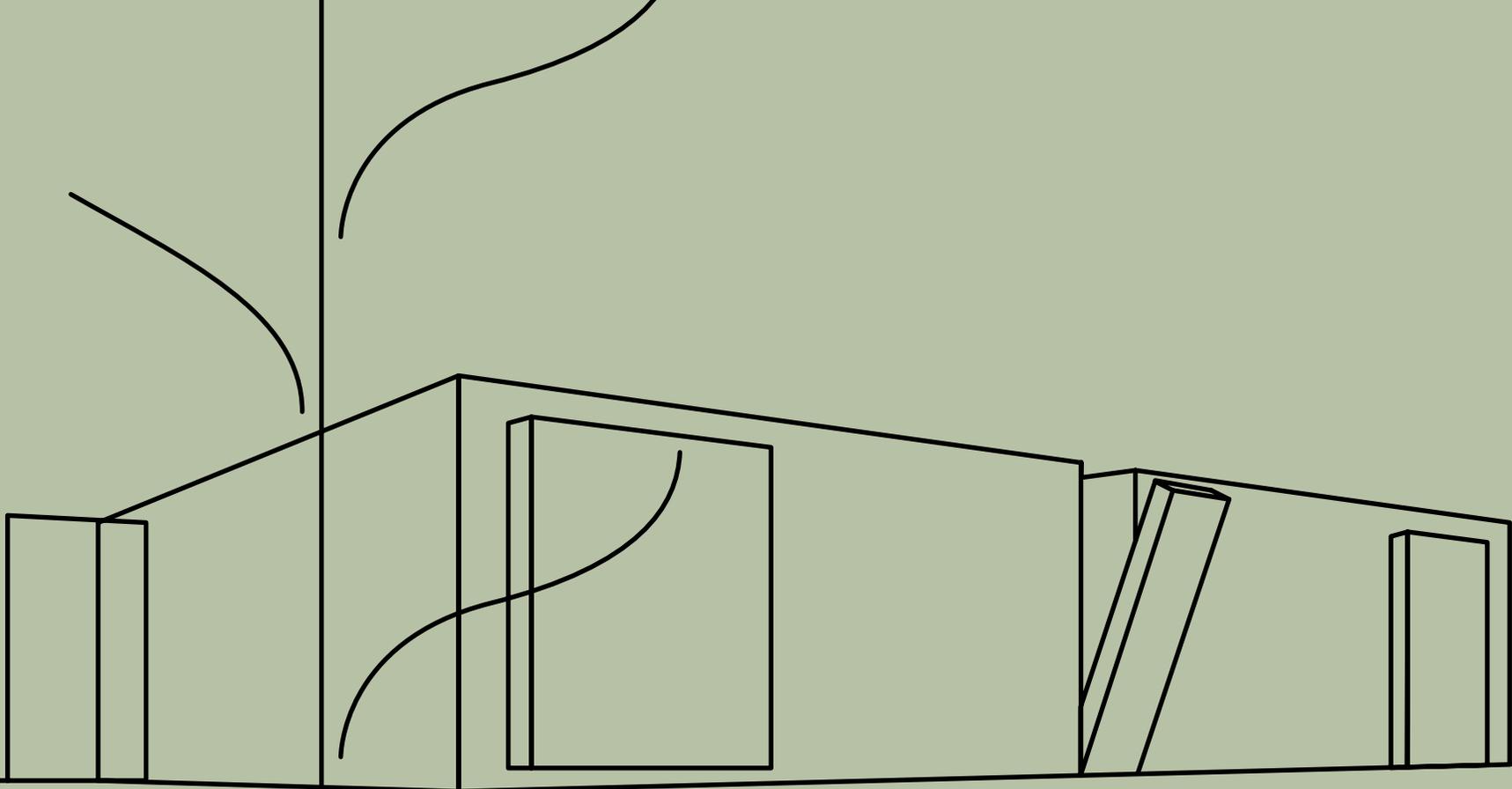


**G  
U  
I  
D  
E**



# **CONSTRUCTION DURABLE**

Boîte à outils de pilotage pour  
projets de construction durable





Royaume du Maroc  
Ministère de l'Énergie,  
des Mines et de  
l'Environnement

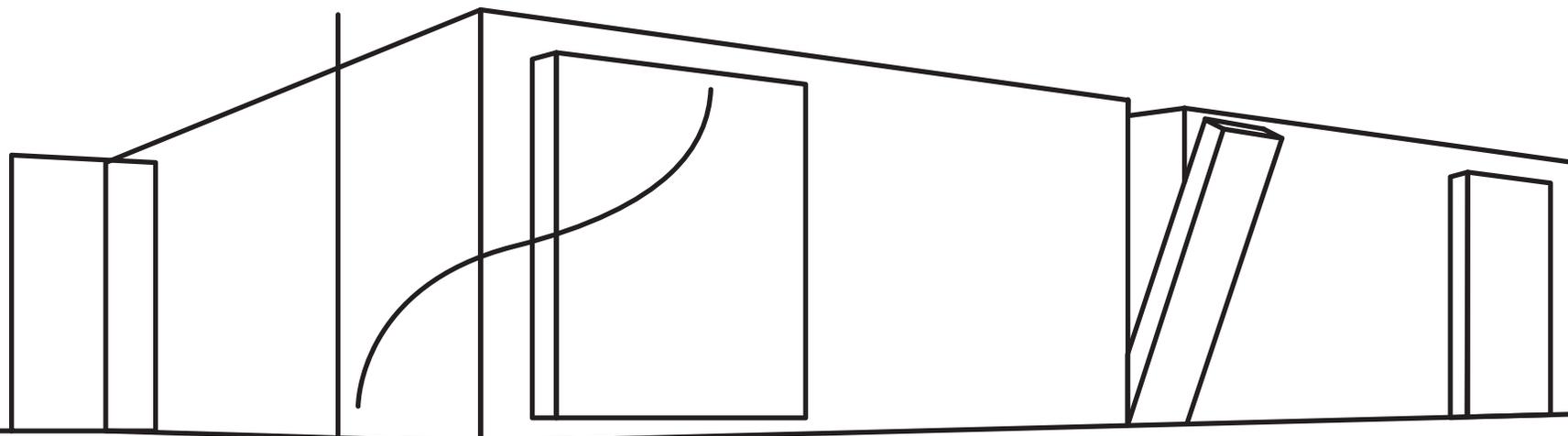


المملكة المغربية  
وزارة الطاقة  
والمعادن  
والبيئة



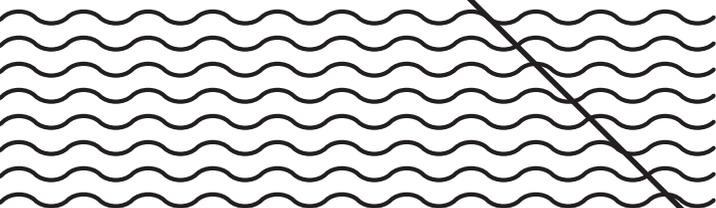
**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**G  
U  
I  
D  
E**



# CONSTRUCTION DURABLE

Boîte à outils de pilotage pour  
projets de construction durable



À son titre d'entreprise fédérale, la GIZ aide le gouvernement fédéral allemand à concrétiser ses objectifs en matière de coopération internationale pour le développement durable.

**Publié par :**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sièges de la société  
Bonn et Eschborn, Allemagne

GIZ Maroc - Secteur Énergie  
c/o Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement  
Rue Abou Marouane Saadi  
10 000, Rabat, Maroc  
www.giz.de/en

**Désignation du projet :**

Efficacité énergétique au Maroc (DKTI IV)

**Auteurs :**

Magdeline PINEL, architecte consultante

Avec la participation du Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement, du Ministère des Habous et des Affaires Islamiques, de la Direction des Équipements Publics, du Ministère de l'Industrie et du Commerce, de l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique, du Cluster EMC – Efficacité Énergétique et Matériaux de Construction et de l'École Nationale d'Architecture de Rabat.

**Conception/Maquette :**

Napalm, Rabat

**Crédits illustrations :**

Jean-Claude Pereira

**Crédits photos/Sources :**

Pexels/Adrien Anne, page : 9  
GIZ/Jabrane Lakhsassi, pages : 10, 25, 28, 48, 51, 54, 60, 67  
GIZ/Caroline Weinkopf, pages : 12, 24, 27, 53, 57  
GIZ/Noelie Vegas, pages : 15, 16, 20, 30, 33  
Pexels/Cristian Cargnello, page : 18  
Pixabay, pages : 19, 48, 88  
Pexels/Henrik Lebotos, page : 22  
GIZ/Oussama Benbila, pages : 24, 25, 45, 50, 58, 60, 65, 70, 71

GIZ/Jabrane Lakhsassi, pages : 25, 28, 48, 51, 54, 60, 67  
Pexels/Saad Emris, page : 34  
Pexels/Leah Flavia, page : 43  
Fernando Guerra, page : 39  
Juliusz Sokolowski, page : 39  
GIZ, pages : 44, 49  
GIZ/Adnane Azizi, pages : 52, 61, 62, 71, 76, 80, 83, 85, 94  
GIZ/Mohammed Elghali Khyati, pages : 54, 88, 90

Pexels/Jacoby Clarke, page : 69  
Gretar Ívarsson, Wikimedia Commons, page : 73  
Fiabibat, page : 79  
Pexels/Taryn Elliott, page : 81  
Pexels/Picjumbo.com, page : 84  
Pexels/Farooq Khan, page : 86  
Pexels/Sourav Mishra, page : 95  
Villa Janna, page : 96

**Sur mandat du :**

Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ)

**Impression :**

Napalm, Rabat



Pages intérieures imprimées sur du papier recyclé à 100%  
certifié selon les standards FSC.

Rabat, Décembre 2020

Ce guide ne représente pas nécessairement la position officielle de la GIZ ou du Gouvernement de ce pays.

<b>PRÉFACE .....</b>	<b>6</b>
<b>DÉFINITIONS .....</b>	<b>7</b>
<b>ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>

<b>1. LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE.....</b>	<b>11</b>
1.1. Le climat marocain.....	12
1.2. Le rapport entre le bâtiment, le site et l'environnement.....	14
1.3. L'orientation du bâtiment.....	18
1.4. La volumétrie du bâtiment.....	22
1.5. La ventilation du bâtiment.....	25
1.6. Ouvertures extérieures.....	34
1.7. L'isolation thermique du bâtiment.....	44
1.8. Les aménagements extérieurs.....	53

<b>2. LA GESTION DE L'ÉNERGIE .....</b>	<b>59</b>
2.1. L'énergie dans le bâtiment au Maroc.....	60
2.2. Le règlement thermique de construction au Maroc.....	63
2.3. Les énergies renouvelables.....	70
2.4. Les techniques de Chauffage, rafraîchissement et climatisation.....	74
2.5. Les installations, appareils et appareillages.....	80

<b>3. LA GESTION DE L'EAU.....</b>	<b>87</b>
3.1. L'assainissement.....	88
3.2. La récupération des eaux pluviales.....	90
3.3. Les équipements sanitaires et plomberie.....	93

<b>4. RÉPERTOIRE DE CAS PRATIQUES DE CONSTRUCTION DURABLE AU MAROC .....</b>	<b>97</b>
--	-----------

# SOMMAIRE

# PRÉFACE

Le secteur du bâtiment est l'un des plus gros consommateurs énergétiques, avec près de 33% de la consommation d'énergie finale du Maroc et avec un fort potentiel d'économies d'énergie et d'emplois. Ces économies permettraient bien évidemment de réduire les émissions de GES de ce secteur, d'une manière considérable. Ainsi, ce secteur représente un pilier essentiel de la transition énergétique amorcée par le Maroc.

De nombreux bâtiments en construction subissent des retards et des dépassements de budget parce qu'une ou plusieurs étapes essentielles au bon déroulement des projets ont été négligées. L'intégration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, conformément aux objectifs ambitieux du Maroc, représente un défi supplémentaire pour une meilleure gestion des projets de construction. Il est donc important de disposer de processus de pilotage de projets de construction «verte» bien formalisés et largement vulgarisés.

C'est dans ce cadre que la présente Boîte à outils de pilotage pour projets de construction durable a été conçue en collaboration entre le ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement et la GIZ, à travers le projet « l'Initiative allemande pour les technologies favorables au climat – DKT1 IV », et avec l'implication technique de plusieurs acteurs publics et privés du secteur de l'énergie et de la construction.

Il s'agit d'une Boîte à outils qui a pour vocation de renforcer les capacités des différents praticiens du bâtiment et de l'aménagement urbain au Maroc, en mettant à leur disposition un ensemble de connaissances, d'outils, de méthodologies et de bonnes pratiques relatives à un projet de construction intégrant l'efficacité énergétique.

Les bonnes pratiques préconisées dans cette Mallette verte aideront ces praticiens à explorer ces différents outils et à les adapter aux exigences contemporaines en termes de sobriété énergétique et de confort thermique, tout en prenant en considération d'autres facteurs économiques, sociaux et environnementaux.

Nous saisissons cette occasion pour remercier vivement tous les acteurs qui ont bien voulu alimenter cette Boîte à outils en fournissant les informations nécessaires à son élaboration, mais aussi pour leur persévérance, leur rigueur technique et leur sens de l'analyse.

### Conception bioclimatique (source [www.e-rt2012.fr](http://www.e-rt2012.fr))

On parle de conception bioclimatique lorsque l'architecture du projet est adaptée en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation, afin d'en tirer le bénéfice et de se prémunir des désavantages et contraintes.

### Un bâtiment passif (source [www.mhpn.gov.ma](http://www.mhpn.gov.ma))

C'est un bâtiment qui ne comprend pas de système actif conventionnel de chauffage ou de climatisation, mais permet un confort thermique intérieur, en hiver comme en été.

### Un bâtiment à énergie positive (source [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr))

Aucune réglementation ne précise le champ opérationnel des bâtiments à énergie positive (Bepos). On peut néanmoins les définir ainsi : ce sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour leur fonctionnement.

### Étude d'Impact sur l'Environnement EIE (source loi marocaine n°12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement)

Étude préalable permettant d'évaluer les effets directs ou indirects pouvant atteindre l'environnement à court, moyen et long termes suite à la réalisation de projets économiques et de développement et à la mise en place des infrastructures de base et de déterminer des mesures pour supprimer, atténuer ou compenser les impacts négatifs et d'améliorer les effets positifs du projet sur l'environnement.

### Énergies renouvelables (loi marocaine n°13-09 relative aux énergies renouvelables)

Toutes les sources d'énergies qui se renouvellent naturellement ou par l'intervention d'une action humaine, notamment les énergies solaire, éolienne, géothermale, houlomotrice et marémotrice, ainsi que l'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharges, du gaz des stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz.

### Efficacité énergétique (loi marocaine n°47-09 relative à l'efficacité énergétique)

Toute action agissant positivement sur la consommation de l'énergie, quelle que soit l'activité du secteur considéré, tendant à :

- ▶ La gestion optimale des ressources énergétiques,
- ▶ La maîtrise de la demande d'énergie,
- ▶ L'augmentation de la compétitivité de l'activité économique,
- ▶ La maîtrise des choix technologiques d'avenir économiquement viables,
- ▶ L'utilisation rationnelle de l'énergie,

et ce, en maintenant à un niveau équivalent les résultats, le service, le produit ou la qualité d'énergie obtenue.

### Étude d'impact énergétique (source loi marocaine n°47-09 relative à l'efficacité énergétique)

La loi n°47-09 relative à l'efficacité énergétique prévoit la réalisation d'une étude d'impact énergétique pour tout projet de programme d'aménagement urbain ou tout projet de programme de construction de bâtiments quel que soit leur usage, figurant sur une liste fixée par voie réglementaire en fonction du seuil de consommation d'énergie thermique et/ou électrique spécifique à chaque catégorie de projet.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les consommations énergétiques prévisionnelles d'un projet ainsi que ses potentiels d'efficacité énergétique. Elle permet également d'identifier les ressources énergétiques locales qui peuvent être mobilisables pour ledit projet. Elle vise aussi à atténuer les niveaux de consommation prévisionnels d'énergie en développant l'efficacité énergétique dudit projet et en valorisant, dans une approche intégrée, les potentiels des énergies renouvelables réalisables conformément à la législation en vigueur.

# ABRÉVIATIONS

<b>AC</b>	Autorisation de Construire	<b>GPA</b>	Garantie de Parfait Achèvement
<b>AT</b>	Assistance Technique	<b>GO</b>	Gros Œuvre
<b>AMEE</b>	Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique	<b>HQE</b>	Haute Qualité Environnementale
<b>AMO</b>	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage	<b>MOA</b>	Maîtrise d'Ouvrage
<b>APD</b>	Avant-Projet Détaillé	<b>MOD</b>	Maîtrise d'Ouvrage Déléguée
<b>APS</b>	Avant-Projet Sommaire	<b>MOE</b>	Maîtrise d'Œuvre
<b>BCT</b>	Bureau de Contrôle Technique	<b>OPC</b>	Ordonnancement - Pilotage - Coordination
<b>BEE</b>	Bureau d'Études Environnementales	<b>OPR</b>	Opérations Préalables à la Réception
<b>BET</b>	Bureau d'Études Techniques	<b>PMR</b>	Personnes à Mobilité Réduite
<b>CCAG</b>	Cahier des Clauses Administratives Générales	<b>POS</b>	Plan d'Occupation des Sols
<b>CCTP</b>	Cahier des Clauses Techniques Particulières	<b>PV</b>	Procès-Verbal
<b>CL</b>	Check-List	<b>RTCM</b>	Règlementation Thermique de la Construction au Maroc
<b>CMP</b>	Code des Marchés Publics	<b>SDO</b>	Surface Dans Œuvre
<b>CPS</b>	Cahier des Prescriptions Spéciales	<b>SHON</b>	Surface Hors Œuvre Nette
<b>DAO</b>	Dossier d'Appel d'Offres	<b>SOGED</b>	Schéma d'Organisation de la Gestion des Déchets
<b>DCE</b>	Dossier de Consultation des Entreprises	<b>SSI</b>	Système de Sécurité Incendie
<b>DGD</b>	Décompte Général Définitif	<b>SU</b>	Surface Utile
<b>DOE</b>	Dossier des Ouvrages Exécutés	<b>TCE</b>	Tout Corps d'État
<b>EIE</b>	Étude d'Impact Environnemental	<b>TDC</b>	Toutes Dépenses Confondues
<b>ESQ</b>	Esquisse	<b>TdR</b>	Termes de Référence
<b>GES</b>	Gaz à effet de serre	<b>VRD</b>	Voirie - Réseaux - Divers



Ce guide est un outil de sensibilisation de portée généraliste, à destination des acteurs de la construction au Maroc. Il a pour objectif de présenter de manière sommaire l'ensemble des mesures d'ordre technique qui peuvent être appliquées à un bâtiment pour en faire une construction durable.

L'aspect durable d'une construction est intimement lié au climat dans lequel se trouve le projet. Les mesures qui sont proposées dans ce recueil sont donc à contextualiser en fonction des données climatiques du site du projet.

Ce guide fait partie d'une Boîte à outil de pilotage de projets de construction durable (Mallette verte). En effet, au-delà des aspects techniques, une bonne gestion de projet garantit l'application de l'aspect durabilité tout au long du projet de construction. L'objectif final de cette Boîte à outils est ainsi de donner aux différentes parties prenantes d'un projet de construction durable les processus et les outils pour structurer un cadre de travail collectif à travers des modalités de gestion claires et partagées, et un vocabulaire commun.

Le présent guide technique pointe, chapitre après chapitre, des outils et ressources documentaires issus de la Boîte à outils « Mallette verte » pour accompagner l'utilisateur dans la réalisation de son projet de construction durable.

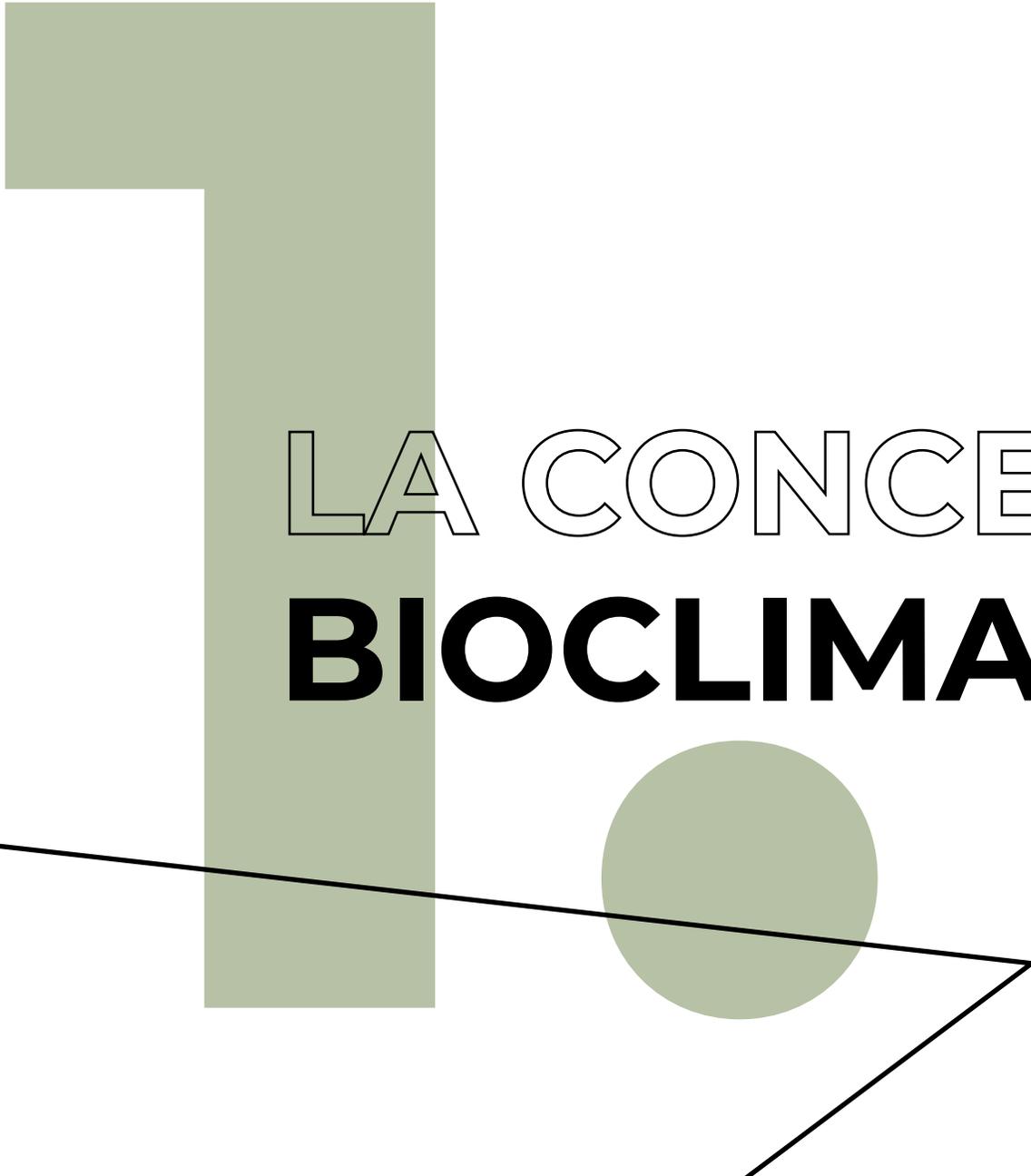
Ces outils sont codifiés de la manière suivante :

- > Les modèles codifiés par la lettre **M**,
- > Les check-lists codifiées par les lettres **CL**,
- > Les guides thématiques codifiés par la lettre **G**,
- > Les supports visuels, affiches codifiés par la lettre **A**,
- > Les dépliants codifiés par la lettre **D**,
- > Les ressources documentaires par les lettres **RD**.

Cette Boîte à outils a été élaborée avec la participation active de :

- ▶ Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement,
- ▶ Ministère des Habous et des Affaires Islamiques,
- ▶ Direction des Équipements Publics,
- ▶ Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Économie Verte et Numérique,
- ▶ Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique,
- ▶ Cluster EMC – Efficacité Énergétique et Matériaux de Construction,
- ▶ École Nationale d'Architecture de Rabat.





# LA CONCEPTION **BIOCLIMATIQUE**

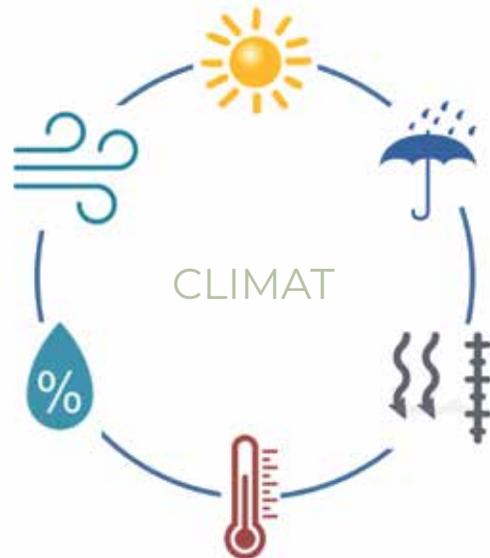
# 1.1. LE CLIMAT MAROCAIN

La conception bioclimatique comprend l'étude des caractéristiques du terrain sur lequel s'implante le projet, tout particulièrement le climat, pour élaborer une conception architecturale qui tire le maximum d'avantages de ces caractéristiques et anticipe ses inconvénients.

La conception bioclimatique est donc fortement dépendante du climat dans lequel se trouve le site du projet.

Le climat inclut principalement les données suivantes :

- ▶ La température,
- ▶ La pression atmosphérique,
- ▶ Les précipitations,
- ▶ L'ensoleillement,
- ▶ L'humidité,
- ▶ La vitesse et l'orientation du vent.

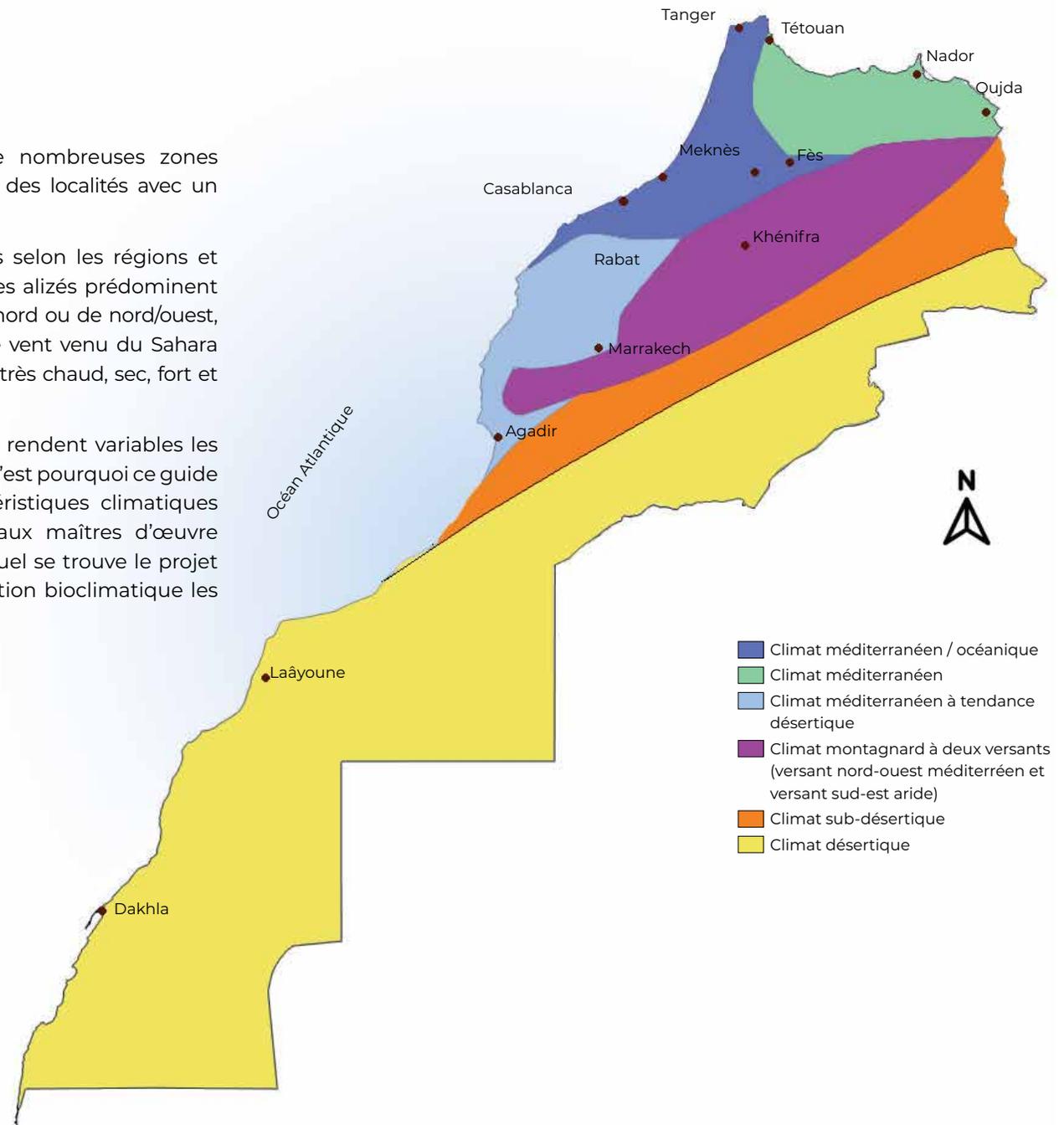




Le Maroc est un pays qui compte de nombreuses zones climatiques qui comportent elles-mêmes des localités avec un microclimat (voir carte ci-contre).

On y observe également différents vents selon les régions et leur topographie. Sur la côte atlantique, les alizés prédominent et on observe régulièrement un vent de nord ou de nord/ouest, frais à froid et relativement sec. Au sud, le vent venu du Sahara appelé chergui (est et sud-est) est un vent très chaud, sec, fort et poussiéreux.

Cependant, les changements climatiques rendent variables les caractéristiques de ces différents climats. C'est pourquoi ce guide propose des principes selon des caractéristiques climatiques plutôt que par zone climatique. C'est aux maîtres d'œuvre d'identifier et d'étudier le climat dans lequel se trouve le projet pour sélectionner les mesures de conception bioclimatique les plus adaptées au projet.



## 1.2. LE RAPPORT ENTRE LE BÂTIMENT, LE SITE ET L'ENVIRONNEMENT

La conception bioclimatique est incontournable dans un projet de construction durable. Ses principes qui consistent à tirer avantages des atouts naturels du site et de son environnement vont permettre aux usagers une vie plus harmonieuse avec le bâtiment et son environnement, notamment en améliorant leur confort thermique et visuel, mais aussi en optimisant l'efficacité énergétique et la gestion de l'eau, permettant ainsi de réaliser des économies.

Dans ce cadre, le site sur lequel s'implante le projet est un élément stratégique majeur.

En effet, les avantages d'un site peuvent améliorer de façon considérable les possibilités de conception bioclimatique, tout comme au contraire, ses inconvénients peuvent amoindrir les possibilités de conception bioclimatique du projet.

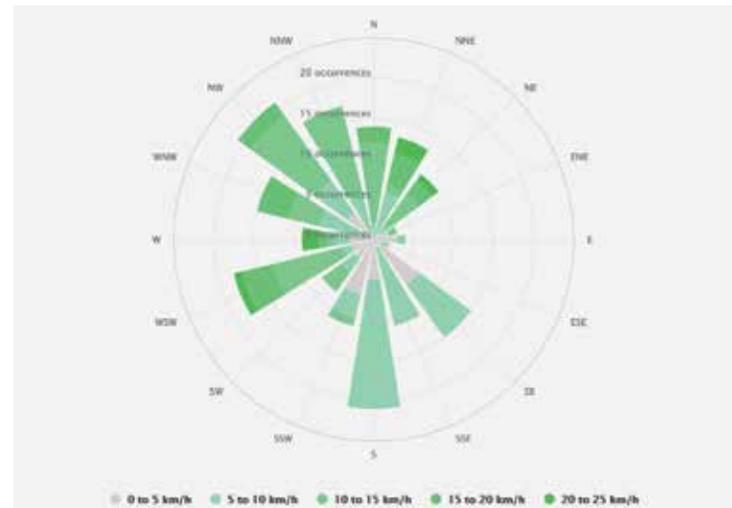
### 1.2.1. ANALYSER LES DONNÉES DU TERRAIN

Lors du choix du terrain, il est important d'analyser en particulier les données suivantes :

- ▶ Climat du site (températures été/hiver, taux d'humidité, repérage des brumes et brouillards, influences maritimes ou autres, etc.),
- ▶ Course du soleil (spécifique à chaque lieu) par rapport à l'orientation du terrain,

- ▶ Ombrage du terrain par rapport à son relief et aux constructions mitoyennes ou aux éléments naturels environnants (si les terrains mitoyens sont vierges mais constructibles, on projette les gabarits constructibles autorisés pour connaître l'étendue des ombrages qui seront créés par les futures constructions mitoyennes),
- ▶ Les vents dominants par une analyse de la rose des vents.

L'analyse de l'ensemble de ces données sert tout au long de la conception bioclimatique pour déterminer l'implantation du bâti, son type de volumétrie, le positionnement des ouvertures et encore bien d'autres éléments de conception architecturale.



Exemple de rose des vents à Rabat, avril 2020 (source site [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com))







### 1.2.2. VÉRIFIER LA VIABILISATION DU TERRAIN

En dehors des paramètres de conception bioclimatique, il est important de se renseigner sur la viabilisation du terrain. En effet, un terrain non viabilisé n'empêche pas le projet, mais a un impact significatif sur le budget de l'opération. La viabilisation d'un terrain repose sur les éléments suivants :

- ▶ Voie goudronnée desservant le site,
- ▶ Site desservi par des conduites des eaux : eau potable, assainissement et évacuations des eaux usées, déversoir et avaloir des eaux pluviales,
- ▶ Site desservi par le réseau électrique,
- ▶ Site desservi par le réseau téléphonique.

Si le terrain n'est pas viabilisé, il est recommandé de vérifier la distance entre le site et la connexion à ces différents réseaux pour s'assurer qu'ils ne sont pas trop éloignés et n'engendrent pas un surcoût budgétaire qui pourrait remettre en cause le projet.

### 1.2.3. IDENTIFIER LES ATOUTS D'UN SITE

Les conditions optimales pour un site recevant un projet de conception bioclimatique doivent permettre au projet de :

- ▶ Être orienté au sud sur sa plus grande longueur de façade dégagée,
- ▶ Être protégé des vents dominants par un élément naturel (montage, colline, arbres, etc.) ou par une construction si les vents dominants sont gênants de par leurs caractéristiques (trop froids, trop forts, trop poussiéreux, etc.),
- ▶ Avoir un axe dégagé pour favoriser le passage des vents dominants s'ils ne sont pas gênants et que l'on souhaite une ventilation naturelle optimisée du projet,
- ▶ Être viabilisé.

## Interactions entre l'environnement et le bâtiment



Illustration Jean-Claude Pereira

### OUTILS



**CL01.** Choix du terrain



**M08.** Matrice des risques

## 1.3. L'ORIENTATION DU BÂTIMENT

L'orientation du bâtiment est essentielle dans la conception bioclimatique. En effet, le soleil, source de lumière et de chaleur, est la première ressource naturelle à exploiter dans la conception du bâtiment. Pour cela, il est important de comprendre les avantages et les inconvénients de chacune de ses orientations.

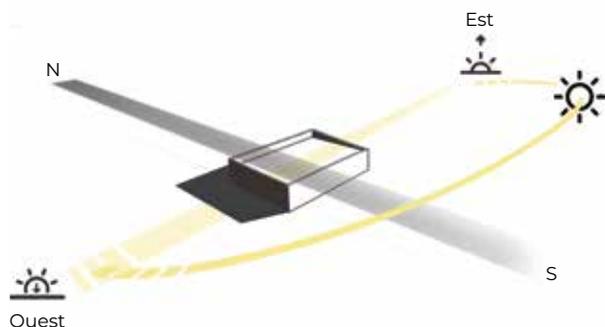
La course du soleil est spécifique à chaque lieu, cependant, au Maroc on peut définir globalement une course du soleil au sud comme dans le schéma ci-dessous.

Pour une course du soleil précise par rapport au site, on peut se référer à un diagramme solaire disponible sur des applications ou sites Internet.

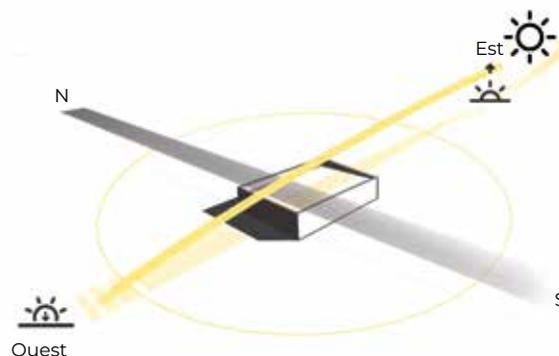


© Pexels/Cristian Cargnello

Soleil d'hiver



Soleil de mi-saison



Soleil d'été

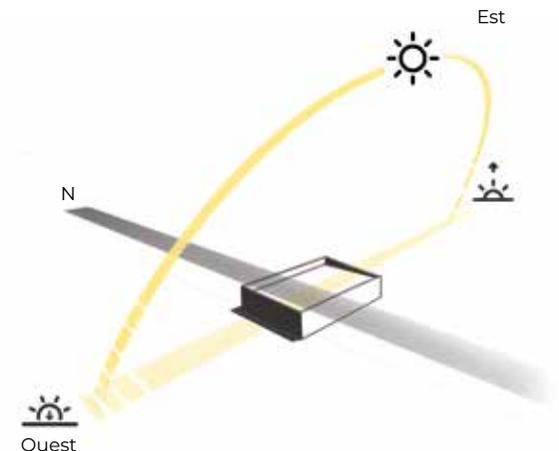


Illustration Jean-Claude Pereira

### 1.3.1. COMPRENDRE LES CARACTÉRISTIQUES DES ORIENTATIONS SOLAIRES AU MAROC

Au Maroc, on observe globalement les caractéristiques suivantes pour chaque orientation :

		CARACTÉRISTIQUES	QUELLES FONCTIONS ?
ORIENTATION	<b>NORD</b>	Peu lumineux, froid et souvent humide.	Fonctions appelant le moins de présence des usagers du bâtiment (garage, réserve, local d'entretien, cage d'escalier, cage d'ascenseur, local technique, chaufferie, etc.).
	<b>EST</b>	Lumineux le matin, chaud en été le matin, tempéré le reste de l'année.	Fonctions appelant une occupation secondaire du bâtiment (chambre, salle de bains, cuisine, etc.) ou principale si le bâtiment ne possède pas de façade dégagée au sud. Prévoir des protections solaires sur les ouvertures extérieures en fonction de l'inclinaison du rayonnement solaire d'été.
	<b>SUD</b>	Lumineux et tempéré car le soleil d'hiver au sud est rasant, donc pénétrant et permet ainsi de réduire les besoins en chauffage, alors que le soleil d'été au sud est zénithal et ne pénètre donc que très peu dans les locaux qu'abrite cette façade, limitant ainsi la chaleur et les besoins en refroidissement.	Fonctions appelant une occupation principale du bâtiment (salon, salle de classe, chambres d'hôtel, etc.). Prévoir des protections solaires zénithales.
	<b>OUEST</b>	Lumineux à partir du milieu d'après-midi, très chaud en été.	Fonctions appelant le moins de présence des usagers du bâtiment ou une occupation secondaire. Prévoir des protections solaires sur les ouvertures extérieures en fonction de l'inclinaison du rayonnement solaire d'été (zénithale et latérale).



© Pixabay

### 1.3.2. PRENDRE EN COMPTE L'ORIENTATION SOLAIRE DANS LA CONCEPTION ARCHITECTURALE DU PROJET

Bien que les contraintes liées au site (morphologiques, urbanistiques, règlementaires, etc.) ne permettent pas toujours une implantation libre, l'architecte dans ses études de conception doit chercher à :

- ▶ Orienter la façade principale, la plus longue et/ou importante au regard des locaux qu'elle héberge, au sud,
- ▶ Placer les fonctions principales du bâtiment qui demandent le plus d'occupation des usagers au sud,
- ▶ Prévoir les baies vitrées, le cas échéant, sur la façade sud,
- ▶ Prévoir des protections solaires zénithales pour les ouvertures de la façade sud,
- ▶ Prévoir l'implantation d'arbres à feuilles caduques (arbres qui perdent leurs feuilles à l'automne et offrent donc un ensoleillement dégagé de l'automne au printemps et un ombrage rafraîchissant du printemps à l'automne), à proximité de la façade sud,
- ▶ Limiter les expositions du bâtiment et les ouvertures au nord,
- ▶ Orienter les fonctions qui demandent le moins de présence des usagers au nord,
- ▶ Étudier la possibilité d'éclairer les locaux donnant sur la façade nord avec des ouvertures zénithales exploitant la lumière du sud,
- ▶ Éviter les baies vitrées sur la façade ouest.



© GIZ/Noelie Vegas

### 1.3.3. PRENDRE EN COMPTE LES VENTS DOMINANTS

L'orientation du bâtiment doit prendre en considération les vents dominants identifiés grâce à la rose des vents (voir chapitre précédent). Selon le climat et le type de vent relatifs au site, on cherche soit à se protéger des vents dominants, soit à les intégrer dans la conception pour permettre une ventilation naturelle optimisée (climat très chaud).

Pour se protéger des vents dominants, l'architecte peut avoir recours à différents moyens :

- ▶ Exploitation des constructions mitoyennes comme écrans,
- ▶ Création d'écrans végétaux avec des arbres à feuilles persistantes (feuillus toute l'année),
- ▶ Création d'écrans brise-vent (palissades, murs, treillis végétal, etc.).

Pour exploiter les vents dominants pour une ventilation naturelle optimisée, se reporter au chapitre 5.



© GIZ/Noelie Vegas

## Exemple d'implantation du bâti pour exploiter le vent dominant et la ressource solaire

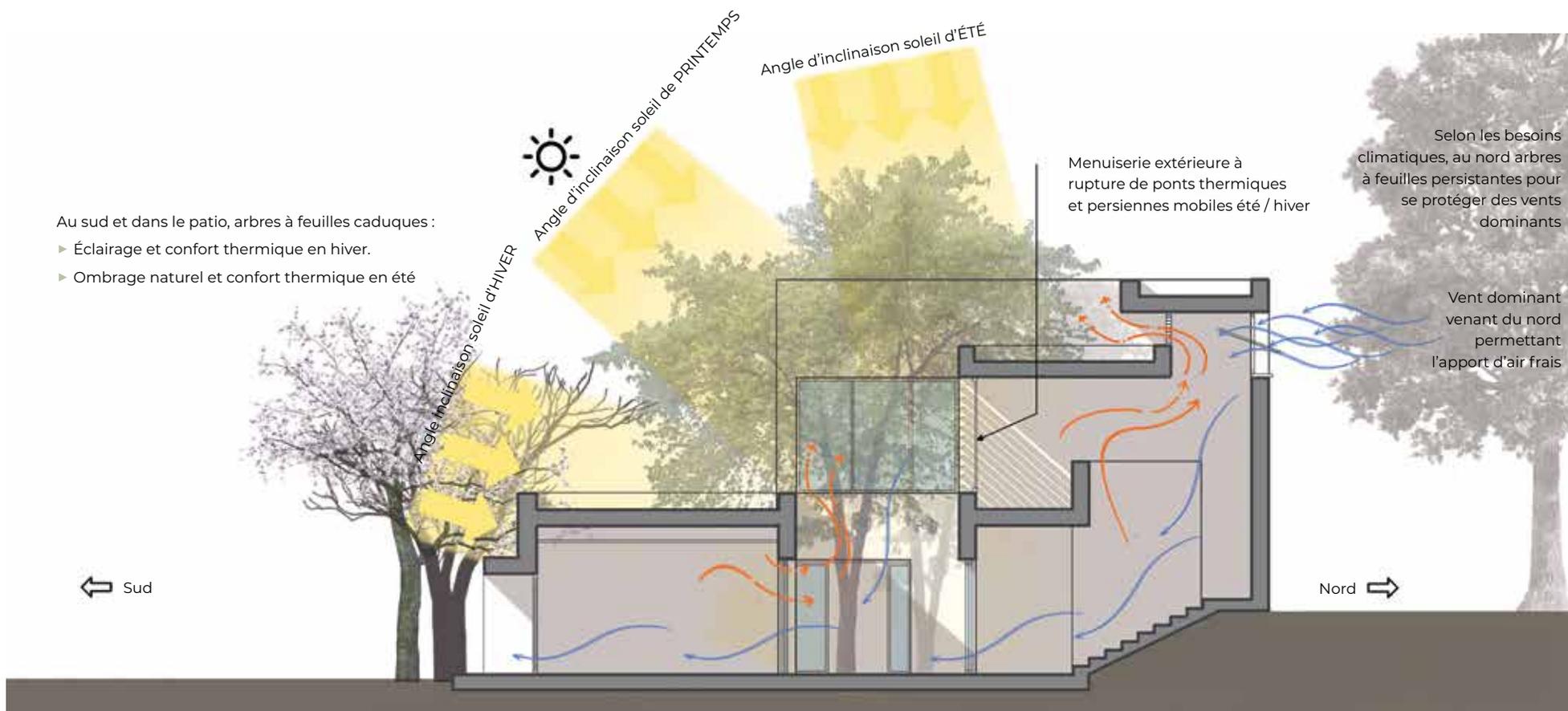


Illustration Jean-Claude Pereira

## 1.4. LA VOLUMÉTRIE DU BÂTIMENT

La volumétrie d'un bâtiment peut avoir un impact significatif sur son confort et sa consommation énergétique. Selon la volumétrie, la surface de murs extérieurs et donc l'exposition solaire vont varier, tout comme le potentiel de ventilation naturelle.

Au Maroc, le type de volumétrie est à adapter en fonction du climat.

### 1.4.1. OPTER POUR UNE VOLUMÉTRIE ÉCLATÉE

Une volumétrie éclatée permet, grâce à des jeux de volumes, une bonne ventilation et la création de zones ombragées.

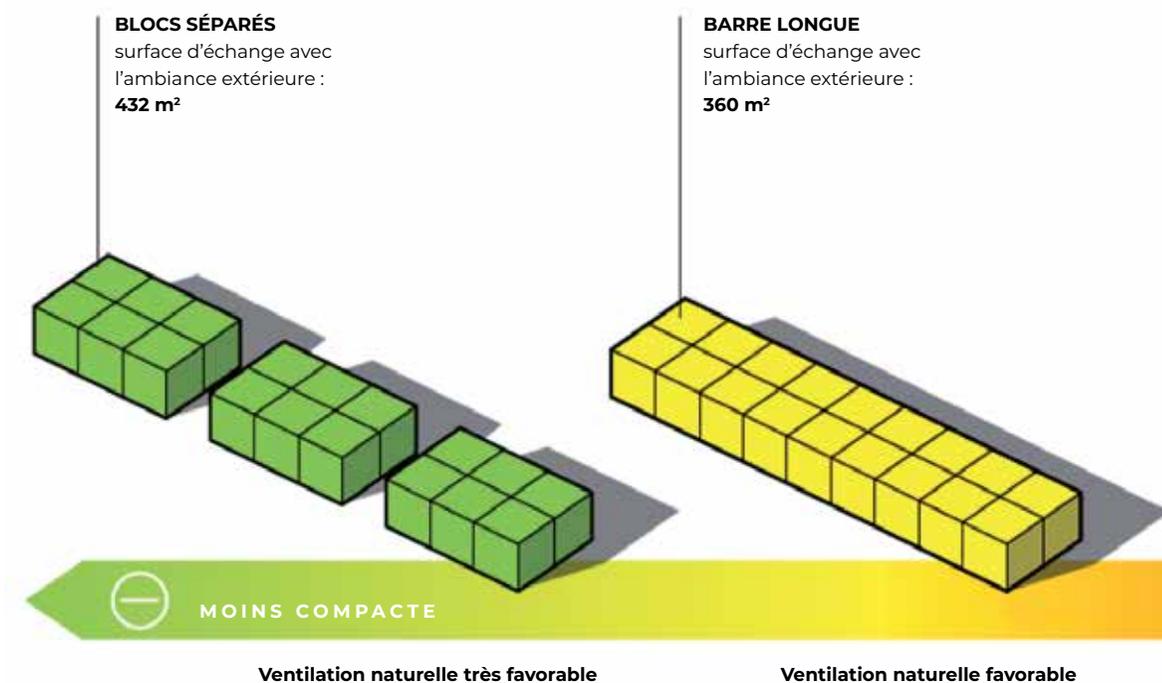
#### Exemple de volumétrie éclatée



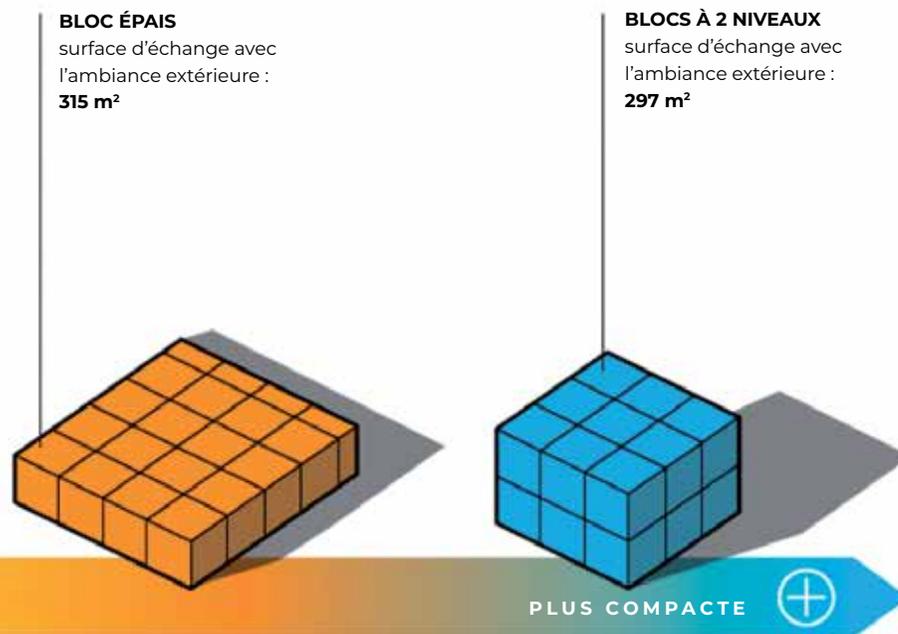
Architecture du sud

Cette volumétrie est d'autant plus efficace en cas de constructions groupées avec une distribution des bâtiments par ruelles étroites créant des espaces ombragés et des courants d'air : on peut également l'observer dans l'urbanisme traditionnel des médinas et kasbahs. Cependant, ce type d'aménagement crée beaucoup de vis-à-vis et limite les vues dégagées.

### Potentiel de ventilation naturelle et surface des murs extérieurs selon les types de volume



Source : Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. fhal02025559.



Ventilation naturelle très défavorable si trop grande profondeur du bloc

Climatisation plus favorable

## 1.4.2. OPTER POUR UNE VOLUMÉTRIE COMPACTE

La volumétrie compacte, ou la compacité, permet de limiter les murs extérieurs et donc les surfaces déperditives ou exposées à un ensoleillement important. Elle permet ainsi de diminuer les besoins en chauffage lorsqu'il fait froid et de limiter les besoins en climatisation lorsqu'il fait chaud. Cependant, elle ne permet pas une ventilation naturelle optimale car son épaisseur limite les possibilités d'ouverture traversantes au sein d'une même pièce.

La compacité a aussi un autre avantage, c'est de diminuer sensiblement le budget puisqu'il y a moins de murs extérieurs à construire.

### Exemple de volumétrie compacte



*Clinique du village de Wadi Gharba dans le sud du Sinaï en Égypte (Architecte Hand Over)  
Source : [www.redac.leconomiste.com](http://www.redac.leconomiste.com)*



© GIZ/Caroline Weinkopf

### 1.4.3. DANS TOUS LES CAS

Généralement, en conception bioclimatique, on privilégie la compacité du bâtiment, en cherchant des solutions pour optimiser la ventilation naturelle, notamment par effet de cheminée (voir chapitre suivant).

Dans tous les cas, il est important d'étudier les ombres projetées que peuvent créer les parties les plus hautes de la volumétrie (cage d'escalier et/ou cage d'ascenseur qui montent en terrasse, minaret, local technique en toiture, tour de pompier) pour éviter de gêner toute installation solaire.

Par ailleurs, le travail sur la volumétrie doit permettre une optimisation de l'exposition solaire du bâtiment, par exemple en venant chercher la lumière du sud ou en se prévenant de la chaleur de l'ouest.

Dans certains types de programmes, il peut y avoir plusieurs bâtiments distincts dans le même projet (logements collectifs, campus, complexe sportif, etc.). Il est essentiel d'étudier la volumétrie des bâtiments les uns par rapport aux autres, car elle a un impact direct sur :

- ▶ L'ombrage (faire des simulations d'ombres portées selon les courses du soleil d'été, solstice et hiver),
- ▶ La création de courants d'air gênants pour l'intérieur des bâtiments et les espaces extérieurs (jardin, trottoir, rue, parking, etc.),
- ▶ Le confort visuel : éviter les vis-à-vis et créer des vues dégagées dans les locaux à occupation principale.



© GIZ/Oussama Benbila



© GIZ/Oussama Benbila

## 1.5. LA VENTILATION DU BÂTIMENT

La conception architecturale bioclimatique peut permettre une ventilation naturelle du bâtiment, évitant ou limitant ainsi les besoins en climatisation. En effet, la température ressentie par une personne statique à l'ombre, exposée à une ventilation peut diminuer de 2°C à 4°C, grâce à ce type de ventilation.

Pour optimiser la ventilation naturelle du bâtiment, l'architecte doit prendre en considération dans sa conception :

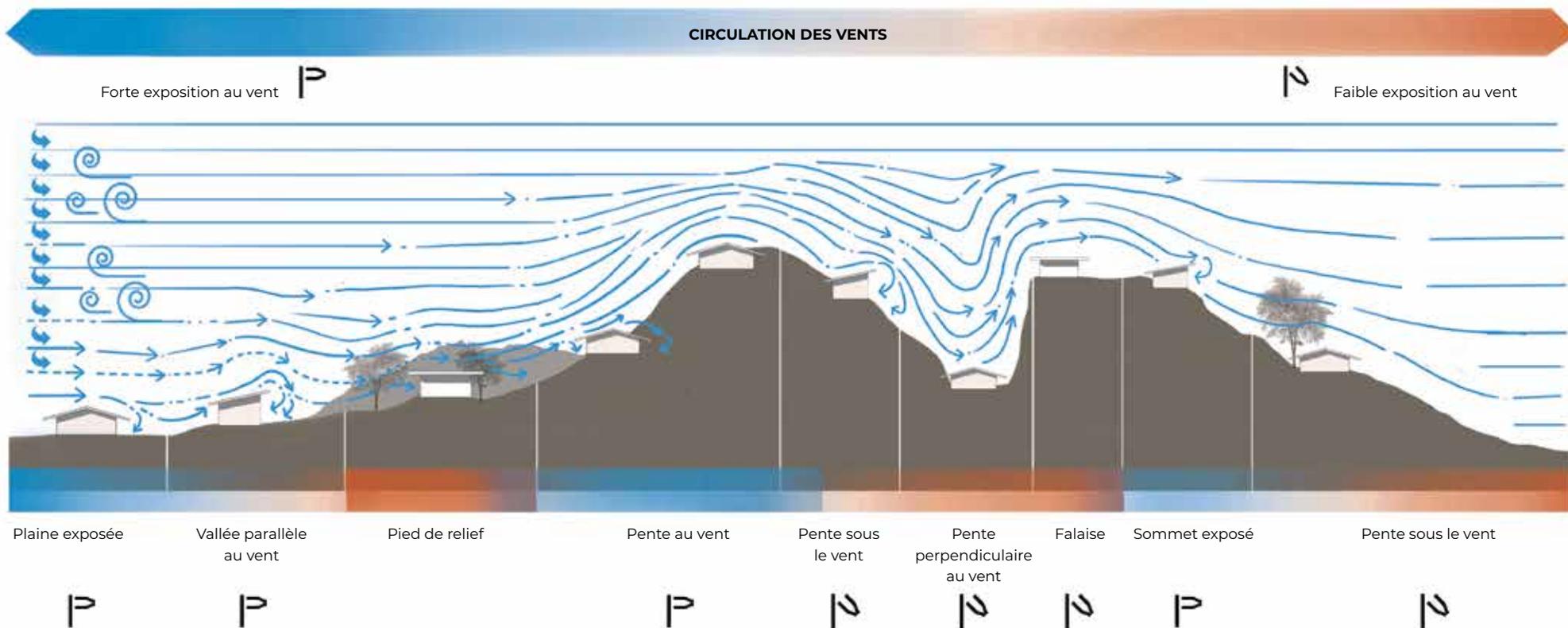
- ▶ La topographie du terrain,
- ▶ Les vents dominants,
- ▶ La forme de la toiture,
- ▶ Le positionnement des ouvertures extérieures (fenêtres, baies vitrées et lanternes),
- ▶ La volumétrie (voir chapitre précédent).



## 1.5.1. ANALYSER LA TOPOGRAPHIE DU TERRAIN

La topographie du terrain a une influence directe sur la ventilation naturelle du bâtiment selon son positionnement.

Elle peut permettre de se protéger des vents dominants ou au contraire de s'y exposer, voire surexposer :



Comme déjà vu dans le chapitre 1.3, selon le climat du site concerné, on cherche soit à se protéger des vents dominants (climat tempéré), soit à les intégrer dans la conception pour permettre une ventilation naturelle optimisée (climat très chaud).

La position du bâtiment selon la topographie du terrain est donc à étudier selon le climat dans lequel se situe le projet pour identifier la nécessité de se protéger du vent dominant ou non. Dans tous les cas, le positionnement du bâtiment en bas de cuvette est à proscrire car il empêche non seulement la circulation du vent dominant, mais la circulation de l'air en général.

Source : Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*. 2017. ffa102025559.

## 1.5.2. PRENDRE EN CONSIDÉRATION LES VENTS DOMINANTS ET LA FORME DE TOITURE

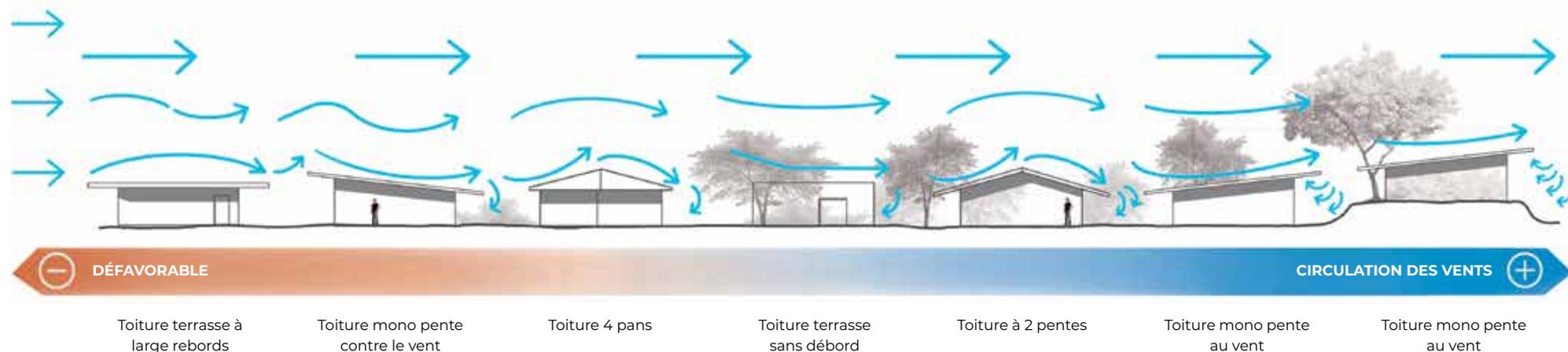
Au Maroc, la forme de toiture la plus répandue est principalement le toit terrasse, bien qu'on observe parfois des toits à faible pente et, de manière généralisée, des toitures à fortes pentes dans la province d'Ifrane.

Dans tous les cas, la forme de la toiture a un effet direct sur le circuit du vent dominant et donc sur la ventilation naturelle.

Selon le climat du site du projet, on peut en complément du choix de forme de toiture :

- ▶ Se protéger du vent dominant au moyen d'écrans végétaux ou bâtis (voir chapitre 1.3),
- ▶ Ou au contraire exploiter le potentiel de ventilation du vent dominant en positionnant les plus longues façades perpendiculairement à la direction du vent.

### Potentiel de ventilation naturelle selon le type de toiture



Source : Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*. 2017. ffh102025559.



### 1.5.3. CONCEVOIR LES OUVERTURES EXTÉRIURES

La conception des fenêtres, baies vitrées ou lanterneaux doit être mûrement réfléchi pour créer une ventilation traversante par des ouvertures sur façades opposées ou en cheminée par un circuit de l'air du bas vers le haut au moyen d'ouvertures en toiture.

**V**ues en coupe de principe de la circulation de l'air

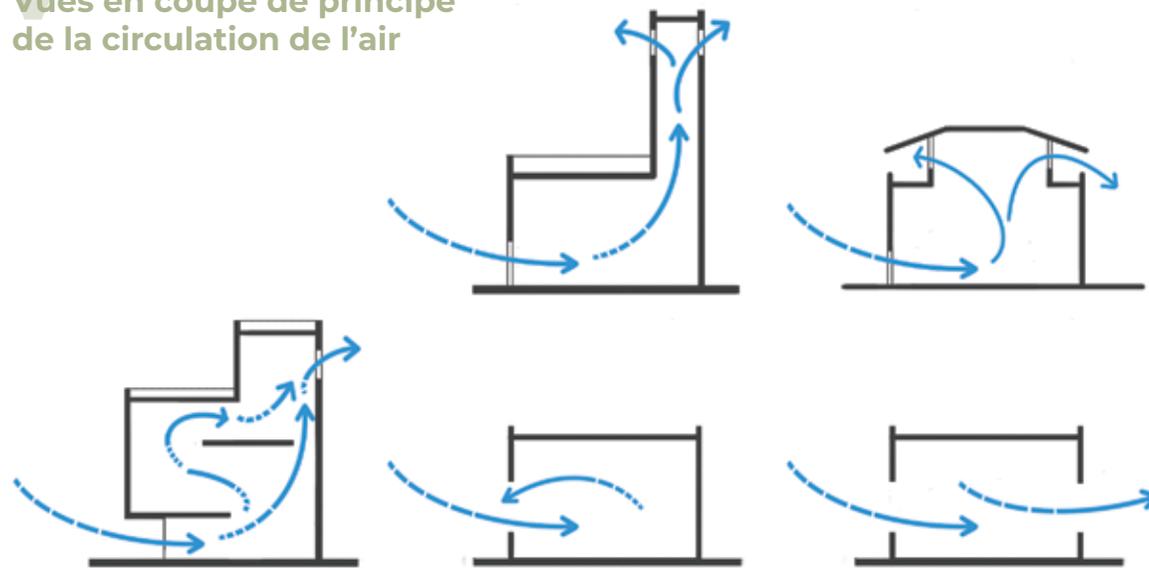


Illustration Jean-Claude Pereira



© GIZ/Jabrane Lakhsassi



© GIZ/Jabrane Lakhsassi

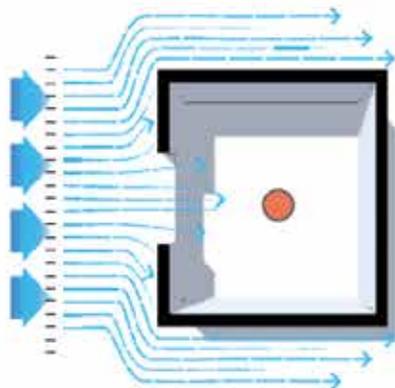


© GIZ/Jabrane Lakhsassi

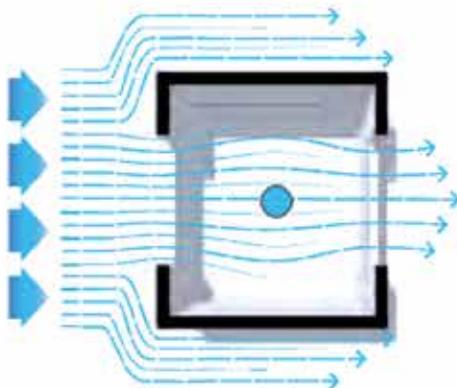
## Ventiler par effet traversant

Pour une ventilation traversante par des ouvertures sur façades opposées, l'architecte doit prendre en considération : le positionnement de l'ouverture, son dimensionnement, son type d'ouverture et le cloisonnement intérieur.

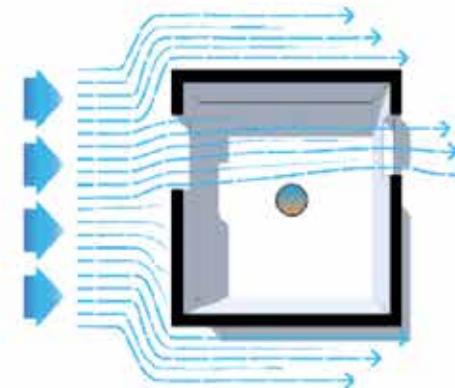
## Influence du positionnement et dimensionnement des ouvertures extérieures sur la circulation de l'air



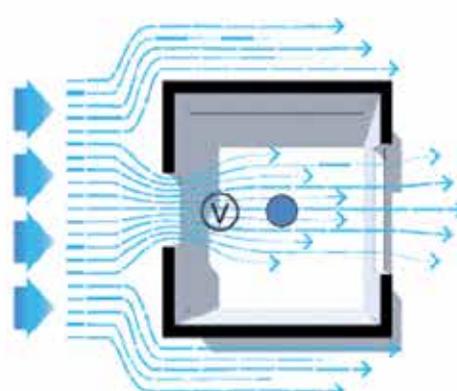
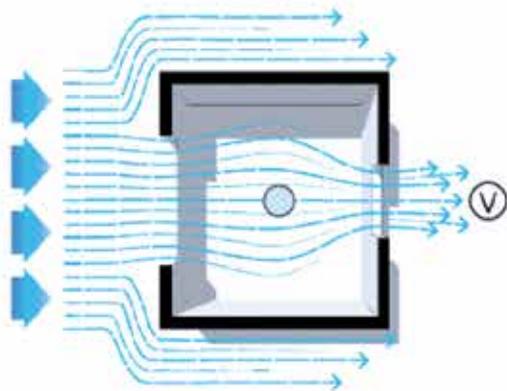
- Pas de sortie d'air.
- Niveau de ventilation très insuffisant.
- Pas de mouvement d'air à l'intérieur.



- Entrée et sortie d'air centrées sur la pièce et sur les murs en vis-à-vis.
- Bon potentiel de ventilation de l'espace.



- Entrée et sortie d'air décentrées.
- Le potentiel de ventilation de l'espace est plus limité. L'air est renvoyé sur le côté.



### Influence de la taille des ouvertures sur la vitesse de l'air.

- Si l'entrée est large et la sortie plus étroite, l'espace est ventilé, mais le flux d'air est accéléré à l'extérieur de l'espace.
- Si l'entrée est étroite et la sortie plus large, le flux d'air est accéléré à l'intérieur de l'espace, la surface couverte par la ventilation est moins importante. Cette disposition est plus intéressante si la ventilation est indispensable.

Source : Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. ffa102025559.

Le type d'ouverture à privilégier ou à éviter pour une meilleure circulation de l'air

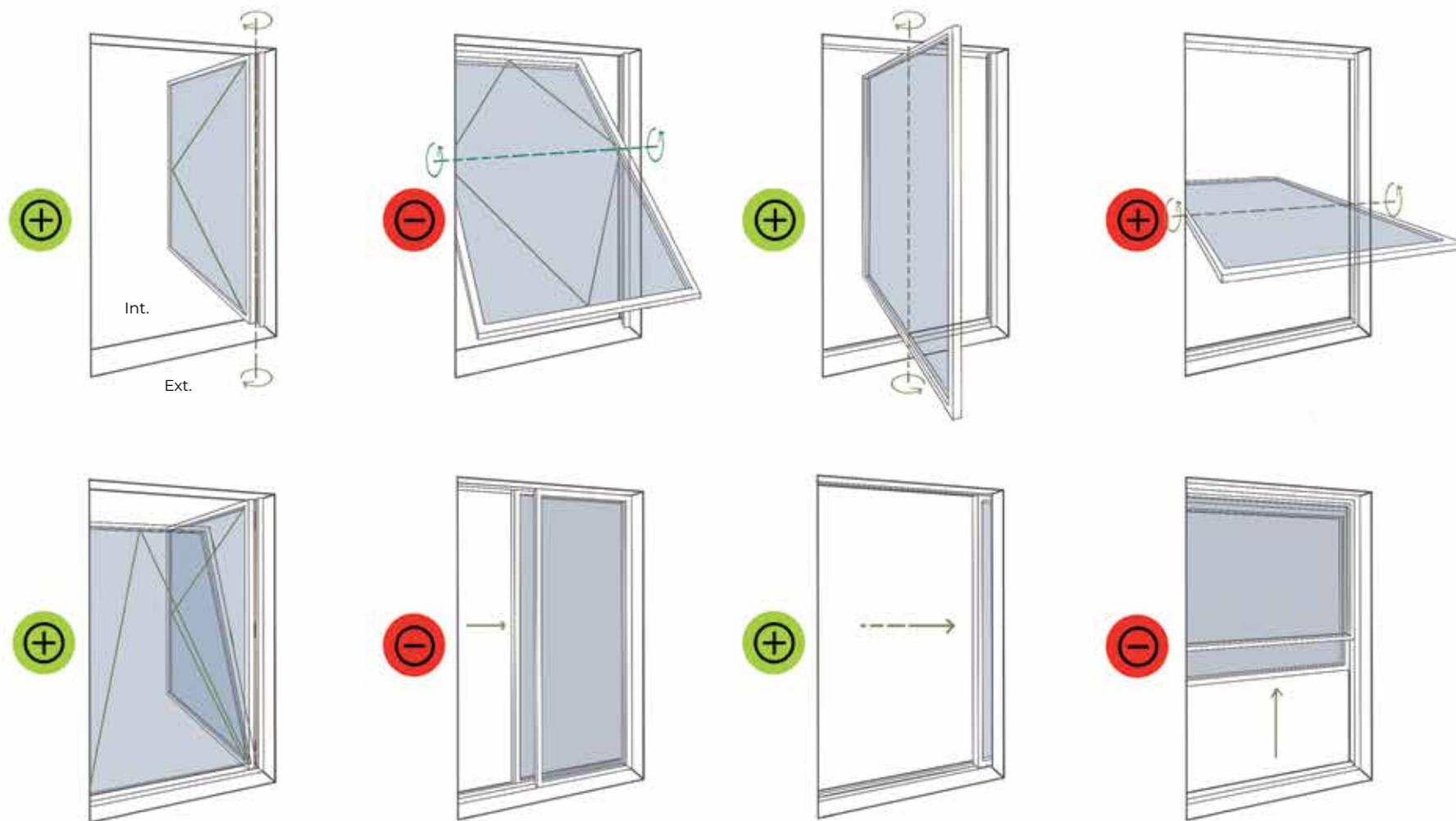
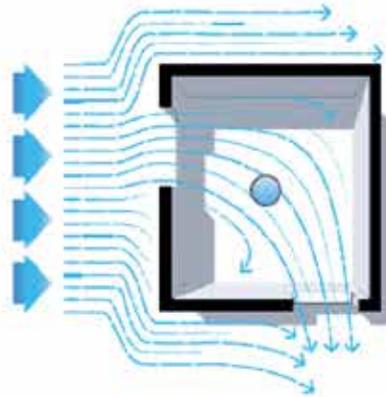
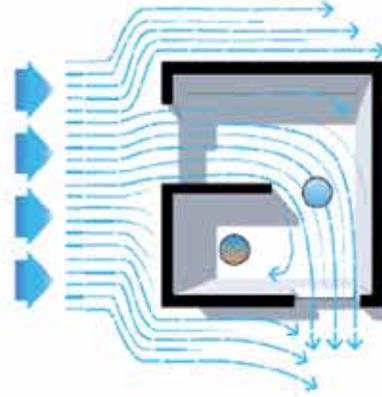


Illustration Jean-Claude Pereira

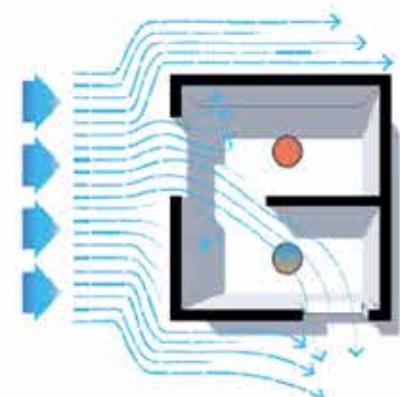
## Influence du cloisonnement sur le circuit de l'air



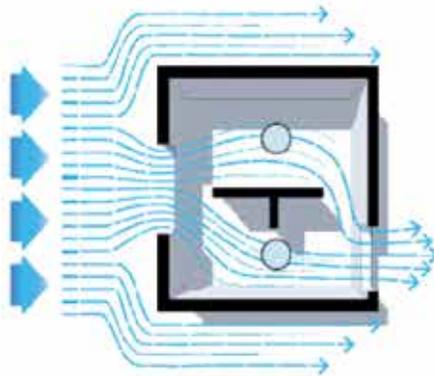
Pas de cloison, les ouvertures sont disposées de telle sorte que la surface ventilée de la pièce soit maximale.



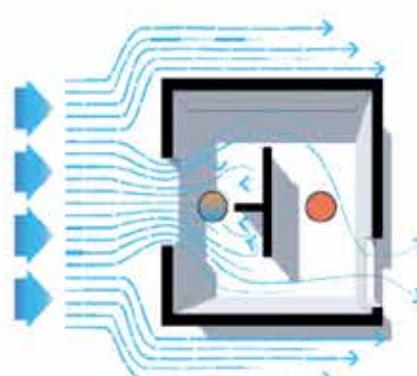
Le cloisonnement n'interfère pas sur le flux principal. Légère limitation de la pièce « masquée » par la cloison.



Cloisonnement coupant le flux. L'absence de sortie d'air limite considérablement le flux d'air dans l'espace pourtant situé face à l'ouverture.



Les cloisonnements positionnés parallèlement aux flux d'air limitent la ventilation mais sont moins pénalisants pour l'efficacité de celle-ci que les cloisons perpendiculaires qui altèrent considérablement l'écoulement.



Source : Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*. 2017. ffa102025559.

# P

## Principes de ventilation naturelle

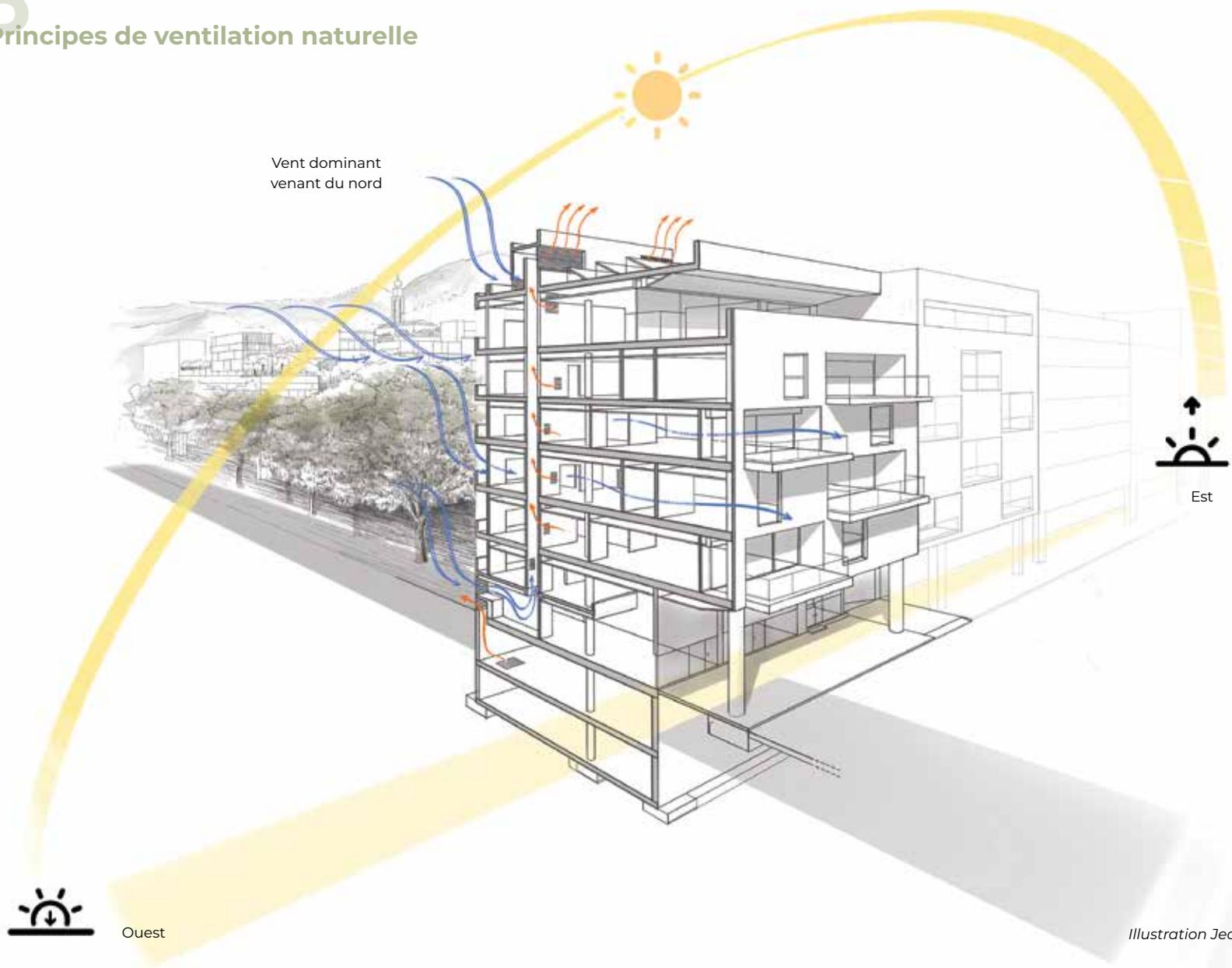


Illustration Jean-Claude Pereira

## Ventiler par effet cheminée

Dans un espace qui ne permet pas une circulation de l'air par façades opposées directes, on peut également créer une ventilation naturelle traversante en mettant en place des patios, courettes intérieures ou gaines de ventilation de dimensions appropriées.

L'augmentation de la hauteur sous plafond, en particulier au dernier étage du bâtiment, permet également une meilleure ventilation naturelle. Cependant, ce dimensionnement a l'inconvénient d'augmenter les besoins en chauffage en période froide en raison du volume de l'espace.

La ventilation naturelle par effet cheminée est également un bon moyen d'optimiser le rafraîchissement du bâtiment, notamment car elle permet une ventilation naturelle nocturne.

Pour assurer une ventilation naturelle performante, l'architecte doit donc trouver le bon compromis entre la taille et la position des ouvertures en façades et en toiture tout en prenant en considération le cloisonnement intérieur.

### OUTILS



**RD03.** Étude de capitalisation sur les projets efficaces énergétiquement pour le compte du groupe Al Omrane





## 1.6. OUVERTURES EXTÉRIURES

Dans le contexte de ce chapitre, les ouvertures extérieures d'un bâtiment concernent toutes les fenêtres, les baies vitrées, les lanterneaux (ouvertures en toiture) et les portes vitrées donnant sur l'extérieur.

En plus de la ventilation naturelle vue dans le chapitre précédent, les ouvertures extérieures ont un rôle déterminant dans :

- ▶ L'éclairage naturel,
- ▶ La protection solaire,
- ▶ L'isolation thermique (voir chapitre suivant).

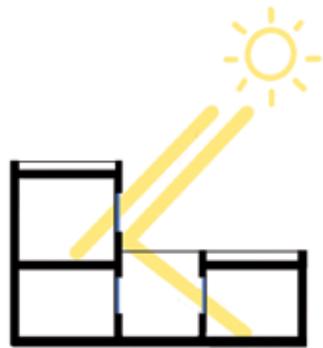
### 1.6.1. ÉCLAIRER NATURELLEMENT LE BÂTIMENT

Pour une baisse de la consommation énergétique mais aussi pour le confort des usagers du bâtiment, il est indispensable d'éclairer tous les locaux de façon naturelle, sauf quand la fonction du local l'exige. L'éclairage naturel concerne également les sanitaires et les circulations.

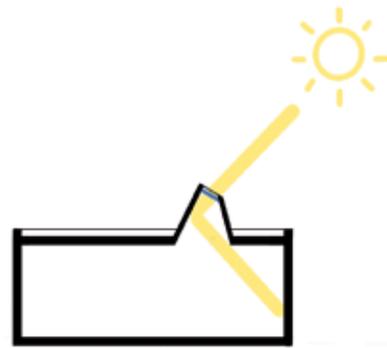
Le dimensionnement des ouvertures doit être adapté à la fonction de la pièce, à son orientation solaire et à ses besoins en ventilation naturelle. Ainsi, on privilégie :

- ▶ Les grandes ouvertures, types baies vitrées dans les pièces principales situées sur la façade sud,
- ▶ Les lanterneaux dans les circulations ou espaces en doubles hauteurs,
- ▶ Les petites ouvertures dans les WC,
- ▶ L'éclairage naturel indirect lorsque l'on veut éviter une surchauffe dans les espaces exposés au soleil le plus chaud en climat très chaud.

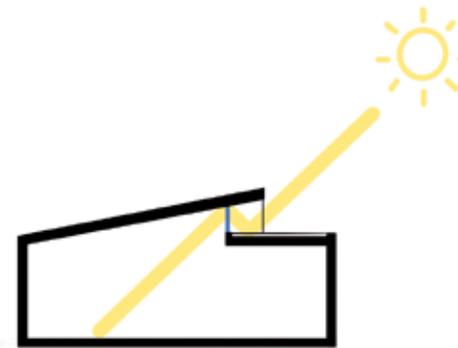
## E Exemples d'éclairage indirect



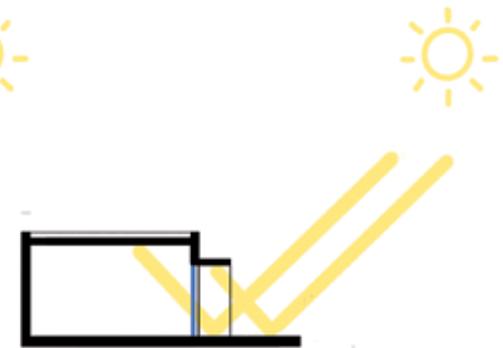
Patio



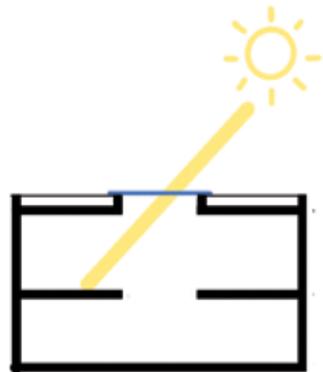
Lanterneaux de  
toiture



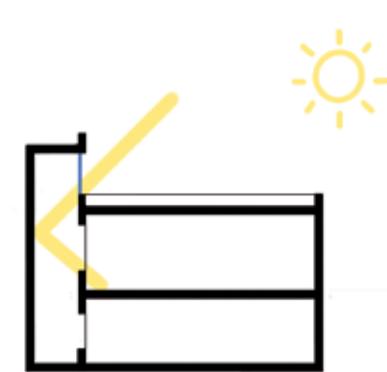
Lumière indirecte et  
réflexion



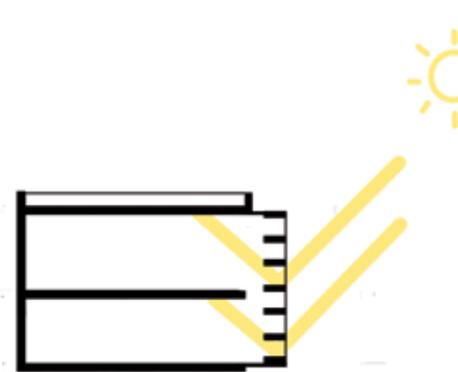
Réflecteur extérieur



Atrium



Puits de lumière



Brise soleil et  
réflexion

Source : [www.dwgmodels.com](http://www.dwgmodels.com)

## 1.6.2. PROTÉGER DU SOLEIL LES OUVERTURES EXTÉRIURES

Pour gérer l'apport en chaleur du soleil selon les saisons et la course du soleil, on met en place des protections solaires au niveau des ouvertures extérieures.

Les protections solaires peuvent être devant ou autour de l'ouverture, intégrées dans la façade ou apposées sur la façade, et de divers matériaux. Mais elles sont toujours positionnées côté extérieur de l'ouverture.

Les volets roulants intégrés peuvent créer une protection solaire, leur première fonction reste cependant d'occulter et/ou sécuriser.

### EXEMPLES DE PROTECTIONS SOLAIRES

Brise-soleil  
B



Façade avec brise-soleil, Garage Volvo, Casablanca, Omar Benjelloun architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan



Casquette zénithale et latérale en métal Société Omnimétal, France.  
Source : [www.omni-metal.bzh](http://www.omni-metal.bzh)



Multiplés casquettes, immeuble Morretti-Milon, Casablanca, Pierre Jarbin, architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan



Auvent traditionnel, Maison Cadet, Casablanca, Auguste Cadet, architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan



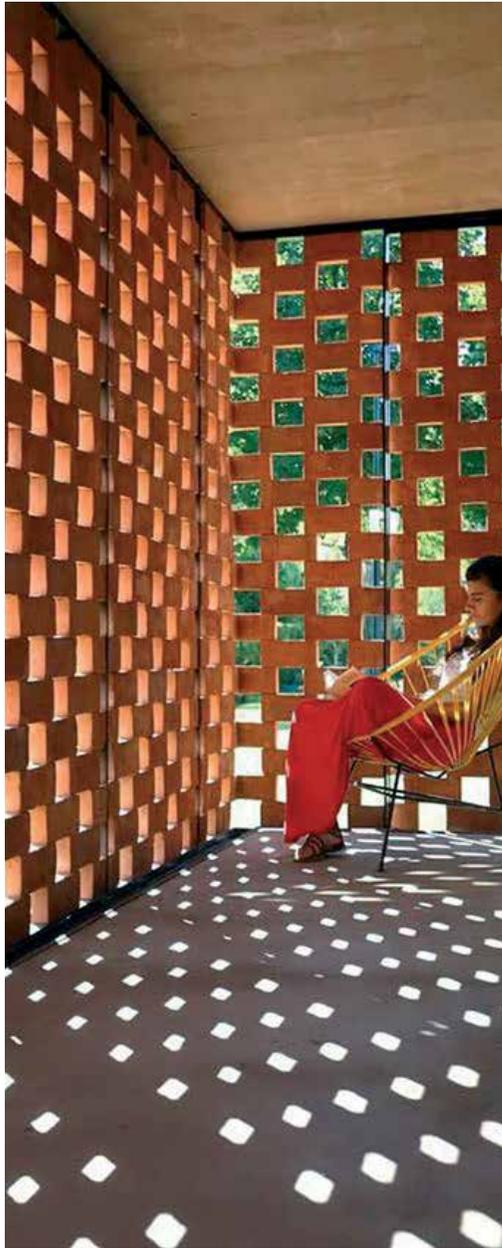
Auvent du garage Marcel Raygot, Casablanca, Georges Renaudin, architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan



*Emiliano Rio, Brésil, ©Photo Fernando Guerra.*



*Résidence d'habitation WILANOWSKA, Warschau, Pologne, JEMS architectes, © Photo Juliusz Sokolowski.*



Clastra en brique, source : [www.sadecor.co.za](http://www.sadecor.co.za)



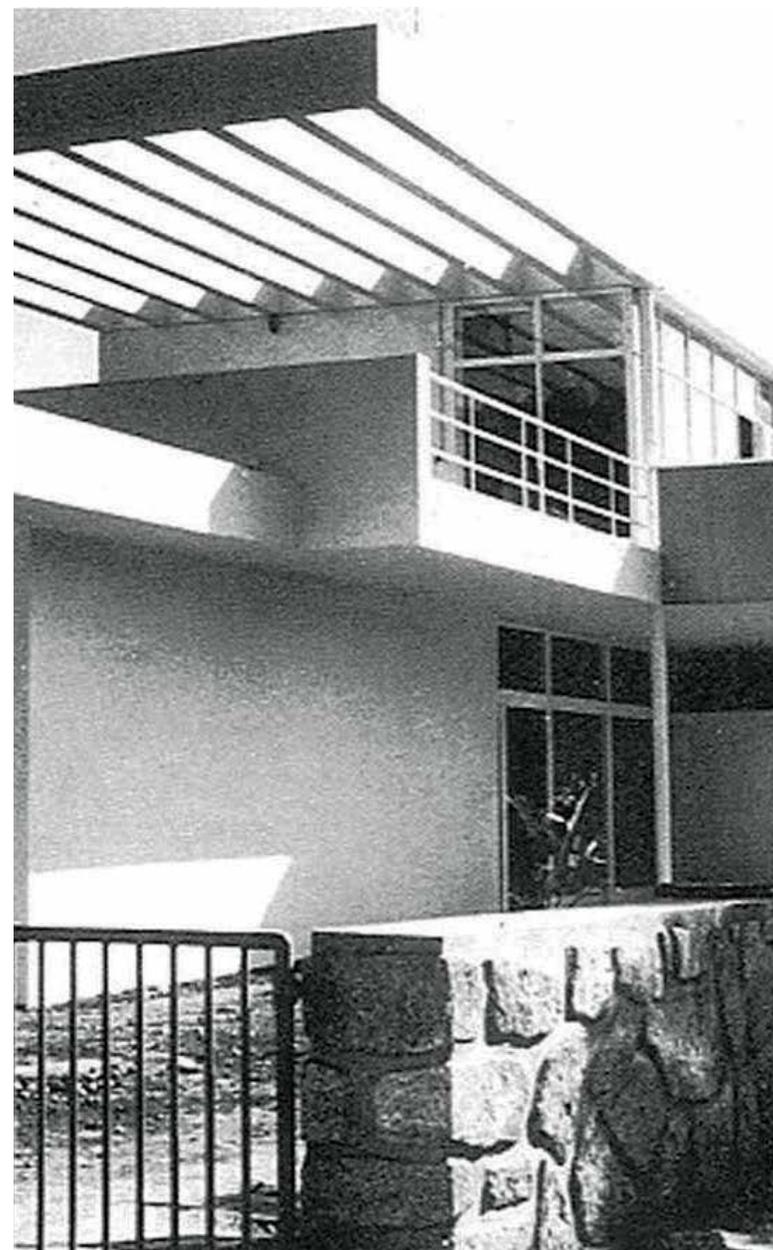
Moucharabieh Sidi Bou Said, Tunisie.  
Source : [www.voyagevirtuel.info](http://www.voyagevirtuel.info)



Détails moucharabieh immeubles Casablanca.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan



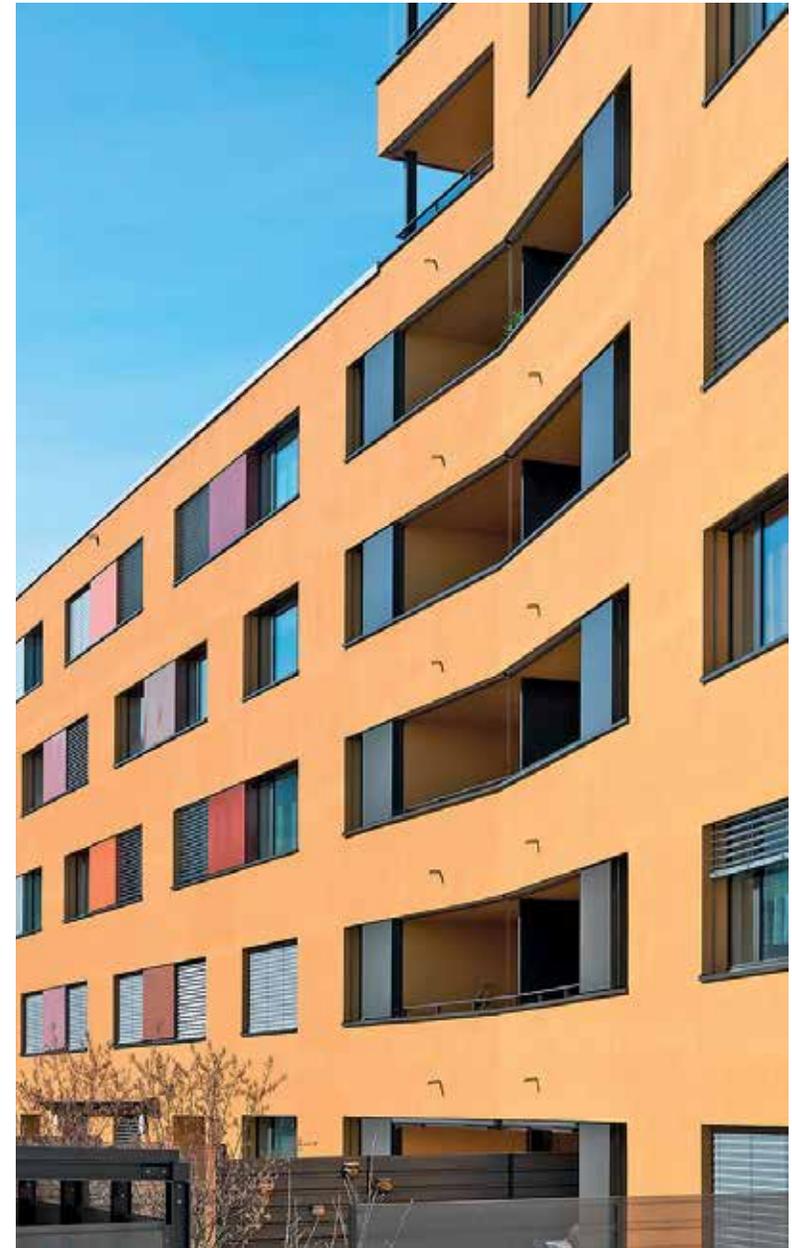
*Terrasse avec pergola, immeuble, Casablanca, Jean Michelet, architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan*



*Pergola villa Shulmann, Casablanca, Elie Azagury, architecte.  
Source : Casablanca, Jean-Louis Cohen et Monique Eleb, éditions Hazan*



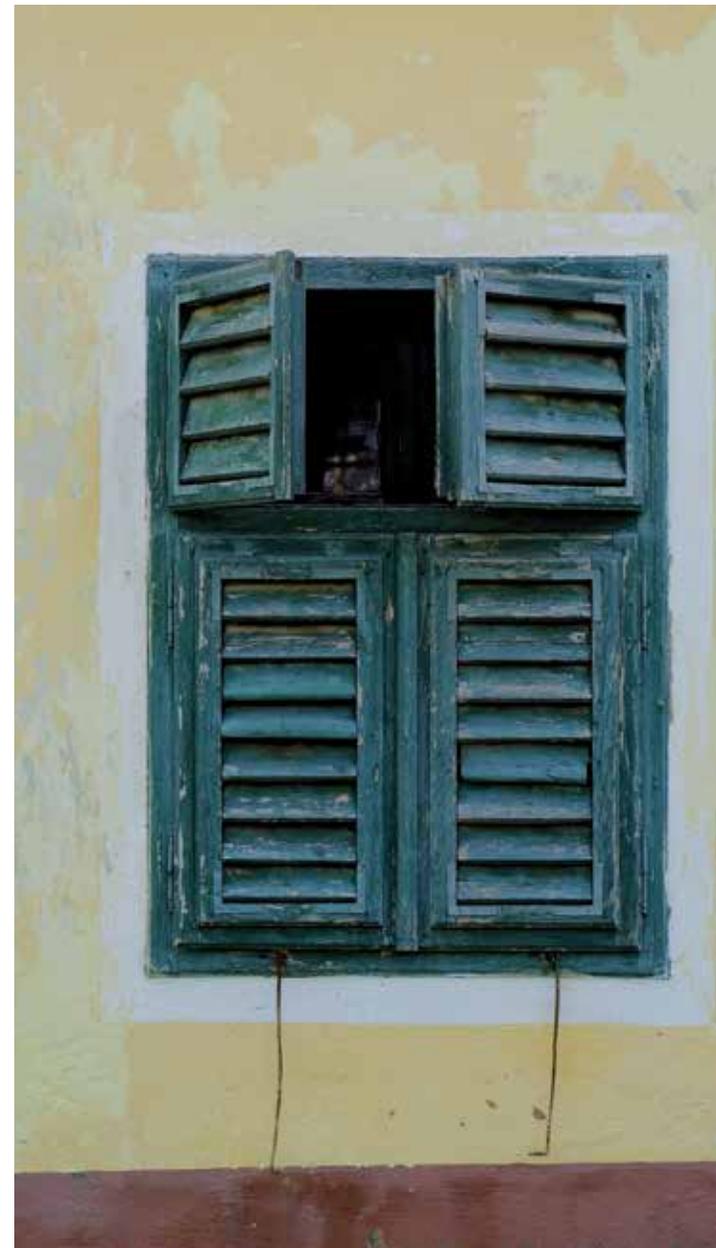
*Immeuble à store / persiennes à lames orientables, Toulouse, Vigneu & Zilio Architectes.  
Source : [www.tamiluz.es](http://www.tamiluz.es)*



*Immeuble Baarermattpark, Suisse, Axess architectes.  
Source : [www.schenkerstoren.com](http://www.schenkerstoren.com)*



*Persiennes métalliques coulissantes Spectra, [www.spectra.ma](http://www.spectra.ma).*



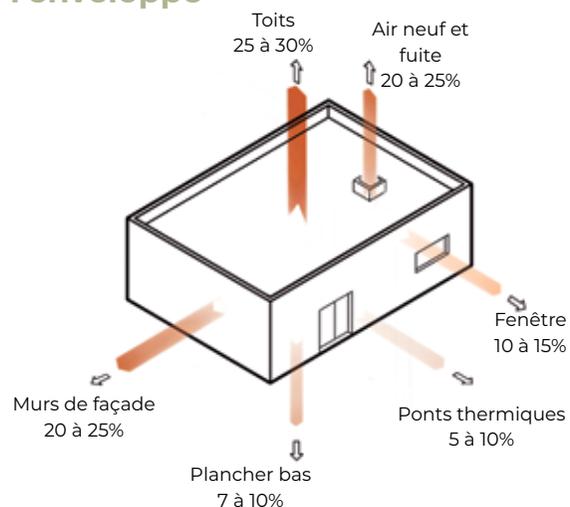
*Persiennes méditerranéennes traditionnelles.  
© Pexels/Leah Flavia*

# 1.7. L'ISOLATION THERMIQUE DU BÂTIMENT

L'isolation thermique est essentielle pour minimiser la consommation énergétique et offrir un confort optimal aux usagers du bâtiment.

Elle concerne toutes les composantes de l'enveloppe du projet pour éviter les déperditions thermiques, à savoir, la toiture, les murs extérieurs et les planchers bas, les fenêtres et baies vitrées.

## Déperditions thermiques à travers l'enveloppe



*Illustration Jean-Claude Pereira*

D'une manière générale, il est recommandé de choisir des matériaux de constructions en fonction de leurs caractéristiques thermo-physiques et de leur densité.

Dans la mesure du possible, il est conseillé de sélectionner des matériaux locaux, de façon à préserver le langage architectural régional, mais aussi de diminuer l'empreinte carbone et optimiser les frais de leur transport.



© CIZ

## 1.7.1. LA TOITURE

La toiture est l'élément constructif qui observe le plus de déperditions thermiques. Aussi, la toiture doit être parfaitement étanche et isolée. Sa couleur est claire pour limiter les apports de chauffage solaire. Si la gestion de l'eau le permet, on peut opter pour une toiture végétalisée qui offre une isolation performante.

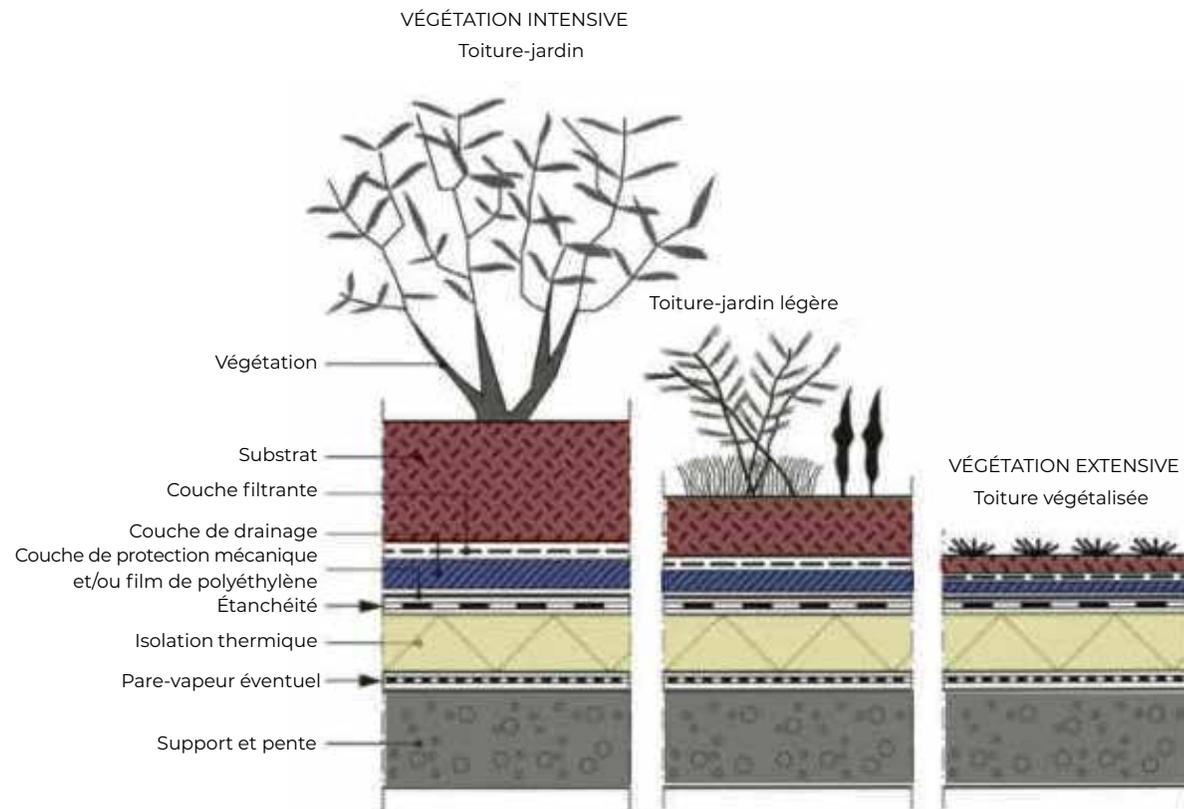


Toiture végétale du parking Hay Riad à Rabat.  
Source : [www.cgpark.ma](http://www.cgpark.ma)



Toit végétalisé de l'IFMERE.

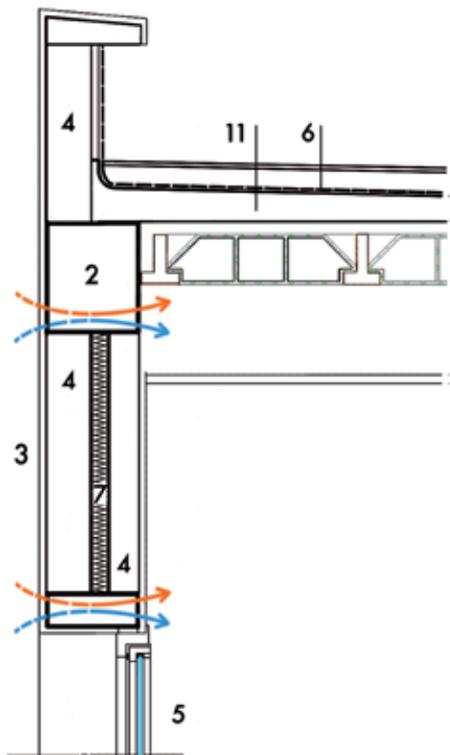
## Principes de toiture végétale



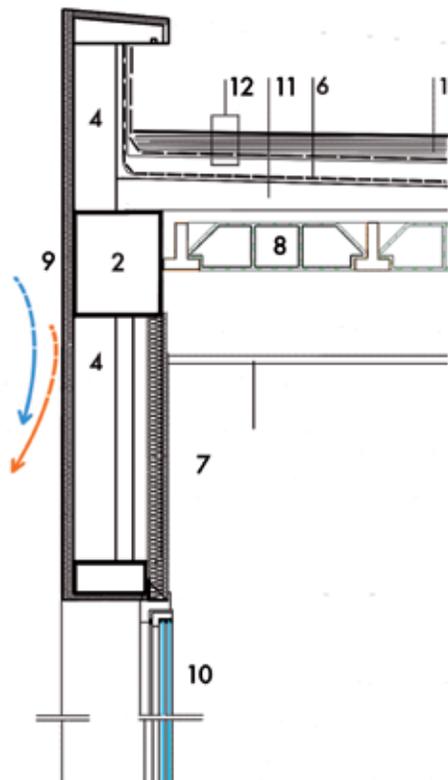
Source : [www.guidebatimentdurable.brussels](http://www.guidebatimentdurable.brussels)

Pour la pérennité d'une toiture terrasse, il est important d'anticiper le fait que la toiture soit praticable, accessible ou non, pour adapter sa composition en fonction. Si la toiture n'est pas praticable, on prévoit des chemins techniques pour que les personnes en charge de la maintenance puissent accéder aux installations techniques sans endommager le complexe d'étanchéité.

### Avec ponts thermiques (à éviter)



### Avec ruptures de pont thermique (conseillé)



- |   |   |
|---|---|
| <p><b>1</b>  Isolation thermique de toiture. Matériaux courants : liège, panneaux en polyuréthane expansé ; épaisseur courante : 5 cm.</p> <p><b>2</b>  Ouvrages en béton armé : Éléments porteurs de la construction (dallage, poteaux, voile, poutre, dalle).</p> <p><b>3</b>  Dressage sur maçonnerie + enduit de finition ou peinture de façade.</p> <p><b>4</b>  Maçonnerie en brique de terre cuite ou aggloméré ciment ; épaisseur variable.</p> <p><b>5</b>  Menuiserie extérieure à simple vitrage, châssis en aluminium, bois, ou PVC.</p> <p><b>6</b>  Étanchéité horizontale de toiture. Membrane bitumeuse.</p> <p><b>7</b>  Isolation thermique verticale positionnée entre la double cloison en maçonnerie.</p> <p><b>8</b>  Dalle en poutrelle et hourdis + dalle de compression.</p> | <p><b>9</b>  Isolation thermique extérieure (ITE) avec finition de façade en enduit.</p> <p><b>10</b>  Menuiserie extérieure à rupture de pont thermique composée d'un double vitrage.</p> <p><b>11</b>  Forme de pente.</p> <p><b>12</b>  Complexe d'étanchéité comprenant dans l'ordre et sur la forme de pente :<br/>1. Couche de diffusion : répartit la pression de la vapeur d'eau,<br/>2. Écran pare-vapeur : étanche à la vapeur d'eau,<br/>3. Isolation thermique,<br/>4. Couche d'indépendance,<br/>5. Membrane d'étanchéité,<br/>6. Protection meuble ou dalle de protection.</p> <p> Ponts thermiques majeurs.</p> |
|---|---|

Illustration Jean-Claude Pereira

Dans tous les cas, il est nécessaire de prévoir une isolation thermique performante. Au Maroc, il existe divers matériaux pour l'isolation en toiture : polystyrène extrudé, polyuréthane projeté, liège aggloméré, laine de verre, béton de chanvre, béton cellulaire...

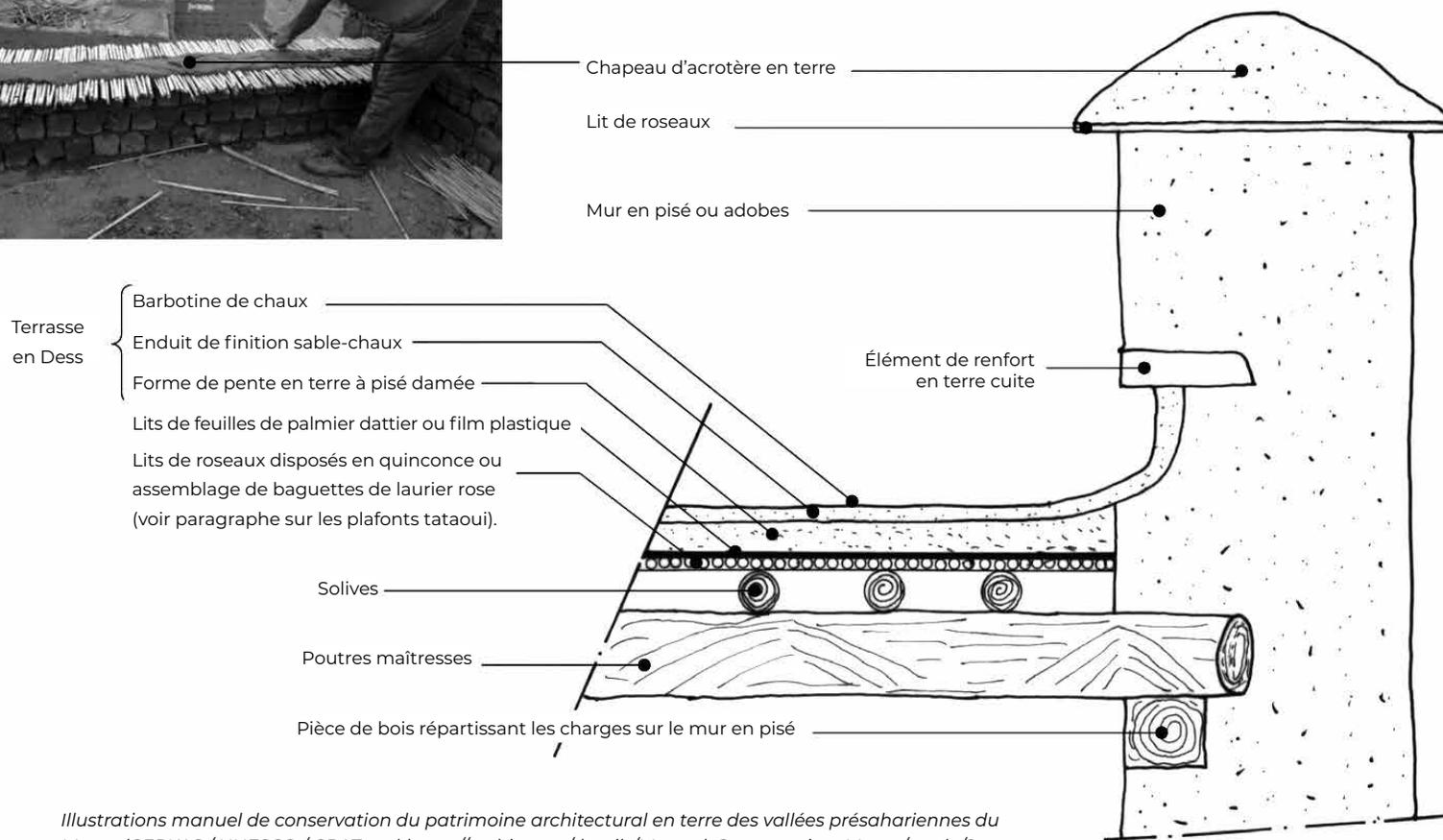
Cette liste est non exhaustive tant les matériaux évoluent et l'homme fait preuve d'innovation. Il incombe donc à l'architecte

de se renseigner sur les isolants les plus performants disponibles au Maroc, de préférence produits près du site du projet. Une étude réalisée par le groupe Al Omrane en 2017, étude de capitalisation sur les projets efficaces énergétiquement pour le compte du groupe Al Omrane (voir étude sur le portail), recense les différents isolants et fournisseurs sur le Maroc.

## Schéma type d'une toiture terrasse accessible



Concernant l'architecture traditionnelle marocaine, les toitures composées de pisé et tataoui constituent un ensemble performant au niveau de l'isolation thermique :



Illustrations manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc (CERKAS / UNESCO / CRAterre) [https://archive.org/details/Manuel\\_Conservation\\_Maroc/mode/2up](https://archive.org/details/Manuel_Conservation_Maroc/mode/2up)



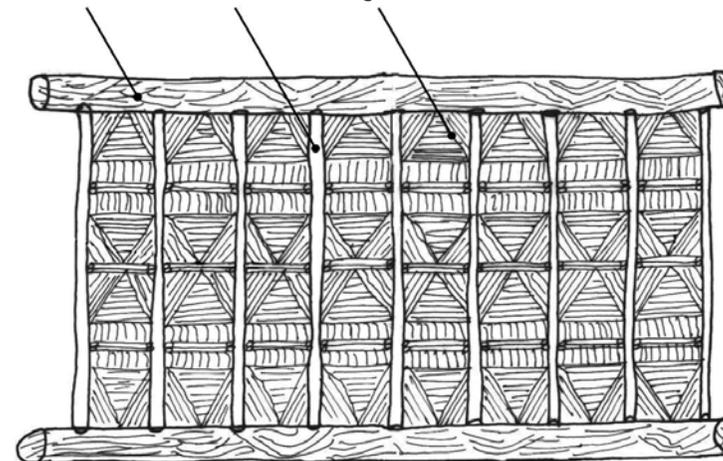
© Pixabay



© GIZ/Jabrane Lakhsassi

## Plafonds Tataoui

Poutres de bois Solives de bois Baguettes de laurier teintées ou non



*Illustration manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc (CERKAS / UNESCO / CRATerre) [https://archive.org/details/Manuel\\_Conservation\\_Maroc/mode/2up](https://archive.org/details/Manuel_Conservation_Maroc/mode/2up)*

Une double toiture ou sur-toiture peut également permettre d'optimiser l'isolation de la toiture.

Par ailleurs, bien que ce ne soit pas l'objet de ce chapitre, il est important de rappeler que les toitures du bâtiment et leurs évacuations doivent permettre la récupération des eaux pluviales (voir chapitre suivant pour l'exploitation des eaux pluviales).



## 1.7.2. LES MURS EXTÉRIEURS

Tout comme pour les toitures, les murs extérieurs sont de couleur claire pour limiter les apports en chauffage solaire. Pour assurer l'isolation, les murs extérieurs sont à forte inertie, contrairement aux murs intérieurs qui peuvent être à faible inertie.

Au Maroc, on observe de plus en plus la construction de murs extérieurs en double cloison avec une isolation intermédiaire, mais il est important de bien dimensionner l'isolant pour éviter les ponts thermiques :

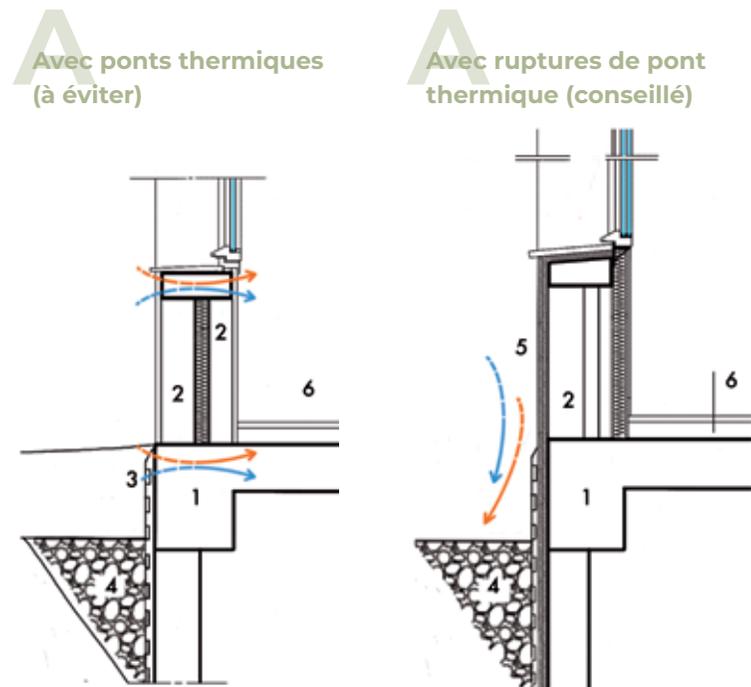


Illustration Jean-Claude Pereira

Le procédé d'isolation par l'extérieur est également intéressant. En effet, l'isolation des murs par l'extérieur permet d'augmenter la performance de l'isolation notamment en évitant les ponts thermiques (voir paragraphe en fin de chapitre), mais aussi d'alléger la structure en évitant la double cloison et de gagner ainsi de l'espace en réduisant l'épaisseur des murs.



### Légende :

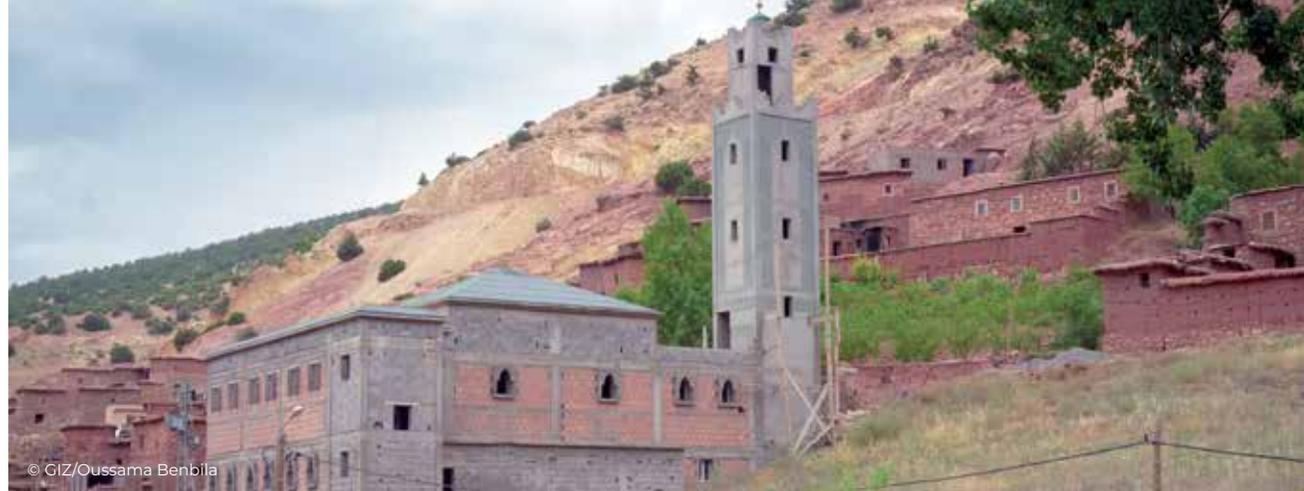
- |   |  |   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 |    | Ouvrages en béton armé : Éléments porteurs de la construction (dallage, poteaux, voile, poutre, dalle). | 4 |    | Remblais drainant.  |
| 2 |   | Maçonnerie en brique de terre cuite ou aggloméré ciment ; épaisseur variable.                           | 5 |   | Isolation thermique extérieure (ITE) avec finition de façade en enduit. |
| 3 |  | Étanchéité et drainage vertical des ouvrages enterrés.  | 6 |  | Forme de pente.   |
|   |  |   |   |  | Ponts thermiques majeurs.   |

### 1.7.3. LES PLANCHERS BAS

Le plancher bas est le plancher le plus bas de l'édifice en contact avec l'extérieur. Il est soit sur vide sanitaire ventilé de préférence, soit sur terre-plein.

Tout comme le reste de l'enveloppe, le plancher bas doit être isolé et parfaitement étanche. Idéalement, on opte pour un plancher bas sur vide sanitaire ventilé. En effet, ce système, bien qu'un peu plus coûteux à la construction, offre de nombreux avantages :

- ▶ Meilleure isolation thermique,
- ▶ Limitation de l'humidité et des remontées capillaires,
- ▶ Possibilité de loger toutes les distributions techniques,
- ▶ Facilitation de l'entretien et réparation du bâtiment,
- ▶ Travaux de terrassement réduits.



La construction de plancher bas sur terre-plein est moins coûteuse. Elle offre un autre avantage grâce à l'inertie thermique : en été, le plancher diffusera la fraîcheur emmagasinée pendant l'hiver et inversement en hiver. Cependant, cette solution est fortement déconseillée dans les régions humides.

#### Coupe sur plancher bas

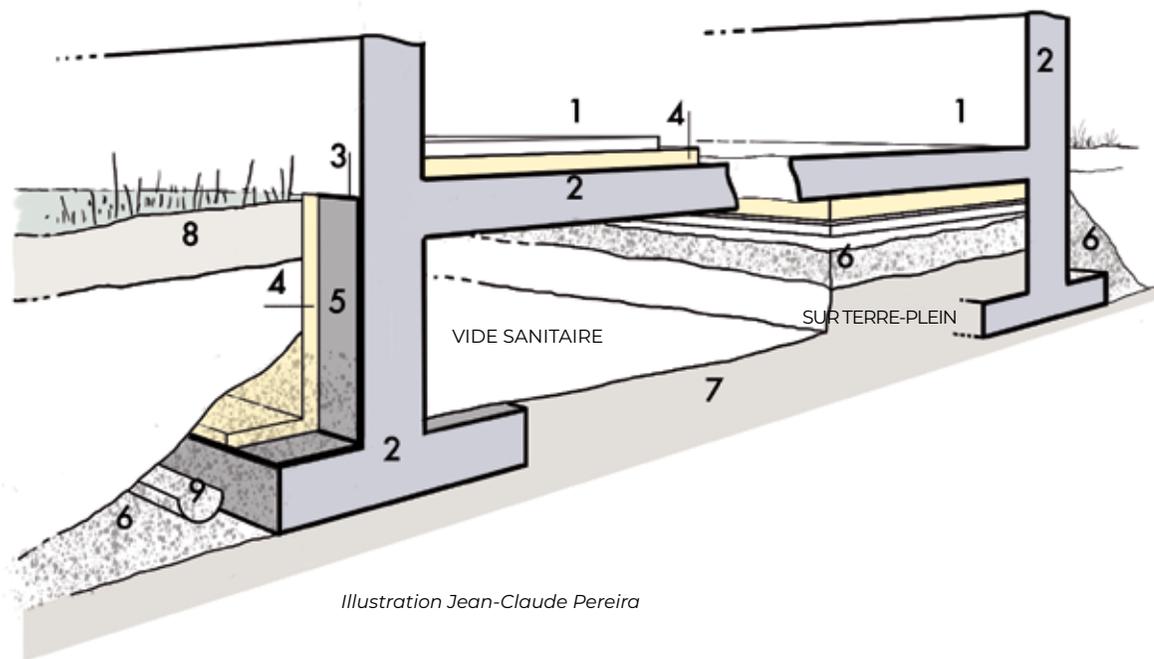


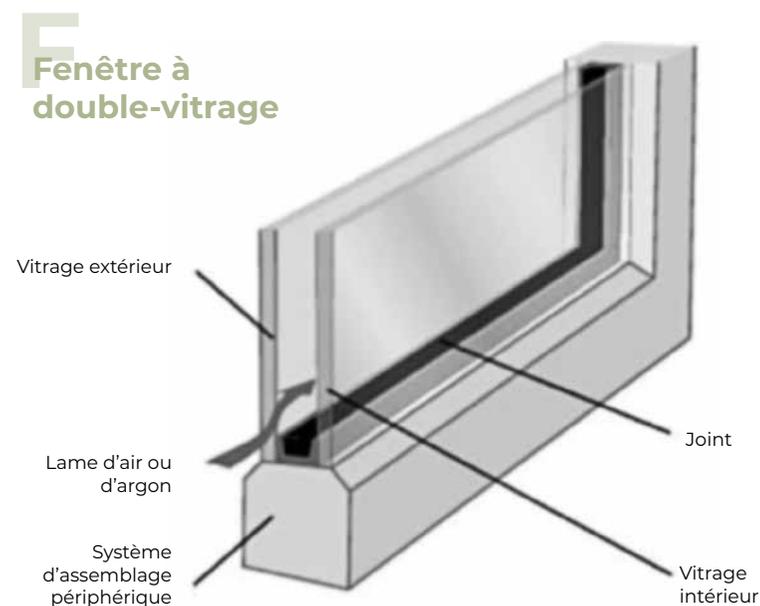
Illustration Jean-Claude Pereira

- 1 Forme de pente et chappe
- 2 Ouvrages en béton armé : éléments porteurs de la construction (dallage, poteaux, voile, poutre, dalle)
- 3 Étanchéité verticale sur ouvrages enterrés
- 4 Isolation thermique
- 5 Drainage vertical sur ouvrages enterrés
- 6 Gravette
- 7 Terrain naturel
- 8 Terre végétale
- 9 Drain enterré

## 1.7.4. L'ISOLATION DES MENUISERIES EXTÉRIURES

Les ouvertures ou menuiseries extérieures doivent être adaptées au climat dans lequel se trouve le projet, cependant, d'une manière générale, il est recommandé d'opter pour des menuiseries à double-vitrage. En effet le double-vitrage joue un rôle très important dans l'isolation thermique, permettant ainsi de diminuer les besoins en chauffage l'hiver et les besoins en climatisation l'été. En dehors d'une meilleure isolation thermique, le double vitrage offre un confort acoustique certain en limitant les nuisances sonores extérieures.

On peut également opter pour une fenêtre avec un triple vitrage qui améliore encore plus l'isolation thermique et le confort sonore.



Les ponts thermiques des menuiseries extérieures se situent également au niveau des châssis qui composent la fenêtre. Afin d'éviter ces ponts thermiques entre intérieur et extérieur, le châssis périphérique doit inclure une rupture thermique. Cette rupture est généralement constituée d'un matériel à faible inertie (polymère) à l'intérieur du châssis, permettant ainsi une faible conductivité des matériaux et d'assurer la rupture thermique.

Il faut souligner que les effets isolants du double vitrage et des châssis à rupture thermique peuvent être totalement annulés si la menuiserie est de mauvaise manufacture. Il est donc primordial d'exiger de l'entreprise chargée du lot menuiserie extérieure, une exécution parfaite au demi-millimètre près. En ce sens, les risques de mauvaises manufactures sont considérablement diminués avec une production de type industrielle.



## 1.7.5. ÉVITER LES PONTS THERMIQUES

Afin d'assurer l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment, il est important de veiller à éviter tout pont thermique en assurant une continuité de l'isolation.

Les ponts thermiques sont souvent situés à la jonction de la toiture et des murs extérieurs, à la jonction des menuiseries extérieures (voir paragraphe précédent) et des murs extérieurs et/ou plancher bas et à la jonction du plancher bas et des murs extérieurs :

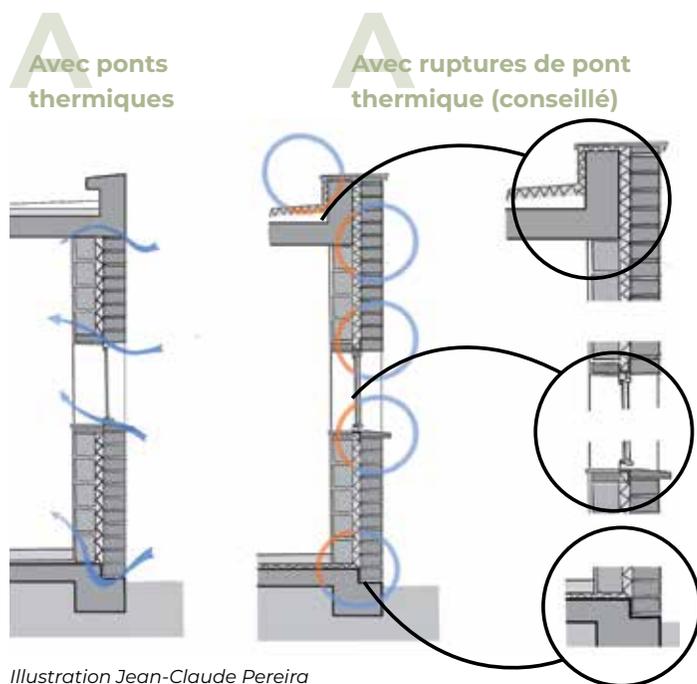


Illustration Jean-Claude Pereira



© GIZ/Adnane Azizi

### OUTILS



**RD03.** Étude de capitalisation sur les projets efficaces énergétiquement pour le compte du groupe Al Omrane



**RD04.** Guide technique sur l'isolation thermique du bâtiment au Maroc, AMEE



**RD05.** Bonnes pratiques de l'efficacité énergétique dans le bâtiment, AMEE



**RD06.** Guide magrébin des matériaux d'isolation thermique des bâtiments



**RD07.** Manuel de conservation du patrimoine architectural en terre des vallées présahariennes du Maroc



**RD29.** Propriétés thermophysiques des matériaux de construction locaux vers un bâtiment performant et durable

## 1.8. LES AMÉNAGEMENTS EXTÉRIEURS

Les aménagements extérieurs contribuent de façon importante à la conception bioclimatique. Selon leur conception, ils peuvent permettre, entre autres, le rafraîchissement du bâtiment par la végétalisation du site et/ou des abords ainsi que la récupération des eaux pluviales.

### 1.8.1. VÉGÉTALISER LE SITE

Comme vu dans les chapitres précédents, la végétation peut servir de différentes façons dans la conception bioclimatique.

Tout d'abord, elle peut constituer un écran qui protège ou canalise le vent dominant si le climat du site le nécessite. Pour cela, on peut soit s'appuyer sur une végétation déjà existante sur le site du projet ou ses abords, soit en créer un.

Située à l'est, au sud et à l'ouest, la végétation, dans ce cas précis, les arbres, peuvent créer des ombres portées qui rafraîchissent les façades et les sols exposés au soleil. L'évaporation de l'eau par la végétation contribue également au rafraîchissement ambiant. Le choix des espèces d'arbres est déterminant pour atteindre ce rafraîchissement : on privilégie des arbres à feuillages denses et caduques d'une hauteur de fût et de cime adaptée à la hauteur du bâtiment.

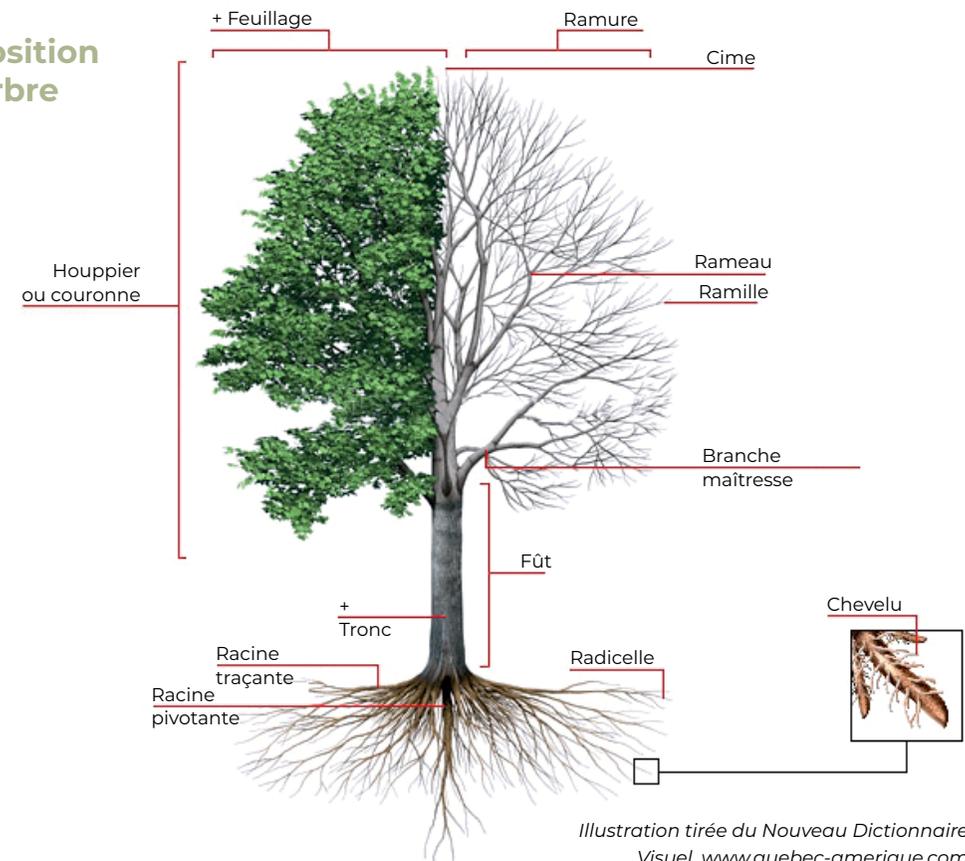
Dans la plupart des climats marocains, on opte pour des arbres à feuilles caduques qui perdent leurs feuilles à l'automne, permettant ainsi de laisser pénétrer le soleil d'hiver et de réchauffer l'intérieur du bâtiment, et retrouvent des feuilles au printemps, permettant ainsi de se protéger du soleil en été.

La création de talus dans les aménagements extérieurs peut également contribuer à la capacité d'ombrage (arbre plus haut) et la canalisation du vent.



© GIZ/Caroline Weinkopf

### Composition d'un arbre





© GIZ/Mohammed Elghali Khiyati

## 1.8.2. RÉCUPÉRER LES EAUX PLUVIALES

Avec le stress hydrique que connaît le Maroc ces dernières décennies, il est essentiel d'assurer une gestion de l'eau la plus économe possible. La récupération des eaux (eaux pluviales et eaux de fontes dans les régions enneigées) est une composante indispensable à cette gestion. Les eaux, une fois récupérées puis traitées et stockées, peuvent être exploitées selon leur mode de récupération et traitement pour les usages extérieurs (arrosage, lavage des véhicules, etc.), l'alimentation des chasses d'eau de WC et les usages professionnels et industriels, à l'exception de ceux requérant l'usage d'une eau potable.

Au Maroc, il existe de nombreuses techniques, notamment ancestrales pour collecter les eaux (voir chapitre 3, la gestion de l'eau et **RD02. Catalogue de collecte des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales**).



© GIZ/Mohammed Elghali Khiyati



© GIZ/Mohammed Elghali Khiyati



© GIZ/Jabrane Lakhssassi

# Schéma de principe de récupération des eaux de toiture

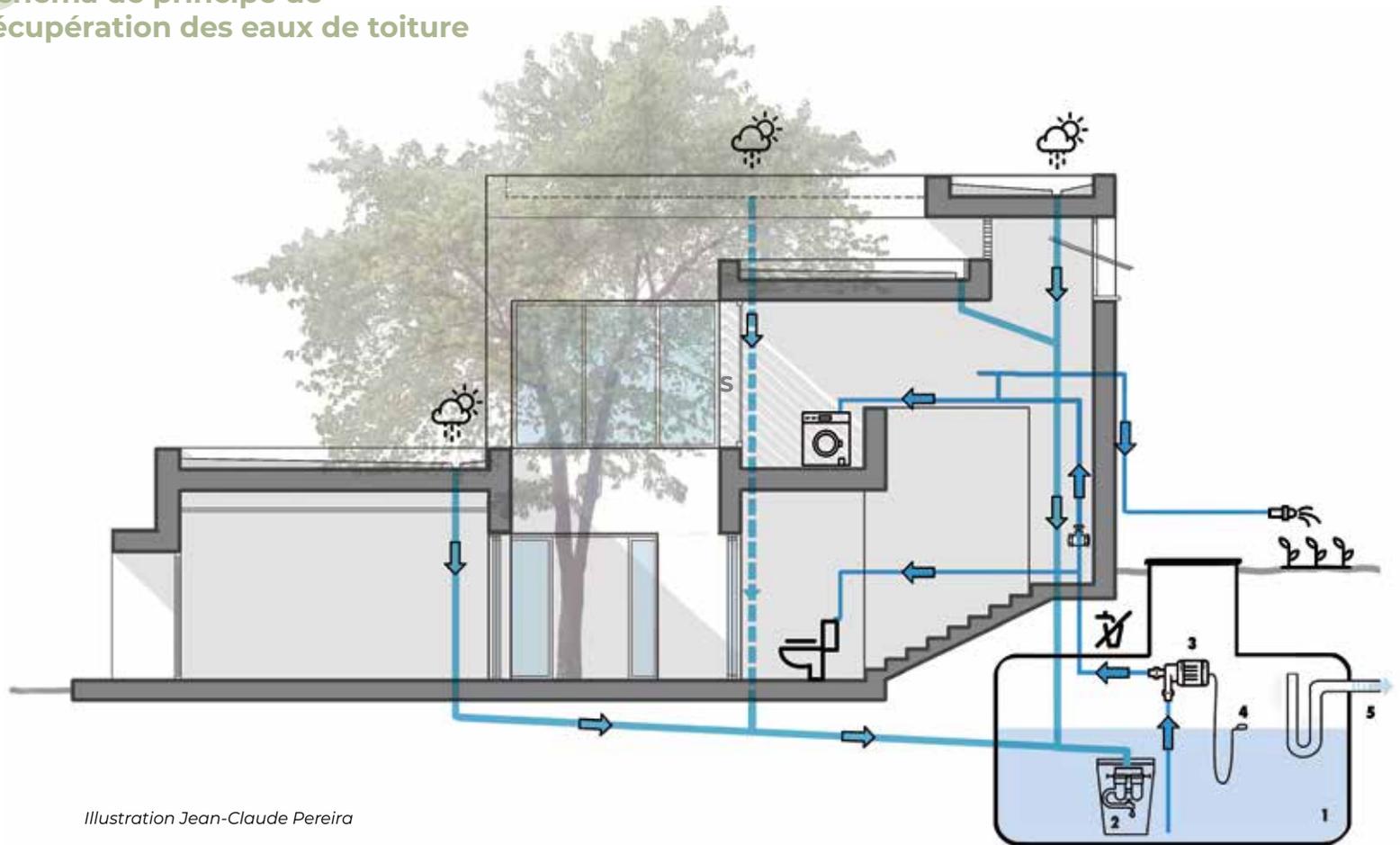


Illustration Jean-Claude Pereira

- 1. Cuve enterrée de récupération des eaux pluviales
- 2. Système de filtration
- 3. Pompe de relevage des eaux de pluie filtrées
- 4. Détecteur de niveaux d'eau
- 5. Trop plein de cuve

- Système de gestion d'eau filtrée
- Système d'arrosage du jardin
- Eau de pluie
- Filtre d'eau pluviale

- Pompe de relevage vers distribution d'eau filtrée
- Réseau d'eau de pluie filtrée
- Descente d'eau pluviale
- Eau non potable

Au niveau des sols extérieurs, il est préférable d'opter pour des pavés drainants plutôt que des revêtements imperméables, car ils permettent de contribuer à l'alimentation des nappes phréatiques et de soulager l'évacuation par les égouts.

## E Exemples de pavés drainants



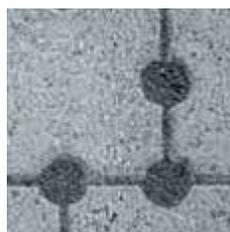
Pavés avec écarteurs



Pavés poreux



Pavés verts



Pavés à ouvertures drainantes

Un dallage extérieur constitué de pentes permet également de canaliser les eaux de pluies et de les récupérer.

Il existe bien d'autres moyens alternatifs pour collecter les eaux. Pour les découvrir et voir ceux qui sont le mieux adaptés au projet selon son type (résidentiel ou tertiaire) et son milieu (urbain ou rural), consulter [➔ RD02. Catalogue de collecte des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales.](#)

### OUTILS



**RD02.** Catalogue de collecte des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales







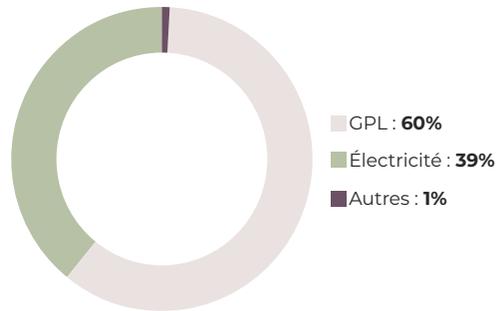


# LA GESTION DE L'ÉNERGIE

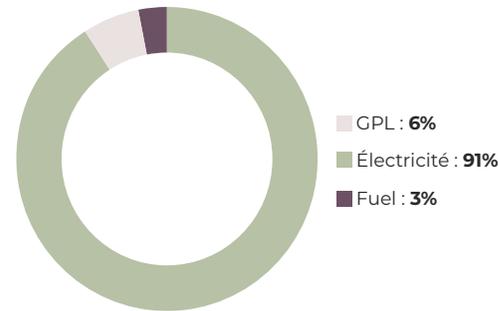
## 2.1. L'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT AU MAROC

Au Maroc, les types d'énergie consommées dans les bâtiments varient selon le secteur, mais restent principalement l'électricité et le gaz :

### Répartition des types d'énergie dans l'habitat



### Répartition des types d'énergie dans le tertiaire



Source : Support de sensibilisation sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc, PEEB

La forte consommation de gaz dans l'habitat s'explique par l'aspect économique du gaz qui est subventionné par l'État et par l'absence du réseau de ville. Cependant, il n'est pas exclu qu'à l'avenir le prix de cette ressource augmente. De plus, les accidents domestiques liés au gaz sont nombreux et souvent mortels.

La consommation d'électricité dans un bâtiment concerne principalement :

- ▶ Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable,
- ▶ La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage),

- ▶ Les transports (ascenseurs, monte-charges),
- ▶ L'éclairage,
- ▶ Les communications (téléphone, radio, télévision),
- ▶ La production de biens (cuisine, couture, etc.).





© GIZ/Adnane Azizi



© GIZ/Adnane Azizi

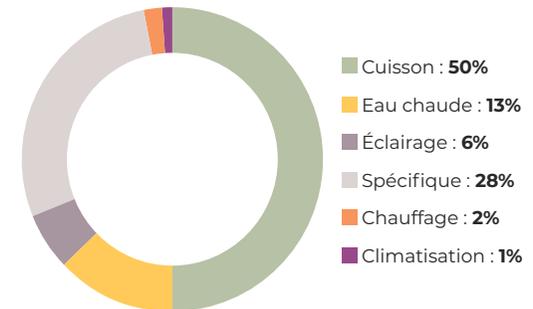
## 2.1.1. QUELS SONT LES DIFFÉRENTS POSTES CONSOMMATEURS D'ÉNERGIE PAR SECTEUR DANS LE BÂTIMENT ?

Dans le secteur résidentiel, l'énergie va permettre le fonctionnement de différents postes : le chauffage ou la climatisation, les ordinateurs ou télévisions, l'éclairage, la cuisson et l'eau chaude, ces deux derniers étant les postes les plus énergivores.

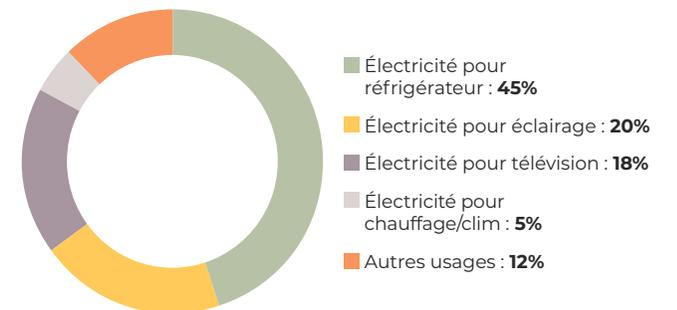
Selon le « Support de sensibilisation sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc », publié par le Programme pour l'efficacité énergétique dans les bâtiments (PEEB) : « Le secteur tertiaire consomme principalement de l'électricité, et accessoirement du GPL ou du fuel pour la production d'eau chaude sanitaire dans le secteur hôtelier. Dans le secteur tertiaire, les bureaux et commerces sont les premiers consommateurs avec 48% de l'énergie consommée hors biomasse (dont 20% dans les établissements de l'administration publique et 80% dans les bureaux et les commerces privés). Les postes d'utilisation principaux concernent l'éclairage et la bureautique (37 et 38%), mais aussi la climatisation et le chauffage (respectivement 16% et 9%). »

Au Maroc, le secteur du bâtiment présente un potentiel d'atténuation de consommation d'énergie de près de 8% (toujours selon la publication du PEEB). Pour atteindre ce niveau, il est indispensable de mettre en place des mesures d'efficacité énergétique.

### Répartition de la consommation d'énergie par usage dans l'habitat



### Répartition de la consommation d'électricité par usage dans l'habitat



Source : Support de sensibilisation sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc, PEEB.

## 2.1.2. COMMENT APPLIQUER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AU BÂTIMENT ?

Selon loi marocaine n°47-09 relative à l'efficacité énergétique, l'efficacité énergétique se définit par « toute action agissant positivement sur la consommation de l'énergie, quelle que soit l'activité du secteur considéré, tendant à :

- ▶ La gestion optimale des ressources énergétiques,
- ▶ La maîtrise de la demande d'énergie,
- ▶ L'augmentation de la compétitivité de l'activité économique,
- ▶ La maîtrise des choix technologiques d'avenir économiquement viables,
- ▶ L'utilisation rationnelle de l'énergie,

et ce, en maintenant à un niveau équivalent les résultats, le service, le produit ou la qualité d'énergie obtenue. »

L'alimentation et la maîtrise de consommation d'énergie d'un bâtiment avec efficacité énergétique peuvent se faire à différents niveaux et par différents moyens implémentés lors de sa construction :

- ▶ Des mesures de conception bioclimatique (voir chapitre précédent),
- ▶ L'isolation et l'étanchéité parfaite du bâtiment,
- ▶ La production de l'énergie par des énergies renouvelables,
- ▶ La mise en place de systèmes et installations peu énergivores,
- ▶ L'achat d'appareils et appareillages à faible consommation d'énergie.

Les pages suivantes présentent ces différents moyens et niveaux pour intégrer l'efficacité énergétique dans le bâtiment avant même sa phase d'exploitation.

### OUTILS



**RD08.** Support de sensibilisation sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc, PEEB



**RD09.** Guide Technique de l'Efficacité Energétique dans le secteur touristique, AMEE



## 2.2. LE RÈGLEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION AU MAROC

### 2.2.1. DÉFINITION

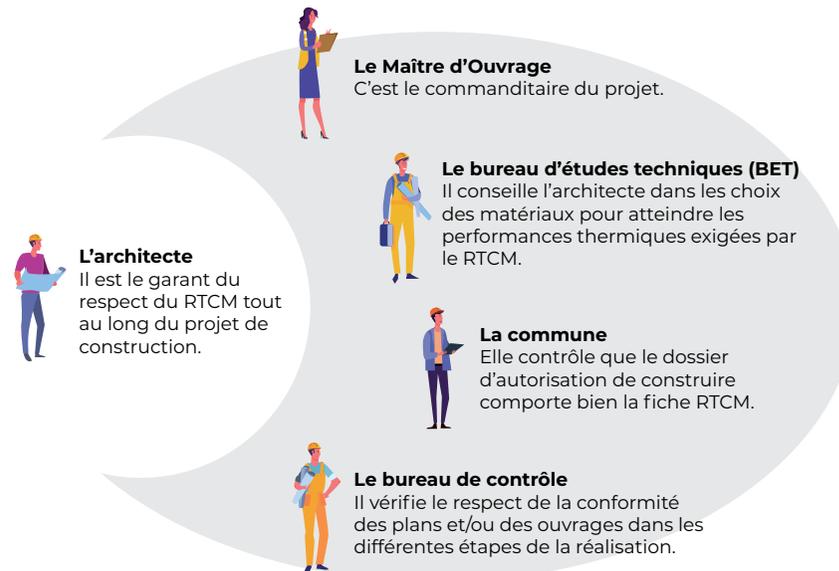
Le Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM) a pour objet de fixer les caractéristiques thermiques que doivent respecter les bâtiments par zone climatique, afin de réduire les besoins en chauffage et climatisation, améliorer le confort thermique, participer à la baisse de la facture énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Le RTCM relève du décret n° 2-13-874 du 15 octobre 2015, de la loi 47-09 et de la loi 12.90 relative à l'urbanisme. Il a été élaboré

grâce à un travail conjoint entre le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement et le Ministère de l'Aménagement du Territoire National, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Politique de la Ville.

Pour une connaissance complète de la RTCM, se référer au **➤ RD01. Règlement thermique de construction au Maroc de l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique.**

### 2.2.2. COMPRENDRE LES RÔLES DES DIFFÉRENTS INTERVENANTS DANS L'APPLICATION DU RTCM



## 2.2.3. IDENTIFIER LA ZONE CLIMATIQUE ET LA TYPOLOGIE DU PROJET

Pour arrêter les critères d'application de la réglementation thermique de construction au Maroc (RTCM), l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Énergétique (AMEE) et la Direction de météorologie nationale (DMN) ont mené des études pour définir des zones climatiques sur la base des besoins en chauffage et des besoins en climatisation. Ces études ont permis l'identification de six zones distinctes.

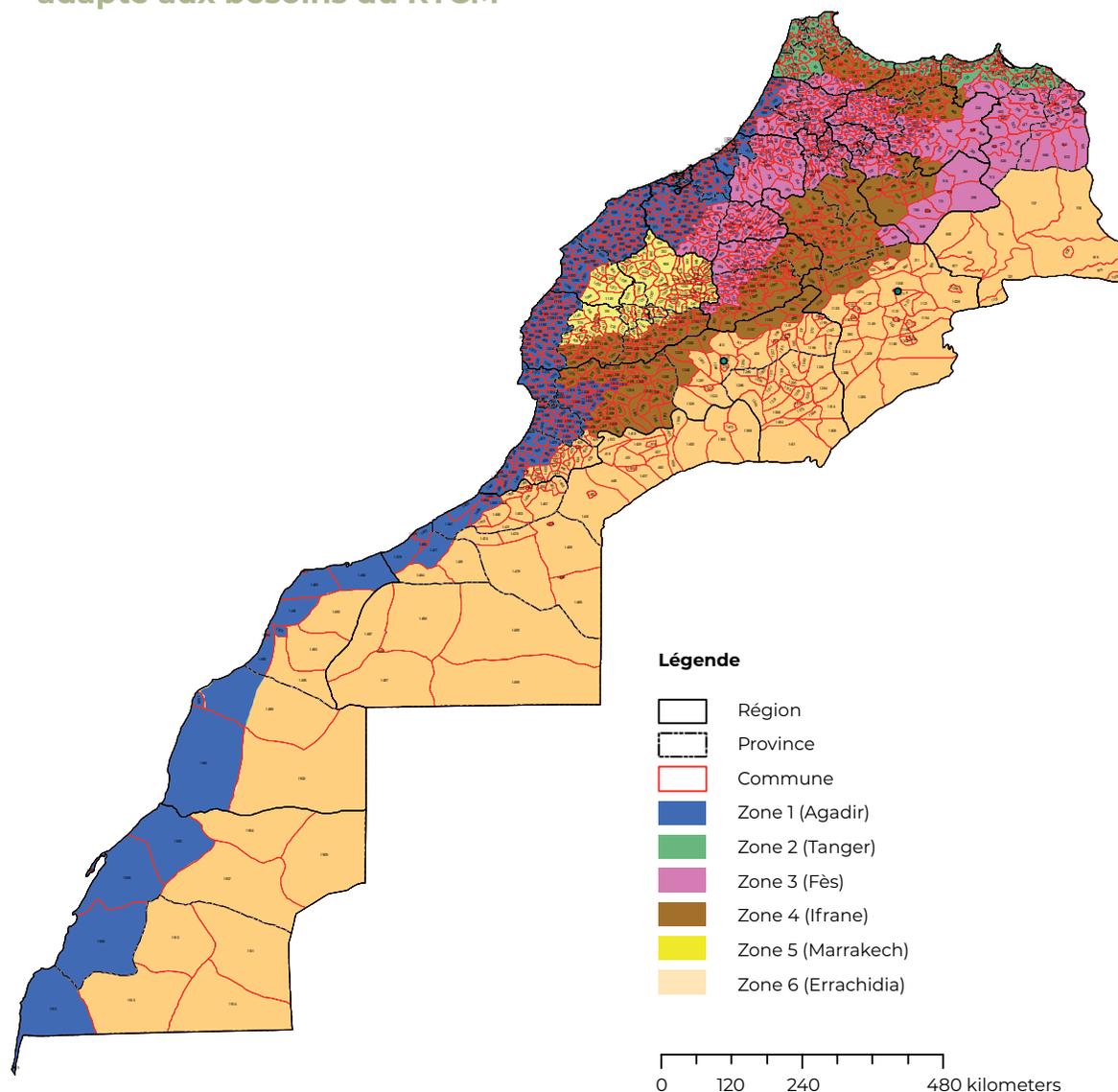
Une fois la zone climatique identifiée, l'architecte peut se référer aux spécifications techniques minimales exigées pour les performances thermiques du bâtiment. Ces spécifications varient selon la typologie du bâtiment. Les bâtiments sont classés comme suit :

- ▶ Les bâtiments résidentiels qui concernent toute construction relative au secteur de l'habitat : logement collectifs et logement individuels, quels que soient leur nombre d'habitants et leur taille.
- ▶ Les bâtiments tertiaires divisés en quatre sous-catégories : bâtiments administratifs, bâtiments scolaires, bâtiments hospitaliers et bâtiments hôteliers.

Les spécifications techniques minimales des performances thermiques s'expriment de deux manières : une approche globale, dite performancielle et une approche simplifiée, dite prescriptive (voir page ci-contre).

C'est l'architecte qui choisit le type d'approche, notamment en fonction du taux global de baie vitrée (voir sous-chapitre suivant) et qui réalise le bilan thermique du projet, avec l'appui éventuel du BET. S'il le souhaite, il peut également faire appel à un bureau d'étude spécialisé ou un thermicien pour réaliser cette étude.

## Zonage climatique du Maroc adapté aux besoins du RTCM



Source : AMEE et DMN

## 2.2.4. OPTER POUR L'APPROCHE PERFORMANCIELLE

Cette approche globale consiste à fixer les spécifications techniques minimales en termes de performances thermiques du bâtiment, évaluées à travers les besoins énergétiques annuels du bâtiment. Ces besoins correspondent aux besoins calorifiques et/ou frigorifiques du bâtiment indépendamment du type d'installations de chauffage et/ou de refroidissement utilisées.

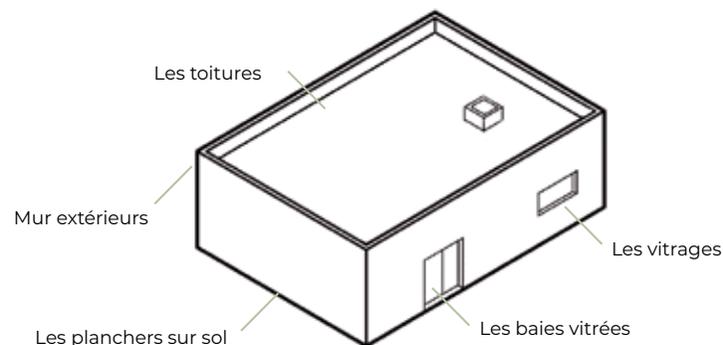
Ils totalisent la somme annuelle des sollicitations thermiques qu'impose le bâtiment à ses installations pour satisfaire les besoins de confort thermique de ses occupants.

**B**esoins spécifiques thermiques annuels maximaux de chauffage et de climatisation en kWh/m<sup>2</sup>/an (m<sup>2</sup> de surface utile)

Zones climatiques réglementaires	Résidentiel	Tertiaire			
		Écoles	Administrations	Hôpitaux	Hôtels
Z1 - Agadir	40	44	45	72	48
Z2 - Tanger	46	50	49	73	52
Z3 - Fès	48	61	49	68	66
Z4 - Ifrane	64	80	35	47	34
Z5 - Marrakech	61	65	56	92	88
Z6 - Errachidia	65	67	58	93	88

## 2.2.5. OPTER POUR L'APPROCHE PRESCRIPTIVE

L'approche prescriptive consiste à fixer les spécifications techniques limites acceptables au niveau de l'enveloppe du bâtiment par rapport à la zone climatique et au type de bâtiment. Elles s'appliquent à cinq paramètres de construction :



Pour connaître les spécifications techniques, l'architecte commence par calculer le taux global de baies vitrées (TGBV), de manière à identifier les autres spécifications techniques relatives à ce taux.

Le TGBV se calcule en m<sup>2</sup> de surfaces de baies vitrées par rapport à la surface totale des murs extérieurs.

Pour la toiture, les murs extérieurs et les vitrages, on calcule un coefficient de transmission thermique (U) qui correspond à la quantité de chaleur qui traverse une paroi. S'applique également aux vitrages, un facteur solaire (FS) qui correspond à la quantité d'énergie solaire que l'on retrouve derrière les baies vitrées en fonction de leur exposition solaire.

Enfin, pour les planchers bas (sols), on calcule une résistance thermique (R).

Pour mieux comprendre l'utilité de chaque coefficient, il est recommandé de consulter la **RD01. Règlement thermique de construction au Maroc.**



© GIZ/Oussama Benbila

Ces spécifications techniques peuvent être calculées par des logiciels de simulation énergétique de bâtiments.

Pour simplifier l'application du RTCM, les spécifications techniques prescriptives sont exprimées de la même manière pour l'ensemble des bâtiments tertiaires.

## Spécifications techniques pour le résidentiel et le tertiaire par taux de baies vitrées

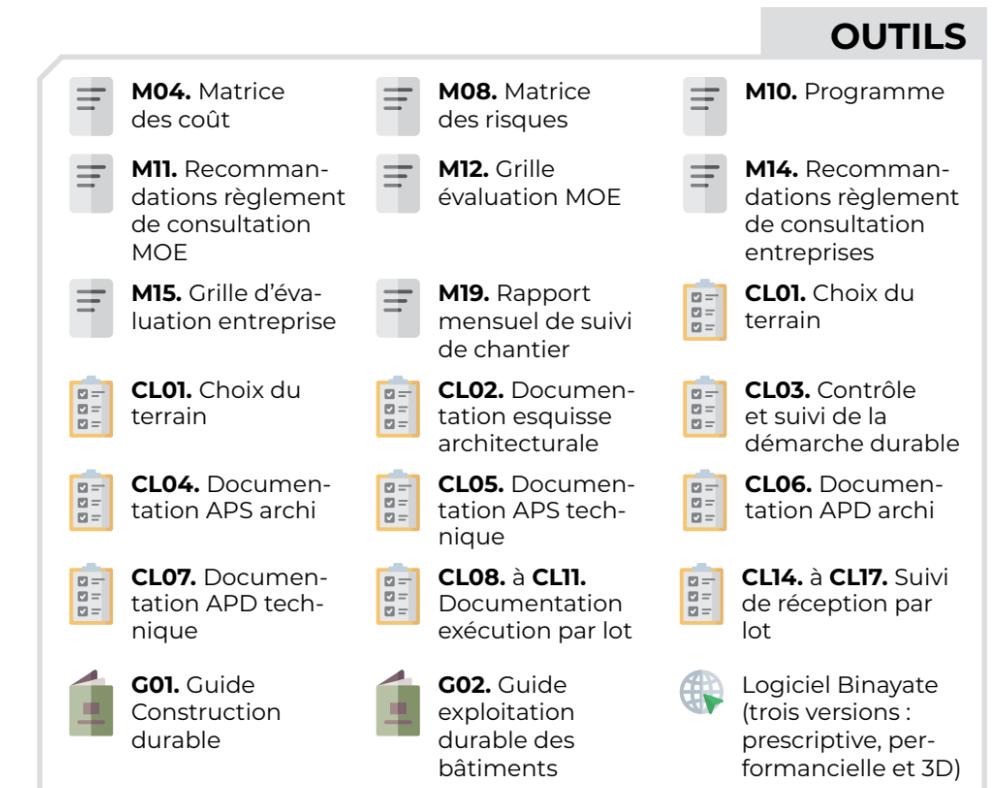
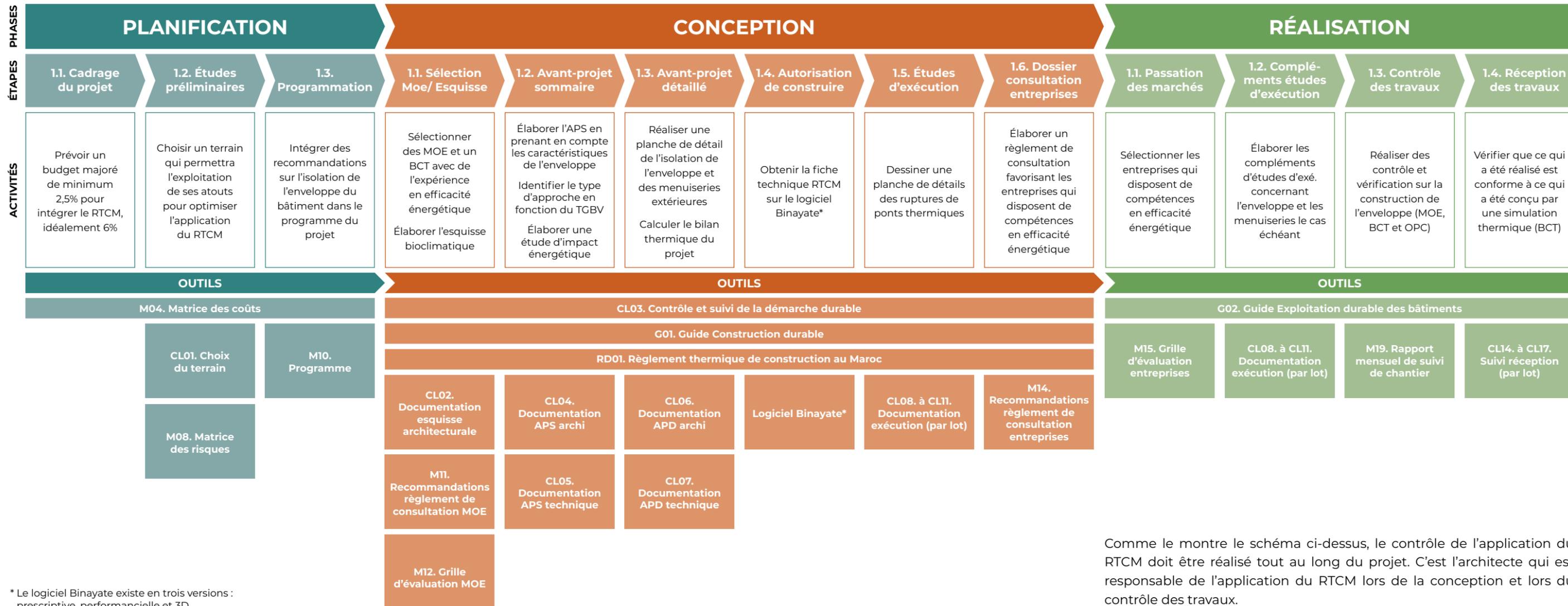
Zones climatiques réglementaires	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m <sup>2</sup> .K)		U des murs extérieurs (W/m <sup>2</sup> .K)		U des vitrages (W/m <sup>2</sup> .K)	R minimale des planchers sur sol (m <sup>2</sup> .K/W)	Facteur Solaire FS des vitrages
	Résidentiel et tertiaire	Résidentiel	Tertiaire	Résidentiel	Tertiaire	Résidentiel et tertiaire	Résidentiel et tertiaire	Résidentiel et tertiaire
Z1 - Agadir	≤ 15 %	≤ 0.75		≤ 1.20		≤ 5.80	NE	NE
	16-25%	≤ 0.75	≤ 0.65	≤ 1.20		≤ 5.80	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.75	≤ 0.65	≤ 1.20		≤ 3.30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0.5
	36-45%	≤ 0.65	≤ 0.55	≤ 1.20		≤ 3.30	NE	Nord : ≤ 0.7 Autres : ≤ 0.3
Z2 - Tanger	≤ 15 %	≤ 0.75	≤ 0.65	≤ 0.80		≤ 5.80	NE	NE
	16-25%	≤ 0.65		≤ 0.80		≤ 3.30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.65		≤ 0.70	≤ 0.60	≤ 3.30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0.5
	36-45%	≤ 0.55		≤ 0.60		≤ 2.60	NE	Nord : ≤ 0.7 Autres : ≤ 0.3
Z3 - Fès	≤ 15 %	≤ 0.65		≤ 0.80		≤ 3.30	≥ 0.75	NE
	16-25%	≤ 0.65		≤ 0.80		≤ 3.30	≥ 0.75	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.65	≤ 0.55	≤ 0.70		≤ 2.60	≥ 0.75	Nord : NE Autres : ≤ 0.5
	36-45%	≤ 0.55	≤ 0.49	≤ 0.60		≤ 1.90	≥ 0.75	Nord : ≤ 0.7 Autres : ≤ 0.5

Zones climatiques réglementaires	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m².K)		U des murs extérieurs (W/m².K)		U des vitrages (W/m².K)	R minimale des planchers sur sol (m².K/W)	Facteur Solaire FS des vitrages
		Résidentiel et tertiaire	Résidentiel	Tertiaire	Résidentiel			
Z4 - Ifrane	≤ 15 %	≤ 0.55		≤ 0.60		≤ 3.30	≥ 1.25	NE
	16-25%	≤ 0.55		≤ 0.60		≤ 3.30	≥ 1.25	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.55	≤ 0.49	≤ 0.60		≤ 2.60	≥ 1.25	Nord : ≤ 0.7 Autres : ≤ 0.6
	36-45%	≤ 0.49		≤ 0.55		≤ 1.90	≥ 1.25	Nord : ≤ 0.6 Autres : ≤ 0.5
Z5 - Marrakech	≤ 15 %	≤ 0.65		≤ 0.80		≤ 3.30	≥ 1.00	NE
	16-25%	≤ 0.65		≤ 0.70		≤ 3.30	≥ 1.00	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.55		≤ 0.60		≤ 2.60	≥ 1.00	Nord : ≤ 0.6 Autres : ≤ 0.4
	36-45%	≤ 0.49		≤ 0.55		≤ 1.90	≥ 1.00	Nord : ≤ 0.5 Autres : ≤ 0.3
Z6 - Errachidia	≤ 15 %	≤ 0.65		≤ 0.80		≤ 3.30	≥ 1.00	NE
	16-25%	≤ 0.65		≤ 0.70		≤ 3.30	≥ 1.00	Nord : NE Autres : ≤ 0.7
	26-35%	≤ 0.55		≤ 0.60		≤ 2.60	≥ 1.00	Nord : ≤ 0.6 Autres : ≤ 0.4
	36-45%	≤ 0.49		≤ 0.55		≤ 1.90	≥ 1.00	Nord : ≤ 0.5 Autres : ≤ 0.3



## 2.2.6. MENER LES ACTIVITÉS POUR METTRE EN ŒUVRE LA RTCM

Tout au long du projet, l'architecte et les différents intervenants mènent des activités pour assurer la mise en œuvre du RTCM. La mallette verte propose des outils d'accompagnement pour aider à cette mise en œuvre selon les différentes étapes du projet :



Comme le montre le schéma ci-dessus, le contrôle de l'application du RTCM doit être réalisé tout au long du projet. C'est l'architecte qui est responsable de l'application du RTCM lors de la conception et lors du contrôle des travaux.

\* Le logiciel Binayate existe en trois versions : prescriptive, performancielle et 3D.



## 2.3. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Selon la loi marocaine n°13-09 relative aux énergies renouvelables, les énergies renouvelables sont définies comme suit :

« Toutes les sources d'énergies qui se renouvellent naturellement ou par l'intervention d'une action humaine, notamment les énergies solaire, éolienne, géothermale, houlomotrice et marémotrice, ainsi que l'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharges, du gaz des stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz. »

De par son climat et ses ressources, le Maroc bénéficie d'un grand potentiel en énergies renouvelables. De plus, la politique du pays qui vise l'amélioration des conditions de vie de ses citoyens au moyen d'aides financières, de sensibilisation et d'aspects réglementaires, rend favorable l'intégration des énergies renouvelables dans la construction (voir également la publication « Les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique au Maroc, Contexte et accès au marché, Informations à l'attention des petites et moyennes entreprises » sur le site de la GIZ au Maroc [www.giz.ma](http://www.giz.ma)).

Or la construction durable doit tenir compte des énergies dont dispose le site du projet pour limiter son impact énergétique dans le temps.

Ce chapitre présente les énergies renouvelables susceptibles d'être exploitées dans la construction durable au Maroc, à savoir, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie géothermique.

### 2.3.1. COMPRENDRE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'énergie éolienne est l'énergie du vent. L'exploitation de cette énergie par les hommes remonte à plusieurs millénaires (4 000 ans avant JC), avec son exploitation par les bateaux à voiles pour se déplacer ou plus récemment (XII<sup>ème</sup> siècle) par les moulins à vent pour pomper l'eau ou moudre du grain.



Depuis le XX<sup>ème</sup> siècle, l'énergie éolienne permet de produire de l'électricité.

L'énergie éolienne dépend des conditions climatiques du vent. Elle n'est donc pas produite de manière continue et doit être stockée.

#### Schéma d'un réseau électrique alimenté par éolienne

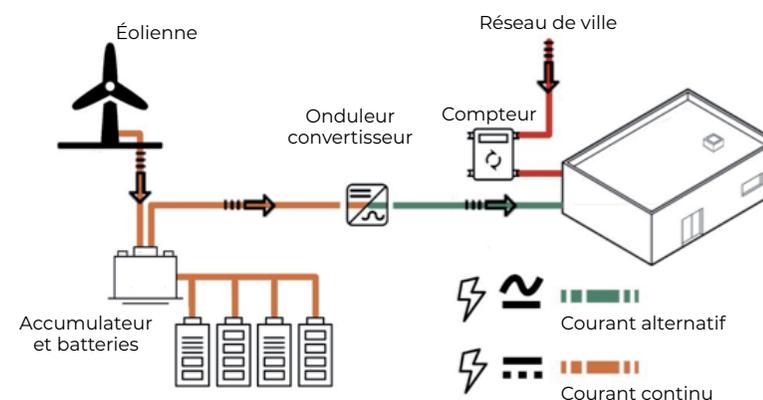


Illustration Jean-Claude Pereira

Au Maroc, les infrastructures éoliennes nationales permettent une production d'électricité collective qui va être stockée puis redistribuée et éventuellement exportée.

À l'échelle d'un bâtiment durable, l'éolienne peut être une solution intéressante, en particulier en zone rurale. Cependant, pour que cette ressource soit adaptée, cela nécessite des vents constants et réguliers. À moins de 20 km/h de moyenne annuelle, l'installation d'une éolienne individuelle est déconseillée.

Par ailleurs, il n'est pas encore possible d'intégrer les énergies renouvelables dans le réseau basse tension.



© /Adnane Aziz

## 2.3.2. COMPRENDRE L'ÉNERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est l'énergie qui vient du soleil. Son exploitation par l'homme remonte à l'antiquité (horloge solaire des égyptiens) et quelques siècles plus tard pour faire du feu (-700 ans avant JC).

L'énergie solaire est la conversion du rayonnement électromagnétique provenant du soleil en énergie électrique ou en chaleur. Aujourd'hui, on distingue principalement deux types d'énergie solaires, le photovoltaïque et le thermique.

L'énergie photovoltaïque désigne l'énergie issue d'un effet photoélectrique utilisé dans les cellules photovoltaïques pour produire de l'électricité, grâce aux rayons du soleil. Dans la construction, elle est utilisée pour alimenter le bâtiment en électricité.

L'énergie thermique solaire est l'énergie obtenue par la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique, autrement dit en chaleur. Elle est principalement utilisée pour chauffer les bâtiments ou l'eau domestique.

Au Maroc, l'énergie solaire est l'énergie renouvelable la plus répandue. En effet, le Royaume possède un potentiel remarquable grâce à ses 3 000 heures d'ensoleillement annuelles et une irradiation moyenne de plus de 5 kWh/m<sup>2</sup>. La typologie de toiture terrasse très répandue permet une installation et un entretien facile des panneaux photovoltaïques, panneaux solaires thermiques et chauffe-eau solaires.



© GIZ/Oussama Benbila

Panneaux photovoltaïques, projet MEDZ, Didi Yahya.



© GIZ/Oussama Benbila

Chauffe-eau solaire, Ferme Bayti, Allal Tazi.

### 2.3.3. COMPRENDRE L'ÉNERGIE BIOMASSE

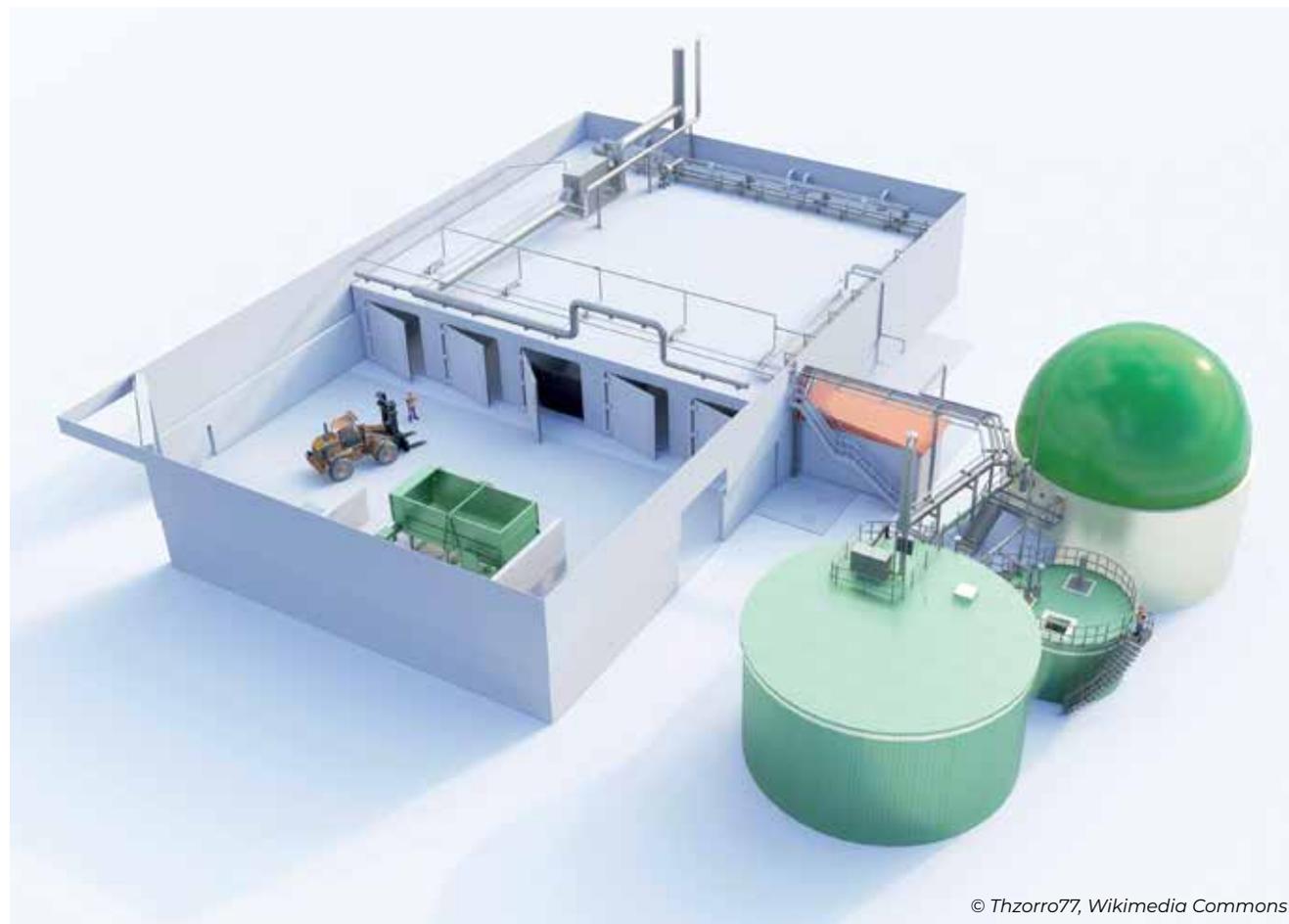
La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

Les principales formes de l'énergie de biomasse sont : les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre, d'oléagineux et d'huiles usagées), le chauffage domestique (alimenté au bois) et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux.

Dans le secteur de la construction durable, les autres formes d'énergie biomasse restent très intéressantes à l'échelle d'une production d'énergie collective.

À l'échelle d'un bâtiment individuel et si l'on garde le concept d'énergie renouvelable donc inépuisable, l'énergie biomasse concerne surtout le chauffage domestique alimenté par des chaudières ou des poêles à granulés. Les granulés sont des sous-produits de la première transformation du bois comme la sciure. Au Maroc, cette technique est encore peu exploitée en attendant le développement de la production de granulés.

Dans le secteur de la construction durable, les autres formes d'énergie biomasse restent très intéressantes à l'échelle d'une production d'énergie collective.



© Thzorro77, Wikimedia Commons

*Décharge à énergie biomasse.*

## 2.3.4. COMPRENDRE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

L'énergie géothermique est l'énergie qui vient de la terre. Son exploitation par l'homme remonte à 2 000 ans avant JC à travers les eaux chaudes thermales.

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol de la terre. L'énergie géothermique permet de produire de l'électricité ou de la chaleur.

On peut exploiter l'énergie géothermique à travers différentes échelles et différents usages, par exemple :

- ▶ Centrale géothermique qui distribue l'électricité comme les centrales électriques,
- ▶ Puits canadien pour préchauffer l'air de la maison en hiver et le rafraîchir en été (voir chapitre suivant),
- ▶ Pompe à chaleur pour chauffer l'eau domestique ou l'eau d'une piscine ainsi que le chauffage d'un bâtiment.

Au Maroc, l'énergie géothermique représente un grand potentiel encore peu exploité, cependant le Royaume est actuellement en train d'étudier la faisabilité de réaliser des centrales géothermiques.

## 2.3.5. EN CONCLUSION

Au Maroc, l'énergie solaire est la plus utilisée pour alimenter les bâtiments de façon individuelle. Mais le marché en constante évolution doit amener les concepteurs à se tenir informer des dernières avancées technologiques et à toujours vérifier l'adéquation entre les besoins des usagers, la fonction du bâtiment et les ressources disponibles.



© Gretar Ivarsson, Wikimedia Commons

Centrale islandaise de Nesjavellir.

## OUTILS



**RD10.** Atlas éolien global numérique du Maroc, AMEE



**RD11.** Cartes éoliennes du Maroc, AMEE



**RD12.** Cartes solaires du Maroc, AMEE



**RD13.** Les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique au Maroc, Contexte et accès au marché, Informations à l'attention des petites et moyennes entreprises

## 2.4. LES TECHNIQUES DE CHAUFFAGE, RAFRAÎCHISSEMENT ET CLIMATISATION

Il est tout d'abord important de noter que si les mesures de conception bioclimatique ont bien été appliquées au projet et que le RTCM a bien été respecté, les besoins en chauffage et climatisation auront considérablement diminué, voire même seront inexistantes pour certaines régions. Il est aussi important de souligner qu'indépendamment de la conception bioclimatique, pour permettre un système de chauffage et/ou rafraîchissement et/ou climatisation efficace et éviter le gaspillage d'énergie, le bâtiment doit être parfaitement isolé et étanche.

### Rappel de quelques notions :

- ▶ Le chauffage est l'action de chauffer un espace au moyen d'une installation permettant de contrôler la chaleur dans le bâtiment.
- ▶ Le rafraîchissement est l'action de rafraîchir l'espace de 3°C à 4°C au moyen d'installations passives ou à faible consommation d'énergie. La ventilation naturelle est la première mesure passive pour rafraîchir un espace (voir chapitre 1.5, page 25).
- ▶ La climatisation est une technique qui consiste à modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques (principalement température et humidité) à l'intérieur d'un bâtiment. Les équipements de climatisation sont généralement énergivores.



Source : [https://www.ceilhit.es/wp-content/uploads/2020/04/Actividad-confinamiento-estoybienencasa\\_portada-texto-premio.pdf](https://www.ceilhit.es/wp-content/uploads/2020/04/Actividad-confinamiento-estoybienencasa_portada-texto-premio.pdf)

Dans tous les cas, le confort de l'utilisateur dépend non pas de la température réelle mais de la perception qu'il en a. L'humidité joue un rôle dominant dans cette perception : un local humide paraît plus froid qu'un local sec pour la même température. De même, l'inertie des parois de la pièce (capacité des murs, plancher, toiture à emmagasiner puis à restituer la chaleur) joue un rôle déterminant dans le confort thermique : plus ces matériaux sont lourds, plus leur inertie thermique est importante, plus les murs peuvent restituer de la chaleur en hiver et garder la fraîcheur en été.

Enfin, l'isolation et l'étanchéité de l'enveloppe jouent un rôle primordial dans la perception de la température : dans une pièce chauffée à 22° mais avec des murs à 16°C, l'utilisateur ressentira du froid, à l'inverse, dans une pièce chauffée à 18°C, mais dont les faces internes de l'enveloppe sont à 20°C, l'utilisateur aura une perception de confort thermique agréable et d'une température de 19°C.

L'isolation et l'étanchéité de l'enveloppe, couplées à des matériaux à forte inertie thermique pour la construction de l'enveloppe du bâtiment, réunissent des conditions idéales pour un confort thermique des usagers.

### 2.4.1. IDENTIFIER LE SYSTÈME APPROPRIÉ AU PROJET

Il existe de nombreuses possibilités de systèmes de chauffage, rafraîchissement et climatisation. C'est aux maîtres d'œuvre, en particulier le Bureau d'études technique (BET), d'identifier les systèmes les plus adaptés au projet selon le climat, le programme et les besoins des usagers, et selon les ressources disponibles sur le site. Le maître d'ouvrage doit veiller à sélectionner des maîtres d'œuvres expérimentés en construction durable capables d'analyser les dernières technologies arrivées sur le marché (voir modèles ↗ M11. **Recommandations règlement de consultation MOE** et ↗ M12. **Grille d'évaluation MOE**).

Voici une sélection non-exhaustive de systèmes de chauffage, rafraîchissement et climatisation :

Types	Noms	Fonction	Confort	Coût à la construction	Coût à l'exploitation	Adapté à
<b>Chauffage à énergie renouvelable</b>	Puits canadien	Préchauffe	+	Faible	Très faible	Tout type de bâtiment
		Rafraîchit	+++			
	Pompe à chaleur géothermique	Chauffe l'air	+++	Élevé	Faible	Tout type de bâtiment
		Rafraîchit	++			
	Aérovoltaïque	Chauffe	+++	Très élevé	Faible	Tout type de bâtiment (produit aussi de l'électricité)
		Rafraîchit	++			
<b>Chauffage à ressource naturelle</b>	Poêle à bois	Chauffe	++	Moyen	Élevé	Logement individuel
	Insert	Chauffe	++	Moyen	Élevé	Logement individuel
	Cheminée	Chauffe	+	Faible	Élevé	Logement individuel
	Chauffage central au fuel	Chauffe	+++	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
	Chauffage central au gaz	Chauffe	+++	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
	Pompe à chaleur au gaz	Chauffe	+++	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
Climatise		+++				
<b>Chauffage électrique</b>	Plancher chauffant / rafraîchissant	Chauffe	+++	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
		Rafraîchit	++			
	Pompe à chaleur électrique	Chauffe	+++	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
		Climatise	+++			
	Convecteurs	Chauffe	+	Moyen	Très élevé	Bâtiment de petite taille à occupation intermittente
	Split	Chauffe	+	Moyen	Très élevé	Bâtiment de petite taille à occupation intermittente
		Climatise	++			
	Système centralisé réversible VRV Inverter	Chauffe	+	Élevé	Élevé	Tout type de bâtiment
Climatise		++				



© GIZ/Adhane Azizi

## 2.4.2. DIMENSIONNER LE/LES SYSTÈMES

Quel que soit le choix du ou des systèmes, il est indispensable que le BET calcule des installations adaptées et dimensionnées par rapport aux besoins réels des futurs usagers du bâtiment.

Si des locaux de production d'énergie sont nécessaires, ils doivent être situés au plus près des espaces chauffés, pour limiter les pertes (de chaleur ou de charges).

Concernant la ventilation, les maîtres d'œuvre adaptent les débits des locaux par secteurs en fonction de leur utilisation grâce à des débits variables.

L'installation d'une gestion technique centralisée (GTC, voir chapitre 2.5.5) peut permettre une gestion maîtrisée (chauffage ou climatisation par zone, tranche horaire, saison, etc.) du traitement de l'air, minimisant ainsi la consommation et la facture énergétique.

## 2.4.3. CONNAÎTRE LE FONCTIONNEMENT DU PUIT CANADIEN

Le marché du traitement de l'air est en constante évolution : par exemple l'aérophotovoltaïque, chauffage basé sur un mix de panneaux photovoltaïques et panneaux thermiques est très récent et encore très coûteux, mais son prix devrait baisser à l'avenir. Les ressources d'énergie sont également changeantes dans leur prix et leur disponibilité. Il paraît donc difficile de recommander un système plutôt qu'un autre si l'on veut respecter l'équation durabilité, économie de construction et économie d'exploitation.

Aussi, dans ce chapitre, ferons-nous un focus uniquement sur le puits canadien, système vertueux intégré à la conception, avec une technique simple et un coût de construction et d'exploitation très économique, notamment parce qu'il est alimenté par une énergie renouvelable : la géothermie.

Le puits canadien est également appelé puits provençal, échangeur air-sol et dans son nom le plus explicite, puits géothermique. En effet, le puits canadien utilise l'énergie renouvelable géothermique provenant de la terre (voir chapitre précédent). Son principe d'exploitation remonte à l'époque romaine : les romains se chauffaient avec l'air circulant sous la terre au moyen de canalisations.

Le principe du puits canadien consiste à prendre l'air extérieur et le faire transiter dans un ou plusieurs tuyaux enterrés à une profondeur située entre 1,5 et 5 mètres sur une longueur de 30 mètres, pour le faire ressortir au moyen d'une ventilation mécanique à l'intérieur du bâtiment. Il permet ainsi, par une ventilation contrôlée, de réchauffer l'air du bâtiment en hiver et de le rafraîchir en été.

# P

## Principe du puits canadien



- 1 Terrain naturel
- 2 Borne de prise d'air
- 3 Filtre
- 4 Collecteur géothermique
- 5 Regard d'inspection
- 6 Drain
- 7 Évacuation des condensats (possible récupération vers réseau d'eau pluvial)
- 8 Vanne By-pass
- 9 Prise d'air neuf
- 10 Échangeur Air / Air
- 11 Extracteur d'air

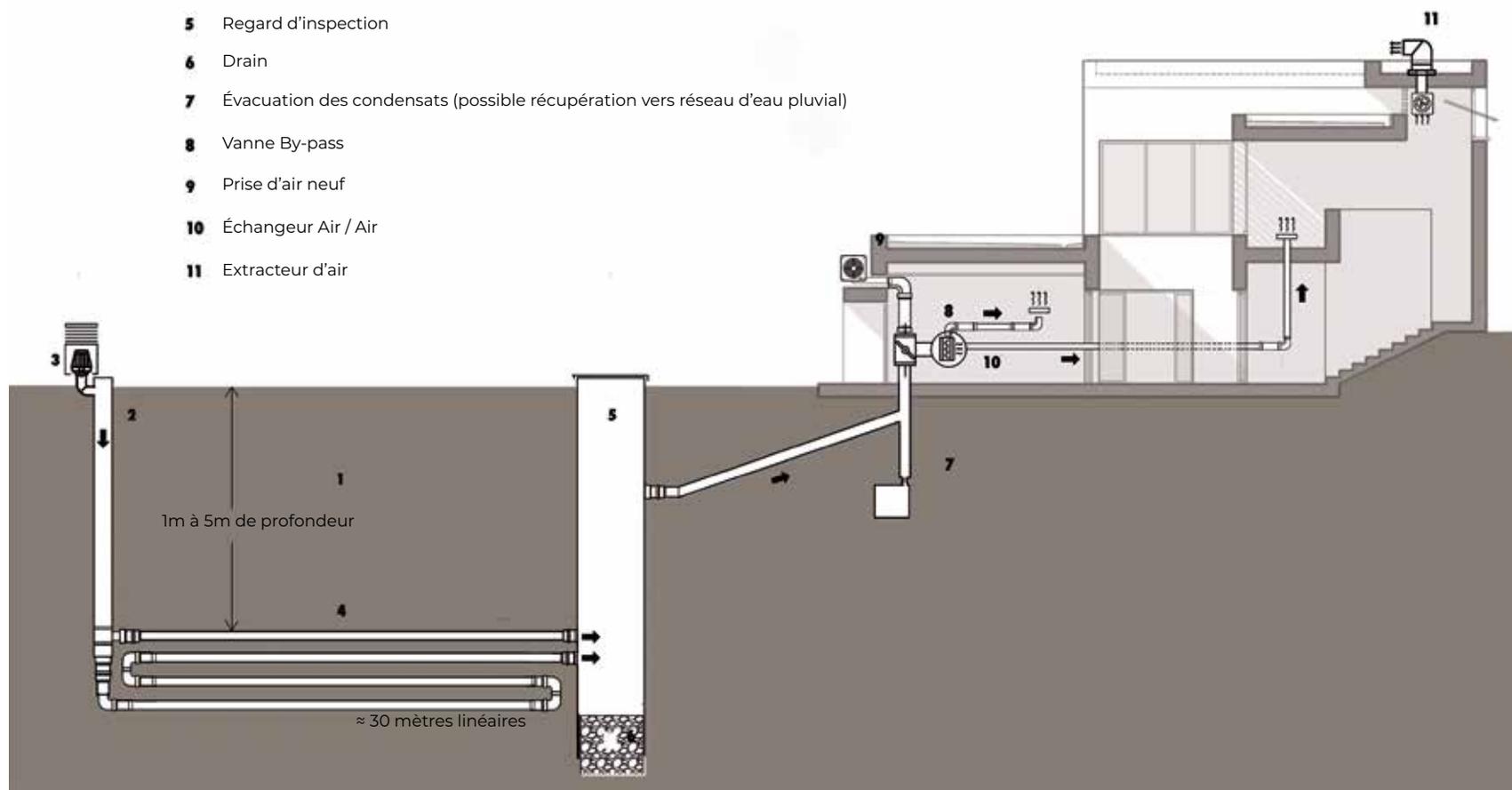


Illustration Jean-Claude Pereira

## Premiers paramètres à prendre en compte dans la réalisation d'un puits canadien :

Paramètres	Descriptions
<b>L'évaluation géotechnique</b>	Se fait au moyen d'une étude de sol réalisée par un bureau d'études géotechnique. Permet de savoir si la constitution du sol peut être creusée sans engendrer un coût et/ou un délai trop important qui pourrait remettre en cause la pertinence du choix du puits canadien.
<b>L'évaluation des besoins énergétiques</b>	Se fait au moyen d'une simulation thermique réalisée par le BET sur la base du type de bâtiment et des besoins des usagers. Cette étude permet de confirmer que le puits canadien est un système pertinent au regard du projet. Cette étude est réalisée à l'étape de l'avant-projet sommaire.
<b>L'évaluation du risque sanitaire environnemental</b>	Se fait au moyen d'une analyse du site identifiant des paramètres tels que la situation de la route et la situation des parkings par rapport à l'entrée d'air pour éviter la surexposition aux gaz d'échappement, l'orientation du vent dominant par rapport à des pollutions olfactives environnantes éventuelles et aux pollens végétaux allergisants.
<b>La borne de prise d'air</b>	<p>La borne de prise d'air doit empêcher la pénétration de petits animaux tels que des rongeurs, notamment au moyen d'une grille à mailles fines et la pénétration de l'eau de pluie et du vent grâce à des ailettes orientées. Elle doit disposer d'une pré-filtration pour éviter l'encrassement par des poussières extérieures et limiter la pollution.</p> <p>La prise d'air doit se faire à 1 m de hauteur pour éviter l'aspiration de polluants concentrés au sol, la borne doit être bien fixée au sol et parfaitement étanche dans son raccordement au collecteur.</p> <p>Le diamètre de la borne est calculé selon les besoins du projet étudiés par le BET.</p>
<b>Le réseau extérieur (collecteur géothermique)</b>	<p>Le collecteur est l'élément le plus important du système puits canadien car c'est lui qui va permettre d'échanger la chaleur ou la fraîcheur avec le sol dans lequel il est enterré. Le diamètre du collecteur est également calculé selon les besoins du projet par le BET. Il doit être parfaitement étanche à l'eau et l'air pour éviter la pénétration du radon, gaz chimique présent dans le sol.</p> <p>Le matériau (polyéthylène, béton, terre cuite, PVC d'assainissement, etc.) avec lequel il est réalisé doit être résistant aux charges pesant sur lui et sa face interne est parfaitement lisse pour éviter de freiner l'air. Elle est également antistatique pour permettre l'écoulement des condensats.</p>
<b>La ventilation</b>	La ventilation du bâtiment peut se faire sans mécanisme particulier, avec un ventilateur simple dans une VMC à simple flux ou avec une VMC à double flux. Dans tous les cas, elle doit pouvoir être fermée pour les intersaisons qui pourraient donner l'inverse de l'effet recherché.

Ces quelques données ne sont en aucun cas exhaustives pour permettre de réaliser un puits canadien. Il incombe aux maîtres d'œuvre et au fournisseur de réaliser tous les dimensionnements nécessaires pour réaliser un système efficace et sain.

Il faut souligner que le puits canadien ne peut pas suffire à lui seul pour le chauffage dans les régions qui observent des hivers froids. Sa technique consiste plutôt à « préchauffer » l'air pour minimiser ensuite les besoins en chauffage complémentaires. Il reste cependant assez efficace pour rafraîchir l'air en été.

Le puits canadien présente un faible coût d'investissement à la construction et une quasi gratuité dans l'exploitation si l'on enlève le coût lié au fonctionnement de la VMC. Cependant, il doit être pris en compte dès la conception du bâtiment. Il est particulièrement adapté au logement individuel et au milieu rural.

## OUTILS



**M11.** Recommandations règlement de consultation MOE



**M12.** Grille d'évaluation MOE



**RD14.** Énergie durable dans les provinces de Midelt et Tata, Solutions de chauffage complémentaire « Chauffage solaire à air & puits canadien »



**RD15.** Étude de chauffage par poêle à bois amélioré pour les écoles de la province de Midelt



**RD16.** Guide technique pour le chauffage, la ventilation et la climatisation, AMEE



**RD17.** Cahier des charges d'un poêle à bois performant pour les salles de classe



## 2.5. LES INSTALLATIONS, APPAREILS ET APPAREILLAGES

Les installations, équipements et appareillages représentent un poste de consommation énergétique très important dans un bâtiment. Cette consommation peut diminuer considérablement selon les choix de type de matériels et la gestion qu'on en fait.

Dans ce chapitre, il est question des choix de matériels et de système de gestion qui peuvent être opérés au moment de la construction. Pour plus d'information sur la gestion de ces matériels lors de l'exploitation du bâtiment, se reporter à **➔ G02. Guide Exploitation durable des bâtiments.**



© GIZ/Adhane Azizi

### 2.5.1. CHOISIR LES APPAREILLAGES D'ÉCLAIRAGE

L'éclairage artificiel doit en premier lieu faire l'objet d'une étude poussée de la part de l'architecte et du BET (voir check-list **➔ CL08. Documentation exécution Lots archi** et **➔ CL11. Documentation exécution Lot électricité**). L'architecte doit prévoir l'emplacement des points lumineux adaptés aux besoins des usagers selon la fonction du bâtiment, la fonction de chaque local et son mode d'occupation (occupation permanente ou intermittente type couloir, hall), et les sources d'éclairage naturel. Le BET doit calculer les besoins en puissance d'éclairage selon les mêmes paramètres.

En 2020, les ampoules les moins énergivores sont les LED (diode électroluminescente). Elles ont une durée de vie supérieure à tous les autres types d'ampoule et une consommation énergétique inférieure (voir tableau ci-contre).

#### T Tableau d'équivalence

	Incandescence	25W	60W	75W	100W	150W	
	Halogène	25W	50W	60W	85W	110W	200W
	Fluocompacte	6W	9W	13W	19W	30W	
	LED	2W	7W	9W	12W	20W	30W

Source : manuel de labélisation mosquées vertes

#### E Exemples de lampes LED





© Pexels/Taryn Elliott

Globalement, il est recommandé d'équiper intégralement tous les points d'éclairage avec des ampoules LED, dont les puissances sont adaptées aux études des maîtres d'œuvre.

Les ampoules LED possèdent également une température de couleur s'exprimant en degrés Kelvin (K). Plus la température est élevée, plus la couleur est froide (aspect bleuté).

La température de couleur est importante pour le confort d'ambiance et le confort visuel des usagers du bâtiment. Elle se définit en fonction de l'activité pratiquée dans le local. Par exemple :

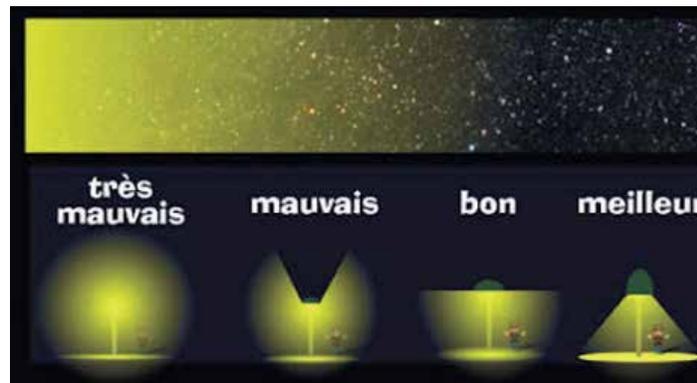
Blanc froid 5 500 à 6 000 K		Éclairage professionnel : garage, atelier, salle de sport
Blanc neutre 4 000 à 4 500 K		Éclairage de bureau : bureaux, showrooms
Blanc chaud 2 500 à 3 000 K		Éclairage domestique : salle à manger, cuisine
Blanc qui tire vers le jaune +/- 2 200 K		Éclairage tamisé : lampes d'ambiance, chambre, salon

Pour minimiser encore plus la consommation énergétique, il est recommandé d'installer des détecteurs de présence dans les locaux ou les espaces qui sont occupés de façon intermittente. La localisation des détecteurs doit être associée aux études menées par les maîtres d'œuvre pour pouvoir identifier le potentiel de chaque lieu. Voici, néanmoins quelques espaces où il est recommandé d'en prévoir :



- ▶ Couloir, hall, circulation pour le secteur résidentiel et le secteur tertiaire,
- ▶ WC pour le secteur tertiaire,
- ▶ Espaces extérieurs, porches, terrasses, allées pour le secteur résidentiel et le secteur tertiaire.

## Recommandations pour éviter la pollution lumineuse de l'éclairage extérieur



Source : [www.cartes-de-france.fr](http://www.cartes-de-france.fr)

Pour limiter la pollution lumineuse la nuit et éviter une surconsommation d'énergie, il est important de bien étudier l'orientation des luminaires extérieurs (voir schéma à gauche), la couleur (limiter la lumière bleue), réduire l'intensité au stricte nécessaire et définir leur période d'éclairage.

### 2.5.3. CHOISIR LE SYSTÈME D'EAU CHAUDE SANITAIRE

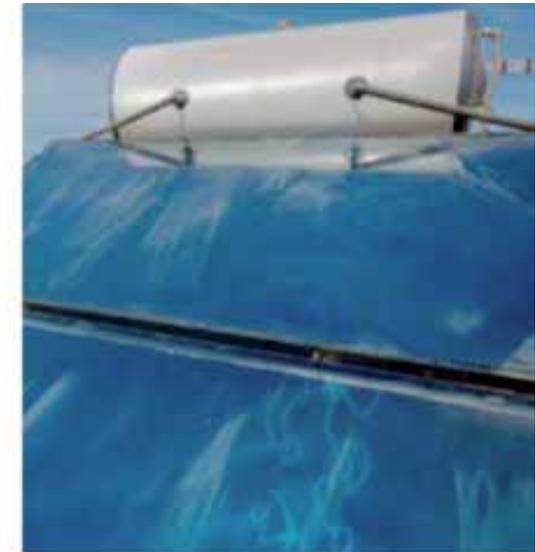
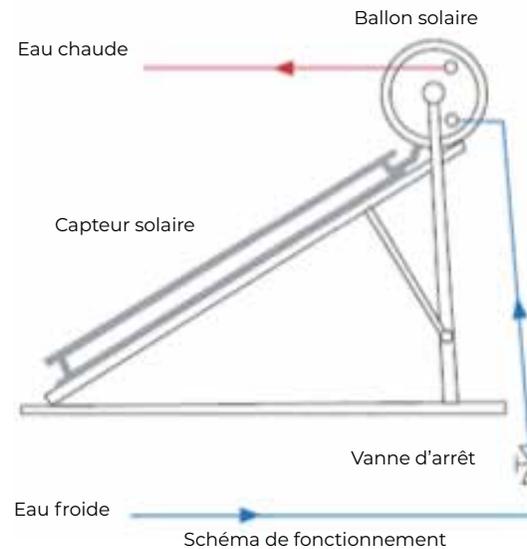
Avec un taux d'ensoleillement très important au Maroc, il est particulièrement recommandé d'investir dans l'installation d'un chauffe-eau solaire.

Actuellement, on trouve principalement deux types de chauffe-eau solaires sur le marché marocain : le chauffe-eau à thermosiphon et le chauffe-eau à circulation forcée.

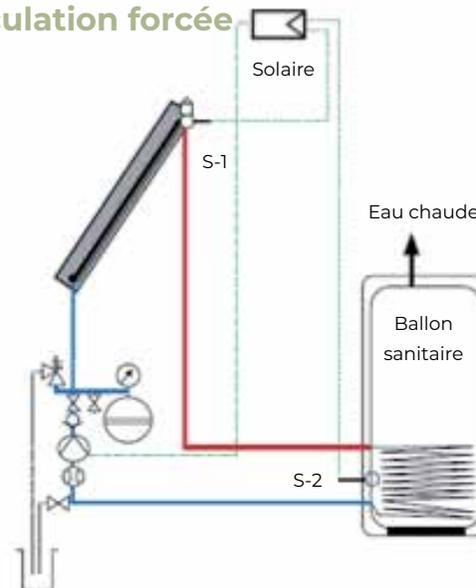
Quel que soit le type de chauffe-eau solaire, il est important, pour réaliser une installation correcte, de :

- ▶ Dimensionner le chauffe-eau solaire par rapport aux besoins des usagers du bâtiment,
- ▶ Orienter les panneaux solaires pour qu'ils profitent d'un maximum d'ensoleillement, c'est-à-dire au sud sans ombre des constructions mitoyennes,
- ▶ Pour les constructions neuves, prévoir des fourreaux de passage et souche sur toiture pour permettre la distribution du réseau hydraulique entre toiture et zone intérieure. Ceci permettra de réaliser une étanchéité correcte entre l'intérieur et l'extérieur,
- ▶ Fixer le chauffe-eau solaire sur plots bétonnés pour ne pas endommager l'étanchéité en toiture,
- ▶ Isoler les tuyaux d'eau chaude pour éviter les pertes de chaleur (calorifugeage),
- ▶ Prévoir des boîtiers de raccordement électrique étanches et protégés,
- ▶ Prévoir un accès facile pour un entretien régulier de l'installation.

#### Exemple de système thermosiphon



#### Exemple de système à circulation forcée



Si le projet ne permet pas le système d'un chauffe-eau solaire (par manque d'ensoleillement par exemple), les maîtres d'œuvre étudient d'autres types d'installations telles que celles figurant dans le tableau ci-après :

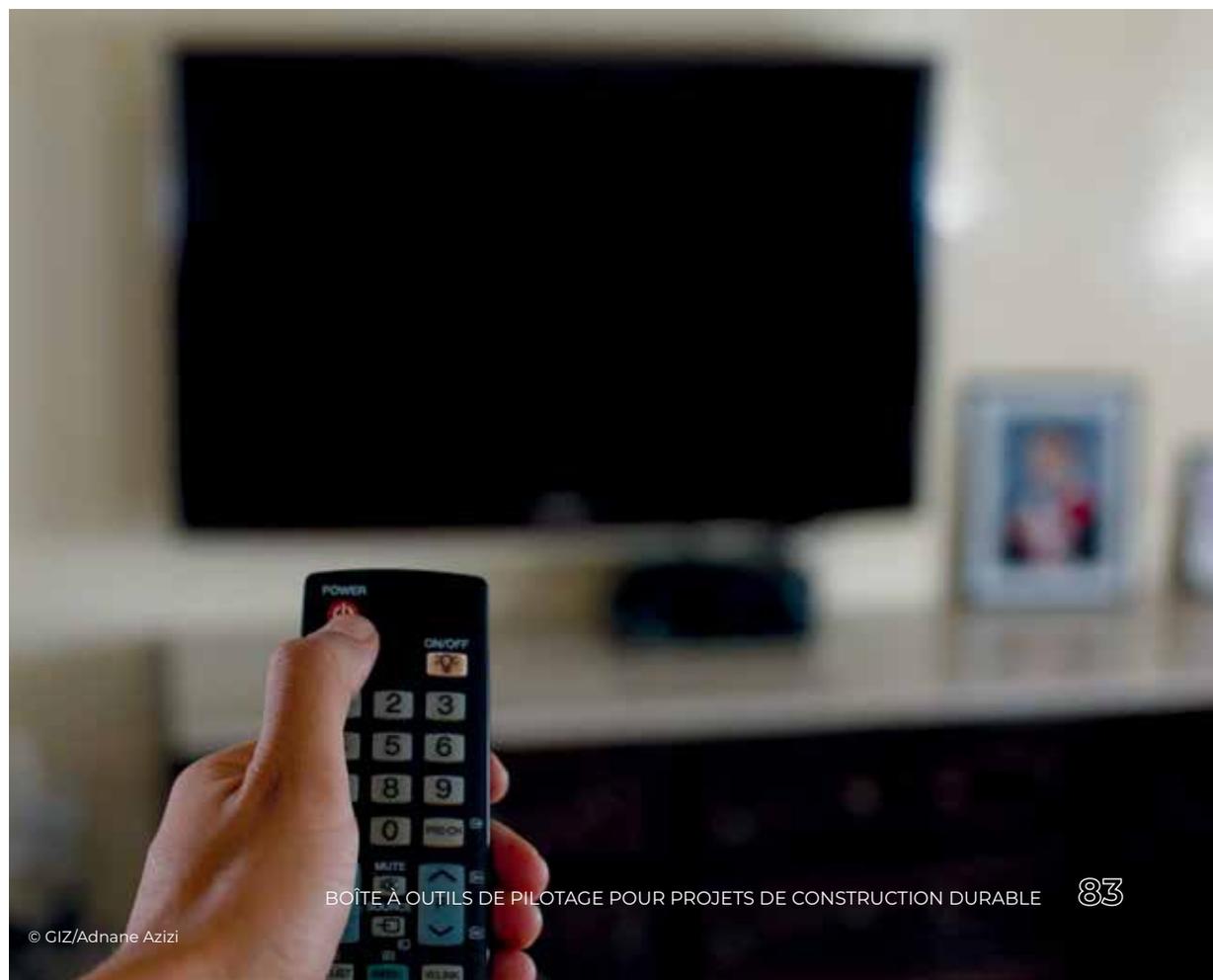
Type d'installation	Type d'énergie	Coût à la construction	Coût à l'exploitation	Adapté à
Chauffe-eau électrique	Électricité	Moyen	Élevé	Logement individuel
Chauffe-eau au gaz	Gaz	Faible	Faible	Logement individuel
Pompe à chaleur	Électricité	Élevé mais permet également le chauffage	Moyen	Tout type de bâtiment
Pompe chaleur au gaz	Gaz	Élevé mais permet également le chauffage	Faible	Tout type de bâtiment
Pompe chaleur géothermique	Géothermique (renouvelable)	Élevé mais permet également le chauffage	Faible	Bâtiment de grande échelle
Chauffage central au gaz	Gaz	Élevé mais permet également le chauffage	Faible	Tout type de bâtiment
Chauffage central au fuel	Fuel	Élevé mais permet également le chauffage	Faible	Tout type de bâtiment

L'investissement dans un chauffe-eau au gaz paraît encore intéressant, mais le prix de cette ressource peut évoluer dans les années à venir.

## 2.5.4. CHOISIR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES

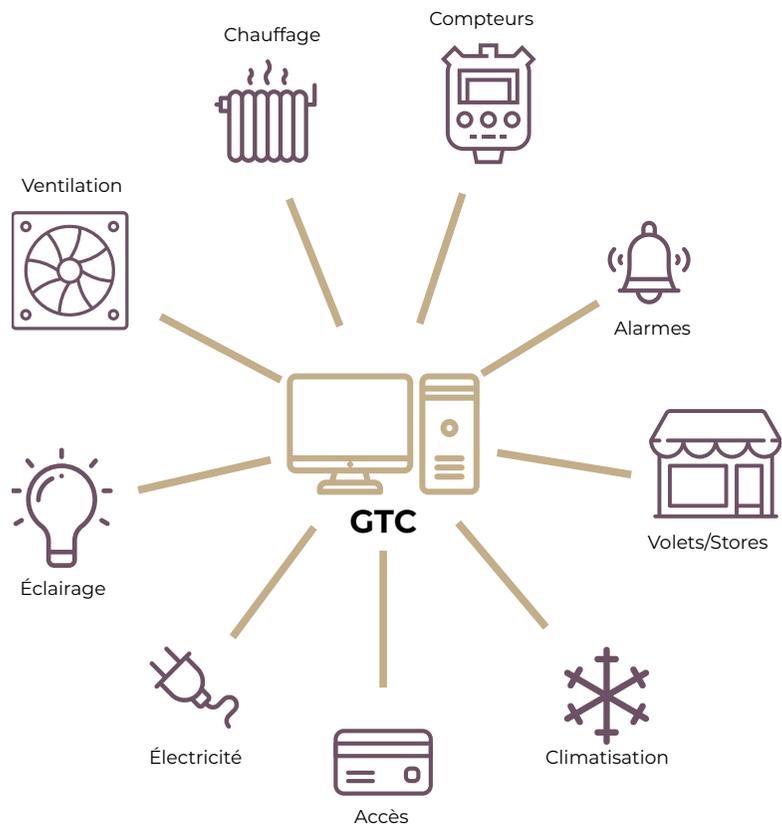
Lors d'un projet de construction, il est parfois nécessaire d'intégrer des appareils électriques (four, frigo, lave-linge, etc.) avant même la livraison du chantier.

Dans le cadre d'une construction durable et d'un souci d'efficacité énergétique, l'achat de ces appareils doit tenir compte de la classification d'efficacité énergétique en privilégiant les appareils A+++ et en évitant d'acheter des appareils inférieurs à la classe A+. En effet, cette classification détermine les appareils qui consomment le moins d'énergie.



## 2.5.5. OPTER POUR UNE GESTION TECHNIQUE CENTRALISÉE

La gestion technique centralisée (tableau de commande GTC) permet de contrôler certains postes du bâtiment, consommateurs d'énergie. Ces postes concernent principalement le chauffage, la ventilation, l'éclairage, l'occultation et la protection solaire, la climatisation, l'arrosage et la sécurisation. La GTC permet un pilotage par zone, horaire et fonction de l'utilisation du bâtiment et permet ainsi d'optimiser la consommation énergétique des différents postes qu'elle contrôle.



### OUTILS

**CL08.** Documentation exécution Lots archi

**CL11.** Documentation exécution Lot électricité

**G02.** Guide Exploitation durable des bâtiments

**RD08.** Support de sensibilisation sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments au Maroc, PEEB

**RD18.** Manuel pratique des chauffe-eau solaires, AMEE

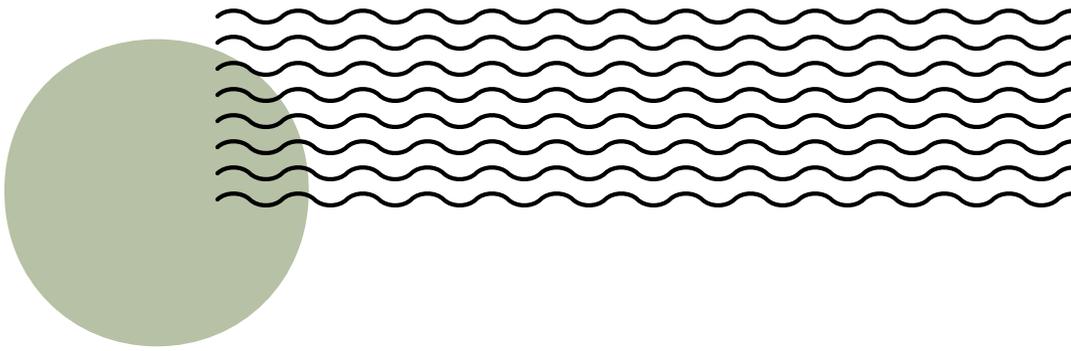
**RD19.** Manuel technique de l'éclairage, AMEE







LA GESTION  
**DE L'EAU**





© Pixabay



© GIZ/ Mohammed Elghali Khlyati



© GIZ/ Mohammed Elghali Khlyati

La raréfaction de l'eau que vit le Maroc aujourd'hui rend l'optimisation de la gestion de l'eau indispensable dans la construction de bâtiments, qu'ils soient durables ou non.

Une gestion de l'eau optimisée repose sur :

- ▶ Un système d'assainissement performant,
- ▶ La récupération et la valorisation des eaux pluviales,
- ▶ L'installation d'équipements et de systèmes d'économie d'eau dans la distribution du bâtiment.

## 3.1. L'ASSAINISSEMENT

Le principe d'assainissement regroupe l'ensemble des mesures permettant la collecte, le traitement et l'évacuation des eaux résiduelles.

Le système d'assainissement dépend fortement du lieu où s'implante le projet (urbain, rural, quartier dense, présence d'un réseau d'assainissement urbain, mesures de réglementation urbaine, etc.). C'est le contexte du projet qui permettra de déterminer si on se raccorde à un réseau collectif ou s'il on met en place un système individuel.

### 3.1.1. LA NATURE DES EAUX

Il existe deux natures d'eau :

- ▶ Les eaux pluviales, également appelées eaux claires ou eaux non polluées, qui proviennent de la pluie ou de la fonte des neiges.
- ▶ Les eaux usées, également appelées eaux résiduaires, dans lesquelles on retrouve trois sous-catégories :
  - Les eaux usées domestiques (cuisine, salle de bains, etc.) avec une distinction pour les eaux provenant des WC appelées eaux vannes,
  - Les eaux industrielles prétraitées dont la nocivité est variable. Elles sont produites par les bâtiments industriels, les garages, boucheries, teintureries, laboratoires, etc.,
  - Les eaux pluviales fortement polluées.

Les eaux résiduaires doivent être impérativement traitées dans des installations individuelles et/ou collectives avant de retourner à la nature.

### 3.1.2. TYPE DE SYSTÈME D'ASSAINISSEMENT

Il existe deux types de système d'assainissement : le système séparatif et le système unitaire.

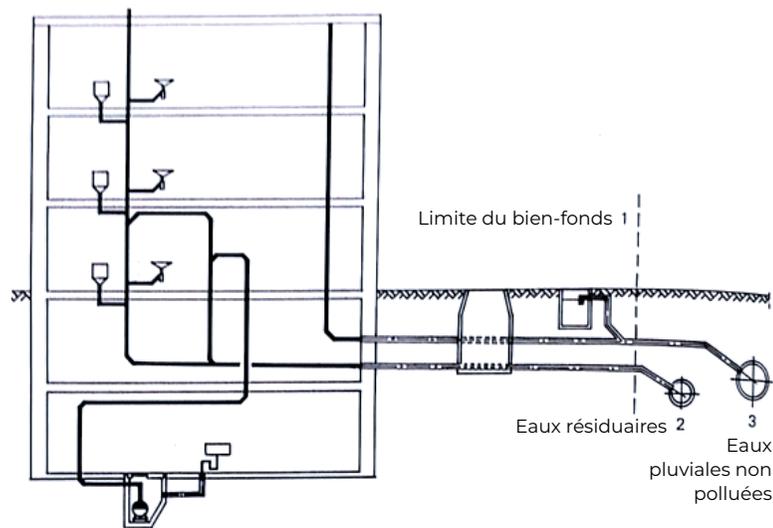
Le système unitaire, également appelé tout à l'égoût, consiste à évacuer les eaux pluviales et les eaux usées par une même canalisation pour les amener à une station de traitement.

Le système séparatif consiste à séparer les eaux pluviales et les eaux usées en les évacuant par deux canalisations différentes. Les eaux pluviales peuvent alors être rejetées dans la nature ou valorisées, alors que les eaux usées sont acheminées vers le

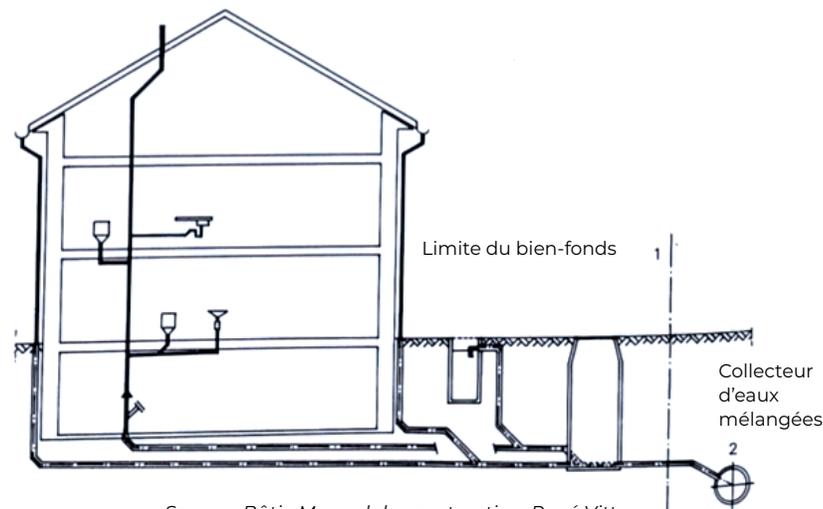
réseau collectif puis vers une station de traitement (STEP) ou vers une fosse septique depuis laquelle elles sont rejetées dans un puits perdu ou collectées par une régie qui les achemine vers une station de traitement.

Dans le cadre de la construction durable et compte tenu du stress hydrique que vit le Maroc, on opte pour un système séparatif avec une récupération et une valorisation des eaux pluviales (voir chapitre suivant).

#### Système séparatif



#### Système unitaire



Source : Bâtir, Manuel de construction, René Vittone

#### OUTILS

-  **RD20.** Guide d'assainissement durable en milieu rural marocain
-  **RD21.** Digesteur à dôme fixe et digesteur parallélépipédique
-  **RD22.** Reportage photographique sur la construction d'installations d'assainissement durable à Dayet Ifrah et au douar Saqiya
-  **RD23.** Guide de construction d'un digesteur de 30 m<sup>3</sup> avec isolation thermique
-  **RD24.** Guide pratique de construction des salles de bain avec Toilettes de Déshydratation à Séparation d'urine (TDSU)

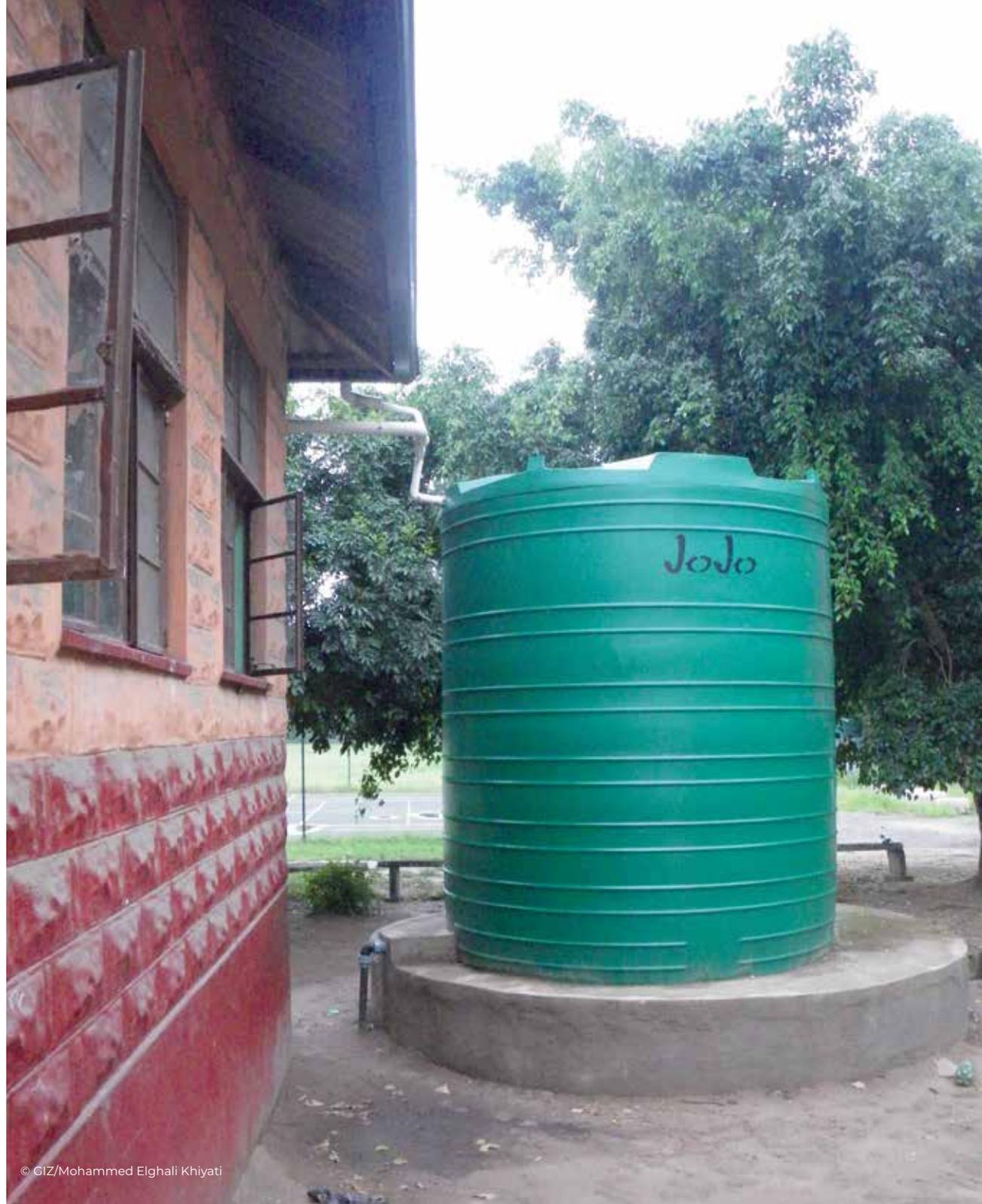
## 3.2. LA RÉCUPÉRATION DES EAUX PLUVIALES

Le Maroc regorge de nombreux systèmes de récupération des eaux pluviales dont certains sont très anciens. Le guide **RD02 Catalogue des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales** répertorie de manière exhaustive l'ensemble des dispositifs qui peuvent être mis en place pour la collecte des eaux de pluie et de fonte au Maroc, en milieu urbain comme en milieu rural, pour le secteur du bâtiment comme pour celui de l'agriculture.

Le principe de récupération et valorisation des eaux pluviales consiste à collecter les eaux, les traiter puis les stocker pour les utiliser comme :

- ▶ Eau de consommation qui doit tenir compte des mesures de traitement très particulières,
- ▶ Eau à usage ménager, alimentation des chasses d'eau WC et alimentation piscine,
- ▶ Arrosage des espaces verts,
- ▶ Irrigation des cultures,
- ▶ Infiltration pour l'alimentation des nappes phréatiques.

Ce chapitre, extrait du catalogue des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales, présente de manière succincte les systèmes les plus appropriés au secteur du bâtiment à l'échelle individuelle.



**En milieu urbain :**

	 <b>Consommation</b>	 <b>Usage ménager</b>	 <b>Arrosage</b>	 <b>Irrigation</b>	 <b>Infiltration</b>	 <b>Recharges des nappes</b>
<b>Toiture végétalisée</b>	<b>Prix moyen HT : 1 500 dhs / m<sup>2</sup></b>					
			+++			
Un toit vert ou toiture végétale/végétalisée est un toit plat ou à faible pente, recouvert d'un substrat pouvant supporter une structure végétale. En plus de retenir les eaux de pluie, les toitures végétalisées contribuent à améliorer le confort thermique des bâtiments, tout en constituant un atout considérable à l'aménagement paysager.						
<b>Mur végétalisé</b>	<b>Prix moyen HT : 2 000 dhs / m<sup>2</sup></b>					
			++			
Un mur vert/végétalisé est un écosystème vertical conçu comme une œuvre d'art ou un noyau écologique servant à recouvrir les façades. C'est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment. Selon son orientation et sa composition, le mur végétal servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement, mais également la pollution, et constituera aussi un élément de décoration et d'esthétique.						
<b>Collecte d'eau de toiture</b>	<b>Prix moyen HT : entre 8 000 et 70 000 dh / installation</b>					
	+	+++	+++			
La récupération des eaux pluviales à partir des toitures consiste à récupérer, dans un réservoir et à travers un système de drainage, les eaux de pluies qui tombent sur les toits. Cela permet de garantir une disponibilité d'eau, surtout pendant les périodes sèches, et satisfaire les différents besoins d'un ménage.						
<b>Pavé drainant et chaussée réservoir</b>	<b>Prix moyen HT : entre 8 000 et 70 000 dh / installation</b>					
					+++	++
Les pavés drainants sont des revêtements permettant l'infiltration des eaux <i>in situ</i> . L'eau est stockée provisoirement dans les fondations, puis évacuée dans le sol. Ils permettent de soulager les égoûts et de rétablir le niveau des nappes phréatiques.						

	 <b>Consommation</b>	 <b>Usage ménager</b>	 <b>Arrosage</b>	 <b>Irrigation</b>	 <b>Infiltration</b>	 <b>Recharges des nappes</b>
<b>Tranchée d'infiltration</b>	<b>Prix moyen HT : à étudier</b>					
					+++	++
Les tranchées sont des ouvrages superficiels linéaires remplis de matériaux poreux et capables de stocker temporairement les eaux pluviales. Elles écrètent ainsi les volumes et débits, puis évacuent les eaux pluviales soit vers un exutoire dans le cas des tranchées drainantes (ou de rétention), soit dans le sol dans le cas des tranchées d'infiltration.						
<b>Bassin de rétention ou d'infiltration</b>	<b>Prix moyen HT : entre 120 à 1 200 dhs / m<sup>3</sup></b>					
			+++		+++	++
Un bassin de rétention est une zone de stockage temporaire, à ciel ouvert ou enterrée, des eaux de ruissellement. Il est destiné à récupérer les eaux pluviales issues de surfaces non-absorbantes (lotissements, zone industrielle, etc.) afin de protéger les infrastructures en aval. Il peut être perméable (bassin d'infiltration) ou non (bassin de rétention).						

#### En milieu rural :

	 <b>Consommation</b>	 <b>Usage ménager</b>	 <b>Arrosage</b>	 <b>Irrigation</b>	 <b>Infiltration</b>	 <b>Recharges des nappes</b>
<b>Collecte de l'eau de toiture</b>	<b>Prix moyen HT : à étudier</b>					
	++	+++	+++			
La récupération des eaux pluviales par le système de toiture consiste à récupérer les eaux qui tombent sur le toit dans un réservoir à travers un système de drainage, afin de garantir une disponibilité de l'eau surtout pendant les périodes sèches pour satisfaire les différents besoins d'un ménage en milieu rural.						

### OUTILS



**RD02.** Catalogue des bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales

## 3.3. LES ÉQUIPEMENTS SANITAIRES ET PLOMBERIE

Les équipements sanitaires et plomberie peuvent également être une source d'économie d'eau. S'ils présentent parfois un surcoût à l'achat, celui-ci sera vite absorbé par les économies réalisées sur les factures d'eau. Dans tous les cas, il est important d'investir dans un équipement de qualité, avec de préférence une certification, traçabilité et garantie.

### 3.3.1. ÉQUIPEMENTS SANITAIRES

#### Régulateur ou réducteur de pression



Le régulateur de débit de pression permet de réduire la pression de l'eau qui alimente un bâtiment. Il est positionné après le compteur d'eau de la régie concernée et en amont du réseau hydraulique.

Il est cependant fréquent que la pression d'eau ne soit pas assez puissante à l'arrivée du bâtiment. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'installer un régulateur de pression (il sera même peut être recommandé d'installer un supprimeur qui doit être correctement réglé pour éviter la surconsommation d'eau).

#### Régulateur de débit



Le régulateur de débit d'eau sert à limiter le débit d'eau. Le débit est le nombre de litres d'eau qui circule par seconde dans les tuyaux. Selon le type de régulateur, il peut également être positionné après le compteur d'eau de la régie concernée et en amont du réseau hydraulique, mais aussi dans un autre modèle à l'intérieur du bâtiment, entre le mitigeur et le flexible de la douche par exemple.

#### Aérateur



L'aérateur ou mousseur est un dispositif qui limite les débits d'eau en mélangeant l'eau et l'air afin de maintenir un débit d'eau constant, confortable et pratique. Il est positionné à la sortie d'eau du robinet ou avant le pommeau de douche. Selon le type, il peut également remplir d'autres fonctions parmi lesquelles le régulateur de débit.

#### Mitigeur



Le mitigeur est un robinet qui permet de régler simultanément la température et le débit de l'eau. Pour cet équipement, on notera aussi une capacité d'économie d'énergie, obtenue par le réglage plus rapide qu'avec un robinet séparant le chaud du froid.

### Robinet à fermeture automatique



Le robinet à fermeture automatique arrête le débit d'eau automatiquement lorsqu'un laps de temps défini est écoulé (bouton poussoir) ou lorsque l'utilisateur n'est plus présent (détection infrarouge). Il permet ainsi d'éviter le gaspillage, en particulier dans les bâtiments relevant du secteur tertiaire.

### Pommeau de douche économe



Un pommeau de douche économe ou éco-douchette permet d'économiser jusqu'à 70% d'eau lors d'une douche. Il en existe différents types avec différentes options (variation de jets, fonction stop, mélangeur air /eau, etc.).

### Toilette à chasse d'eau à double débit



Les toilettes à chasse d'eau à double débit permettent d'adapter la quantité d'eau de rinçage de la cuvette en fonction du besoin : 3 à 4 litres d'eau pour un petit rinçage, 6 à 9 litres pour un grand rinçage avec la possibilité d'interrompre le débit. Cela permet d'économiser considérablement la consommation d'eau.

## 3.3.2. ÉQUIPEMENTS À HAUT DÉBIT DE CONSOMMATION D'EAU

Les équipements à haut débit de consommation d'eau concernent couramment des équipements de lavage (lave-vaisselle et lave-linge). Lors de l'achat de l'équipement, il est important de veiller à :

- ▶ Pour la consommation d'énergie, choisir idéalement un appareil de classification d'efficacité énergétique A+++ , en évitant d'acheter des appareils inférieurs à la classe A+.
- ▶ Pour la consommation d'eau, s'assurer que l'équipement est pourvu d'une programmation permettant de limiter les débits d'eau en fonction de la charge de lavage.









# RÉPERTOIRE DE **CAS PRATIQUES**

**DE CONSTRUCTION  
DURABLE AU MAROC**

Le tableau ci-dessous n'est pas exhaustif. Il répertorie des cas pratiques de construction durable au Maroc à partir des ressources documentaires suivantes :

- ▶ **RD25. Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA**
- ▶ **RD26. Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2<sup>ème</sup> édition, ENA**
- ▶ **RD27. 9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE**
- ▶ **[www.construction21.org](http://www.construction21.org)**

L'objectif de ce répertoire est de permettre à l'utilisateur une recherche par typologie de bâtiment et d'aller l'approfondir dans la ou les sources indiquées dans la dernière colonne du tableau.

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Bureaux</b>					
	Siège du Conseil Supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche Scientifique	Rabat Z1	Conseil Supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche Scientifique	El Bachir Biad	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA
	Siège de la Société Générale des Travaux du Maroc	Casablanca Z1	Société Générale des Travaux du Maroc (SGTM)		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE
	Centre d'affaire AttijariWafa Bank Drissia	Tanger Z1	Attijariwafa Bank	BB Architectes	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/tanger-drissia.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/tanger-drissia.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Bureaux</b>					
	Siège Attijariwafa Bank	Rabat Z1	Attijariwafa Bank	Omar Alaoui	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/siege-attijariwafa-bank.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/siege-attijariwafa-bank.html</a>
	BMCE Bank Of Africa Academy	Bouskoura Z1	BMCE Bank	Hakim Benjelloun	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/bmce-bank-of-africa-academy.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/bmce-bank-of-africa-academy.html</a>
	Siège social de la société Al Omrane	Chrafate, province de Tanger Z2	Al Omrane		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE
	Masen center	Ouarzazate Z6	Masen	Guerin & Pedroza architectes	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/masen-center.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/masen-center.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Équipements hôteliers</b>					
	Village de Surf Taghazout Bay	Taghazout Z1	Société d'Aménagement et de Promotion de la Station de Taghazout (SAPST)	Société d'Aménagement et de Promotion de la Station de Taghazout (SAPST)	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/sol-house-taghazout-bay.html">www.construction21.org/ maroc/case-studies/ma/ sol-house-taghazout- bay.html</a>
	FELFLA, petit hôtel autonome	Tamanar, Essaouira Z1	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	Hôtel IBIS	Casablanca Z1	MOUSSAFIR HOTEL		<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/hotel-ibis.html">www.construction21.org/ maroc/case-studies/ma/ hotel-ibis.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Équipements d'enseignement</b>					
	Centre de Documentation et d'Information, Lycée Descartes	Rabat Z1	Lycée Descartes	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	Centre d'Éducation à l'environnement	Salé Z1	Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement	Layla Skali	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/centre-d-education-pour-l4environnement.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/centre-d-education-pour-l4environnement.html</a>
	École maternelle et élémentaire CASA-ANFA	Casablanca Z1	Groupe Scolaire la Résidence	Groupe 3 Architectes	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/ecole-maternelle-et-elementaire-casa-anfa.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/ecole-maternelle-et-elementaire-casa-anfa.html</a>
	Université Internationale de Rabat - bâtiment Enseignement 2	Rabat Z1	Université Internationale de Rabat (UIR)	Khalid Molabo	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/universite-internationale-de-rabat---batiment--enseignement-2.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/universite-internationale-de-rabat---batiment--enseignement-2.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Équipements d'enseignement</b>					
	IFMEREER Institut de Formation aux Métiers des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique	Oujda Z2	Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle	Reda Chraïbi	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/ifmereer-oujda.html">www.construction21.org/ maroc/case-studies/ma/ ifmereer-oujda.html</a>
	Université Mohammed VI Polytechnique de BENGUERIR	Benguerir Z5	Office Chérifien des Phosphates	Ricardo Bofill Taller et Elie Mouyal	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Divers</b>					
	Centre Hospitalier Régional	Rabat Z1	Commune de RABAT	Charaf-eddine Fqih Berrada	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA
	Sindibad Beach Resort - Tranche T1A et T1B	Casablanca Z1	Sindibad Beach Resort	JLA Studio	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/sindibad-beach-resort-tranche-t1a-et-t1b.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/sindibad-beach-resort-tranche-t1a-et-t1b.html</a>
	Smart Construction Lab Lafarge-Holcim Maroc	Casablanca Z1	Lafargeholcim Maroc	Yassir Khalil Studio d'architecture	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/smart-construction-lab-lafargeholcim-maroc.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/smart-construction-lab-lafargeholcim-maroc.html</a>
	Piscine semi-olympique couverte à Sidi Youssef Ben Ali	Marrakech Z5	Ministère de la Jeunesse et des Sports Délégation de Marrakech	Amazirh architectes	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/piscine-semi-olympique-couverte-a-sidi-youssef-ben-ali.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/piscine-semi-olympique-couverte-a-sidi-youssef-ben-ali.html</a>
	Médiathèque Mine Verte Khouribga	Khouribga Z5	Office Chérifien des phosphates SADV	Abdelouahed Mountassir	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/mediatheque-mine-verte-khouribga.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/mediatheque-mine-verte-khouribga.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Logements collectifs</b>					
	Les Terrasses d'El Menzeh	Rabat Z1	INTERPROJET Construction	Meriem Tahiri	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA
	Fal El Hanaa	Aïn Sebaâ, Casablanca Z1	LABEN		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/fal-el-hanaa---rte-de-lunite-ain-sbaa-casablanca.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/fal-el-hanaa---rte-de-lunite-ain-sbaa-casablanca.html</a>
	Faubourgs d'Anfa	Casablanca Z1	Anfa 3B2I - Bouygues Immobilier Maroc	Omar Alaoui Architecte	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/les-faubourgs-d-anfa.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/les-faubourgs-d-anfa.html</a>
	Nouveau projet des Faubourgs d'Anfa	Casablanca Z1	Anfa 3B2I - Bouygues Immobilier Maroc	Omar Alaoui Architecte	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/nouveau-projet-des-faubourgs-d-anfa.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/nouveau-projet-des-faubourgs-d-anfa.html</a>

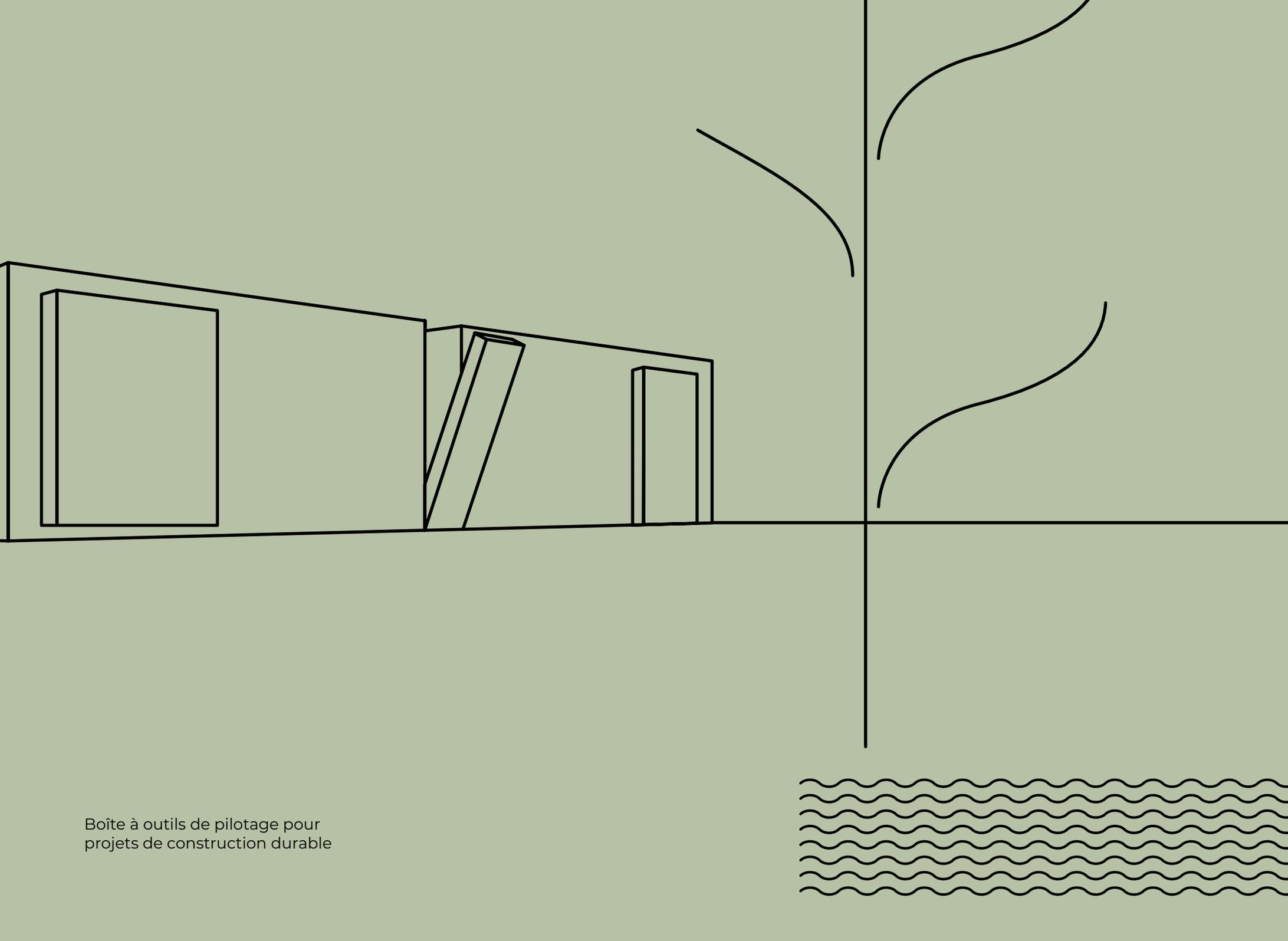
Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Logements collectifs</b>					
	Logements sociaux Al Ouard 2	El Aroui, province de Nador Z2	Al Omrane		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE et Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	Bâtiment Résidentiel	Midelt Z4	El Harrouni Abdelilah	Benaboud Abdelilah	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA
	Logements sociaux Al Karama	El Hajeb, province de Meknès Z4	Al Omrane		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE et Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	Jacaranda	Tamansourt Z5	Al Omrane	Souad Belkeziz Youssef Bouchriha	9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE
	Logements économiques Atlas	Ouarzazate Z6	Al Omrane		9 modèles de construction efficace au Maroc, AMEE

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Logements individuels</b>					
	Maison «O»	Casablanca Z1	Omar Sefraoui	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA
	La maison des architectes	Rabat Z1	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Myriam Soussan et Laurent Moulin	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/habitat-urbain-autonome.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/habitat-urbain-autonome.html</a>
	Maison B autonome	Bouskoura Z1	Oualid Belakbil	Myriam Soussan et Laurent Moulin	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/maison-b.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/maison-b.html</a>
	Logement social à Énergie Positive	Settat Z1	Cluster EMC - Cluster Efficacité Énergétique des Matériaux de Construction	ABC Studio - Ahmed Belamine, Architecte	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/lep---logement-social-a-energie-positive.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/lep---logement-social-a-energie-positive.html</a>

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Logements individuels</b>					
	Villas VERDE / CHADA	Had Soualem Z1	Groupe Al Omrane	Mohamed Amine Kabbaj	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/villas-chada-du-groupe-al-omrane-ville-nouvelle-lakhiayta.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/villas-chada-du-groupe-al-omrane-ville-nouvelle-lakhiayta.html</a>
	Dar Amys, Villa haut standing	Marrakech Z5	Amin Bennouna	Mohamed EL Anbassi	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	Maison en gabion	Marrakech Z5	AMEE	Architecture & Développement et ALTO Ingénierie	Architecture et efficacité énergétique – Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, 2 <sup>ème</sup> édition, ENA et <a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/maison-en-gabion-a-marrakech.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/maison-en-gabion-a-marrakech.html</a>
	Villas pour chercheurs de l'Université Mohammed VI	Benguerir Z5	OCP	Elie Mouyal	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA

Illustration	Projet	Lieu et zone climatique	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Source
<b>Logements individuels</b>					
	Maison marocaine moderne Nassim	Marrakech Z5		Abderrahim Bakez	Architecture et efficacité énergétique - Dix cas de bonnes pratiques au Maroc, ENA
	DEFI : Dispositif Expérimental pour l'évaluation des usages à Faible Impact	Tafraout Z6		Mohamed El Mankibi	<a href="http://www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/defi-dispositif-experimental-pour-levaluation-des-usages-a-faible-impact-ville-de-tafraout.html">www.construction21.org/maroc/case-studies/ma/defi-dispositif-experimental-pour-levaluation-des-usages-a-faible-impact-ville-de-tafraout.html</a>





Boîte à outils de pilotage pour  
projets de construction durable