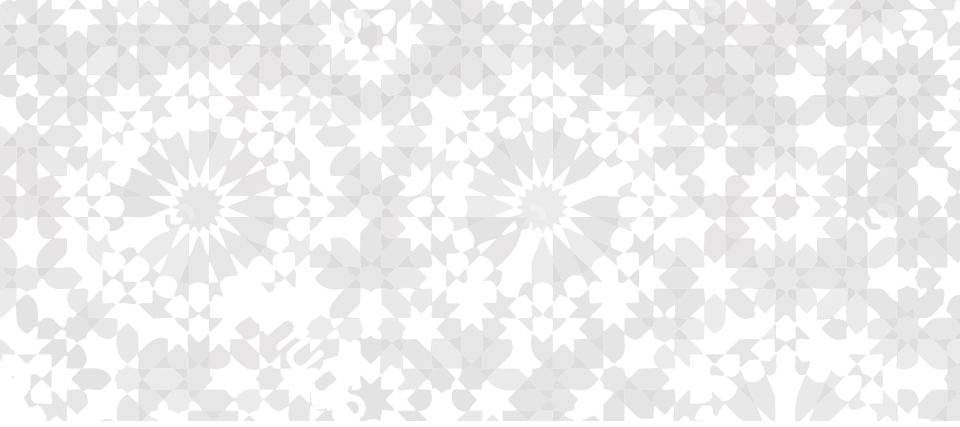
Superficie totale du projet : 25 055 m².

CONFORT THERMIQUE

LES CHAUFFE-EAU SOLAIRES

Utilisation de chauffe-eau solaires Thermosiphon individuels pour chaque appartement.



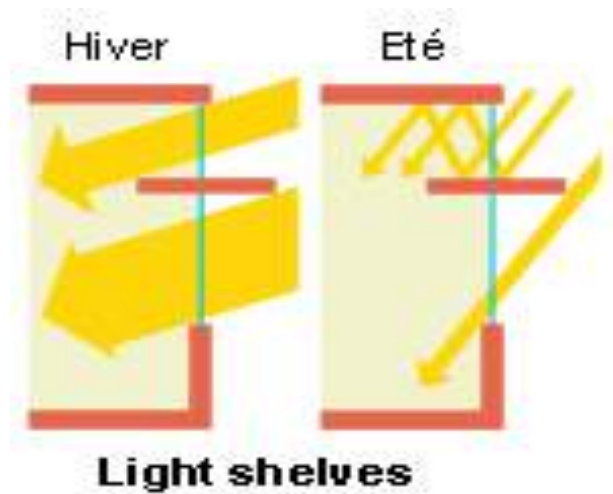
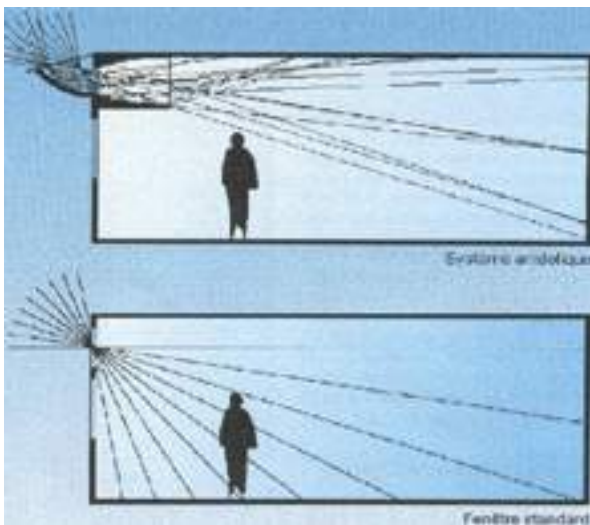


ECLAIRAGE DES ESPACES COLLECTIFS

Utilisation des light shelves

L'installation consiste à placer un miroir sur une poutre horizontale qui sépare la vitre en deux parties. Il accentue la luminosité de l'espace en renvoyant la lumière extérieure sur le plafond et en illuminant ainsi le fond de la pièce.

Ce système est idéal pour éclairer naturellement les cages d'escaliers et réduirait ainsi l'utilisation de l'éclairage artificiel pendant la journée.



AUTRES MESURES :

- Installation d'aérateur à ailettes pour l'extraction de l'air.
- Installation de robinetterie hydro-économe.
- Installation de ferme porte automatique des entrées de cage d'escalier.
- Installation de détecteur de présence et de luminosité.

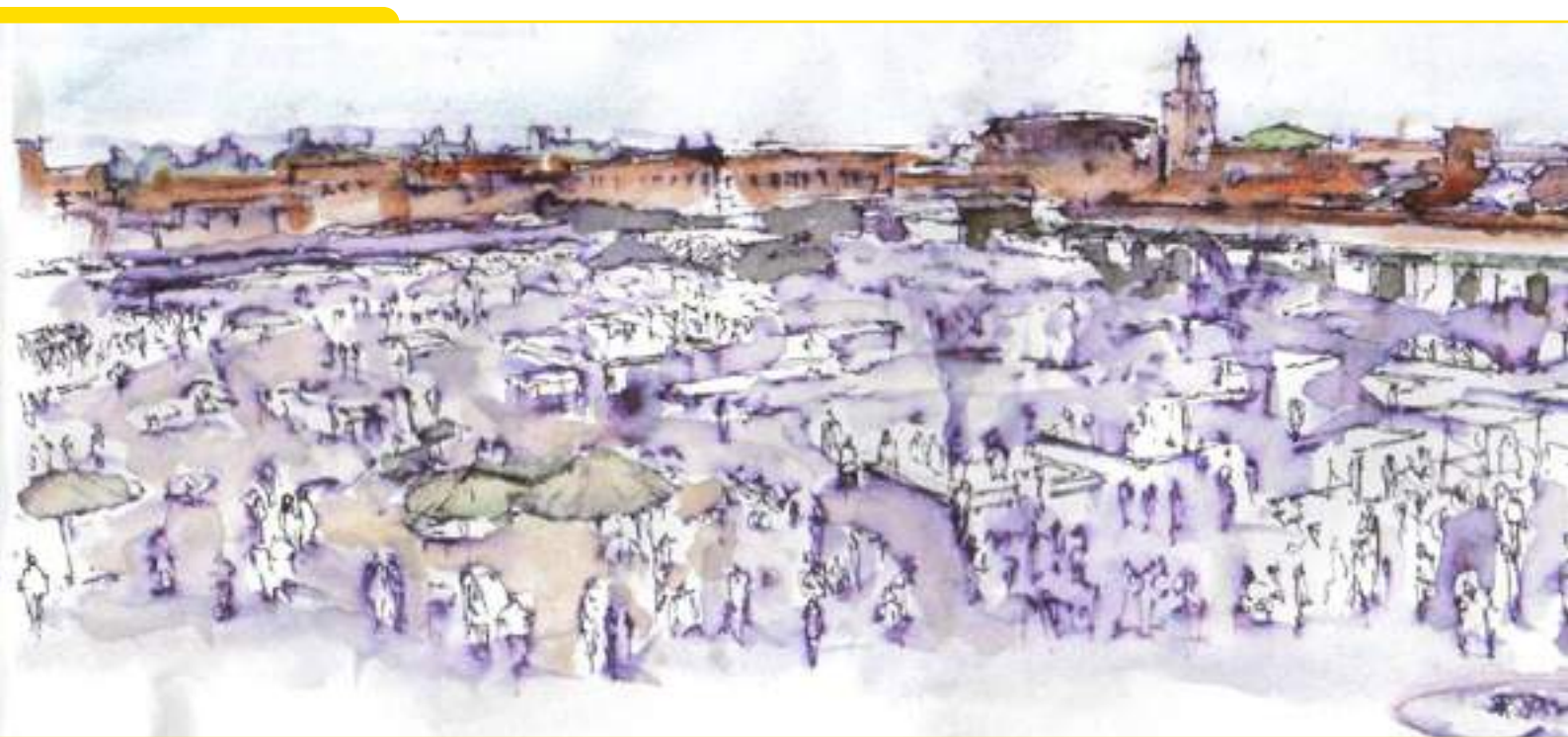
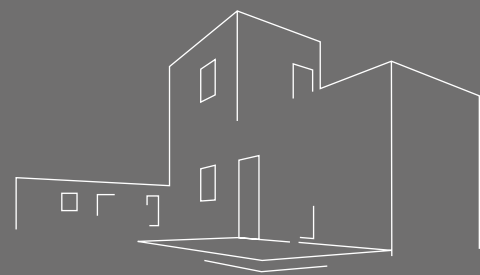
ENERGIE

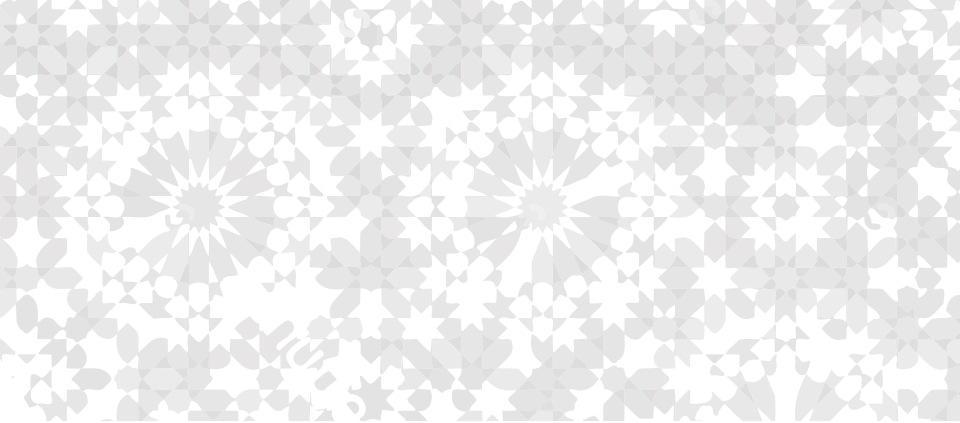
ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)

IMPACT DES MESURES D'EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE SUR LES BESOINS ÉNERGETIQUES

DESIGNATION	IMPACT
CHAUFFAGE	REDUCTION DE 92%
CLIMATISATION	REDUCTION DE 13%

IMMEUBLES LOGEMENTS SOCIAUX R5+,
OPÉRATION JACARANDA





ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Le projet immobilier Jacaranda à Tamansourt, consiste à réaliser environ 280 logements sociaux, offrant une stratégie performante de solutions architecturales, urbanistiques et énergétiques.

L'impact sur la consommation énergétique du projet Jacaranda après avoir intégré tous ces éléments d'efficacité énergétique peut se traduire par une réduction de 92% sur les besoins en chauffage et 13% sur les besoins en climatisation sans oublier un accroissement considérable du confort thermique et une réduction de l'utilisation en eau. Ces données, peuvent être aussi traduites en termes de réduction des émissions de CO₂.

Le surcoût du programme immobilier Jacaranda a été évalué à 7% du projet global (hors Chauffe-eau solaire).

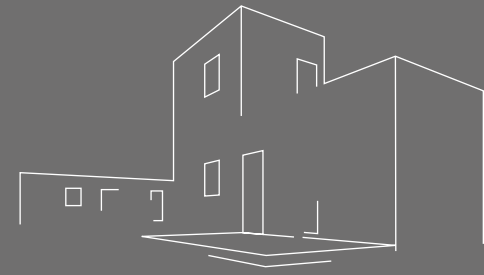
En termes de retour d'expériences, et compte tenu de son caractère précurseur, le projet a dû surmonter plusieurs difficultés, liées notamment au :

- manque de savoir faire technique des entreprises (isolation, ventilation, climatisation, éclairage, etc.) ;
- faible sensibilisation du consommateur et d'un secteur peu organisé ;
- un marché qui devrait s'adapter à de nouveaux produits ;

Enfin, le projet a eu besoin d'une bonne coordination pour assurer de l'harmonie entre tous les intervenants.







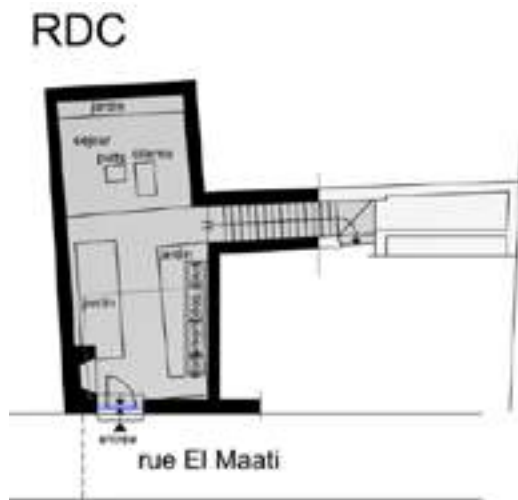
CAS PILOTE 5

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z1 RABAT	La maison des architectes	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Propriétaires Myriam Soussan et Laurent Moulin

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

L'aménagement intérieur de cette maison dans la médina de Rabat est inspiré de la recherche d'un modèle architectural marocain, contemporain et bioclimatique. Le défi a été de parvenir à reproduire sur une petite échelle et en accéléré les cycles naturels (cycle de l'eau, cycle de la matière organique, cycle de l'énergie), puis de fusionner les différents dispositifs relatifs au déroulement de ces cycles au sein d'une architecture novatrice sur le plan de la stratégie d'occupation de l'espace.

ORIENTATION



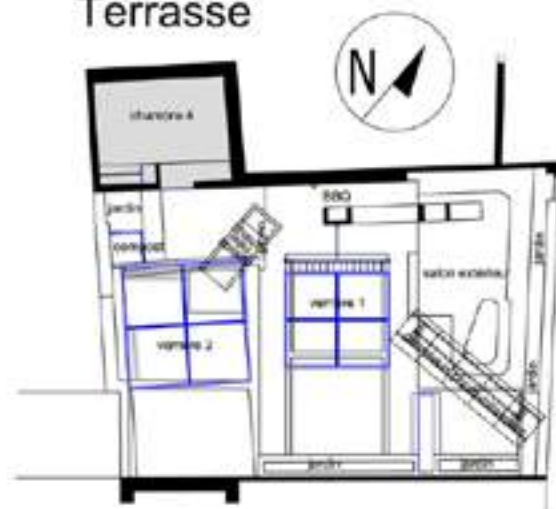
FORME ET COMPACTITÉ

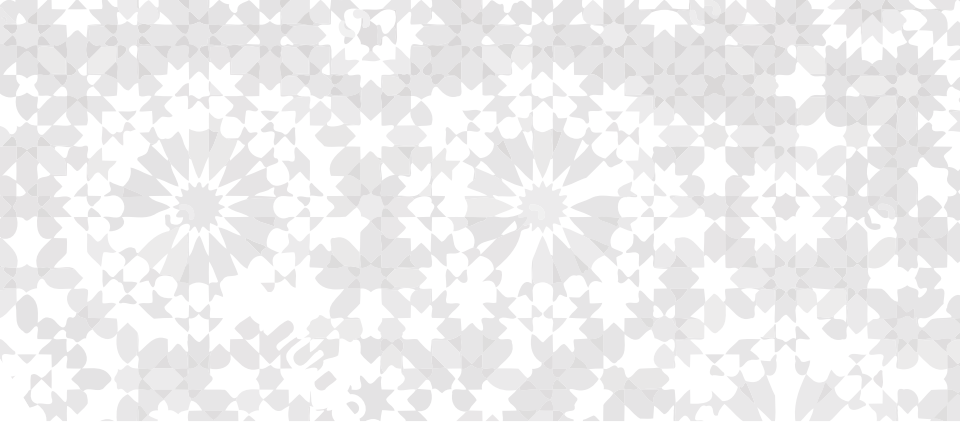


2eme Etage



Terrasse





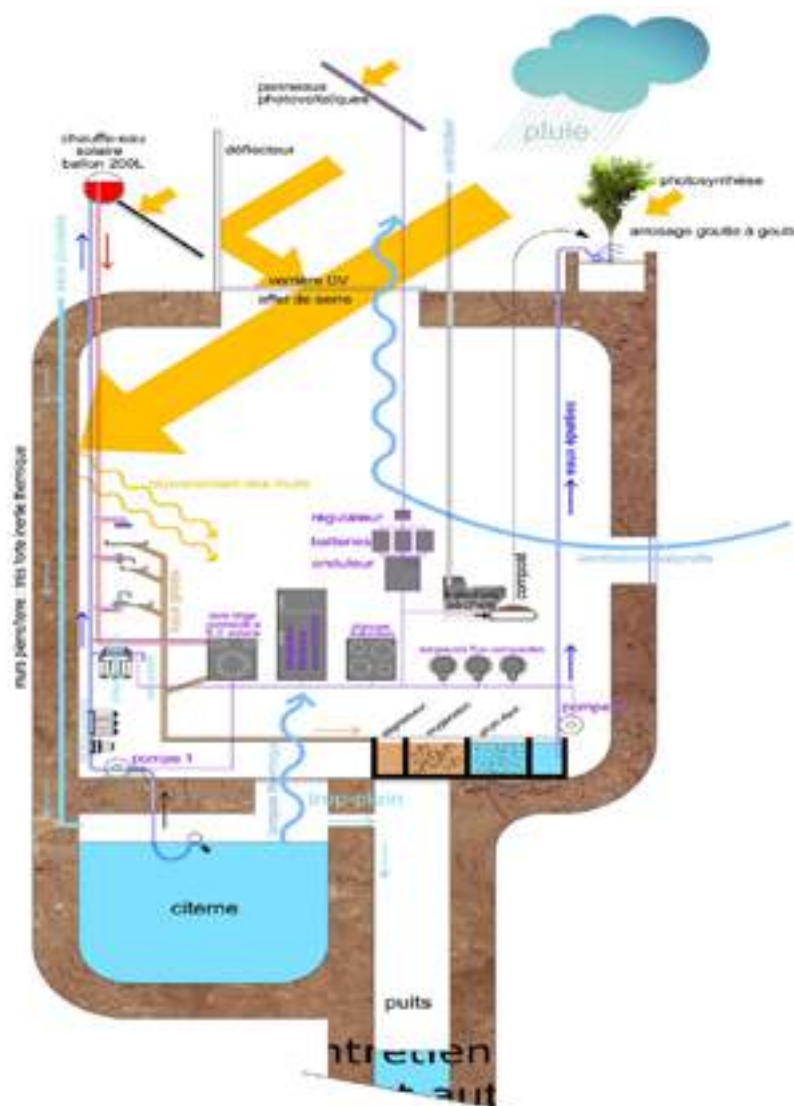
I MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO

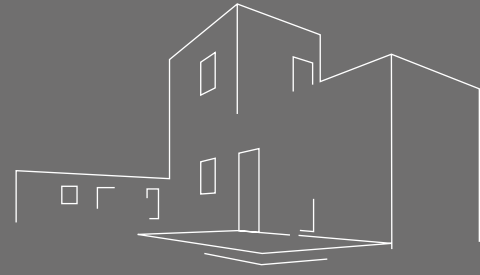
Murs existants en terre/pierre.
Plafonds hauts bois et béton, isolation en liège.
Planchers intermédiaires en bois.
Menuiseries en acier et double vitrage.

I ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)

Murs à très forte inertie thermique (terre/pierre).
Isolation de la toiture en liège.
2 Verrières totalisant 24 m² en double vitrage pour le chauffage en hiver. Toutes les fenêtres sont en double vitrage.

PLAN SYNTHÉTIQUE DE LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE





AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

Ce logement de 200 m² est conçu selon des règles précises : autonomie, respect des cycles naturels, compacité et complexité.



ESPACE SALON
SOUS PASSERELLE



SALON
PRINCIPAL



ESCALIER ET
DÉFLECTEUR



FAÇADE INTÉRIEURE ET
VOILETS PLACARDS ISOLANTS

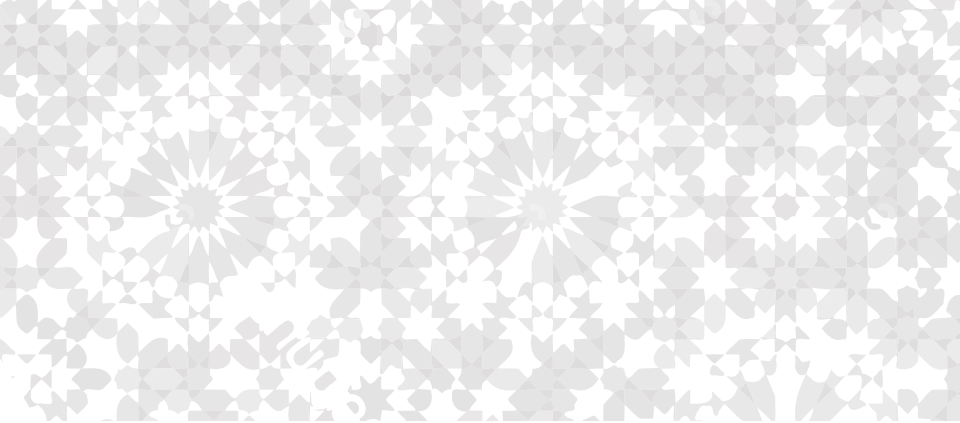


ENTRÉE ET VUE SUR
TRAITEMENT DES EAUX



VUE DEPUIS
JARDIN

Modulable, cette architecture autorise un véritable nomadisme, au gré des besoins (changement d'affectation, transformation ou réduction des espaces), des saisons, ou du nombre d'occupants (modification du cloisonnement). Aucun espace figé auquel on attribue une fonction : dans cette maison, tout se transforme et se déplace.

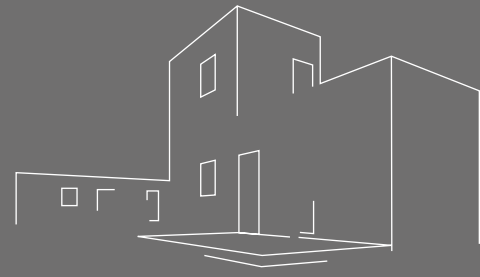


ENERGIE

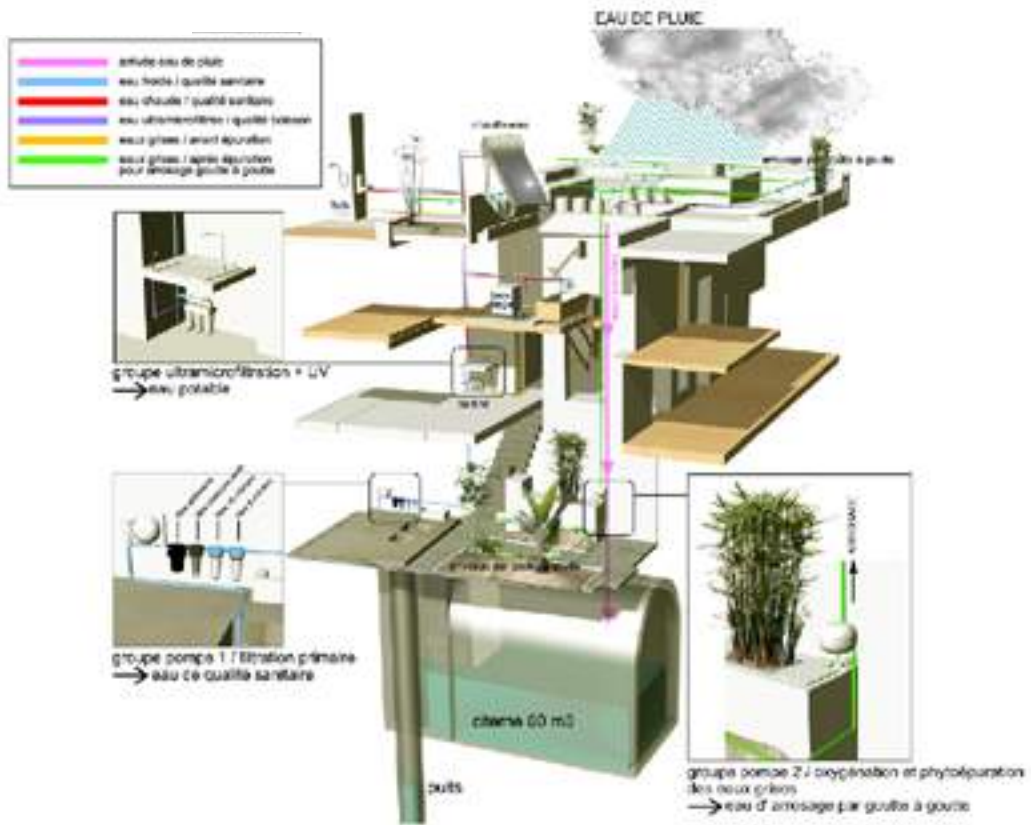
ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)



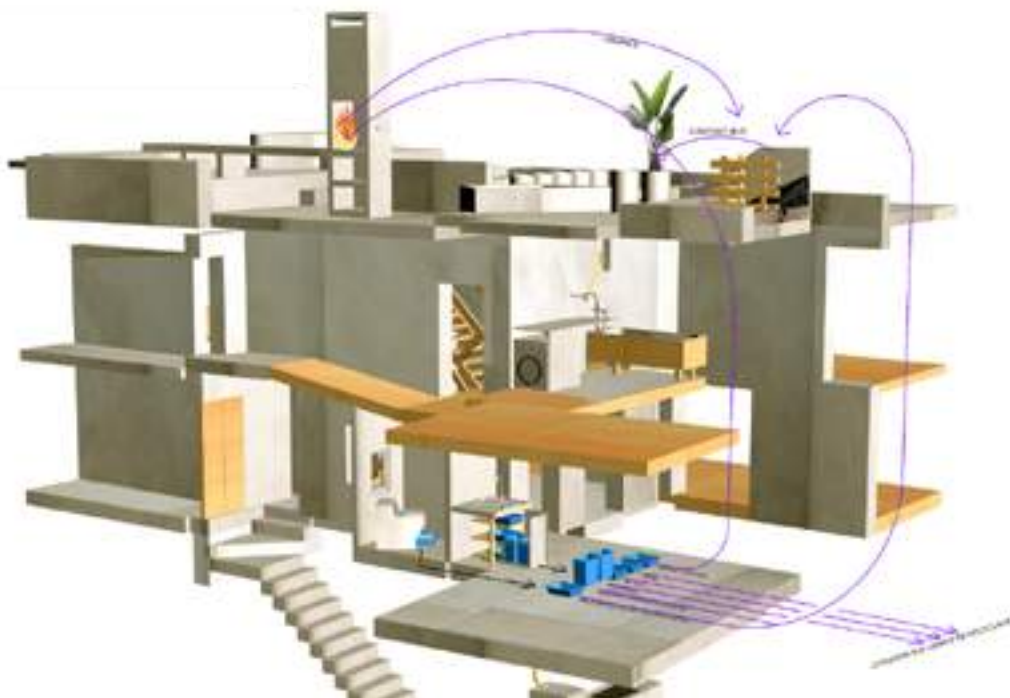
- Alimentation électrique photovoltaïque (5200 W/h/jour).
- Chauffe-eau solaire 200 L.
- Récupération des eaux de pluie dans une citerne (40 m³) pour alimenter toute la maison, après filtration et traitement U.V. Ultra microfiltration pour l'eau potable.
- Filtration des eaux grises (réacteur aérobie). Réutilisation de l'eau traitée pour l'arrosage en terrasse (goutte à goutte).
- Toilettes sèches automatiques (aération et chauffage du compost).
- Robinetterie basse consommation d'eau (à infrarouge).
- Tri des déchets pour le compost.
- Potager en terrasse assurant la moitié de la consommation en légumes.
- Plaque de cuisson à induction (basse consommation).
- Lave-linge alimenté en eau chaude solaire (réduction des 2/3 de la consommation électrique).
- Réfrigérateur haute performance énergétique (300 W/h/jour).
- Lampes très basse consommation (à lumière jaune).

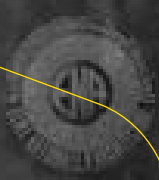
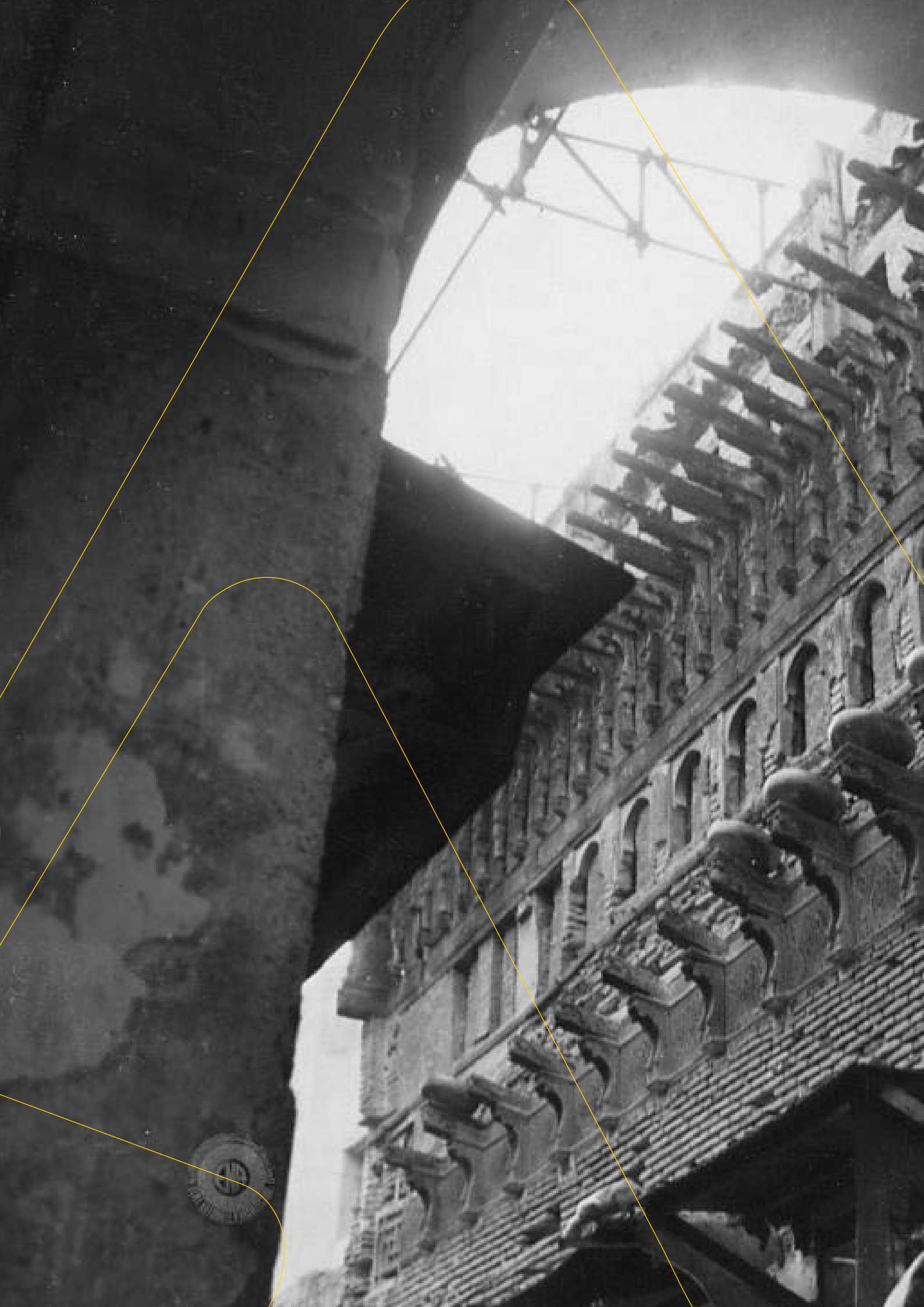


CYCLES DE L'EAU

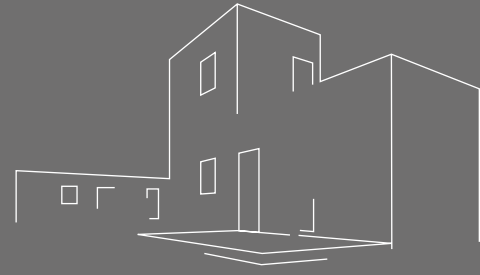


CYCLES DES DECHETS









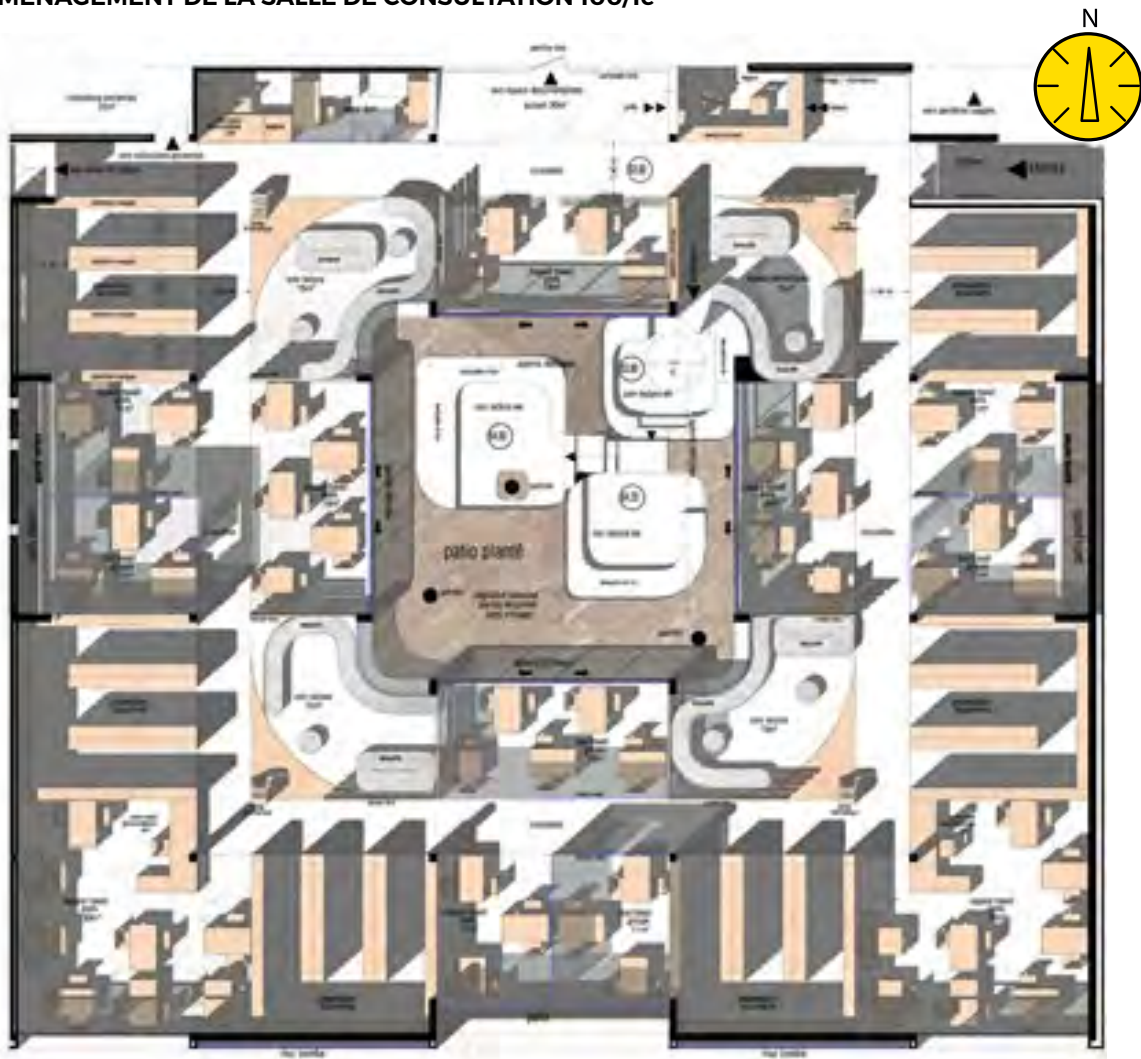
CAS PILOTE 6

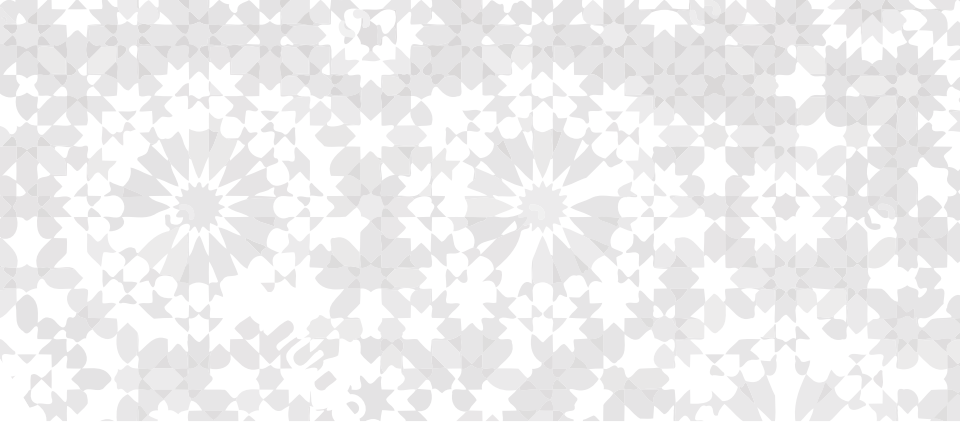
ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z1 Rabat	Centre de Documentation et d'Information, Lycée Descartes	Miryam Soussan et Laurent Moulin	Lycée Descartes

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

ORIENTATION

PLAN D'AMENAGEMENT DE LA SALLE DE CONSULTATION 100/1e





FORME ET COMPACITÉ



PERSPECTIVE AERIENNE NORD
IMPLANTATION DU BÂTIMENT



OUVERTURES



FACADE SUD/EST



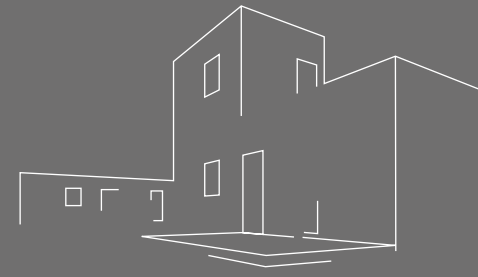
FACADE NORD/OUEST



FACADE NORD/EST

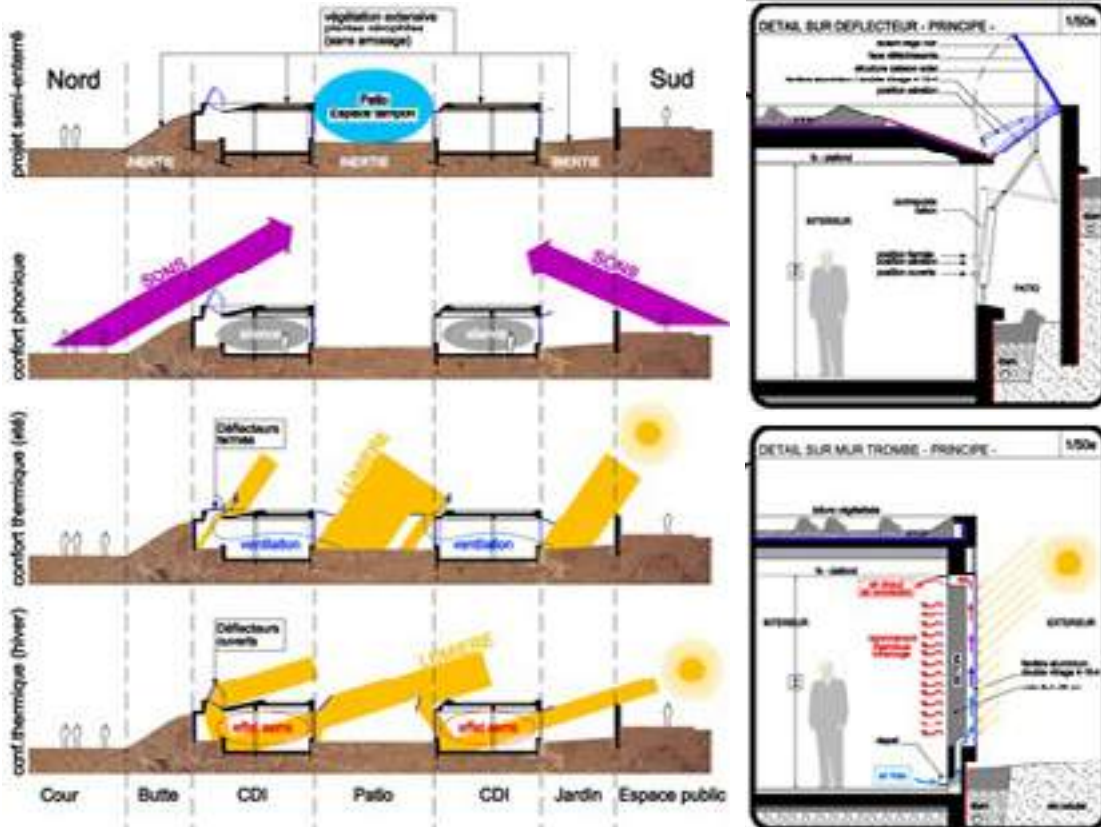


FACADE SUD/OUEST

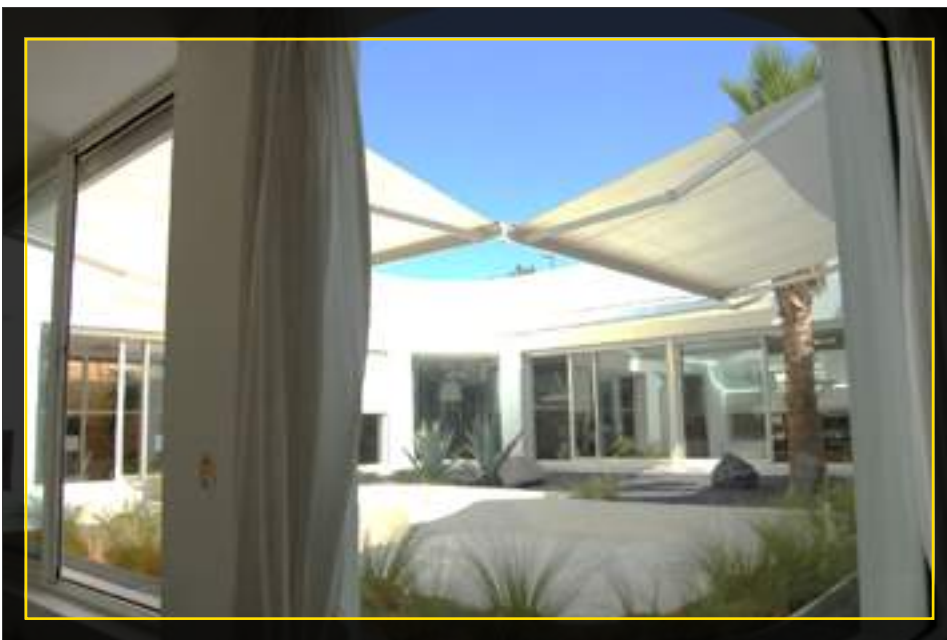


INERTIE THERMIQUE

PRINCIPES BIOCLIMATIQUES



ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)



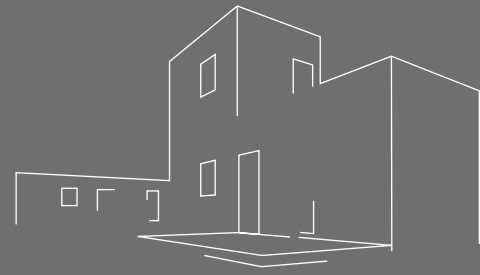


AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE



CENTRE DE DOCUMENTATION ET D'INFORMATION, LYCÉE DESCARTES



SYNTHÈSE : MÉMOIRE ARCHITECTURAL

En réponse au désir du maître d'ouvrage d'un bâtiment bioclimatique à forte identité spatiale, les architectes Miryam Soussan et Laurent Moulin ont opté pour une architecture semi-enterrée et furtive en profitant de la déclivité naturelle du terrain.

Le foisonnement volumétrique environnant, marqué par un style moderne et les barrières visuelles que génèrent cet ensemble bâti, a conduit les architectes à une approche minimaliste et presque land-art, en libérant les perspectives côté sud.

« Se déployant sur un seul niveau, de faible hauteur et adossé au nord-est et nord-ouest à deux buttes de terre, le bâtiment se lira comme une plaque blanche, massive, flottant au dessus d'un renflement du terrain. Au dessus de cette plaque, très statique, se déploient de grands déflecteurs mobiles basculant au rythme des saisons. Le dispositif apparait comme un sanctuaire du savoir, niché dans la terre, ouvert vers le ciel, centripète et intime. »

L'entrée du bâtiment se fait depuis la façade nord-est vers l'intérieur d'un ensemble calme et intime, tranchant avec l'activité régnant dans la cour de récréation du Lycée.

Tous les espaces s'organisent en anneaux concentriques autour d'un patio planté, permettant ainsi une répartition des espaces allant du plus intime au plus public et favorisant une orientation logique au sein de l'espace de consultation et de documentation.

« L'approche bioclimatique est ici globale basée sur une architecture enterrée. Cette solution offre un rapport coûts/performances extrêmement favorable, sans prouesses techniques. » Des matériaux locaux disponibles localement ont été choisis, mis en œuvre selon des techniques de construction usuelles au Maroc. Le but est d'assurer la meilleure fonctionnalité de l'espace et de maîtriser les ambiances du point de vue du confort thermique.

« Le choix des murs Trombe, et des verrières à volets pivotants va dans ce sens, car il s'agit de procédés de moyenne technologie, parfaitement réalisables localement, de coût modéré, et surtout d'entretien facile. » L'isolation thermique avec du liège, produit localement. Le choix d'une toiture plantée en couche mince (15 cm de terre) pour une végétalisation extensive type sébums, plantes grasses ou graminées, fait partie également de cette approche très réaliste et de faible coût.





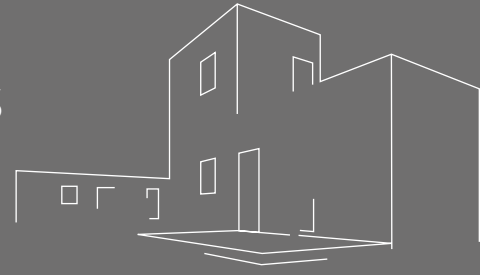
ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Ce cas est également spécial puisqu'il illustre un bâtiment bioclimatique semi enterré à forte identité spatiale. Des mesures passives utilisées, comme la composition avec le terrain, l'orientation, le mur Trombe, la végétalisation de la toiture, l'isolation du vitrage, offrent un rapport coûts/performances extrêmement favorable.









CAS PILOTE 7

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z1 Tamanar, Essaouira	Petit Hôtel Mobilier de 5 chambres	Miryam Soussan et Laurent Moulin	Propriétaires Miryam Soussan et Laurent Moulin

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

SITUATION



FELFLA : UN HOTEL MOBILIER

Maîtrise d'ouvrage : Projet personnel
 Situation : km 11, piste Tamanar-Tafdna / Maroc
 Surface : 100 m²
 Matériaux : Pisé / toile plastifiée / acier / bois / feutre
 Climat : Semi-désertique, sec avec de grandes amplitudes thermiques

ORIENTATION



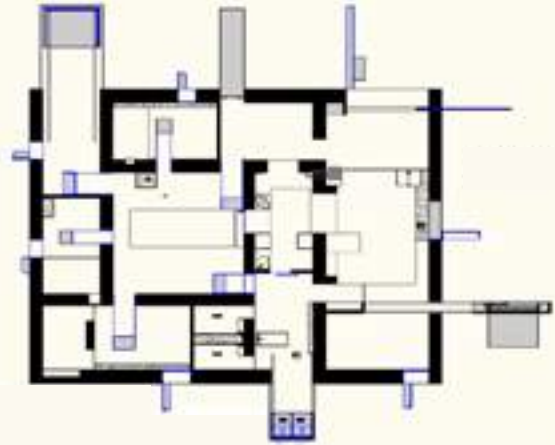


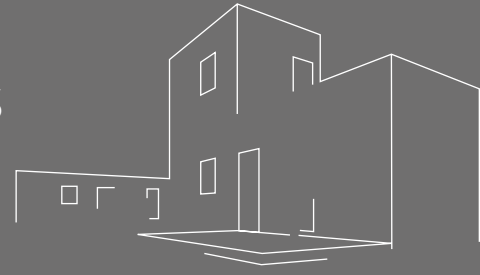
FORME ET COMPACTITÉ

CONFIGURATION FERMÉE



CONFIGURATION OUVERTE





OUVERTURES



MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO

PISÉ

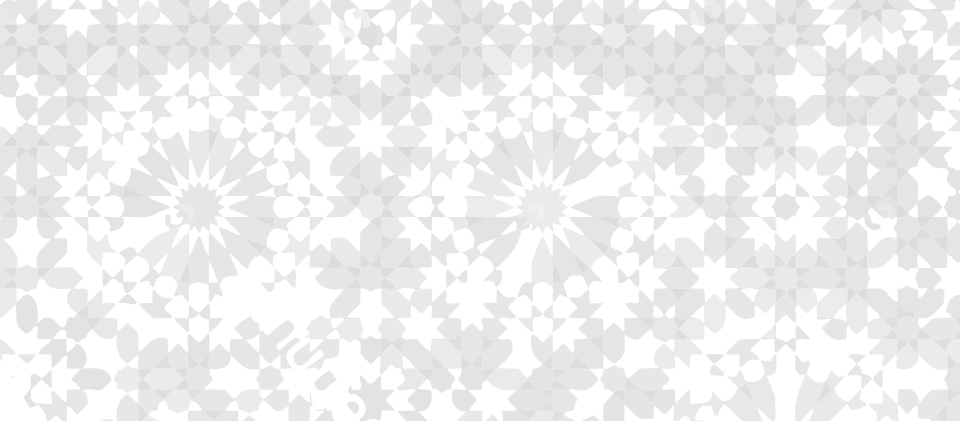
TOILE PLASTIFIÉE

ACIER

BOIS

FEUTRE





AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

Cet hôtel comprend : 5 chambres, un espace de vie commun, une cuisine, 2 toilettes sèches, 2 espaces douches, un patio commun et une piscine .



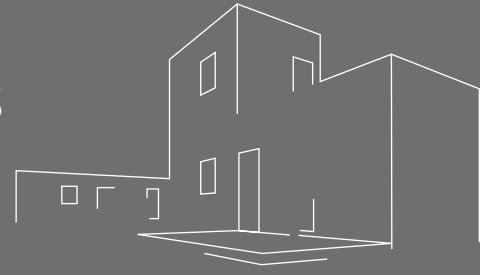
Sur le plan architectural, le bâtiment fonctionne comme un grand meuble à multiples tiroirs : volets épais, baldaquins ou cabines de toilettes, pont-levis, bureaux ou assises. « Tous ces éléments pivotent se déplacent ou basculent pour créer de multiples configurations spatiales. A un certain degré de mobilité c'est l'architecture même qui est non identifiable. »

Sur 160 m², « l'architecture se transforme sans cesse pour épouser l'humeur de son occupant. Elle devient une représentation non pas d'elle même, figée dans la vision univoque de son créateur, mais véritablement de l'usager du moment. »

ENERGIE

ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)

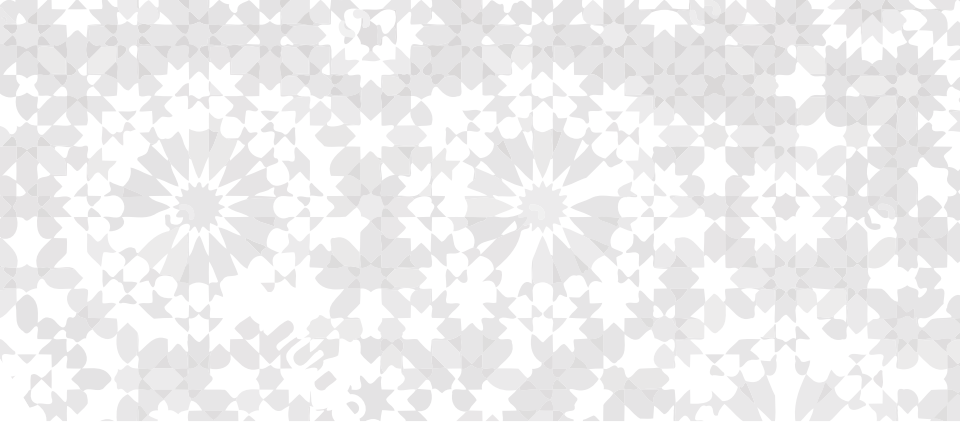




ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

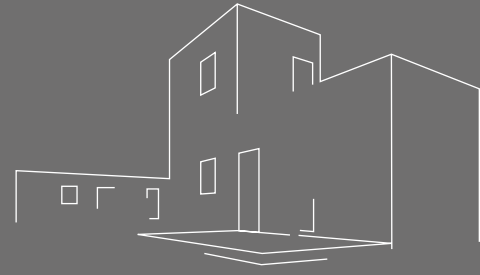
Un vrai bâtiment mobilier autonome avec une architecture intégrée à son environnement et utilisant les cycles naturels, notamment celui de l'énergie.











CAS PILOTE 8

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z2 Al Aroui, Nador	Immeubles logements sociaux R4+ Opération Al Ouroud II	Ahmed Barhdadi	Al Omrane Oujda

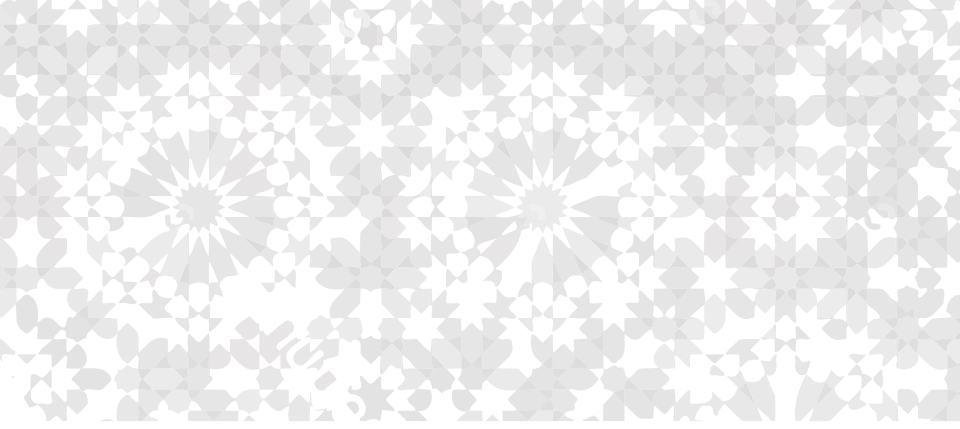
ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

ORIENTATION



FORME ET COMPACITÉ



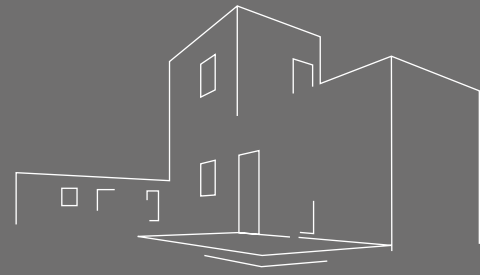


PLAN RÉZ DE CHAUSSÉE



OUVERTURES





I MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO

I ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)

I INERTIE THERMIQUE

ISOLANT THERMIQUE EN POLYSTYRÈNE DE 4 CM POUR LES MURS ET CLOISONS en vue de mieux traiter les ponts thermiques et conserver la fraîcheur du bâtiment

- limiter la consommation d'électricité.
- Agglo extérieur (15 cm) / Lame d'air (4 cm) / Polystyrène (4 cm) / Agglo intérieur (7 cm).

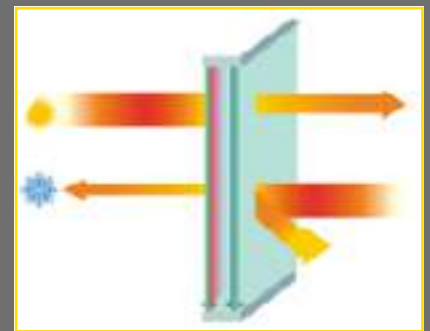
ISOLANT THERMIQUE EN POLYURÉTHANE DE 5 CM POUR LES TOITURES (terrasses) en vue de limiter les échanges par rayonnement ou conduction permettant ainsi d'accroître le confort thermique et limiter les besoins en chauffage ou en climatisation.

- Dalle hourdis (15 cm) / Dalle de compression (5 cm) / Polyuréthane (5 cm)

DOUBLE VITRAGE PERFORMANT

pour assurer l'herméticité thermique de l'enveloppe.

- Double vitrage 4/16/4 (avec $U=1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ et facteur solaire de 60%) sur menuiserie aluminium



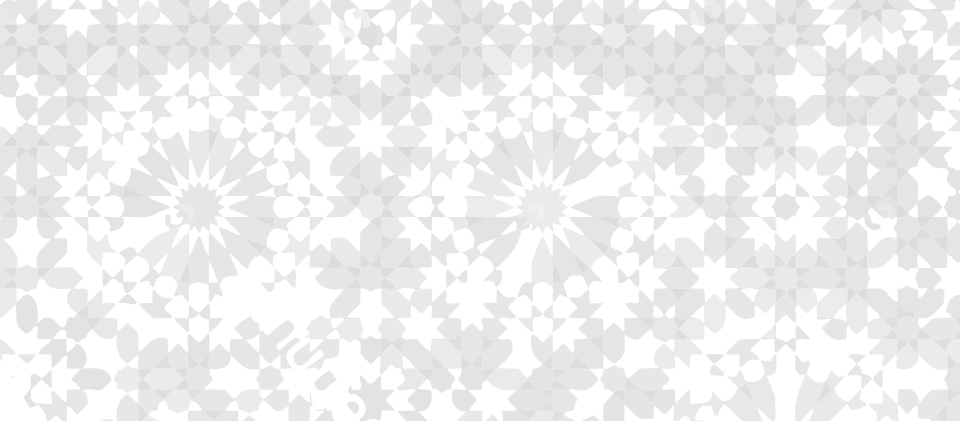
ISOLANT THERMIQUE EN POLYURÉTHANE DE 3 CM POUR LES PLANCHERS BAS pour limiter les déperditions:

- Pierre (10 cm) / Béton (5 cm) / Polyuréthane (3 cm) / Béton (10 cm) / Revêtement (Résistance Thermique = $1,35 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$)

BRISÉS-SOLEIL composées de lames en aluminium : La position de la protection est horizontale, perpendiculaire au plan de la fenêtre pour limiter l'apport solaire d'été.

STORES EXTÉRIEURS sur les vitrages pour limiter l'apport solaire d'été et et le laisser pénétrer pendant la saison d'hiver.





AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

PROGRAMME D'UN APPARTEMENT:

HALL	SALON	CHAMBRE 1
CHAMBRE2	CUISINE	SALLE DE BAIN
BUANDERIE	SURFACE TOTAL D'UN APPARTEMENT : 65 M ²	

CONSTRUCTION 144 LOGEMENTS SOCIAUX
SUPERFICIE TOTALE DU PROJET

9 360 M²

CONFORT THERMIQUE.

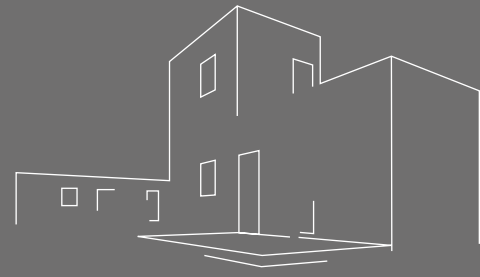
SYSTÈME HYDRO-ÉCONOME POUR

- Ajuster au mieux les besoins à la consommation en eau chaudes;
- Éviter la surconsommation d'eau des chasses.
- Mitigeurs
- Chasses d'eau double touches

DÉTECTEURS DE PRÉSENCE qui, placés dans les circulations, évitent tout oubli d'extinction ou éclairage activé inutilement

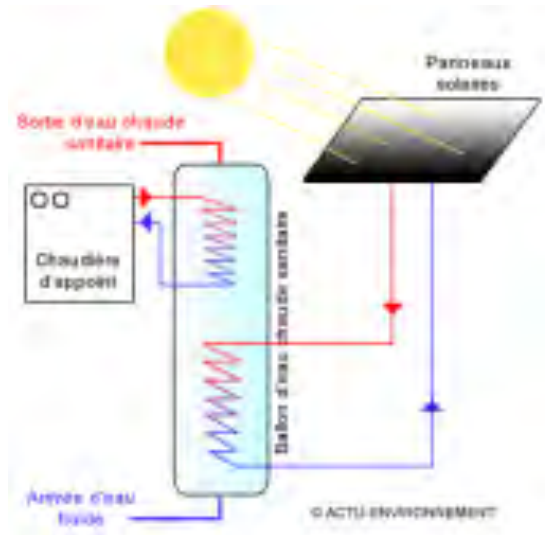
- Dans les couloirs, escaliers, et halls d'entrées.





CHAUFFE-EAU SOLAIRE

pour économiser l'énergie électrique



ENERGIE

ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)





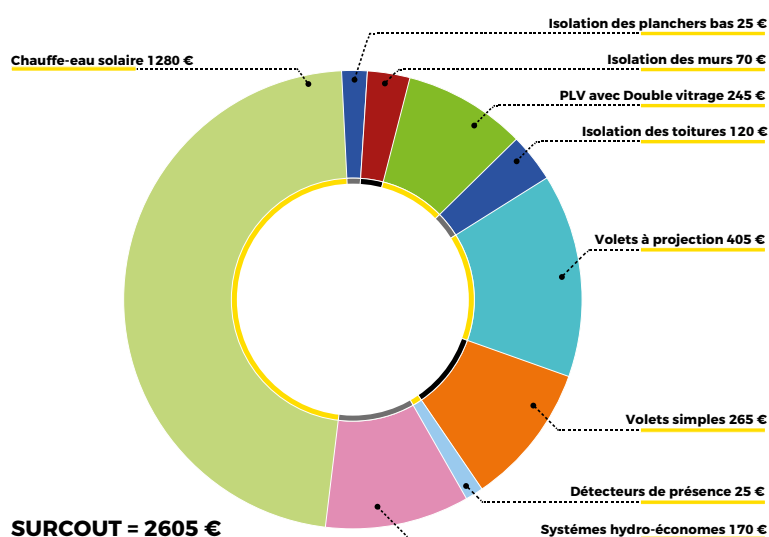
ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Ce programme de 144 logements sociaux, situé dans le nouveau quartier d'Al Arrouit, a pris en compte les mesures d'efficacité énergétique exigées par la réglementation thermique, tout en visant l'optimisation du confort des usagers.

Le projet a également montré que la production d'eau chaude par énergie solaire pouvait contribuer à satisfaire plus de 75 % des besoins moyens annuels en eau chaude sanitaire des usagers, pour un investissement de 13.000 Dirhams (cet investissement incluant un chauffe-eau électrique d'appoint).

L'intérêt économique de cette production d'eau chaude par énergie solaire reste cependant encore limité par comparaison avec une production par chauffe-eau à gaz, en raison du prix élevé de l'équipement d'une part, et d'un coût très bas du butane à usage domestique, d'autre part.

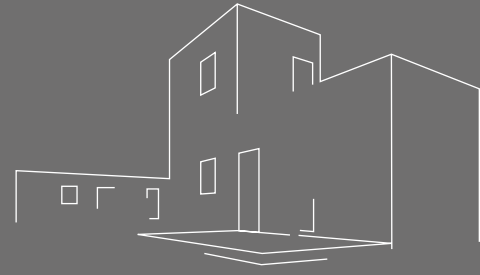
En matière de retour d'expériences, l'Agence Al Omrane Nador a développé une expertise technique en matière d'intégration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment. Cette démarche pouvait être intégrée dans le logement social, sans compromettre l'équilibre financier du projet tout en respectant l'objectif social de production à faible coût.



LE SURCÔT EST ESTIMÉ À ENVIRON 27.000 DH., PAR APPARTEMENT







CAS PILOTE 9

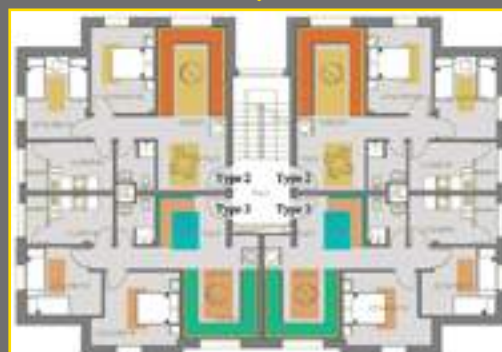
ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z4 El Hajeb	Immeubles logements sociaux R+3 Opération Al Karama	Alla El Hassan Claire Patteet	Al Omrane Meknès

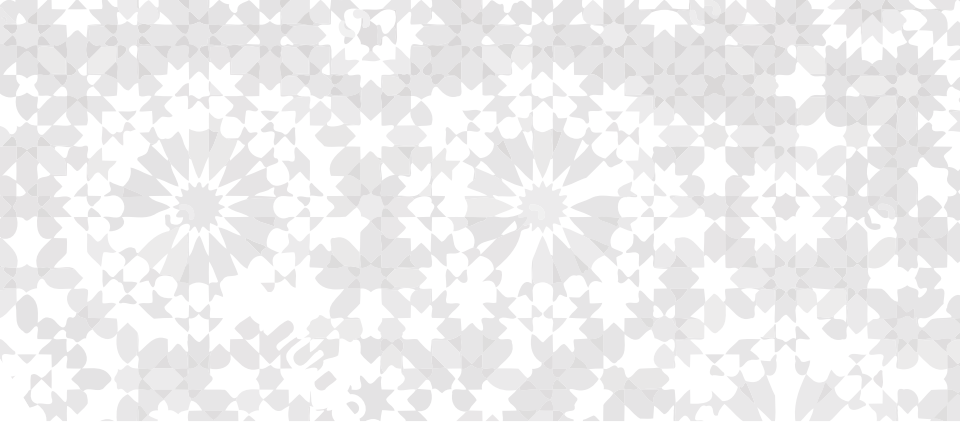
ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

ORIENTATION



FORME ET COMPACTITÉ



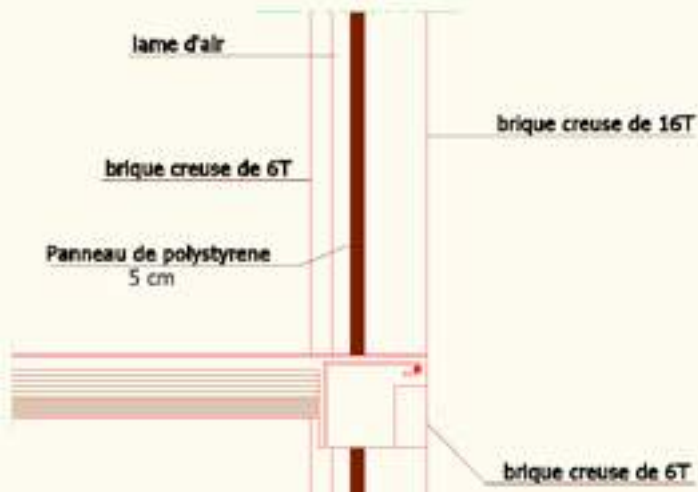


OUVERTURES



MATÉRIAUX, PEAU, REVÊTEMENT ET ALBÉDO

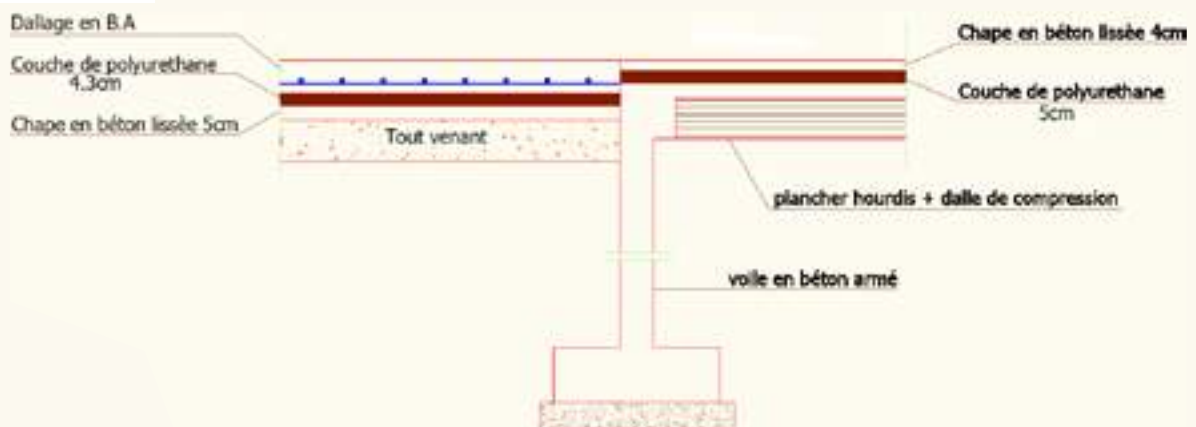
MURS EXTÉRIEURS ET INTÉRIEURS

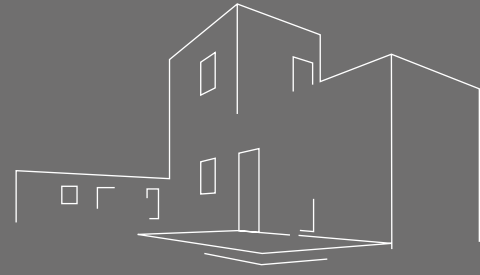


VERRE À FAIBLE ÉMISSIVITÉ (DOUBLE VITRAGE)



PLANCHER BAS





INERTIE THERMIQUE

LES MURS EXTÉRIEURS

Les performances thermiques du polystyrène et de la brique ainsi que l'épaisseur élevée des murs en double cloison (jusqu'à 40 cm d'épaisseur) permettent d'atteindre des coefficients de transmission thermique conformes, sinon meilleurs que les exigences limites réglementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments résidentiels pour la Zone Climatique 4 :
U de 0,50 à 0,40 W/m².K au lieu du U max de 0,60 fixé par la RTCM.

LES TOITURES

Les performances thermiques élevées du polyuréthane projeté sur un pare-vapeur au dessus de la dalle et protégé par le complexe d'étanchéité et le revêtement de la terrasse permettront d'atteindre un coefficient de transmission thermique conforme, sinon meilleur que les exigences limites réglementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments résidentiels pour la Zone Climatique 4 :
U d'environ 0,48 W/m².K au lieu du U max de 0,55 fixé par la RTCM.

LES PLANCHERS BAS

Les performances thermiques élevées du polyuréthane permettront d'atteindre des coefficients de transmission thermique conformes, sinon meilleurs que les exigences limites réglementaires des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments résidentiels pour la Zone Climatique 4 :
U inférieur à 0,65 W/m².K au lieu du U max de 0,80 fixé par la RTCM.

VITRAGES PERFORMANTS

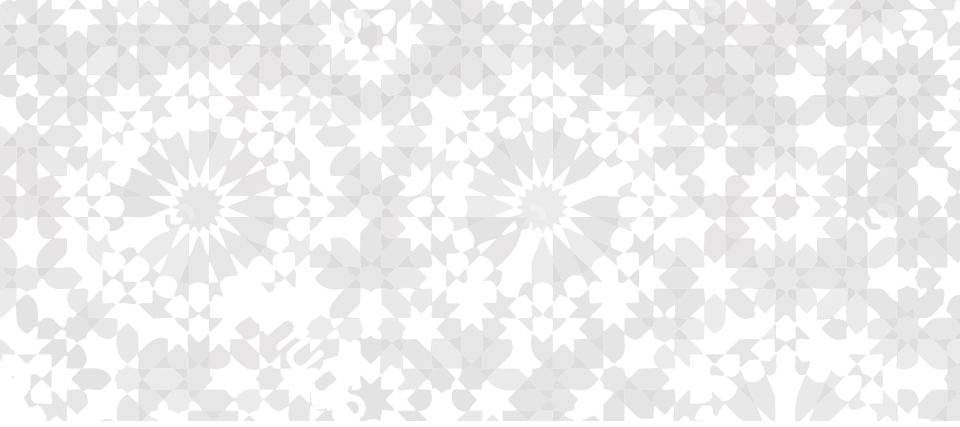
Utilisation d'un verre à faible émissivité qui réfléchit vers l'extérieur 96% du rayonnement solaire et un facteur solaire faible 0,6 pour limiter l'énergie transmise par le verre à l'intérieur.

ISOLATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE (MURS, TOITURE, VITRAGE, PLANCHER BAS)

ISOLER LES MURS EXTÉRIEURS: PRINCIPE

Réaliser tous les murs donnant sur l'extérieur et sur les circulations (couloir d'entrée et cage d'escalier) avec une double cloison isolée au moyen d'une couche d'isolant en polystyrène expansé de 5 cm d'épaisseur et d'une lame d'air.





STRUCTURE DES MURS EXTÉRIEURS



Les panneaux de polystyrène de dimension 1 m x 0,5 m sont collés contre la cloison extérieure avec une colle adaptée. La cloison intérieure est montée en laissant une lame d'air entre elle et l'isolant.

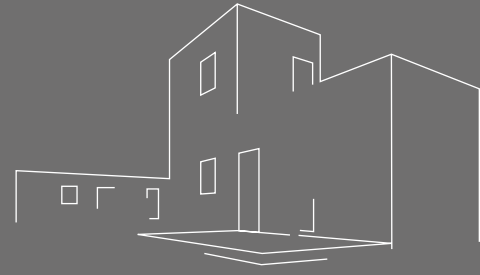
ISOLER LES TOITURES : PRINCIPE

Isoler toutes les toitures au moyen d'une couche d'isolant en polyuréthane de 5 cm d'épaisseur.

METTRE EN PLACE DES VITRAGES PERFORMANTS : PRINCIPE

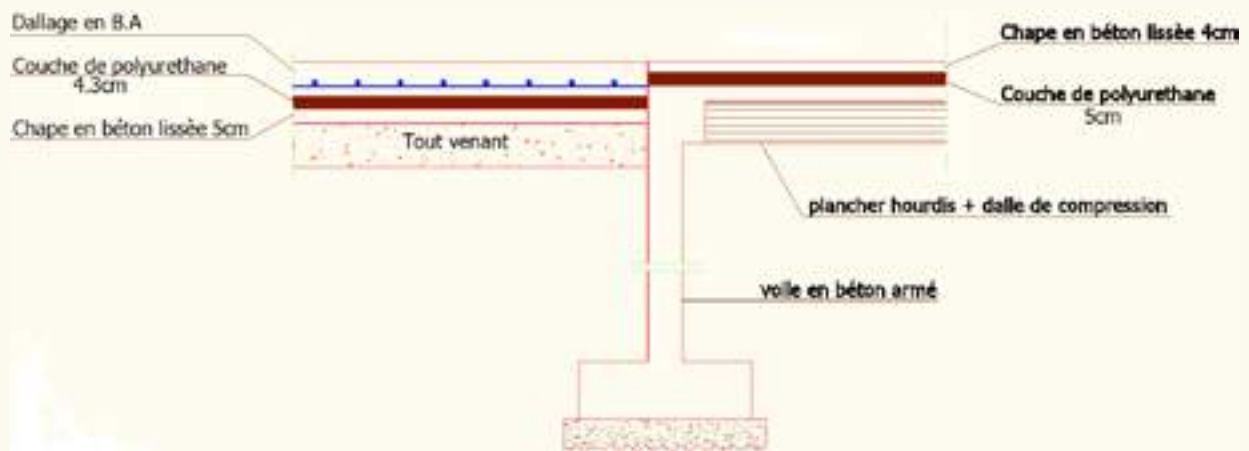
Equiper les fenêtres d'un double vitrage 4/12/4 afin de diminuer leur coefficient de transmission thermique.

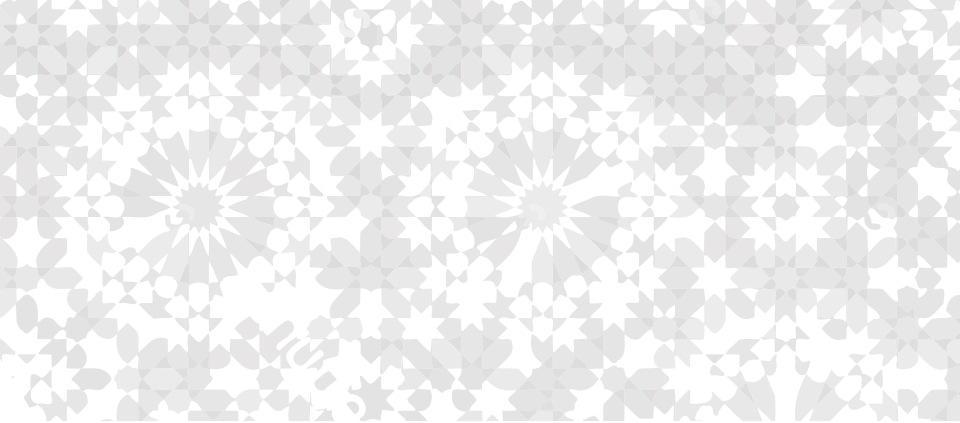


**ISOLER LES PLANCHERS BAS : PRINCIPE**

Isoler tous les planchers donnant sur l'extérieur au moyen d'une couche d'isolant en polyuréthane :

- Couche de 4 cm d'épaisseur sous les dallages sur terre pleine.
- Couche de 5 cm d'épaisseur sur les dalles des planchers sur vide sanitaire.

STRUCTURE DU DALLAGE ET DES DALLES SUR VIDE SANITAIRE



AMBIANCE INTÉRIEURE

USAGE

Logements sociaux en immeubles de R+3 groupés en 4 logements par niveau.
Superficie moyenne de 65 m² comprenant :

- Un salon.
- Deux chambres.
- Une salle de bains.
- Et une cuisine avec buanderie.

CONFORT THERMIQUE

Mesures d'efficacité énergétique mises en œuvre :

- Mise en place des stores extérieurs.
- Isolation des planchers bas.
- Isolation des murs.
- Isolation des toitures.
- Mise en place des vitrages performants.
- Installation de systèmes hydro-économiques.
- Installation de détecteurs de présence dans les circulations.
- Installation de chauffe-eaux solaires.

ENERGIE

ENERGIE RENOUVELABLE (SOLAIRE, THERMIQUE, PHOTOVOLTAÏQUE,...)

CHAUFFE-EAUX SOLAIRES

Le circuit d'eau chaude de chaque logement sera raccordé à un chauffe-eau solaire individuel monobloc thermosiphon (capteur et ballon de stockage associés) ou à circulation forcée installé sur la toiture du bâtiment.

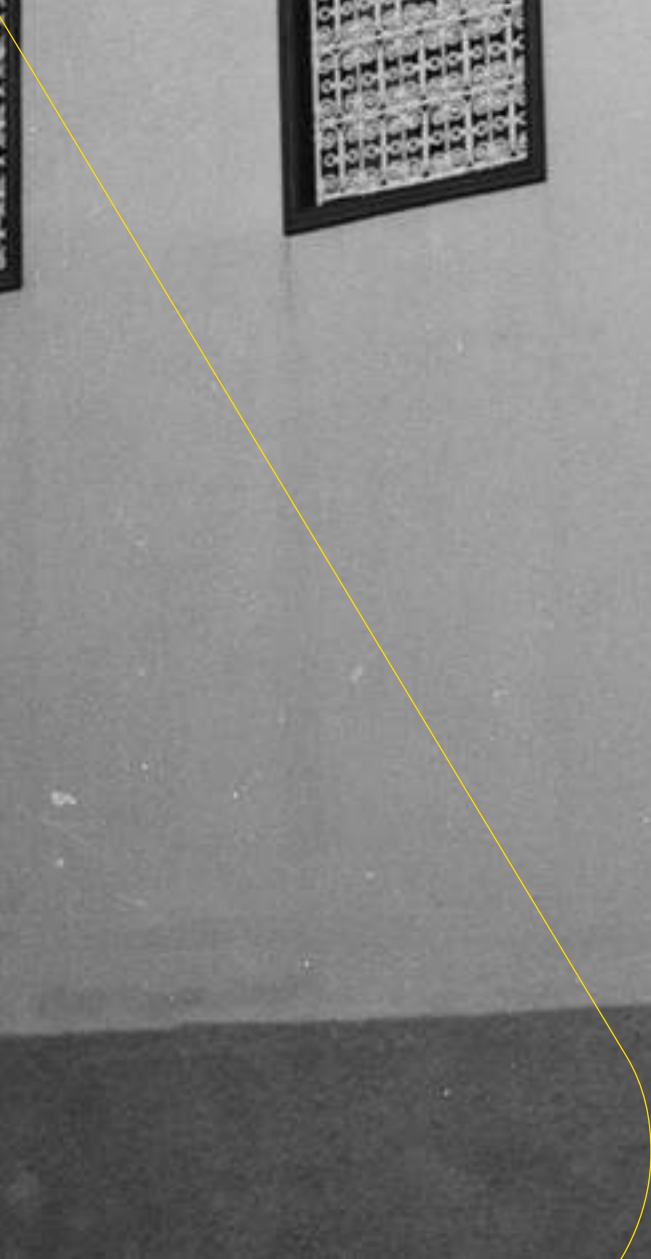
Les habitants pourront installer dans la buanderie de leur logement un appoint de chaleur (chauffe-eau à gaz) entre le chauffe-eau solaire et le circuit d'eau chaude de l'appartement afin de compléter le système.

ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

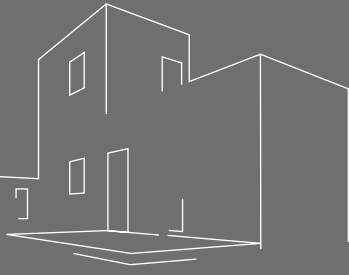
C'est l'un des projets de démonstration de l'efficacité énergétique dans le bâtiment situé dans la zone climatique 4. Pour lutter contre le froid en hiver et réduire ainsi les consommations énergétiques en chauffage, le projet a intégré les mesures suivantes : isolation de l'enveloppe (polyuréthane projeté sur un pare-vapeur au dessus de la dalle et protégé par le complexe d'étanchéité et le revêtement de la terrasse, polystyrène dans les murs en double cloisons), y compris les vitrages (double vitrage à faible émissivité) et le plancher bas sol (polyuréthane projeté), protection solaire, chauffe-eau solaire (solaire thermique),...

Ces mesures ont permis d'atteindre les performances énergétiques et sont largement conformes par rapport à la réglementation thermique.





INSTITUT DE FORMATION AUX MÉTIERS DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE L'EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE, IFMERE E OUJDA



CAS PILOTE 10

ZONE CLIMATIQUE	BÂTIMENT	MAITRE D'ŒUVRE	MAITRE D'OUVRAGE
Z 2	IFMERE E	Reda Chraïbi	Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle

ARCHITECTURE ET RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT ET LE CLIMAT

ORIENTATION

FORME ET COMPACITÉ



L'IFMERE E est un institut de formation aux métiers des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Il constitue un centre d'innovation technologique pour accompagner la stratégie énergétique nationale.





**FAÇADE SUD DU BÂTIMENT
DE L'ADMINISTRATION**

Intégration de PV sur la façade du bâtiment



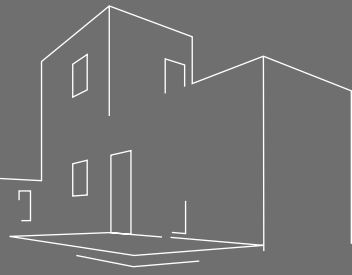
**FAÇADE OUEST DU BÂTIMENT
DE L'ADMINISTRATION**



**FAÇADE
NORD D'ATELIERS**

Vitrage complet de North Front
Systèmes PV sur les toits

INSTITUT DE FORMATION AUX MÉTIERS DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE L'EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE, IFMERE E OUJDA



SALLES DE COURS

- Toiture végétalisée et recyclage des eaux grises
- Orientation du bâtiment
- 5 bâtiments de 2 salles de cours et 2 bureaux
- Double vitrage



PROMOTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE PAR L'ORIENTATION DES BÂTIMENTS



SALLES DE COURS



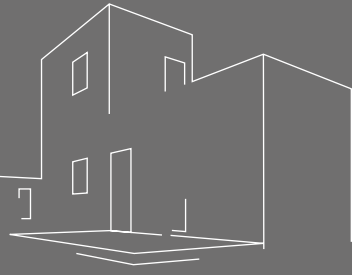
**PROMOTION DU
POMPAGE SOLAIRE**

- Pompe solaire avec 40 kW PV
- Profondeur de 153 m (environ 9 m³ / h)
- Couvre le besoin en eau d'arrosage
- Installation didactique



**PROMOTION DE L'EAU
CHAUDE SANITAIRE**

INSTITUT DE FORMATION AUX MÉTIERS DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE L'EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE, IFMERE E OUJDA



GÉOTHERMIE DE SURFACE

Deux puits canadiens soufflent à 20° et 23 ° dans le bâtiment administratif et l'internat.



MÂT D'ENTRAÎNEMENT ÉOLIENNE



STATION DE BIOGAZ

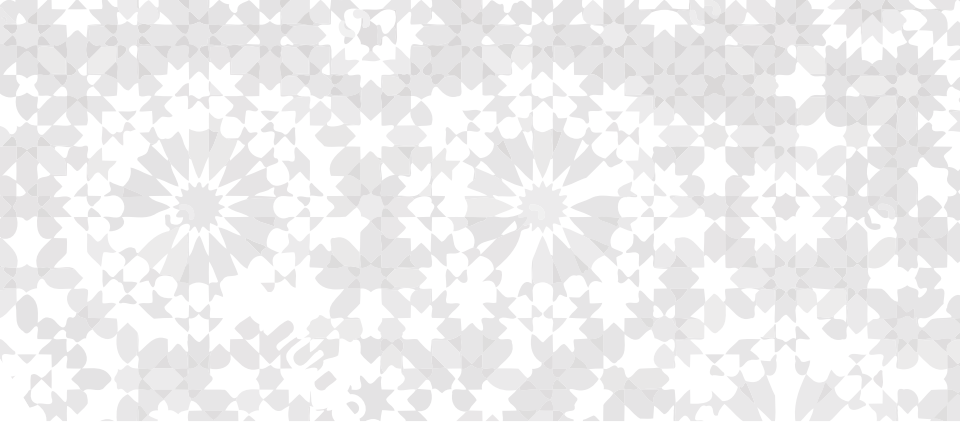
Pour son fonctionnement, l'Institut utilise les énergies renouvelables :

- L'énergie solaire pour l'éclairage, l'eau chaude et pour le pompage de l'eau d'arrosage des espaces verts.
- La biomasse pour le biogaz



TOITURES VÉGÉTALISÉES

Contribution à la protection de la biodiversité en milieu urbain, à l'amélioration de la qualité de l'air, à l'absorption du CO₂, et à l'atténuation des îlots de chaleur urbaine. Cette technique totalement éprouvée et relativement facile à mettre en place, ne cause aucune altération au bâtiment et se révèle même plus stable et plus étanche que des systèmes plus classiques de toitures plates.



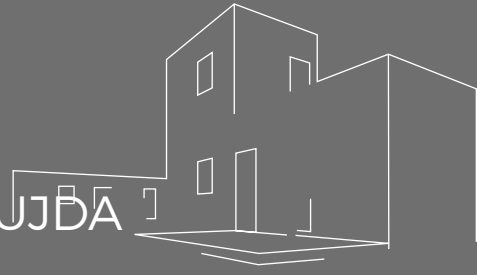
**BÂTIMENTS QUI ABRITENT
LES ATELIERS**



**BÂTIMENT ADMINISTRATIF
ET INTERNAT**

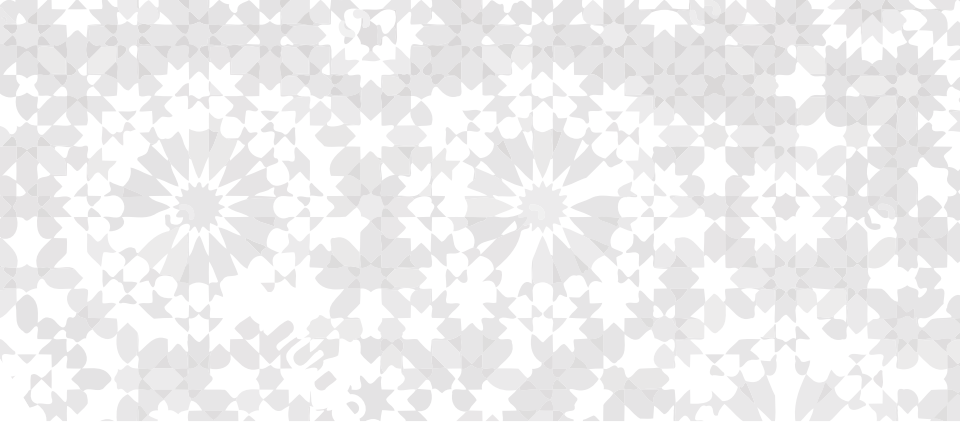
Bâtiment administratif et internat avec huit capteurs solaires sur chaque bâtiments qui fournissent 70% des besoins énergétiques.





DEUX ATELIERS

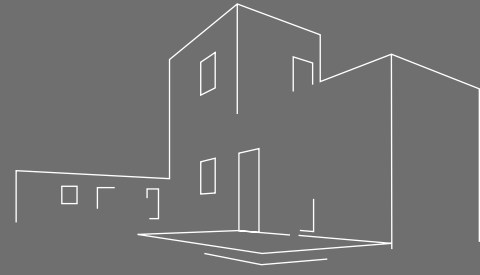
Efficacité énergétique, solaire thermique et photovoltaïque
Biogaz et éolien



ENSEIGNEMENTS ET RETOUR D'EXPÉRIENCES

Réalisé en groupe de bâtiments, l'Institut correspond à un établissement à basse consommation, et couvre actuellement 70% de ses besoins énergétiques. Il utilise en masse l'énergie solaire pour l'éclairage, l'eau chaude et le pompage de l'eau d'arrosage des espaces verts. Un puits canadien est utilisé pour le chauffage et la climatisation. Un procédé novateur en matière de production de biogaz à partir de la biomasse et des eaux usées est en cours d'expérimentation. Une large surface est dédiée aux espaces verts avec intégration des toitures végétalisées. Ainsi, le fonctionnement du bâtiment, répond aux exigences des quatre filières dispensées : Efficacité Énergétique dans le Bâtiment, Systèmes Photovoltaïques, Systèmes Éoliens, Systèmes Solaires Thermiques; la filière Biogaz est en cours de programmation.





CONCLUSION GÉNÉRALE

Le catalogue «Architecture et efficacité énergétique : Dix cas de bonnes pratiques au Maroc», se veut un cadre de référence illustrant des bâtiments pertinents et représentatifs des zones climatiques au Maroc, prenant en considération les meilleures pratiques en termes d'efficacité énergétique et d'intégration des énergies renouvelables.

Pour l'élaborer, une série de visites et d'entretiens avec les acteurs concernés a été réalisée pour permettre aux porteurs de ces projets innovants de communiquer sur leurs projets en termes de conception architecturale, de bonnes pratiques, de solutions intelligentes adoptées et de retours d'expériences.

Les cas pilotes étudiés ont montré que :

- Le secteur du bâtiment représente un potentiel important d'économie d'énergie.
- La pertinence des systèmes passifs sur le confort thermique n'est plus à démontrer : implantation, architecture du bâtiment, démarche bioclimatique (orientation optimale, ouvertures, entrées solaires et éclairage naturel, choix pertinent des matériaux, isolation performante, recours aux énergies renouvelables, etc.)...
- La diversité des solutions apportées et l'amplitude des possibilités d'adaptation aux spécificités des climats locaux offrent de grandes opportunités d'innovation.
- L'eau et la végétation ne répondent pas seulement à des logiques nouvelles, elles ont toujours été déployées pour contribuer à l'atténuation de la chaleur.

Les solutions adoptées par chaque cas pilote pour réaliser des économies d'énergie, améliorer le confort thermique et par la même occasion minimiser l'impact sur l'environnement, sont décrites dans ce document.

Ce catalogue est riche en enseignements et relève des retours d'expériences concrets dont on peut citer :

- Certains procédés ne semblent pas être adaptés à certaines zones climatiques, du fait de leurs spécificités et des effets antagonistes entre la stratégie d'été et d'hiver ou diurne/nocturne. La conception bioclimatique d'un bâtiment consiste à construire avec le climat. Elle repose sur une connaissance approfondie du contexte climatique, du milieu naturel du site et du facteur humain et de ses usages.
- Le surcoût inhérent à l'intégration de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans le bâtiment, a été souvent décrié comme un frein au développement de bonnes pratiques. Cependant, ce catalogue montre que pour des programmes immobiliers à caractère social, grâce à la rigueur de leur démarche, ce surcoût peut être réduit à moins de 7% du coût global.
- Certains projets, compte tenu de leurs caractères précurseurs et innovants, ont dû surmonter plusieurs difficultés, liées notamment au manque de savoir-faire technique des entreprises, à la faible sensibilisation du consommateur et à un marché peu organisé qui devrait s'adapter à de nouveaux produits. Ces projets ont été portés par des hommes et des femmes, qui ont su adapter les solutions les plus appropriées par rapport à la réalité du contexte.

La thématique du présent document relève des défis environnementaux et énergétiques auxquels seront confrontées les villes marocaines dans les années à venir. Ces défis doivent être abordés aussi bien au niveau des bâtiments que dans des contextes territoriaux plus larges. Ces nouvelles approches de concevoir et d'aménager l'espace cherchent à réduire la consommation énergétique, à limiter les émissions de CO₂, à améliorer le confort des usagers, à proposer des modes de développement plus respectueux de l'environnement et à offrir des solutions durables aux problèmes urbains.

LES AUTEURS

Pr. MANSOUR Majid

Professeur Habilité à l'Ecole Nationale d'Architecture de Rabat. Titulaire d'un Doctorat en Sciences de l'Environnement de l'Université Paris VII. Habilitation à diriger des Recherches en 2014. Assistant de recherche et enseignant à l'Université de Montréal 1999-2000, il a également enseigné à l'Université Mohammed V de Rabat, à l'Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme de Rabat et au Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace affilié à l'ONU. Professeur invité à l'Université Technique de Berlin de 2009 à 2011. Coordonnateur Maroc du Réseau de Recherche MENASHDA (Middle Eastern North Africa Sustainable Habitat Development), Université Technique de Berlin. Titulaire du Prix Hassan II de l'Environnement en 2006. Spécialiste des questions de l'environnement et système de planification urbain, M. Mansour est intervenu dans de nombreuses études et projets de recherches internationaux en tant que consultant ou chef de projet. M. Mansour a travaillé également dans de nombreux programmes de recherches internationaux : Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) en France, Agence Spatiale canadienne à Montréal (Programme RADARSAT-1) et Institut de Recherche en Développement (ex. ORSTOM) à Bondy en France (Programme ECOFIT). Auteur de plusieurs publications indexées. Co-auteur du livre : "Urban Agriculture For Growing City Regions : "Connecting urban-rural spheres in Casablanca, Routledge Taylor & Francis Group London and New York », 2015.

Pr. EL HARROUNI Khalid

Professeur de l'Enseignement Supérieur, Directeur Adjoint chargé de la Recherche à l'Ecole Nationale d'Architecture de Rabat. Responsable du Centre d'Etudes Doctorales de l'ENA et coordonnateur de l'axe de recherche «Soutenabilité en architecture et urbanisme». Expert évaluateur scientifique désigné par le CNRST Maroc au sein du comité scientifique «Sciences de l'ingénieur». Membre fondateur et secrétaire général de l'association marocaine des sciences régionales (AMSR). Diplôme d'ingénieur Génie Civil de l'Ecole Mohammedia d'Ingénieurs de Rabat (1985), PhD en Computational Mechanics de l'Université de Portsmouth, WIT, UK (1994) et Certificat de formation sur l'Architecture, l'Energie et l'Environnement, Département HDM, Université de Lund, Suède (2002). Ses domaines de recherche et d'expertise portent sur le génie civil, le patrimoine architectural, l'efficacité énergétique dans le bâtiment et l'aménagement urbain. Responsable scientifique du projet de recherche «Efficacité énergétique dans le bâtiment & architecture bioclimatique», 2015-2018, dans le cadre du programme domaines prioritaires de la recherche scientifique et du développement technologique, CNRST/Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres, Maroc. En tant que consultant, participation à l'élaboration d'une multitude d'études opérationnelles et sectorielles portant sur l'habitat, l'urbanisme et l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

Pr. HASSAN Radoine

Directeur de l'Ecole Nationale d'Architecture (depuis 2013), il était Directeur du Département d'Architecture à l'Université de Sharjah aux Emirats Arabes Unis (2007-2013). Il a reçu son Diplôme d'architecte de l'Ecole Nationale d'Architecture de Rabat (1994). Il a reçu un Master et un Doctorat en Architecture à l'Université de Pennsylvanie, USA (2001-2006) avec une Bourse Fulbright. Titulaire d'un Master en Architecture de l'Institut Prince Charles d'Architecture, Londres (1995-1997) avec une Bourse Prince of Wales' Scholar. Il a enseigné à l'Université de Pennsylvanie, à l'Université de Dartmouth, à l'Institut Prince Charles d'Architecture, à l'Université de Sharjah et à l'Université Al Akhawayn. Il a travaillé en tant qu'expert et consultant international pour l'UNESCO, l'UN-Habitat, l'ICCROM, le MCC et le Prix Aga Khan d'Architecture. Il a publié dans plusieurs revues scientifiques et ainsi que des livres sur l'architecture, l'urbanisme, la conservation du patrimoine, la durabilité et résilience architecturale et urbaine dans la région MENA. Organisateur et commissaire de plusieurs expositions internationales, dont notamment l'exposition « Architecture et Ingénierie en Moyen Orient » en partenariat avec AIA (American Institute of Architects) à New York en 2012. Il a siégé dans plusieurs jurys d'architecture à l'échelle nationale et internationale dont notamment le Prix International ARCHMARATHON et le Concours Nationale du Musée Nationale des Sciences de la Terre. Son livre en cours avec Wiley International s'intitule : « Architecture in Context : Designing in the Middle East ».



ÉCOLE NATIONALE D'ARCHITECTURE DE RABAT

BP 6372, Avenue Allal El Fassi, Madinat
Al Irfane - Rabat Instituts
Rabat - Maroc

www.archi.ac.ma