

**Caracas**

**Reykjavik**

**Fort  
Mcmurray**

**Font Romeu**

**La Hague**

**Abu Dhabi**

*Diogène*

**Lagos**

**Agadir**

**Pékin**

**Asuncion**

**Ecole d'architecture de la Ville  
et des Territoires - ensaVT**

12 avenue Blaise Pascal  
Champs-sur-Marne  
77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

<http://www.marnelavallee.archi.fr>

Alain Derey, Directeur

**Enseignants**

Jean-François Blassel  
Raphaël Ménard

**Crédits Livret**

Alice Barrois  
avec la participation de  
tous les étudiants  
Un grand merci à tous !

**Novembre 2013**

*Diogène*



Préface

**Reykjavik** - Constant Janner

**Fort Macmurray** - Elisa Chiu

**La hague** - Géraldine Same

**Fort Romeu** - Emma Carvalhos

**Beijing** - Pierre Buhannic

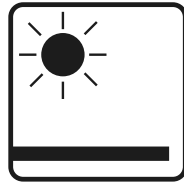
**Agadir** - Alice Barrois

**Abu Dhabi** - Alix Piquemal

**Caracas** - Laure Pedot

**Lagos** - Giovanna Togo

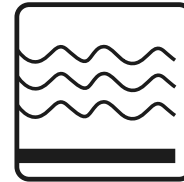
**Asuncion** - Florian Bichet



Soleil



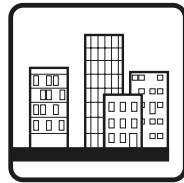
Pluie



Vents



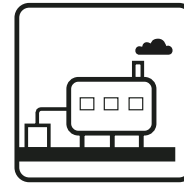
Neige



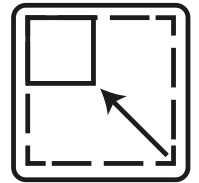
Ville



Paysage



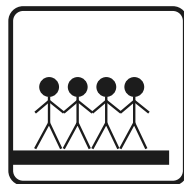
Plug-in



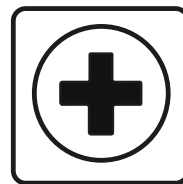
Compacité



Réemploi



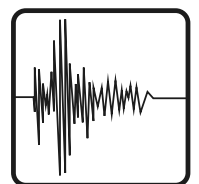
Mutualisation



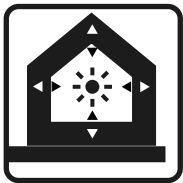
Santé



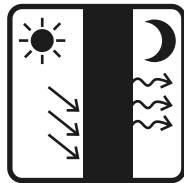
Pollution



Séisme



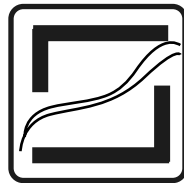
Inertie



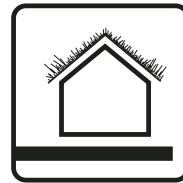
Déphasage  
jour/nuit



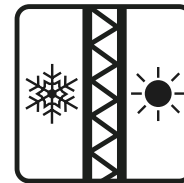
Solaire  
passif



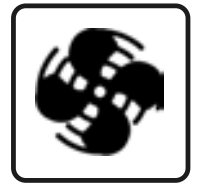
Ventilation  
naturelle



Toiture  
végétalisée



Isolation



VMC



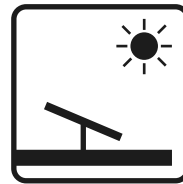
Hydro-  
électricité



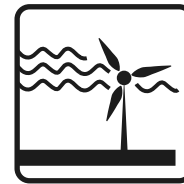
Energie  
mécanique  
humaine



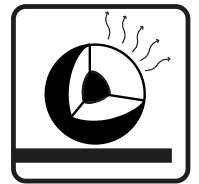
Solaire  
thermique



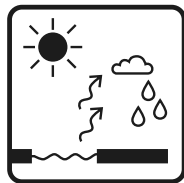
Panneau pv



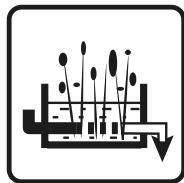
Eolienne



Géothermie



Evapo-  
condensation



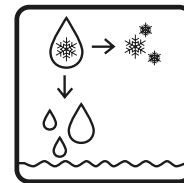
Phyto-  
épuraton



Collecte  
des eaux  
pluviales



Biomasse



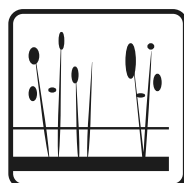
Dessalement



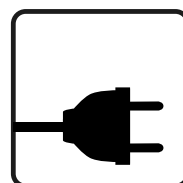
Collecte  
de neige  
fondue



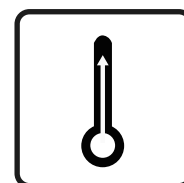
Eau



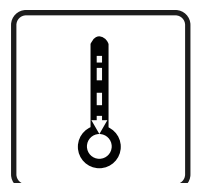
Sol fertile



Electricité



Besoin chaud



Besoin froid

# 10 villes, 10 climats, 10 modes de vies

## Préface

L'exercice a pour objet la définition d'une architecture de petite dimension, modeste mais précise, mise en forme spécifiquement pour une combinaison unique de lieu et d'usage.

Elle pourra être nouvelle ou, au contraire, se greffer sur une construction existante. Elle permettra alors d'améliorer, de modifier, voire de détourner l'usage de l'architecture initiale.

Greffe ou nouvel organisme, ce petit projet reste le prétexte à l'invention concrète d'une organisation matérielle complètement aboutie et d'assemblages réfléchis et résolus.

Cette organisation matérielle et concrète aura ici pour objectif, au-delà des vertus classiques et incontournable de l'architecture, de réduire radicalement l'empreinte énergétique du projet. On s'intéressera autant à la consommation énergétique nécessaire à l'établissement d'un endoclimat favorable au sein d'un exoclimat spécifique qu'au contenu énergétique des matériaux et produits mis en œuvre.

L'exercice permettra donc d'imaginer puis de dessiner et enfin de valider numériquement comment médiation climatique, frugalité énergétique et nécessités physiques de la construction (propriétés physiques des matériaux, gammes des opérations et transformations possibles avec ces matériaux, économie de moyens, ...) peuvent interagir pour alimenter la forme et l'usage du projet.

Nous vous demandons de créer une architecture minimale, un tonneau de Diogène énergétique. Il s'agit d'un lieu de travail et de vie, d'une surface limitée à 20m<sup>2</sup> et/ou 50m<sup>3</sup> intérieur. On devra pouvoir aussi y assurer les fonctions essentielles de vie : se laver et cuisiner.

Ce fragment sera étudié parallèlement dans dix environnements climatiques distincts : Dix villes, dix climats, dix modes de vie...

L'exercice pose une série de questions :

Comment l'architecture réagit-elle aux différentes conditions géographiques et de votre choix ( par les espaces et les usages qu'elle génère, par les formes d'efficacités énergétiques, par la prise en compte des déplacements disponibles selon les contextes géographiques et territoriaux ) ?

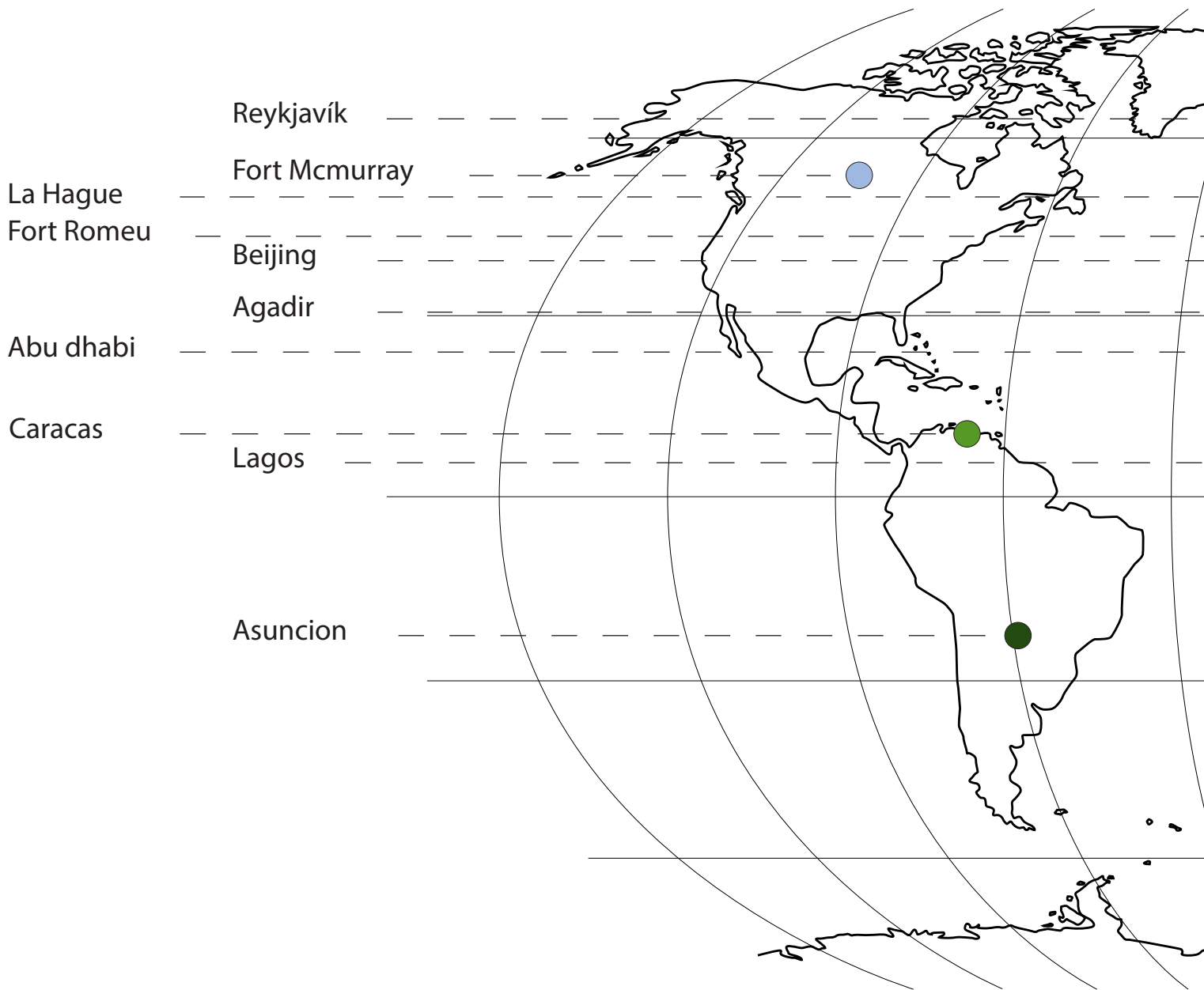
Quelles morphologies –à toutes les échelles— peuvent résulter de ces réflexions ?

Quels matériaux, lourds ou légers, linéaires, surfaciques ou volumiques et modes d'assemblage répondent à ces préoccupations ? Quelle est la matérialité du projet ?

Comment collecte-t-on l'énergie et à partir de quelles sources ? En fonction du climat et des usages, quelle adéquation trouver entre la captation d'énergie et les déperditions engendrées par un objet de petite dimension...

Comment ces résultats sont-ils obtenus de la façon la plus frugale possible ?

Comment cette architecture saura-t-elle s'adapter à l'horizon 2050 ?



**Reykjavik**

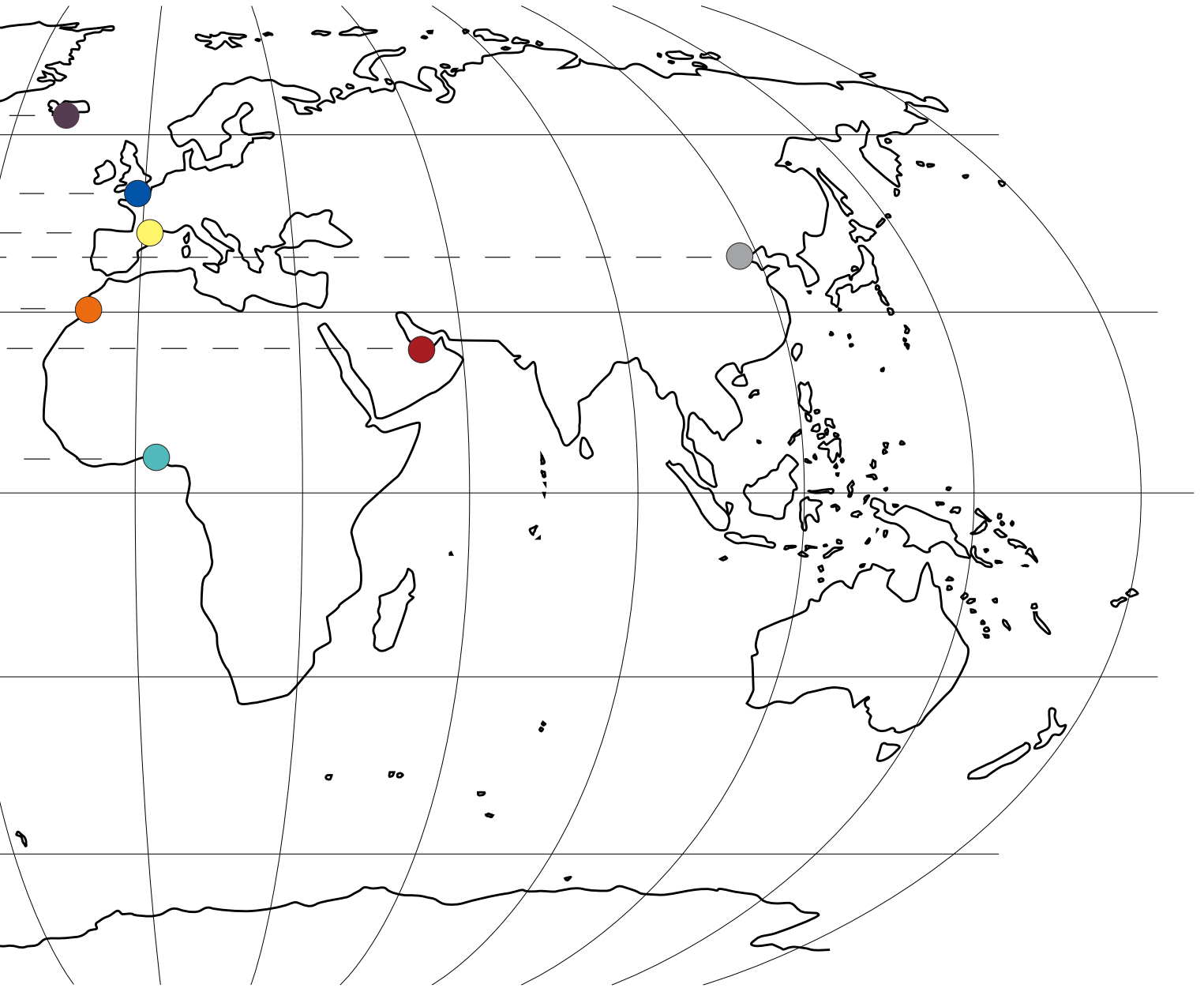
**Fort Mc-  
murray**

**La Hague**

**Font Romeu**

**Pékin**





**Agadir**

**Abu Dhabi**

**Caracas**

**Lagos**

**Asuncion**

## **Climat**

Géographie  
Données et analyses climatiques

## **Concept**

Ressources  
Stratégies  
Usages

## **Matériaux**

Descriptifs  
Assemblages et détails  
Alternatives et comparaisons

## **Energie**

Besoins/Production  
Conclusion

## **Synthèse**

# Agadir

## Maroc

Alice Barrois



# Climat

Géographie  
Données et analyses climatiques



# Géographie

lat. **30° 25N**      long. **9° 36W**      alt. **27m**

La ville d'Agadir est située dans la région de Souss sur la côte Atlantique, entre les chaînes de l'Atlas et le Sahara. Elle s'installe dans une vallée à l'embouchure du fleuve *Oued Souss*, qui irrigue la région. Une série de barrages viennent ponctuer celui-ci pour irriguer les terres agricoles et créer des réserves d'eau potable le long du fleuve.

Le climat est méditerranéen de transition subdésertique. C'est la proximité avec l'Océan Atlantique et un peu plus au nord la mer méditerranée qui offre à la région un climat très confortable.

Agadir a une situation géographique riche et variée. Au nord, l'urbanisation borde les chaînes de l'Atlas. Dans un climat plus montagnard, les villes au nord d'Agadir s'éparpillent sur les reliefs. Les habitats traditionnels recherchent une protection maximale face à des extrêmes de températures. Au sud, à quelques kilomètres, la proximité du Sahara amène des remontées de vents chauds, secs et poussiéreux, *Chergui*, qui exceptionnellement font monter la température pendant 2 à 5 jours.

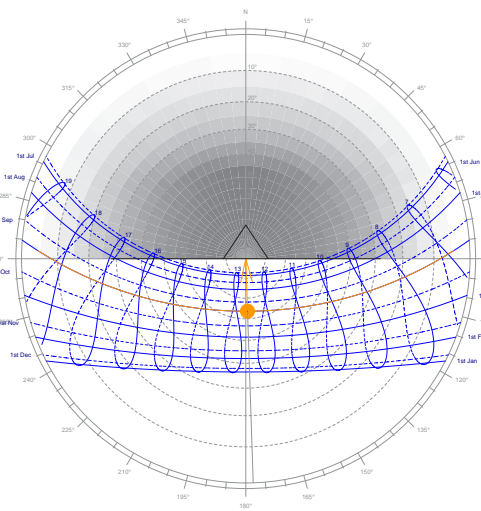
La ville elle-même dispose d'un port, d'une zone industrielle où se situe l'usine de fabrication des *Ciments du Maroc*. Aujourd'hui, la côte, les plages et les abords du fleuves sont bordés de grands hôtels touristiques, de golfs... alors que les populations locales viennent urbaniser l'intérieur des terres par des zones pavillonnaires (construction en parpaings béton)

Les bidonvilles principalement situés au Nord vers l'Atlas et sur la rive Sud de l'*Oued Souss* ont presque disparu au cours des dernières années suite à une politique de réaménagement des banlieues.

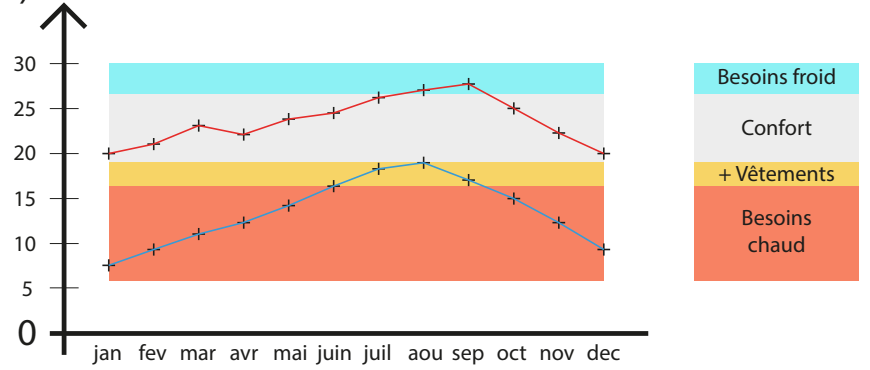
Mais l'habitat des populations locales posent encore des problèmes.

La ville d'Agadir a été fortement meurtrie par un séisme en 1960 qui a détruit la majeure partie de la ville. Aujourd'hui reconstruite quasi entièrement en béton, les populations restent marquées par cet événement. La ville est classée en zone 4 sur l'échelle de Richter.

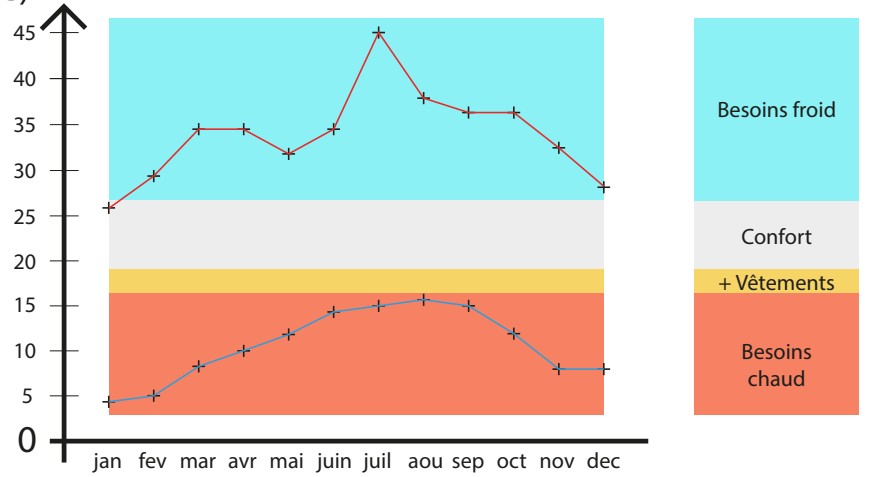




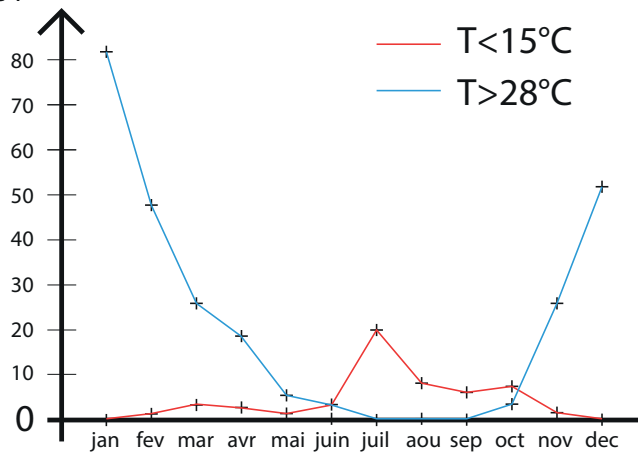
(°C) Variation des moyennes hautes et basses de température



(°C) Variation des extrêmes hauts et bas de température



Écarts de T Variation des écarts de température





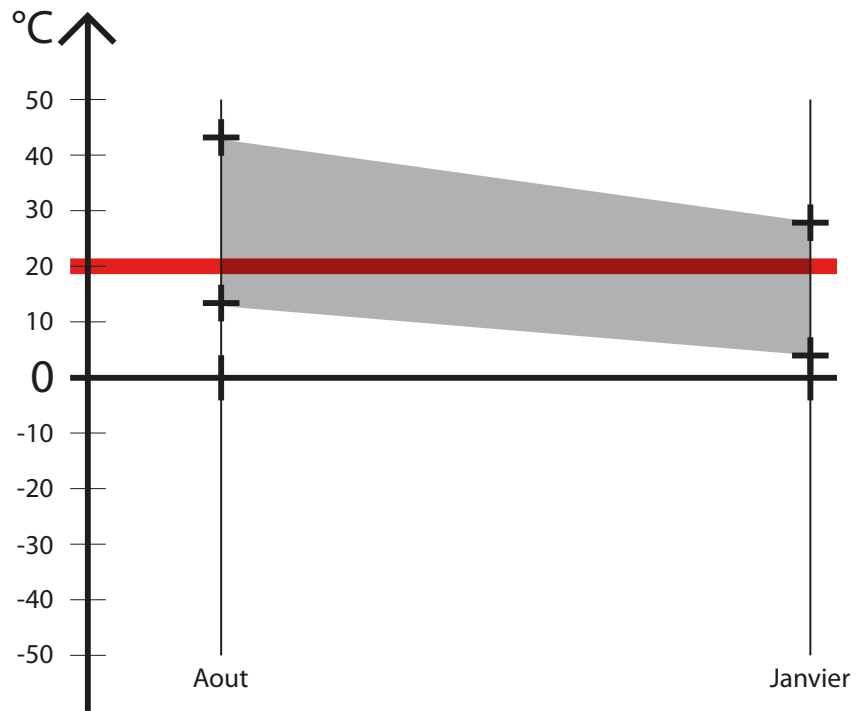
### Écarts jour/nuit

Les écarts jours/nuit sont quasi constant au cours de l'année. La température diminue entre l'été et l'hiver mais reste au moyenne à 20°C sur l'année.

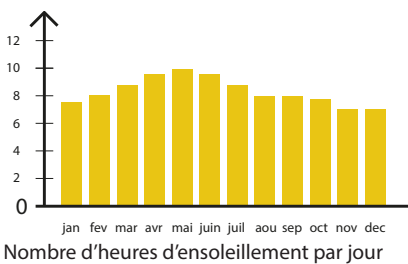
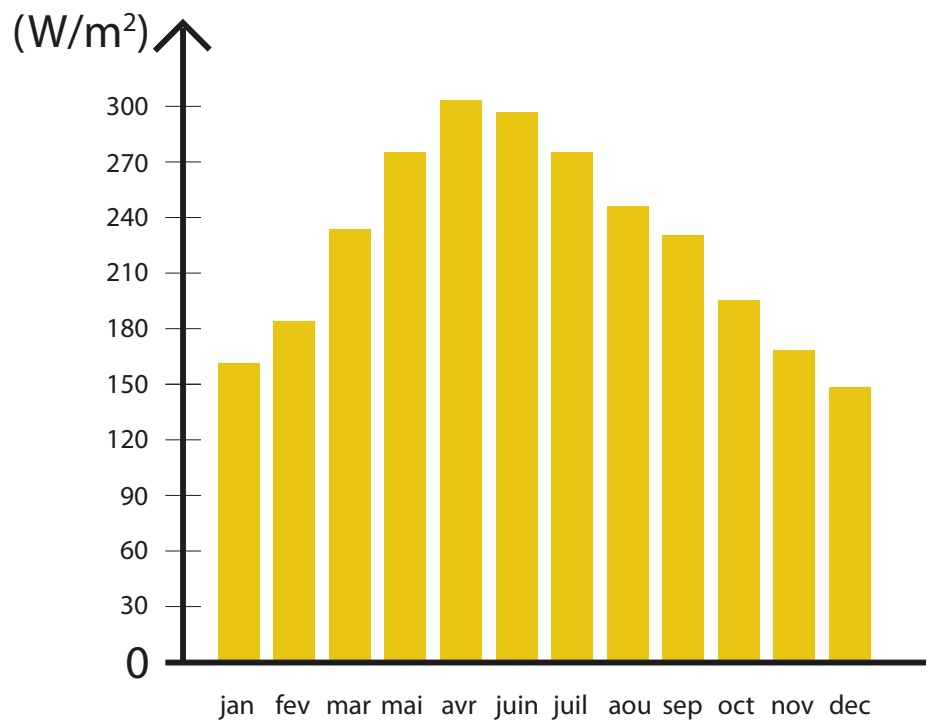
Pendant la journée, les températures restent dans une zone de confort (On estime une zone de confort entre 15°C et 28°C)

C'est seulement la nuit qu'elle redescend, notamment en hiver. Les extrêmes de température sont ponctuelles, surtout en journée lorsque les vents du désert remontent dans la région. Cela dure entre 2 et 5 jours.

## Profil des températures

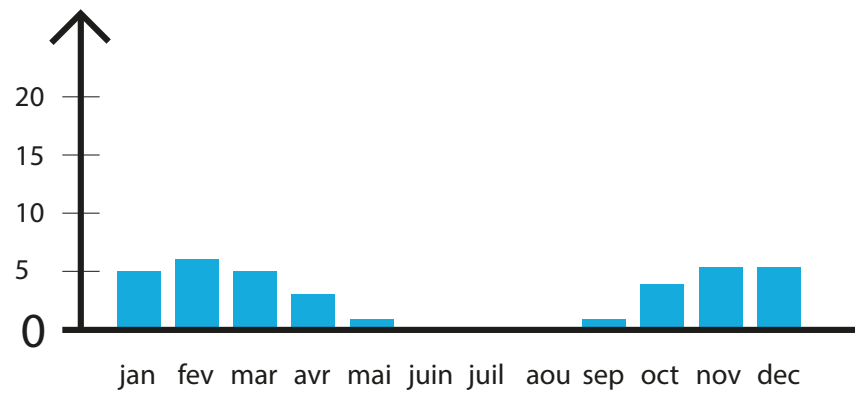


## Moyenne mensuelle du rayonnement solaire

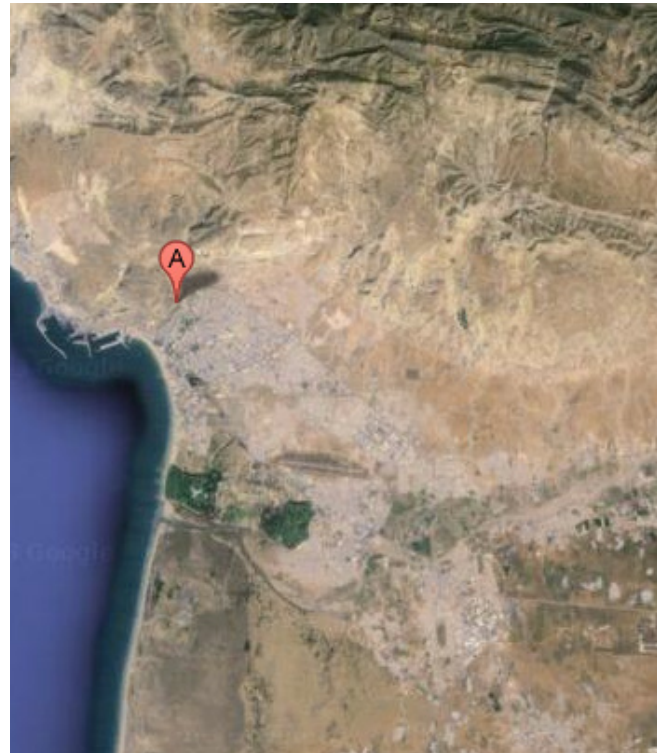


Nombre d'heures d'ensoleillement par jour

(jours) Nombre de jours de pluie par mois



Hiver



Eté

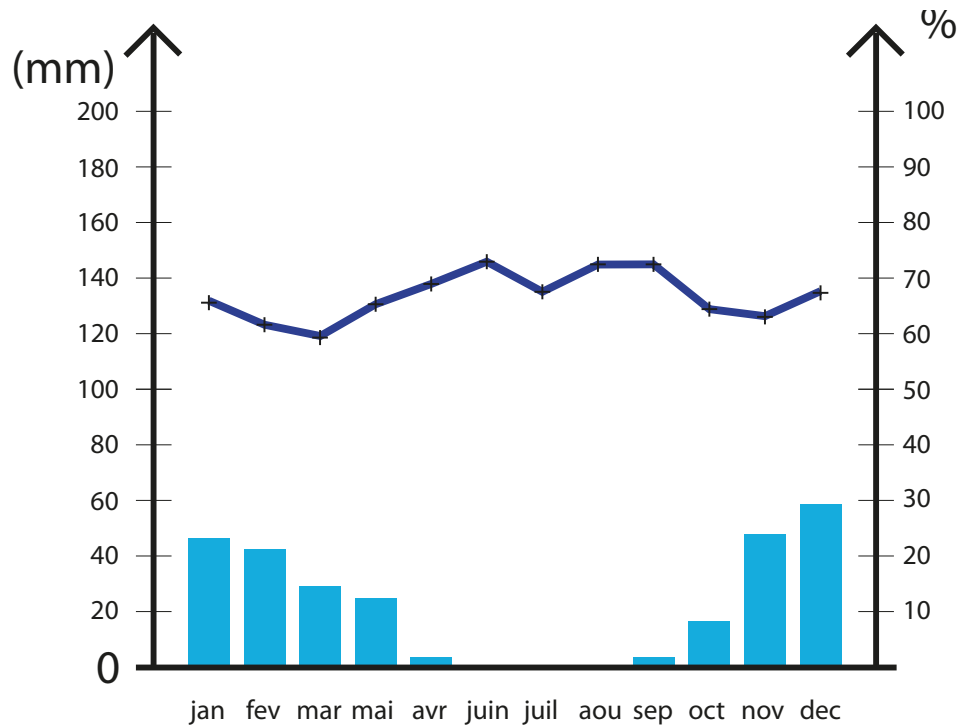
# Precipitations et humidite relative

## Peu de pluie

La région reçoit peu de pluie et l'humidité ne varie pas. L'eau est un problème pour la région car pendant la période de sécheresse, la seule source d'eau pourrait être le fleuve Oued Sous qui devient sec par endroit.

Le long du fleuve, des barrages viennent retenir de l'eau pour l'agriculture et les réserves d'eau potable.

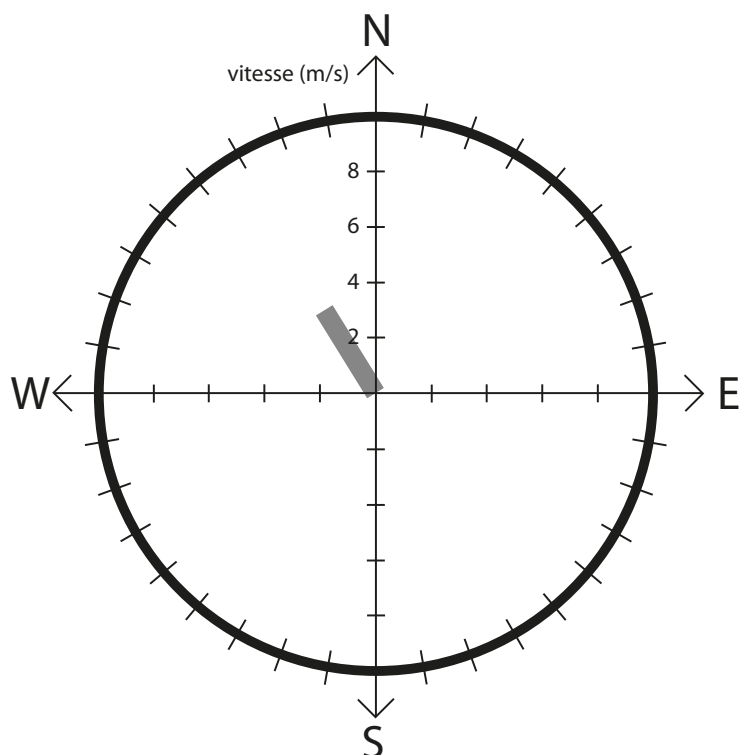
Pour les besoins en irrigations des jardins et logements, on s'alimentera sur les bassins de rétention d'eau du fleuve.



## Les alizés océaniques

La région est surtout balayée par les alizés de l'océan atlantique. Ils sont relativement constants sur l'année avec une vitesse moyenne de 3m/s

# Vents dominants





# Concept

Ressources  
Stratégies  
Usages

## Matériaux



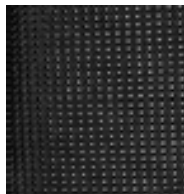
**Ciment** *Ciments du Maroc.* Usine située au nord d'Agadir près du port. Bien que la fabrication du ciment ait un fort impact sur les rejets de CO2 et nécessite beaucoup d'énergie, la production de ce matériau est locale et ne nécessite pas de transport.  
Propriétés physiques intéressantes : Inertie, résistance aux séismes (béton armé), préfabrication



**Terre**  
La construction en terre est propre à un grand nombre de pays méditerranéens comme le Maroc, mais aussi très présente dans le désert. Il peut être à la fois structurel et décoratif selon sa mise en oeuvre.  
Propriétés physiques intéressantes : Inertie, production locale, mise en oeuvre facile et rapide, culture locale, recyclable, réutilisable.

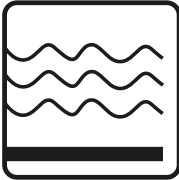
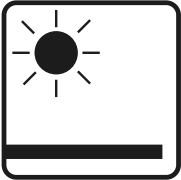


**Bois**  
La production de bois est assez faible dans la région d'Agadir mais pas inexistante. Dans les zones agricoles, des arbres sont plantés pour protéger les cultures du soleil. On peut envisager une utilisation mesurée de ce matériau.  
Propriétés physiques intéressantes : construction sèche, assemblages rapides, production locale, recyclable, réutilisable



**Textile**  
La fabrication de textile peut être une industrie locale. L'utilisation de textile est souvent employée dans les constructions nomades dans le désert et pour isoler des espaces sans bloquer la ventilation naturelle.  
Propriétés physiques intéressantes : laisse passer l'air (ventilation naturelle), lumière diffuse

# Ressources



## Energie et climat

Soleil - 226W/m2 moyen

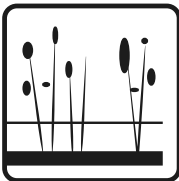
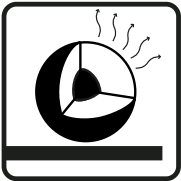
Vent - 10 - 40km/h

Sol à 10°C à 4m de profondeur

Solaire

Eolien

Puit provensal



## Ressources vitales

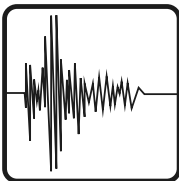
Eau de pluie - 250 mm / an

Eau de mer - Dessalination

Sols fertiles - Agriculture / Ressources alimentaires

Eau potable / Eau courante /  
Irrigation des jardins potagers

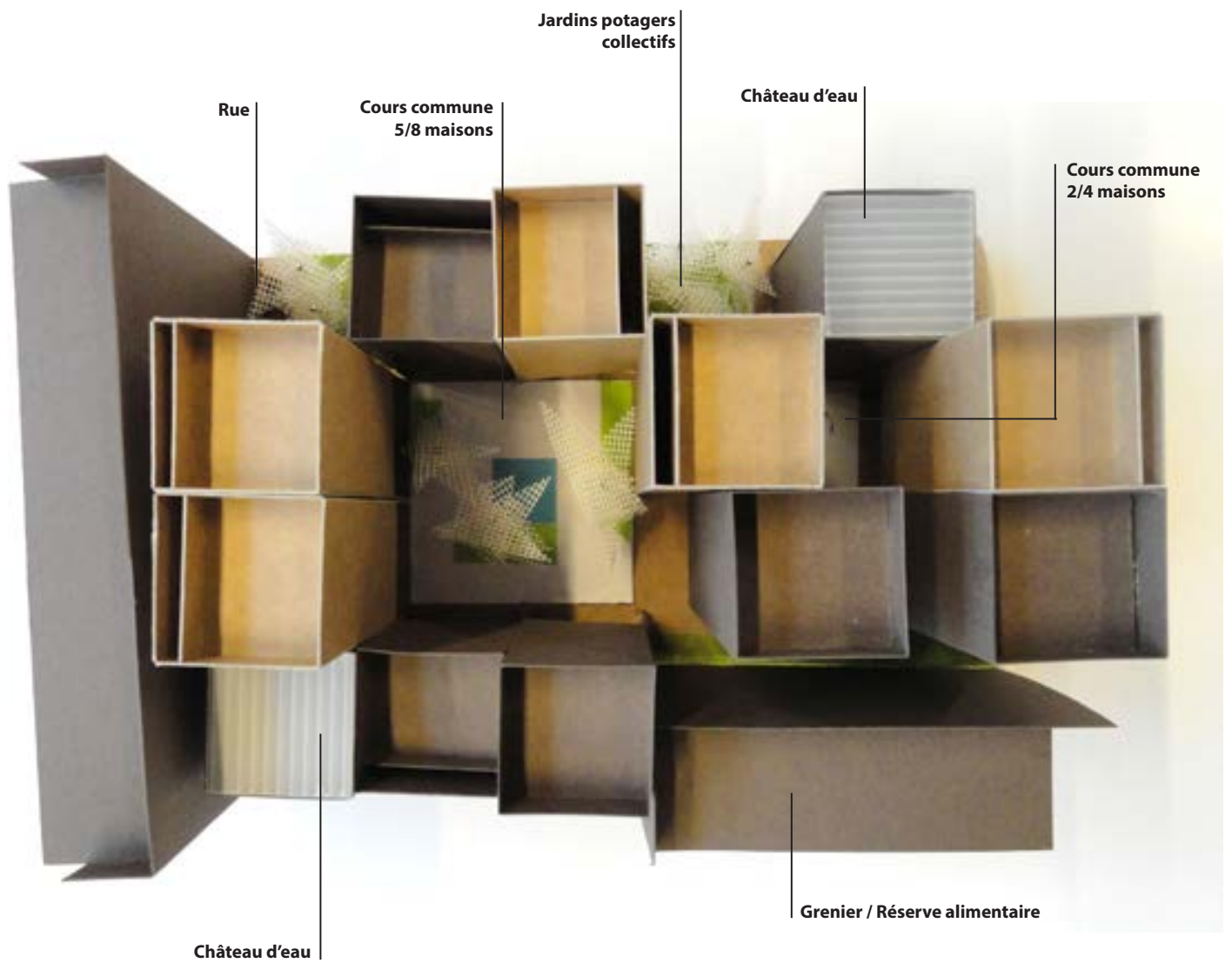
Eau potable / Eau courante /  
Irrigation des jardins potagers



## Contraintes majeures

Séismes - Zone 4

Extrêmes de températures - +49°C / 5°C



### Se protéger du soleil

La hauteur et les épaisseurs des murs en terre forment une protection maximale contre le rayonnement solaire et les fortes températures.



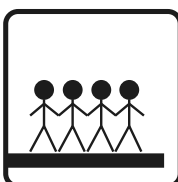


# Stratégies



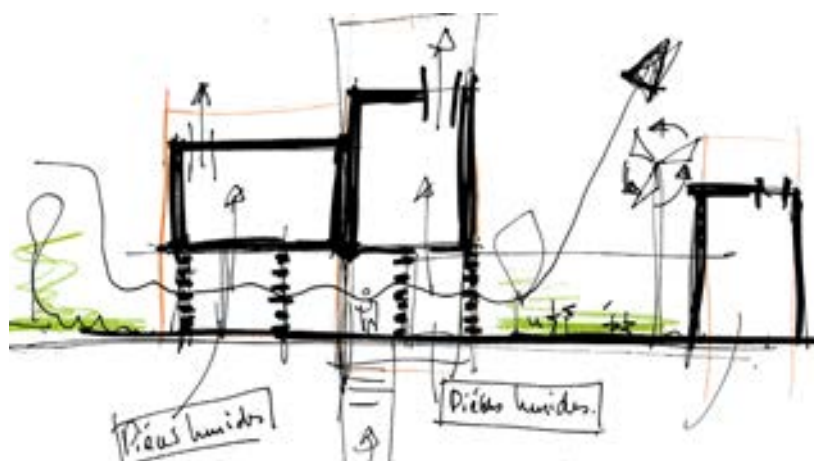
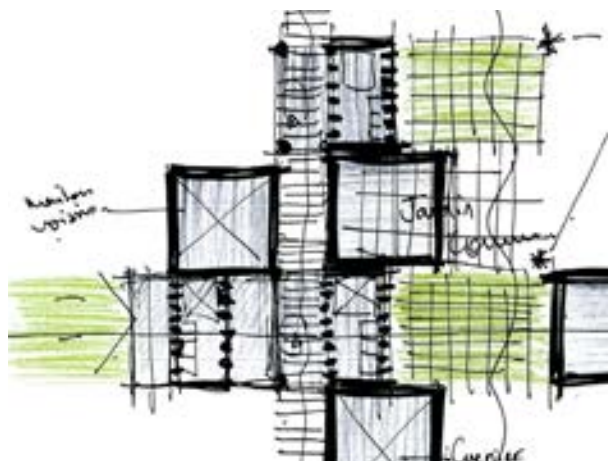
## Densité et mutualisation des ressources

Une manière de se protéger du soleil et des écarts de température est de créer de la densité. Au lieu de penser à une unité d'habitation, ce sont des regroupements d'habitats qui fabriquent au fur et à mesure des extensions et des mutations, un tissu urbain dense et compact.



La hauteur permet de se protéger du soleil. Les places communes forment des vides qui laissent entrer le soleil, la lumière naturelle et la ventilation naturelle dans les maisons.

Les fonctions de la ville et les réseaux des ressources vitales sont mutualisés. Ainsi, l'eau, les nourritures, les jardins potagers, les places, l'électricité... sont aussi des modules entre les maisons et recréent une mixité à l'échelle d'un petit quartier.



### Chaque fonction sa forme

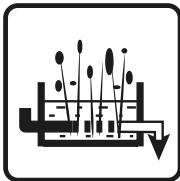
La distinction des différents usages de la maison fabrique un tissu urbain.



## La mutualisation des ressources

Eau

Module de 4x4m par 7m de haut.



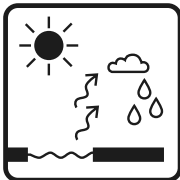
Jardins potagers

Insérés entre les maisons, ils forment des vides et de l'air. Ils apportent aux habitants la majeure partie de leur alimentation.



Grenier

Un grenier est un volume de stockage des denrées alimentaires pour un nombre de maison limité (selon la taille du grenier) Il permet de laisser les habitants gérer leur stock avec leur jardin.



Cours communes

Les espaces de vie communs de la ville sont rafraichis par évapocondensation. Un bassin d'eau au centre de la place (dalle de béton non jointée ) bordée d'arbres permet d'apporter un peu de fraîcheur et d'ombrage en été pendant les sécheresses. En hiver le soleil vient réchauffer les dalles de béton.

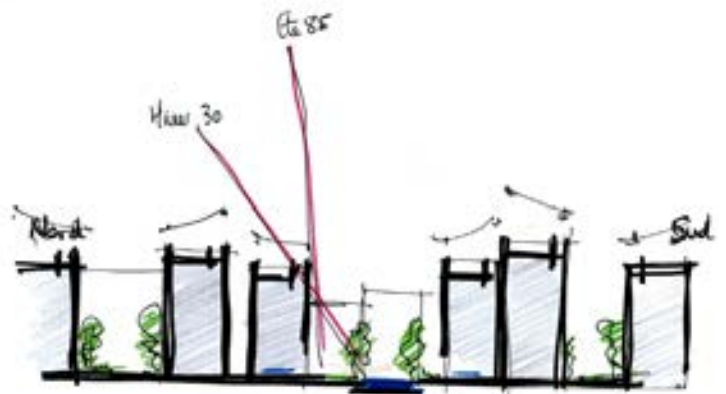
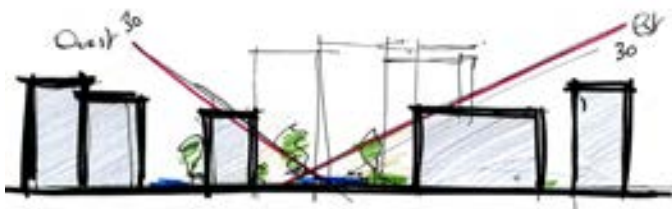


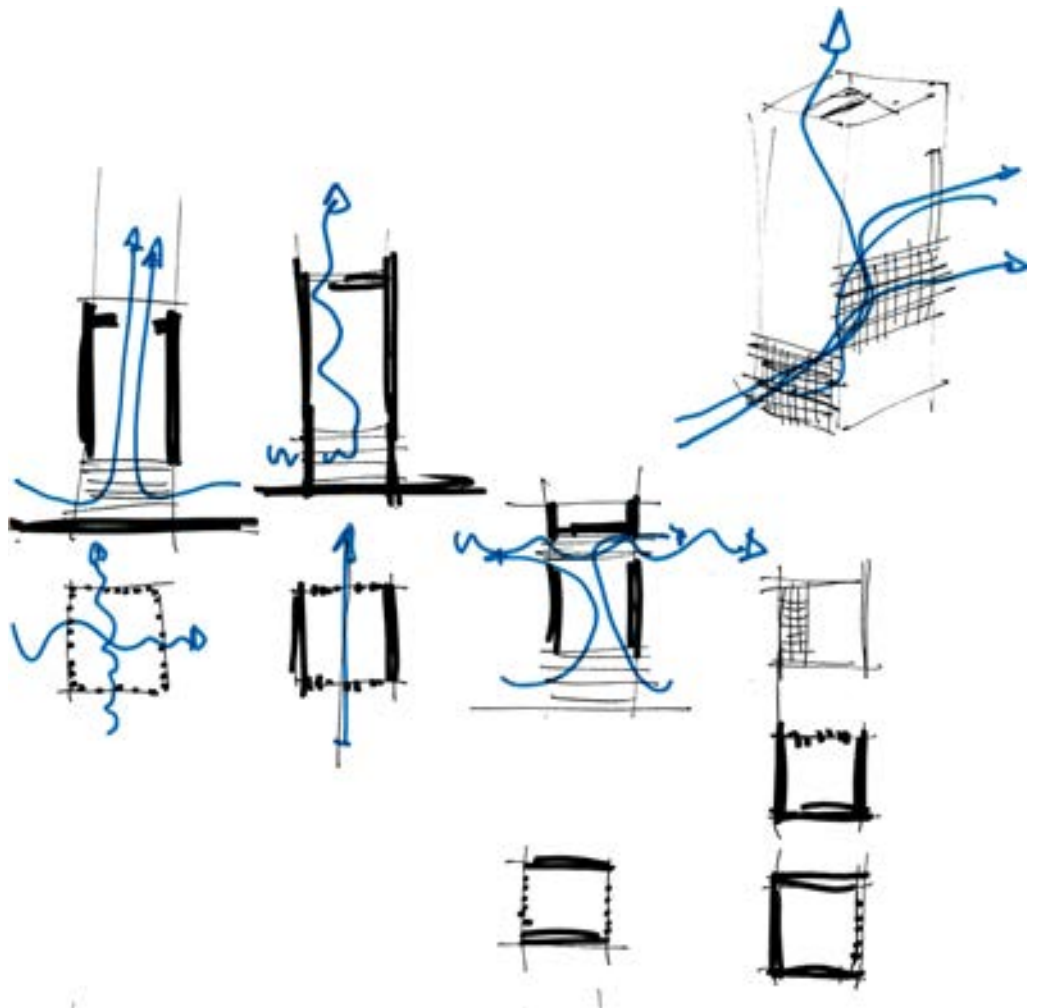
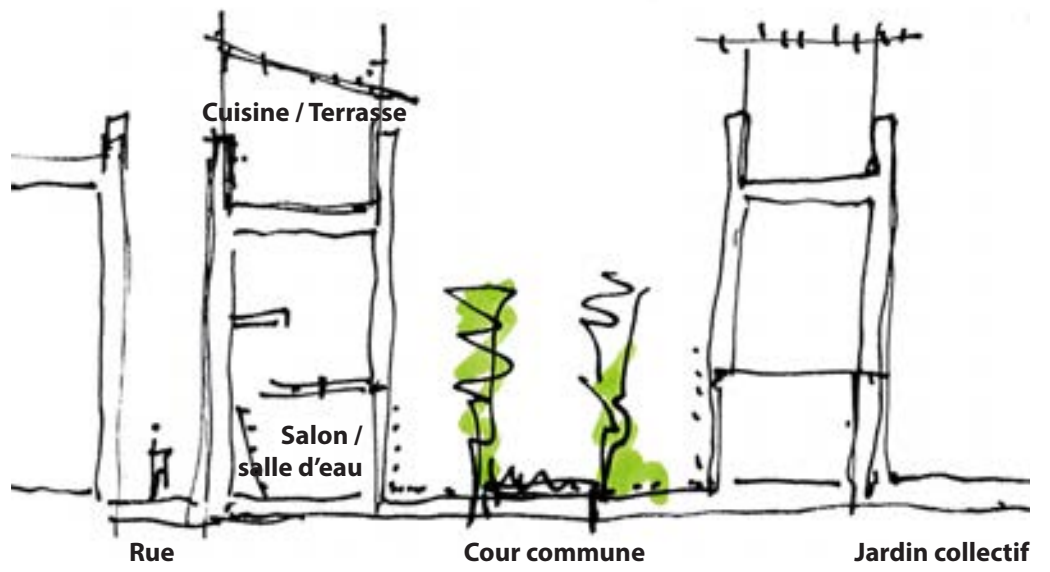
## Orientation

La hauteur des modules varie en fonction des orientations. Afin de profiter du soleil plus doux de l'Est et l'Ouest, les modules dans ces directions mesurent entre 5 et 7m de haut pour laisser rentrer un maximum de soleil direct le matin et le soir lorsque les conditions sont très agréables.

A l'inverse, les modules dans la direction Nord-Sud sont plus hauts pour se protéger du soleil presque vertical au Sud ( $85^\circ$ ).

La variation de ses hauteurs permet de conjuguer différentes tailles de maisons, les greniers, chateaux d'eau avec les vides formées par les jardins collectifs et les cours communes.







### Principe de ventilation naturelle des villes du désert

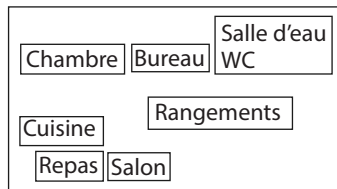
Les rues se développent sous les maisons et sont ventilées par des cheminées qui apportent un peu de lumière diffuse.

## Stratégie d'usages

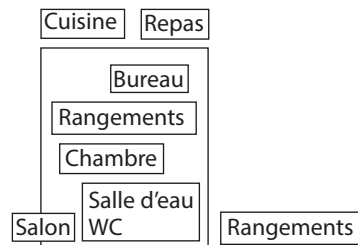
La température extérieure est dans une zone de confort une majeure partie de l'année. Afin donc d'éviter les variations internes, la cuisine est installée en toiture, directement à l'extérieur pour éviter l'apport de chaleur. En hiver, pendant les journées les plus fraîches, les habitants peuvent utiliser un coin cuisiner qui crée alors un apport de chaleur au sol.

La salle de bain (point d'eau, froid) reste au rez-de chaussée de la maison pour rafraîchir l'air entrant.

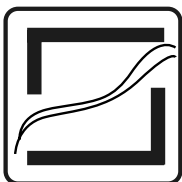
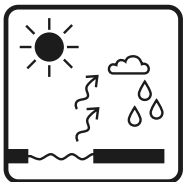
Le reste des usages est répartie sur les différentes hauteurs.



Habitat traditionnel occidental



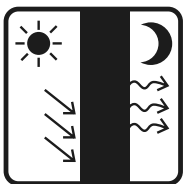
Proposition projet



## De la tour à vent à l'effet cheminée

Pour garder une atmosphère confortable, la maison est conçue pour se protéger des extrêmes de températures avec des murs en terre de 50cm. Sa forme en hauteur permet par un jeu d'ouvertures d'évacuer les surplus de chaleur.

Le principe est simple. Une grande ouverture au rez-de chaussée, donnant sur la cour centrale fait rentrer de l'air rafraîchi par un bassin d'eau et la salle de bain. L'air est naturellement ventilée par une grande cheminée en toiture, mais aussi par des ouvertures ponctuelles sur les façades nord et sud.



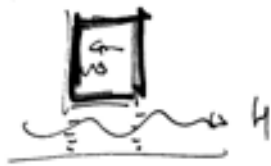
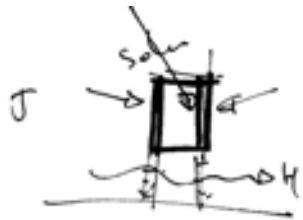
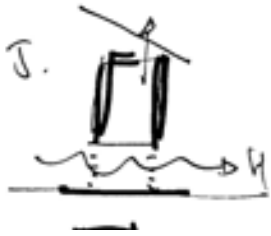
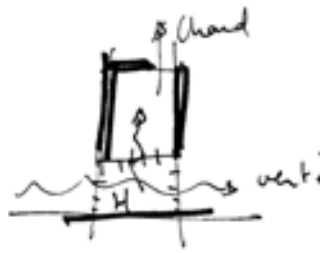
## Déphasage et l'écart jour/nuit

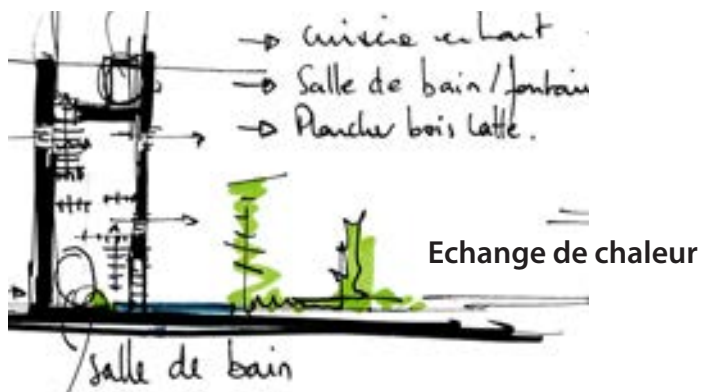
Pour compenser les écarts jour/nuit, l'épaisseur de terre rediffuse la chaleur accumulée en journée pour réchauffer l'intérieur lorsque la température chute la nuit.



## Mixité des matériaux de construction : une réponse au problème sismique

La construction en terre n'a pas de résistance face aux problèmes sismiques. L'épaisseur des murs est constituée d'un mélange de terre et de béton armé. L'utilisation de ce dernier permet de renforcer les points faibles de la construction.

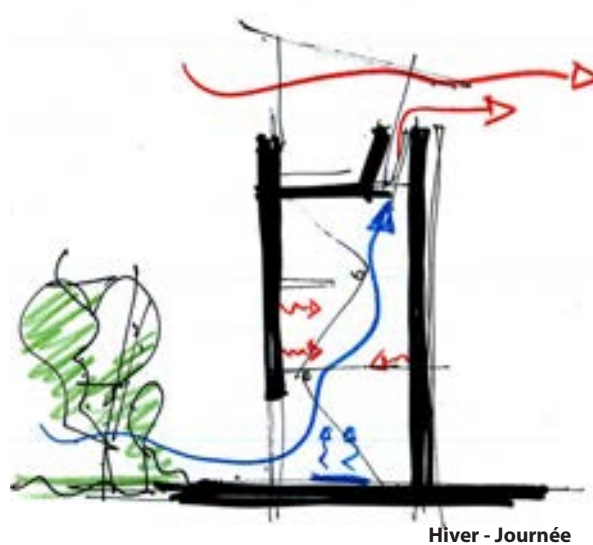
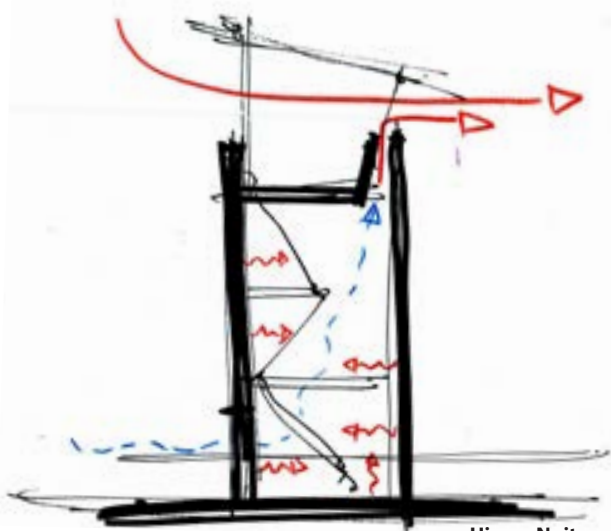




### Hiver, diffusion de chaleur

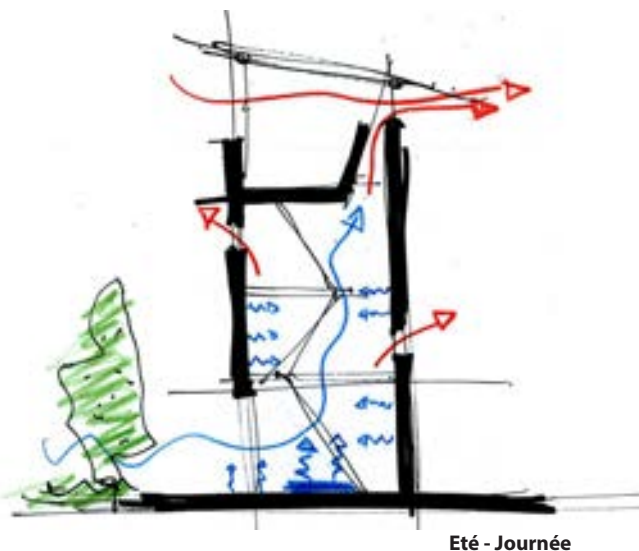
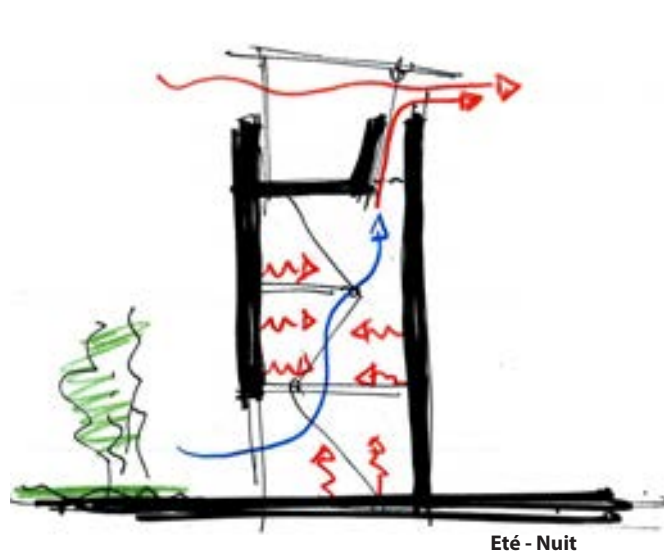
Les besoins en chaud sont plus importants que les besoins en froid. La diffusion de la chaleur de la journée par les murs de terre permet de remonter la température intérieure.

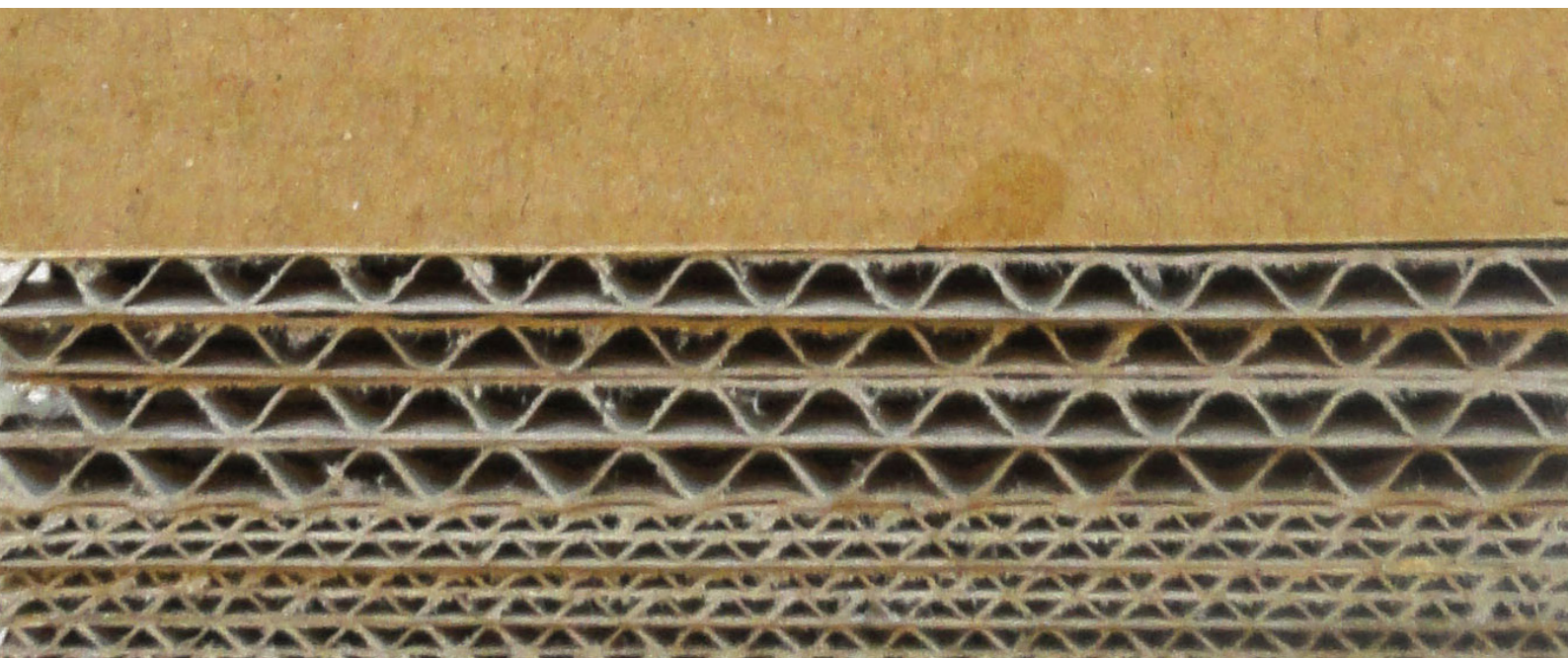
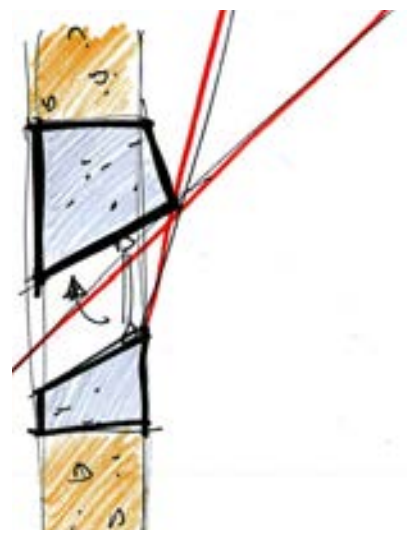
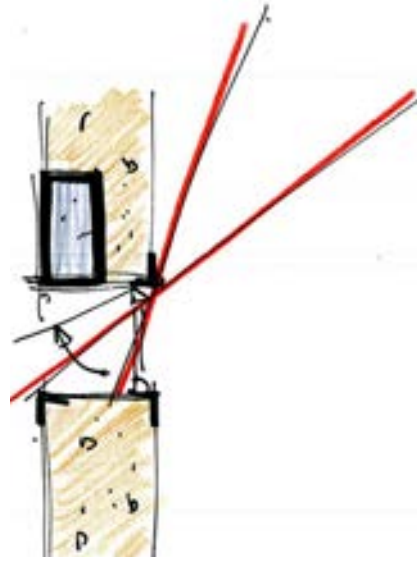
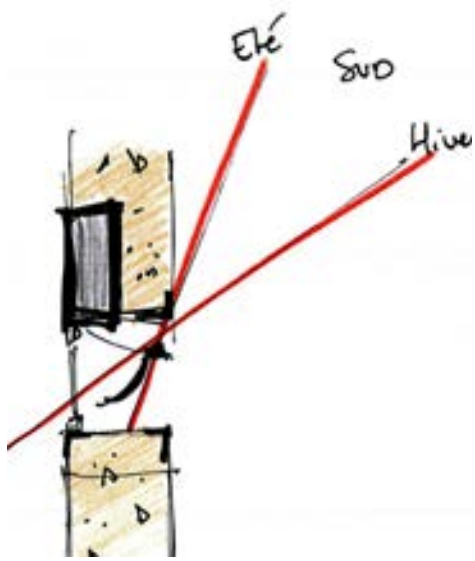
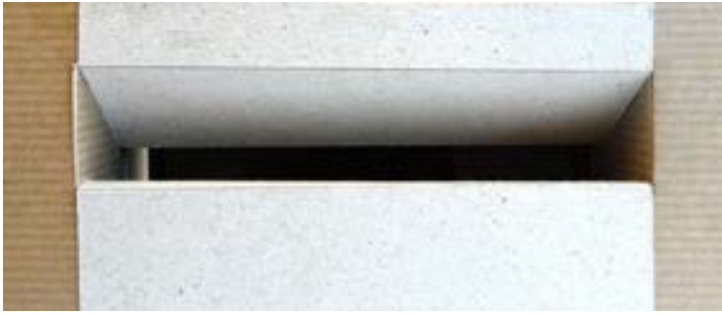
Lorsque le déphasage thermique des parois ne suffit pas. Il faudra compenser par un apport d'énergie. Vu les apports solaires, un stockage de chaleur sous forme d'eau chaude avec des panneaux solaire thermique paraît être une bonne stratégie.



### Été, rafraîchissement par évapo condensation

Les besoins de froid sont faibles. Les pics de chaleur sont compensés par une rediffusion de la fraîcheur de la nuit. L'air de la ventilation naturelle est rafraîchi par un bassin d'eau froide dans le sol du rez-de-chaussée.

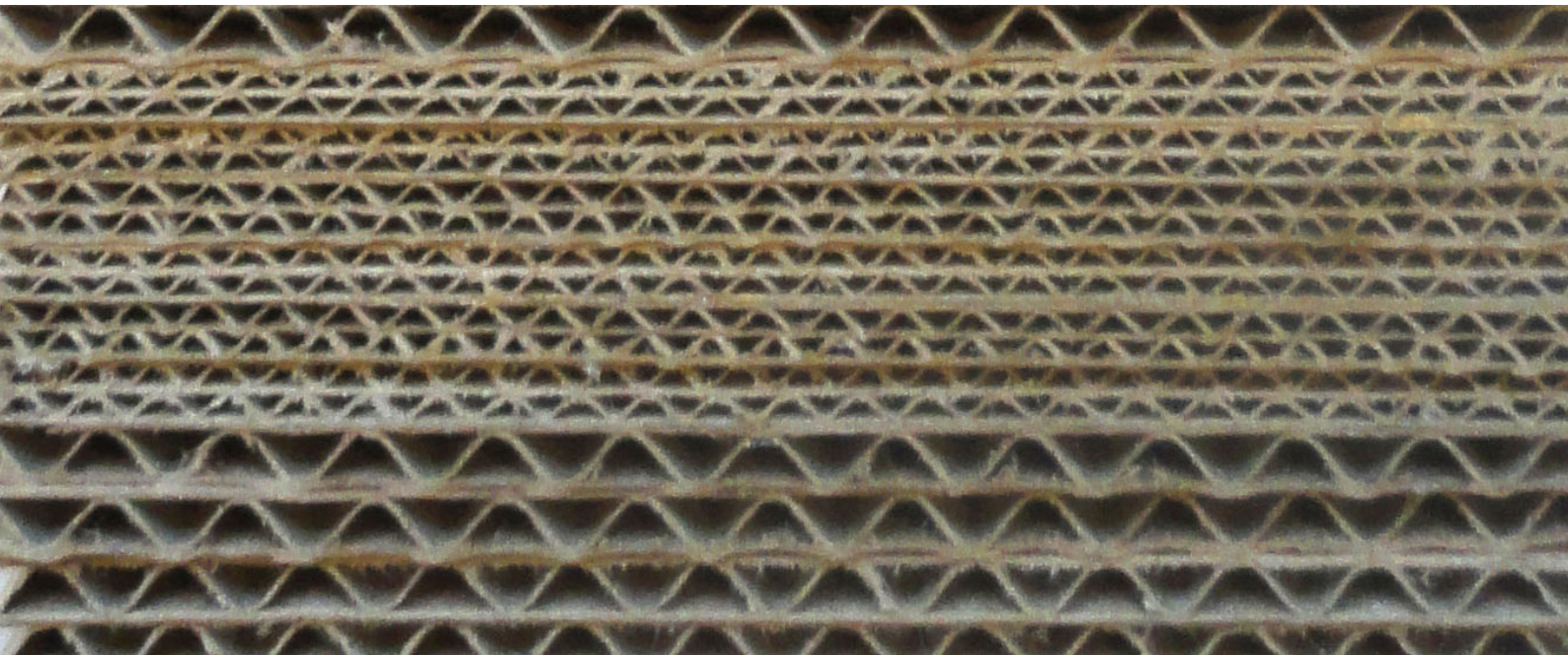
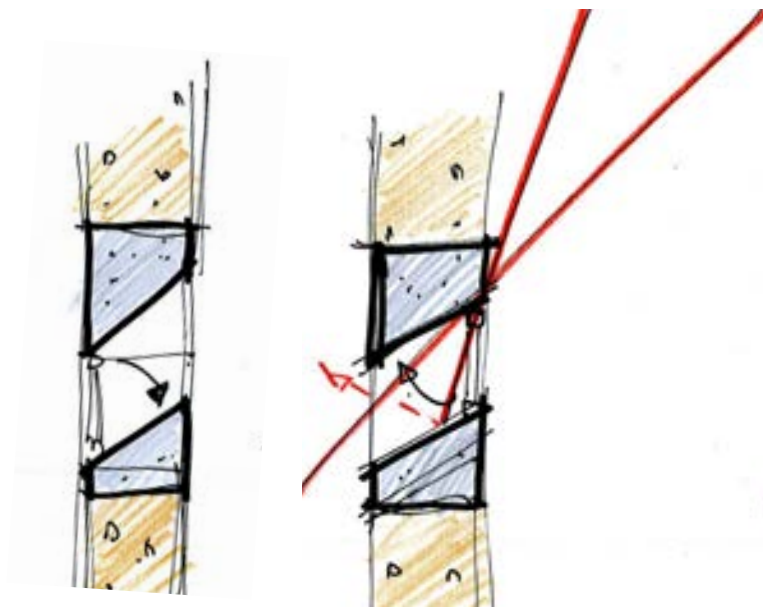


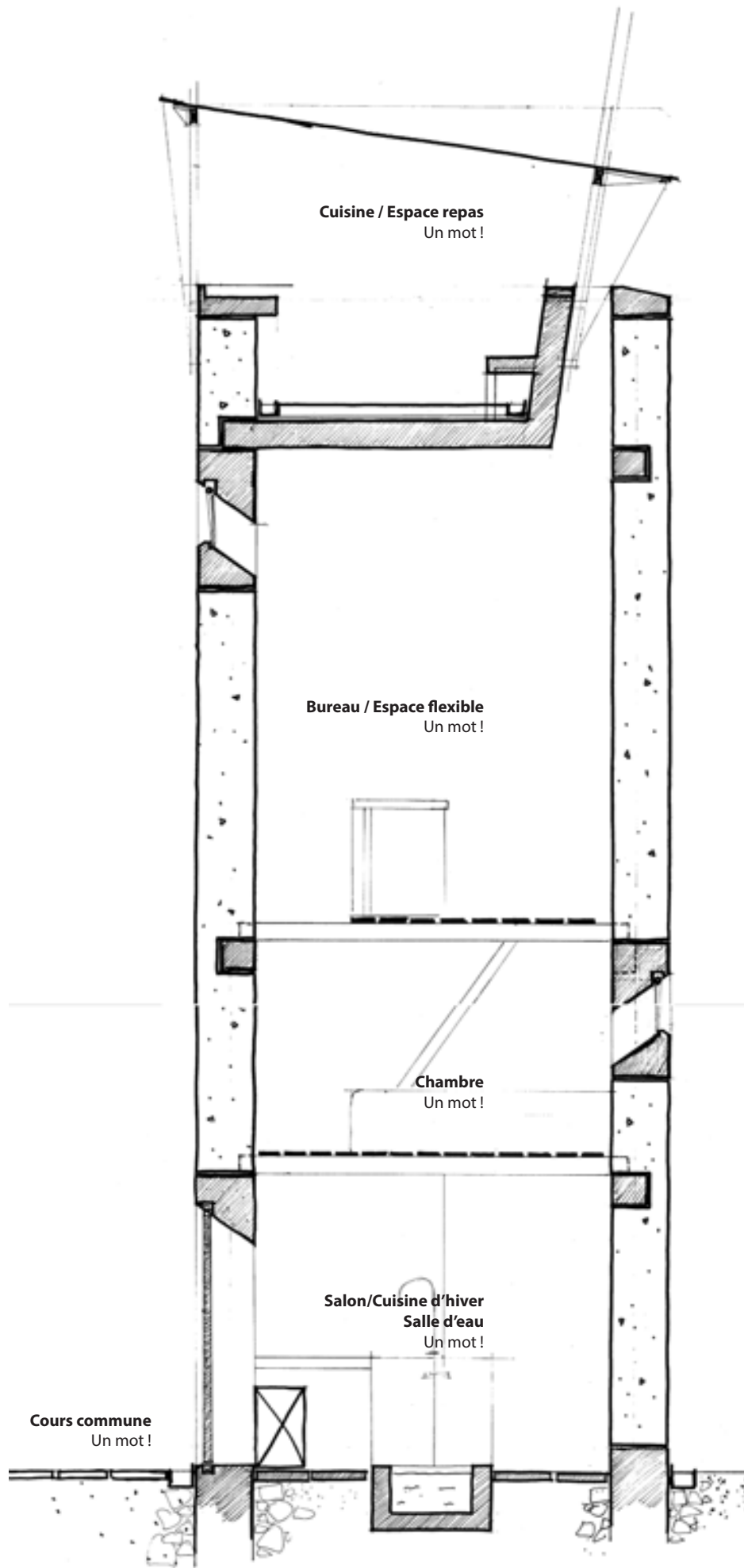




## Eclairage naturelle et ventilation

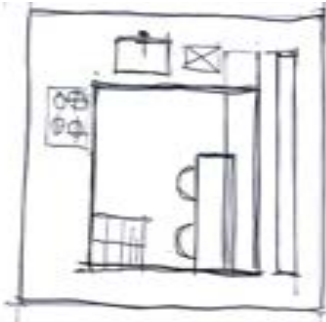
Les entrées de lumière naturelle doivent permettre d'éclairer un maximum, notamment en hiver et pendant les saisons intermédiaires. Mais se protéger un maximum des rayons directs en été lorsque le soleil commence à monter. Pour cela, la forme des ouvertures suit l'angle du soleil et permet d'avoir du soleil direct d'octobre à avril. Le reste de l'année, la lumière est reflétée sur la surface inclinée pour être rediffusée à l'intérieur. La fenêtre est ouverte dès que la température extérieure monte. L'air chaud est ventilé. Lorsqu'il fait plus frais, la fenêtre est fermée : la chaleur est conservée et renforcée par l'effet du soleil sur le vitrage.





# Usages

## A chaque usage, sa hauteur



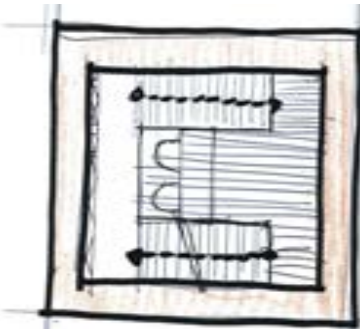
La surface intérieure au sol est un carré de 9m<sup>2</sup>.

### **Le toit : La cuisine et les repas en famille**

La cuisine est une source de chaleur. Elle est donc installée en toiture pour la majeure partie de l'année. Les rebords des allèges en béton forment le plan de travail de la cuisine. On peut donc cuisiner avec vue sur la ville.

On s'installe sur un banc fabriqué par l'inclinaison de la cheminée.

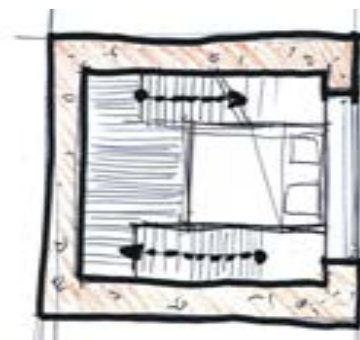
Une toile est tendue pour se protéger des radiations du soleil direct.



### **La hauteur : Flexibilité et s'accaparer l'espace**

La double hauteur permet de conserver les surplus de chaleur sans gêner les espaces en dessous.

Elle permet aussi de pouvoir rajouter une pièce, un lit pour un enfant, un espace de travail, une bibliothèque...



### **Entre-deux : Se reposer et dormir**

Le lit est placé entre les deux escaliers dans les étages. La hauteur sous plafond est plus faible. On a un espace repos isolé des parties communes.



### **Le sol : La vie collective / le refuge des soirs d'hiver**

Le rez de chaussée est la continuité de la cour commune. Au milieu des dalles non jointées du sol, le bassin d'eau permet de rafraîchir l'air. Les usages s'organisent autour de celui-ci : salle d'eau, cuisine d'hiver, salon...





# Matériaux

Descriptif et propriétés physiques recherchées

Assemblages et détails

Alternatives et comparaisons



### **Béton armé standard**

Energie grise (kWh/m <sup>3</sup> )	850
Volume (m <sup>3</sup> )	22
Energie grise totale (kWh)	<b>18 700</b>

### **Terre crue / Pisé**

Energie grise (kWh/m <sup>3</sup> )	0.5
Volume (m <sup>3</sup> )	45
Energie grise totale (kWh)	<b>22.5</b>

### **Bois**

Energie grise (kWh/m <sup>3</sup> )	150
Volume (m <sup>3</sup> )	1
Energie grise totale (kWh)	<b>150</b>

### **Textile**

Energie grise (kWh/m <sup>2</sup> )	53
Volume (m <sup>2</sup> )	16
Energie grise totale (kWh)	<b>848</b>

**Total Energie Grise : 19 700 kWh**

# Descriptif

## Propriétés physiques recherchées



### Béton armé standard

<b>Epaisseur (m)</b>	0.2 / 0.32
<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>	2.3
<b>Ri (E/<math>\lambda</math>)</b>	0.217
<b>U (W/m<sup>2</sup>)</b>	4.6

**Fonction** : résistance aux séismes.

**Interface** : terre crue

**Assemblage** : préfabriqué, posé sur site

**Propriétés physiques recherchés** : dur et compact. résistance à la compression/traction/flexion



### Terre crue / Pisé

<b>Epaisseur (m)</b>	0.32
<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>	1.1
<b>Ri (E/<math>\lambda</math>)</b>	0.455
<b>U (W/m<sup>2</sup>)</b>	2.2
<b>Diffusivité <math>th a</math> (m<sup>2</sup>/h)</b>	$1.4 \cdot 10^{-3}$

**Fonction** : déphasage thermique 12h, se protéger du soleil

**Interface** : béton armé

**Assemblage** : coffré sur site

**Propriétés physiques recherchés** : compact, diffusivité thermique

#### Déphasage thermique

déphasage = épaisseur / célérité

où  $c =$

avec  $T$ , oscillation de la température extérieure en h

$a$ , coefficient de diffusion thermique

Pour un déphasage de 12h en terre crue, il faut un mur entre 35 et 45 cm.



### Bois

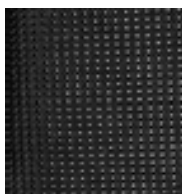
<b>Epaisseur (m)</b>	0.03
<b><math>\lambda</math> (W/m.K)</b>	0.18
<b>Ri (E/<math>\lambda</math>)</b>	0.002
<b>U (W/m<sup>2</sup>)</b>	600

**Fonction** : structure intérieure

**Interface** : béton armé, terre, bois

**Assemblage** : posé sur les linteaux béton ou encastré dans la terre

**Propriétés physiques recherchés** : rigide



### Textile recyclé

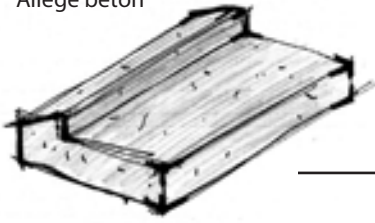
**Fonction** : se protéger du soleil direct

**Interface** : bois

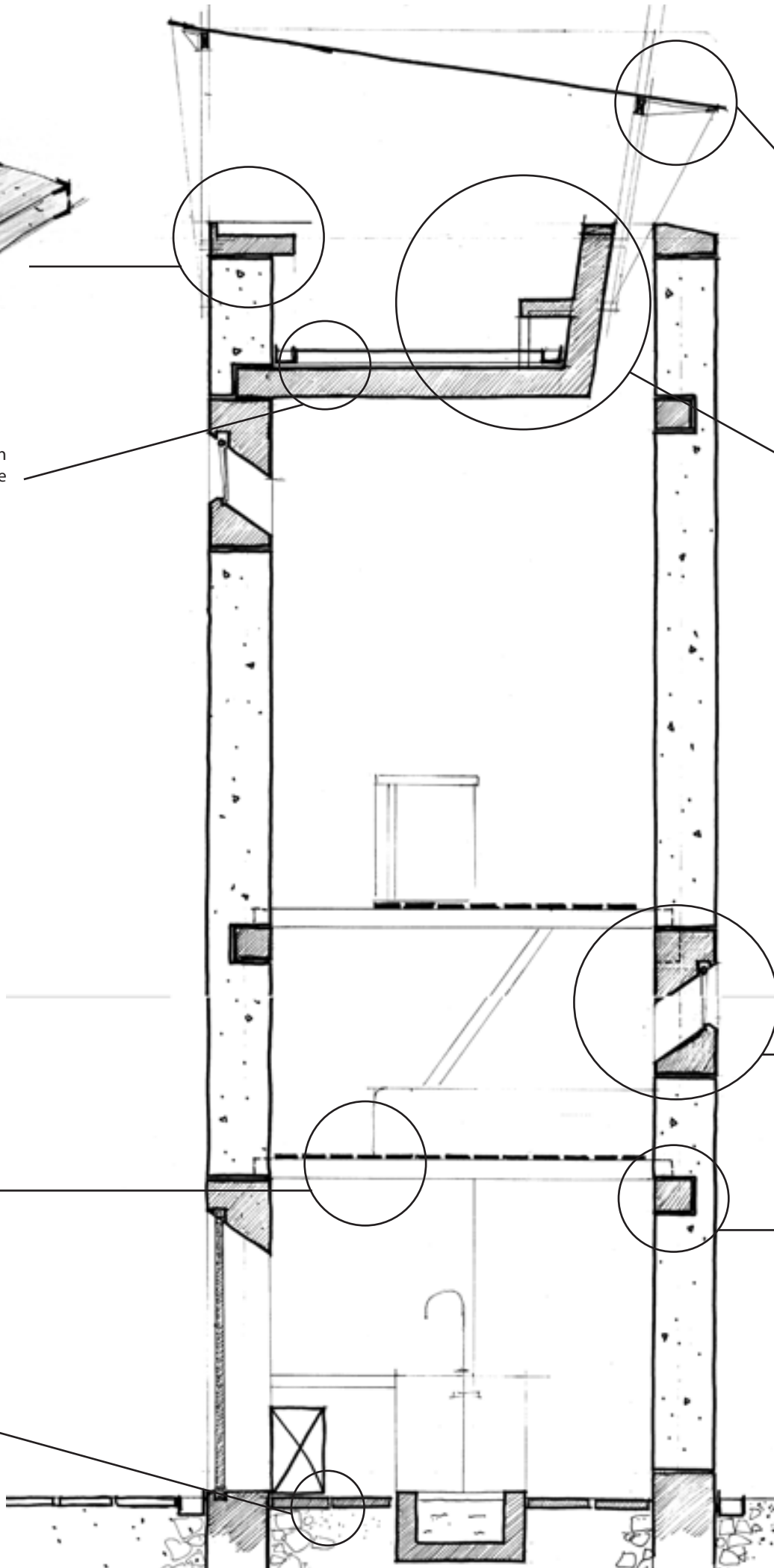
**Assemblage** : fixé sur une structure bois

**Propriétés physiques recherchés** : extensible, souple

Allège béton



Chape béton  
récupération eaux de pluie



Plancher bois



Dalle en béton recyclé

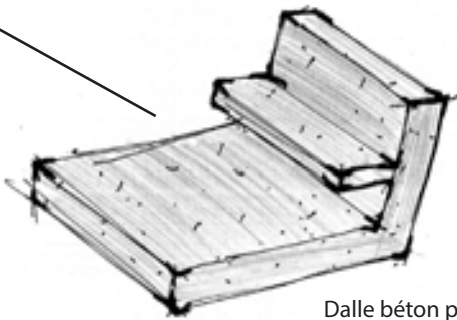




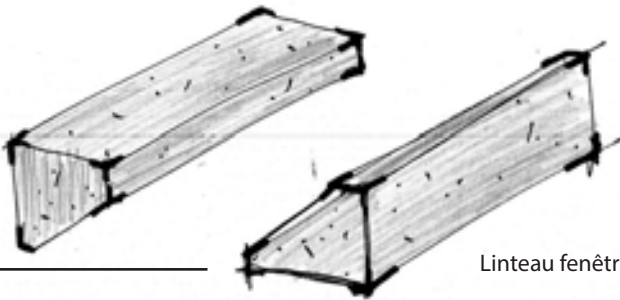
# Assemblage et détails



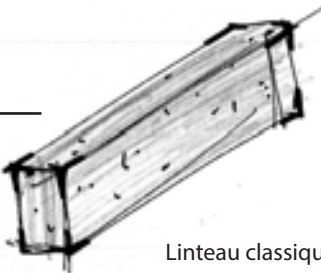
Toile textile tendu sur structure bois



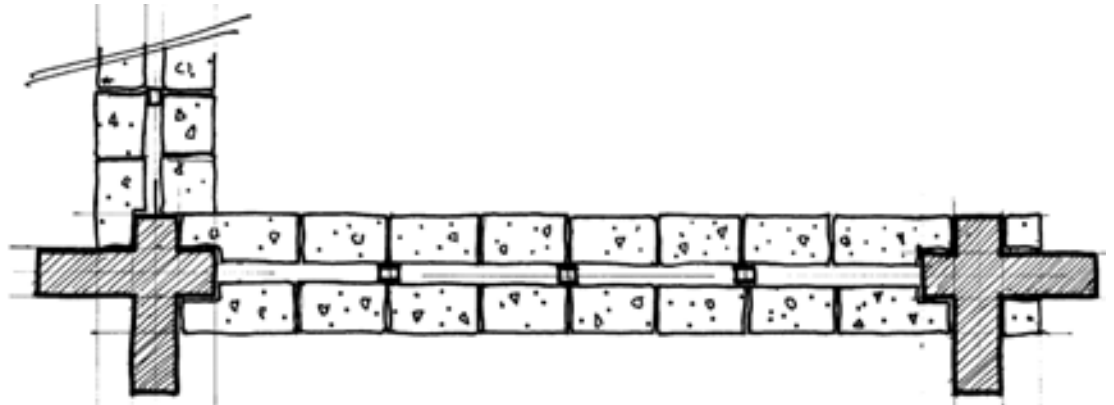
Dalle béton préfabriquée



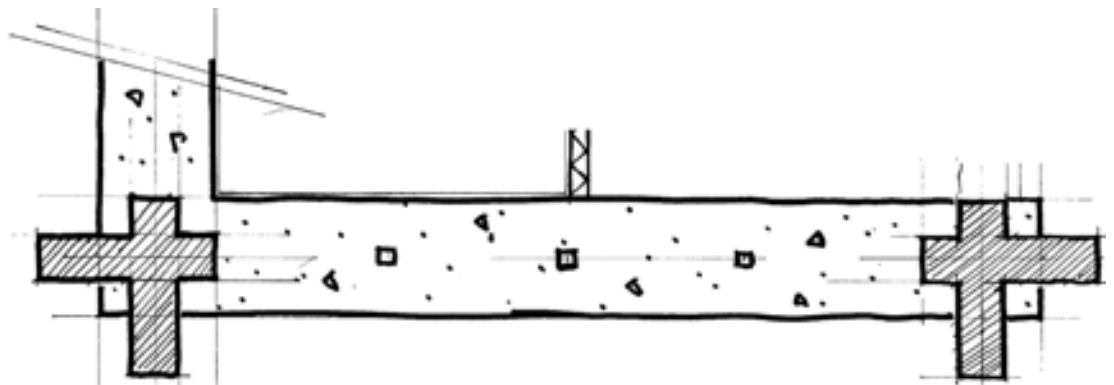
Linteau fenêtre



Linteau classique



Mur de brique en terre cru avec armatures métalliques



Mur en pisé sans armature métallique



# Alternatives



## Terre crue / Pisé

### Brique terre cuite

Diffusivité th a (m<sup>2</sup>/h)

1.4.10<sup>-3</sup>

**Fonction** : déphasage thermique 12h, se protéger du soleil

**Déphasage thermique 12h :**

Epaisseur = 12 x célérité = 12 x 0.029 = **0.35m**

Soit un volume total de 49m<sup>3</sup> + 4m<sup>3</sup>

### Brique de structure

Diffusivité th a (m<sup>2</sup>/h)

2.02.10<sup>-3</sup>

**Fonction** : déphasage thermique 12h, se protéger du soleil

**Déphasage thermique 12h :**

Epaisseur = 12 x célérité = 12 x 0.032 = **0.39m**

Soit un volume total de 55m<sup>3</sup> + 10m<sup>3</sup>

### Terre/Paille

Diffusivité th a (m<sup>2</sup>/h)

0.81.10<sup>-3</sup>

**Fonction** : déphasage thermique 12h, se protéger du soleil

**Déphasage thermique 12h :**

Epaisseur = 12 x célérité = 12 x 0.020 = **0.24m**

Soit un volume total de 33.7m<sup>3</sup> - 11.7m<sup>3</sup>

### Brique terre crue

Diffusivité th a (m<sup>2</sup>/h)

0.9.10<sup>-3</sup>

**Fonction** : déphasage thermique 12h, se protéger du soleil

**Déphasage thermique 12h :**

Epaisseur = 12 x célérité = 12 x 0.0219 = **0.26m**

Soit un volume total de 37m<sup>3</sup> - 8m<sup>3</sup>



## Béton armé

### Armatures métalliques

**Fonction** : apporte de la rigidité à la structure lors d'un séisme

### Bambou

**Fonction** : apporte de la rigidité à la structure lors d'un séisme



# Energie

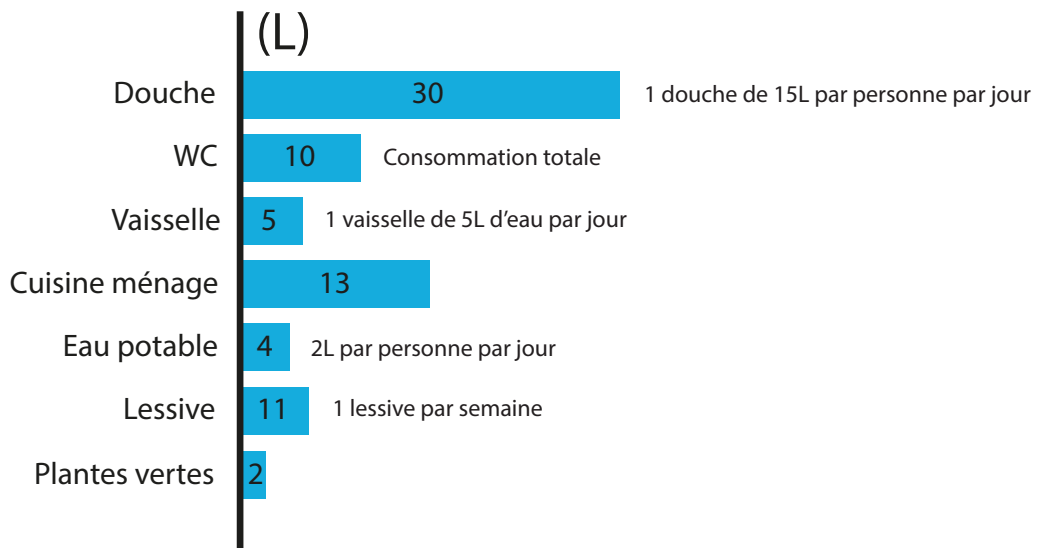
Besoins  
Production  
Optimisation  
Conclusion

# Besoins



## Eau

Estimation des consommations d'eau par jour pour deux personnes

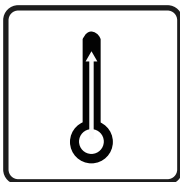


Consommation totale = **75L/jour** pour deux personnes

soit **27 m<sup>3</sup> par maison**

On peut réduire les consommations d'eau en remplaçant les toilettes par toilettes sèches et réduire le nombre de douche en utilisant le lavabo à une douche tous les 2 jours.

On peut alors atteindre un besoin de **19.8m<sup>3</sup>/an**.



## Eau chaude sanitaire

On estime environ 40L d'eau chaude sanitaire par jour, soit 0.004 m<sup>3</sup>

Energie nécessaire aux besoins en eau chaude sanitaire (chauffé à 50°C)

$$E = 0.04 \times 1.16 \times 30 = 1.4 \text{ kWh/j}$$

**Soit 42.6 kWh/mois**

**Soit 511 kWh/an**

# Productions

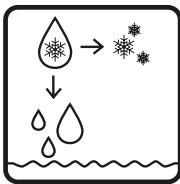


## Collecte eau de pluie

Récupération de l'eau sur la toile textile en toiture : 16m<sup>2</sup>

$$250 \times 16 = 4\,000\text{L/an}$$

soit **4 m<sup>3</sup> / an**



## Distillateur solaire

Production : 10L d'eau pure par m<sup>2</sup> par jour sans apport énergétique  
Un chateau a une surface de stockage de 9m<sup>2</sup> pour 4 maisons. Le dispositif est placé en toiture.

$$10 \times 9 = 90\text{ L/jour}$$

soit 32.4m<sup>3</sup>/j

soit **8.1 m<sup>3</sup>/an par maison**

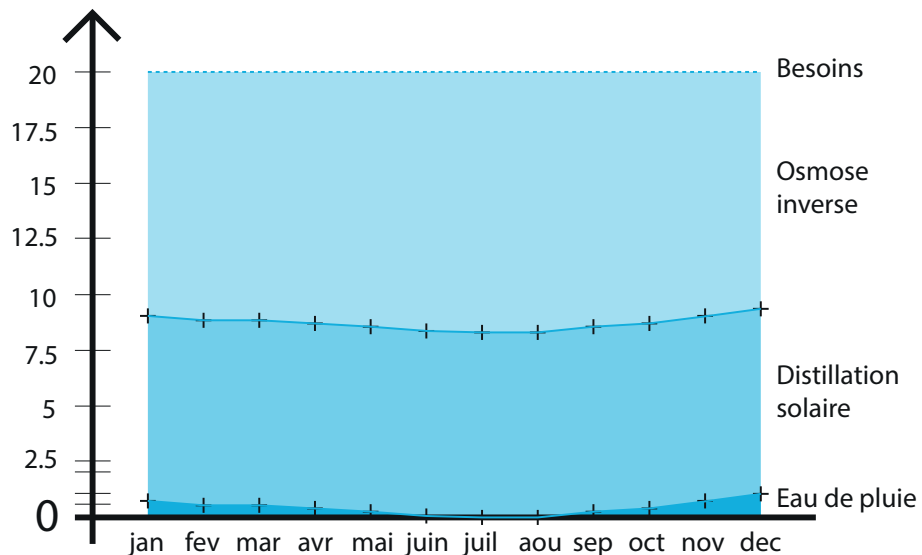
## Osmose inverse

Production : 1L d'eau pure pour 3L d'eau de mer  
Besoins énergétiques : 4kWh/m<sup>3</sup>

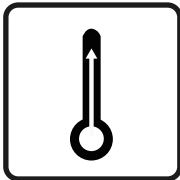
Afin de répondre aux besoins en eau, il faut produire **7.7m<sup>3</sup>/an/habitation** avec un système d'osmose inverse. Cela rajoute **30.8 kWh** à la consommation d'électricité annuelle de chaque habitation.

## Stockage de l'eau par logement / an

Eau de pluie	4 m <sup>3</sup>
Distillateur solaire	8.1 m <sup>3</sup>
Osmose inverse	7.7m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>19.8 m<sup>3</sup></b>



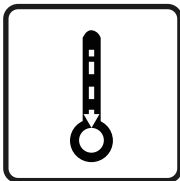
# Besoins



## Besoins Chaud

Soit 140 kWh/m<sup>2</sup><sub>projet</sub>

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	
<b>Somme Ecart - de 15°C</b>	1 971,4	1 158,5	629,5	416,4	125,6	2,5	0,1	0,0	0,8	76,3	622,8	1 236,3	
<b>/24</b>	82,1	48,3	26,2	17,4	5,2	0,1	0,0	0,0	0,0	3,2	26,0	51,5	
<b>Besoin en Chaud Wh</b>	804 331,2	472 668,0	256 836,0	169 891,2	51 244,8	1 020,0	40,8	0,0	326,4	31 130,4	254 102,4	504 410,4	
<b>kWh</b>	804,3	472,7	256,8	169,9	51,2	1,0	0,0	0,0	0,3	31,1	254,1	504,4	2 546,0



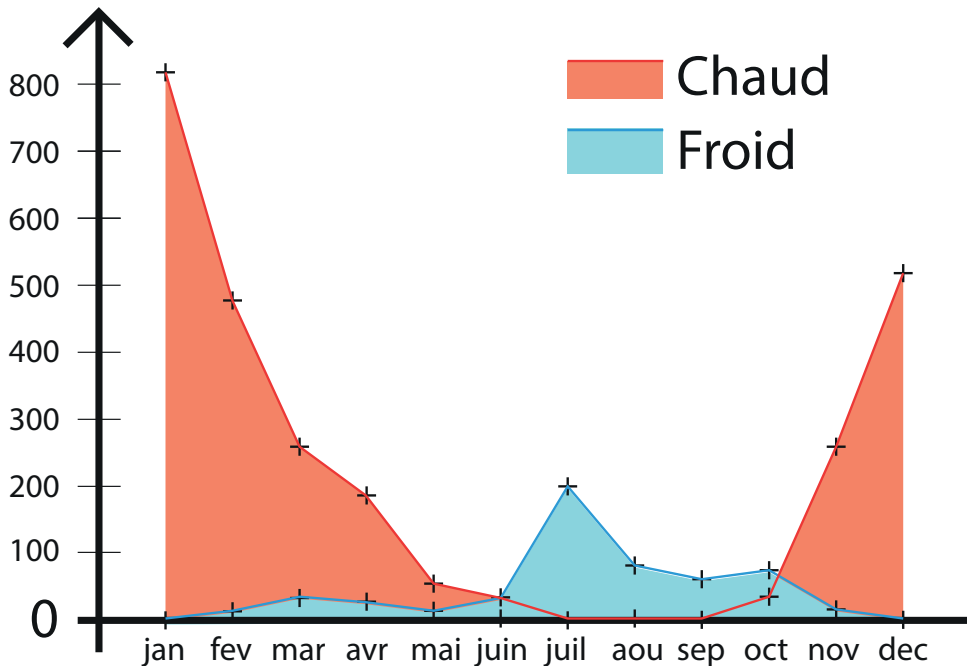
## Besoins Froid

Soit 27 kWh/m<sup>2</sup><sub>projet</sub>

Les besoins en froid sont très faibles et peuvent être équilibrés par des solutions passives. Ils ne sont pas pris en compte dans la suite des estimations.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	
<b>Somme Ecart + de 28°C</b>	0,0	2,3	64,3	45,6	24,7	66,9	482,6	192,1	135,7	167,4	31,1	0,0	
<b>/24</b>	0,0	0,1	2,7	1,9	1,0	2,8	20,1	8,0	5,7	7,0	1,3	0,0	
<b>Besoins en froid Wh</b>	0,0	938,4	26 234,4	18 604,8	10 077,6	27 295,2	196 900,8	78 376,8	55 365,6	68 299,2	12 688,8	0,0	
<b>kWh</b>	0,0	0,9	26,2	18,6	10,1	27,3	196,9	78,4	55,4	68,3	12,7	0,0	494,8

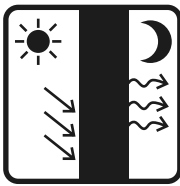
Besoins kWh



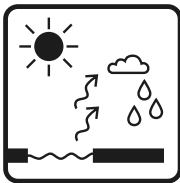
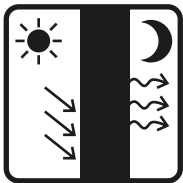


# Productions

## Solutions passives

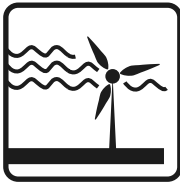


Déphasage 12h



Déphasage 12h  
Evapocondensation par la réserve d'eau au rez-de-chaussée.

## Solutions actives



### Eolien

L'éolienne peut être installée sur le toit terrasse de la maison. On choisira alors une éolienne avec un diamètre de 1m. (L'unité est une maison de 4 par 4 m). Elle alimente les besoins en éclairage et en électricité de la maison. Cela nécessite un système de stockage de cette énergie soit sous forme de poids, soit en batterie.

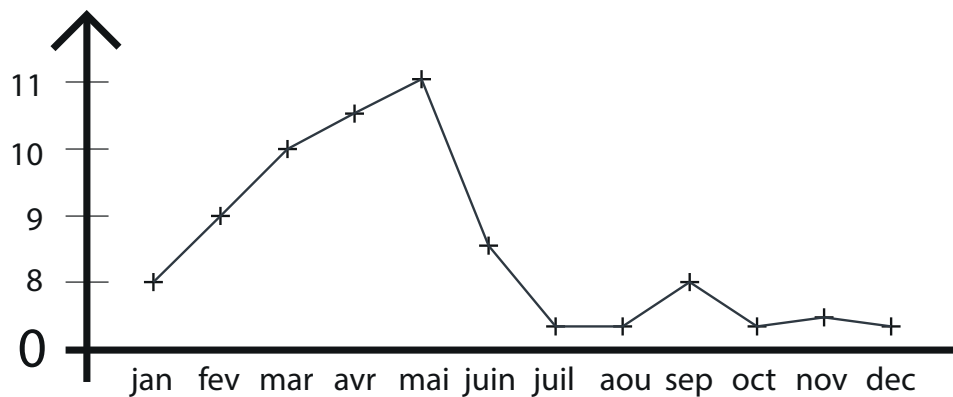
D'autres éoliennes plus grandes peuvent être installées dans les jardins partagés afin de fournir de l'énergie pour l'éclairage public, les locaux publiques...

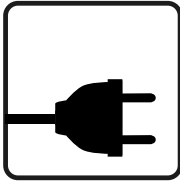
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	
Energie du vent kWh/m <sup>2</sup>	28,4	35,3	36,1	37,4	40,4	30,7	23,6	23,3	29,2	26,0	23,5	24,7	
Rendement eolienne	10,0	12,4	12,6	13,1	14,1	10,7	8,2	8,1	10,2	9,1	8,2	8,6	kWh/m <sup>2</sup>

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	en kWh	
Eolienne D 3m	70,7	87,8	89,7	93,0	100,3	76,2	58,6	57,8	72,6	64,5	58,5	61,3	891,0	kWh
D 2m	30,9	38,3	39,2	40,6	43,8	33,3	25,6	25,3	31,7	28,2	25,5	26,8	389,0	kWh
D 1m	8,0	9,9	10,1	10,5	11,3	8,6	6,6	6,5	8,2	7,3	6,6	6,9	100,4	kWh

Soit 100 kWh/an, ou 0,3 kWh/j moyen.

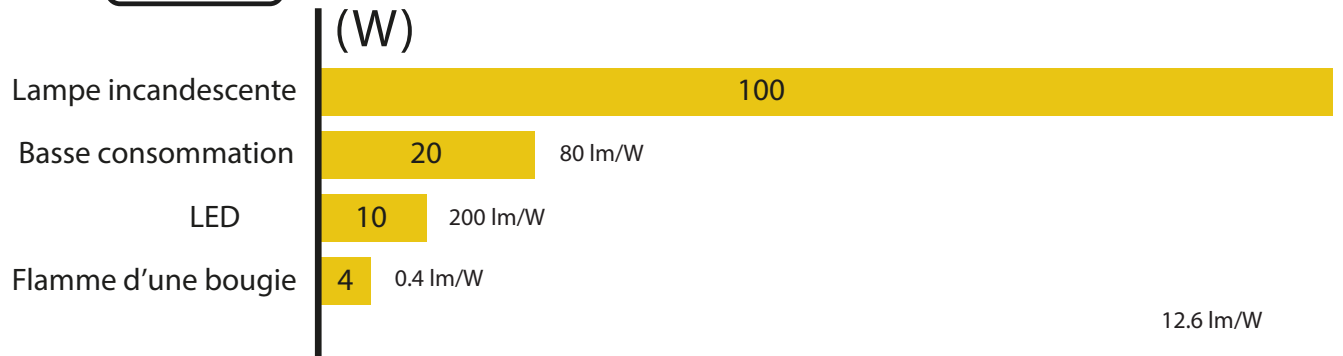
kWh/m<sup>2</sup>





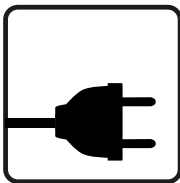
## Eclairage

Différents éclairages équivalents à une ampoule incandescente 100 W



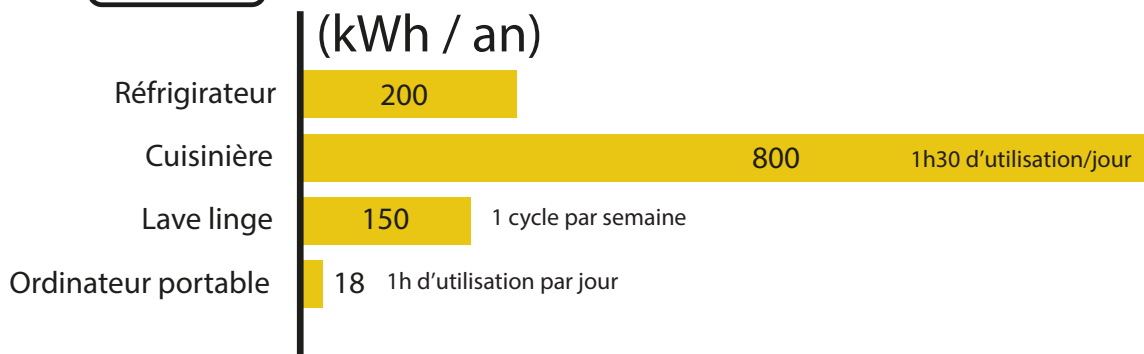
Pour 1h d'éclairage moyen avec une LED par jour = **3.65 kWh/an**  
soit **0.3 kWh/mois**

Pour 2h d'éclairage moyen avec une LED par jour = **7.3 kWh/an**  
soit **0.6 kWh/mois**



## Usages et confort

Consommation moyenne des électroménagers :

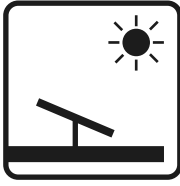


Estimation de la consommation annuelle = **1170 kWh/an**  
soit **98 kWh/mois**

### Besoins énergie (kWh/an)

Dessalinisation	30.8
Besoin chaud	2 546
Eau chaude sanitaire	511
Eclairage	3.65
Usages et confort	1 170

**Total** **4 260 kWh/an soit 11.6 kWh/j**

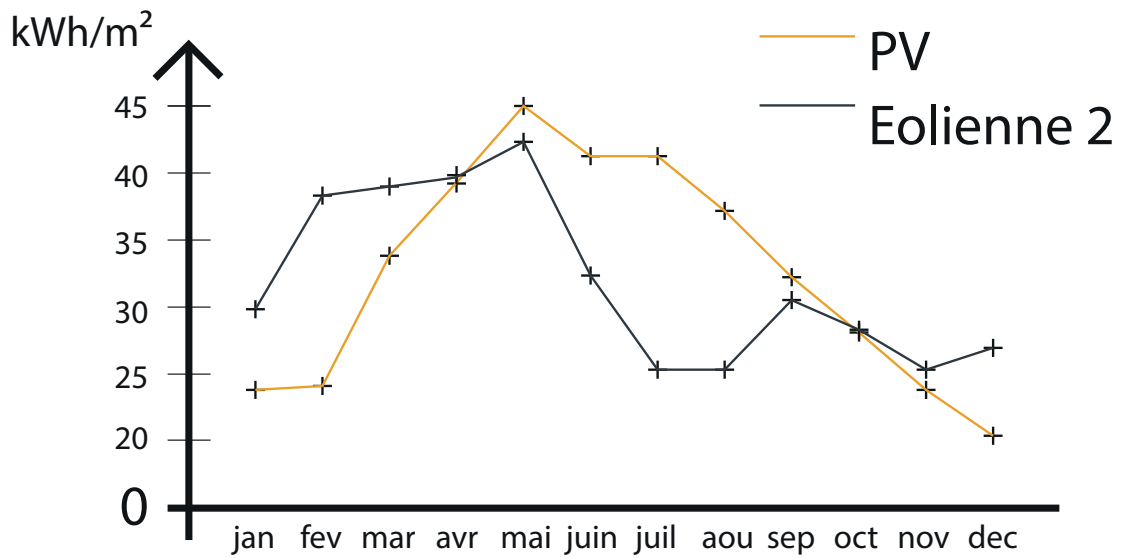


### Photovoltaïque

Les panneaux PV sont utilisés pour alimenter les besoins en éclairage et électricité de la maison. Il nécessite un système de stockage de cette énergie en batterie.

Soit 307,4 kWh/m<sup>2</sup> / an. On dispose d'environ maximum 16 m<sup>2</sup> par unité, **soit 4 920 kWh/an, ou 13 kWh/jour.**

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total annuel
Potentiel photovoltaïque kWh/m <sup>2</sup>	24,1	24,6	34,8	39,4	45,8	42,3	41,1	36,7	33,2	29,0	24,3	22,0	397,4
Potentiel photovoltaïque projet	386,1	393,5	557,1	631,0	732,3	676,5	658,0	586,7	531,8	463,8	389,1	352,2	6 358,2

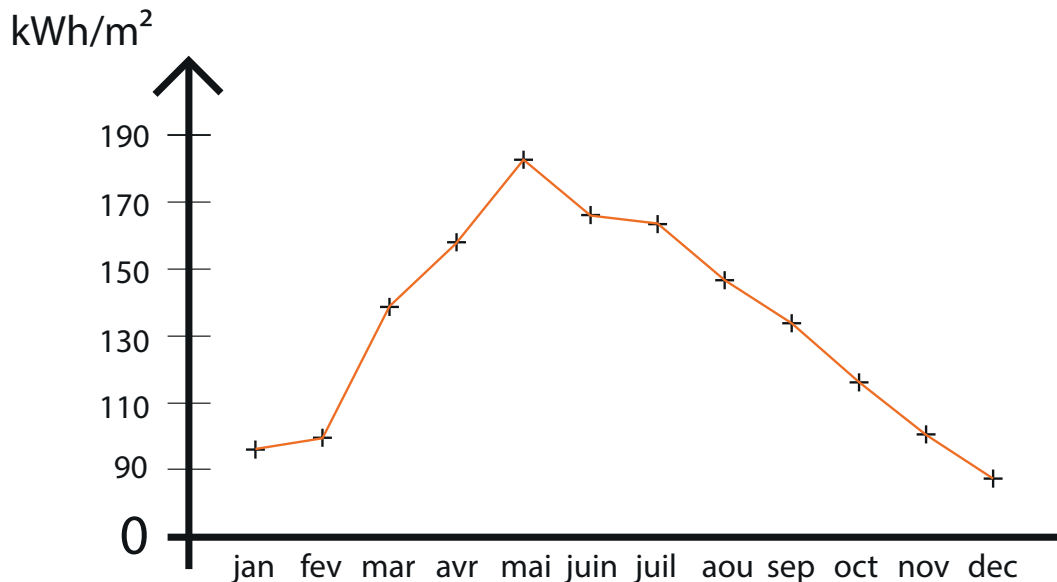


### Solaire thermique

Cette énergie est collective et permet d'alimenter l'eau chaude sanitaire (collective) ainsi que les besoins en chaud.

Soit 1 580,5 kWh/m<sup>2</sup> / an. On dispose d'environ maximum 18 m<sup>2</sup> par unité, **soit 28 500 kWh/an, ou 80 kWh/jour.**

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total annuel
Potentiel solaire thermique kWh/m <sup>2</sup>	96,5	98,4	139,3	157,8	183,1	169,1	164,5	146,7	132,9	115,9	97,3	88,1	1 589,5
potentiel projet	1 525,2	1 554,4	2 200,6	2 492,6	2 892,6	2 672,1	2 599,3	2 317,4	2 100,6	1 831,9	97,3	1 391,4	23 675,3





### **Solution de stockage d'énergie :**

#### **Stockage d'électricité pour l'éclairage**

$E = mgh$  où  $E$  en J,  $m$ , en kg,  $g = 10$ ,  $h$  en m

Avec 4 poids de 100kg ( un à chaque angle ) sur une hauteur intérieure de 9m

$$E = 400 \times 10 \times 9 = 36\,000 \text{ J}$$

soit 10 Wh

**Ce qui nous permet d'éclairer pendant 1h avec LED équivalent à une ampoule incandescente de 100W.**

#### **Chauffage par stockage eau chaude**

Par le solaire thermique, on chauffe une partie de l'eau qui rediffusera la chaleur dans chaque logement. Les périodes les plus froides durent entre 2 et 4 jours avec une chute des températures en dessous de 15°C la nuit.

Le déphasage thermique des murs de terre et l'eau chaude stockée permet de trouver un équilibre de température dans la maison pendant les nuits les plus fraîches.

# Rapport Besoins / Productions

L'estimation se fait sur une journée froide de janvier, avec un rayonnement moyen et un vent moyen

**Journée J** Somme des écarts de  $T < 15^{\circ}\text{C}$  : **108,3**  
Rayonnement global : **3 719 Wh/m<sup>2</sup>**

## Rappel des besoins estimés à la journée

Electricité	3.2 kWh/j
Electricité dessalement	84 Wh/j
Besoins en chaud	$U \times 108.4 = 44 \text{ kWh/j}$
Eau chaude sanitaire	1.4 kWh/j

## Estimation des surfaces de panneaux photovoltaïques

Apport pv / m<sup>2</sup> =  $3\,719 \times 0.2 = 743.8 \text{ Wh/m}^2/\text{j}$

Les panneaux pv alimentent uniquement l'électricité pour les différents usages de la maison ainsi que le système de dessalinisation par osmose inverse.

Soit  $3.2 + 0.084 = 3.28 \text{ kWh/j}$

$3\,280 / 743.8 = 4.4 \text{ m}^2$

## Estimation de l'énergie produite par l'éolienne

D'après le tableau de la page précédente, une éolienne d'un diamètre de 1m produit lors d'une journée moyenne de janvier : 3 kWh/j

On peut alors couvrir les besoins en éclairage par jour.

## Estimation des surfaces de panneaux de solaire thermiques

Apport solaire th/ m<sup>2</sup> =  $3\,719 \times 0.8 = 2\,975.2 \text{ Wh/m}^2/\text{j}$

Les panneaux solaires thermiques alimentent l'eau chaude sanitaire et les besoins en chaud par stockage d'eau chaude.

Soit un besoin total de  $44.2 + 1.4 = 45.6 \text{ kWh/j}$

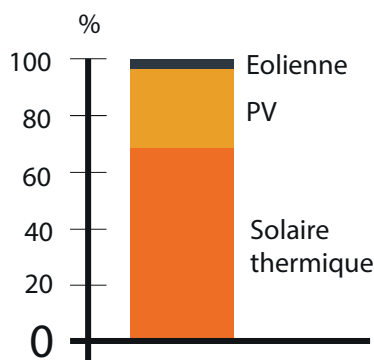
$45.6 / 2.975 = 15.3 \text{ m}^2$

## Productions énergétiques

Pour chaque unité, on a :

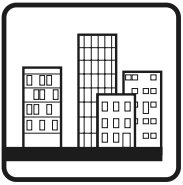
**15 m<sup>2</sup> de panneaux solaire thermique** regroupés sur les toitures de greniers communs (un grenier pour 8 maisons)

**4 m<sup>2</sup> de panneaux PV**, installés à la place du textile en toiture.  
**une éolienne de 1m de diamètre**

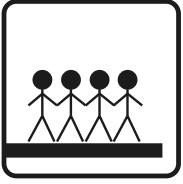




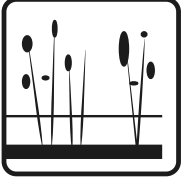
# Synthèse



Densité compacité

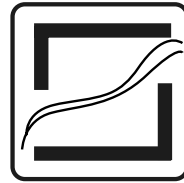


Mutualisation de ressources : Eau, Alimentaires, Electricité,

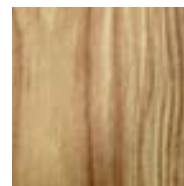
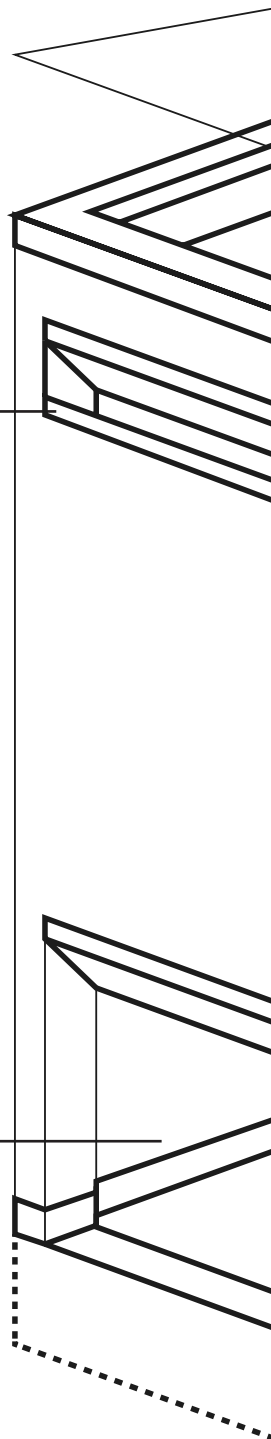
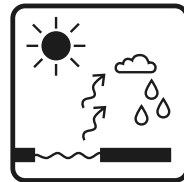


Production alimentation locale par des jardins potagers

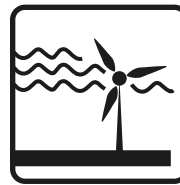
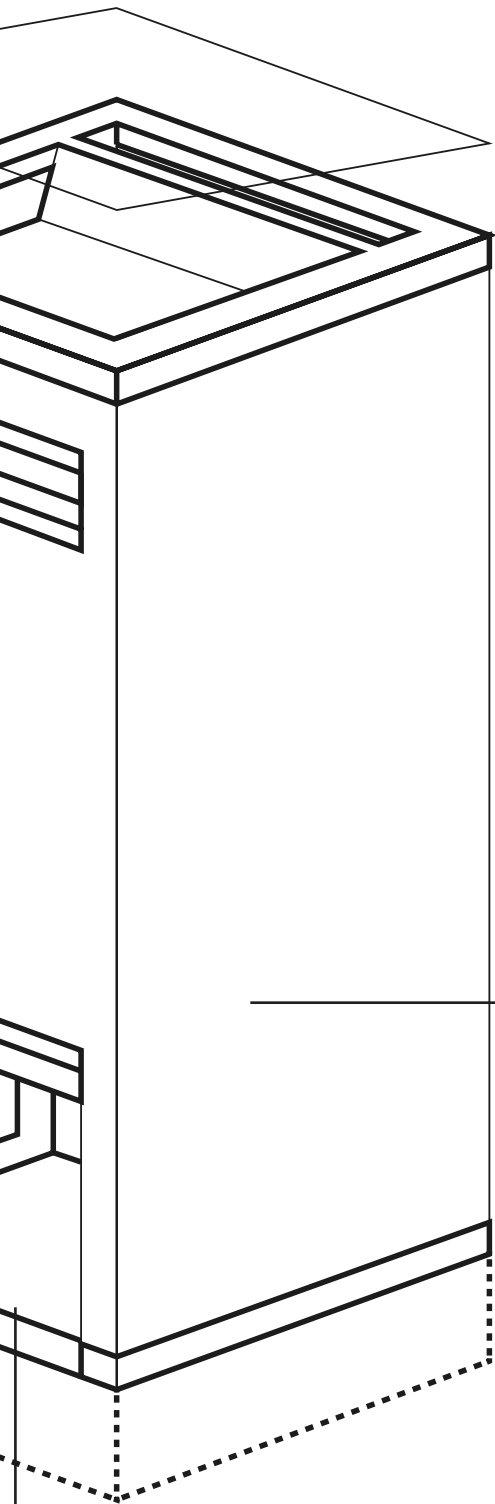
Effet cheminée : Ventilation naturelle dans la hauteur de la maison et par les ouvertures



Rafraichissement par évapocondensation



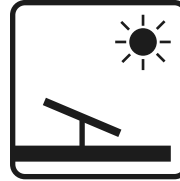




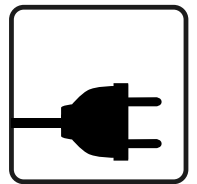
Diamètre 1m  
270 Wh/j



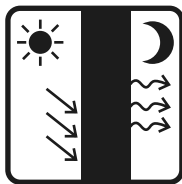
15m<sup>2</sup>  
65 kWh/j



4.4m<sup>2</sup>  
11 kWh/m<sup>2</sup>



76 kWh/j



Mur de terre avec un déphasage de 12h

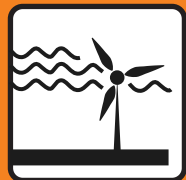
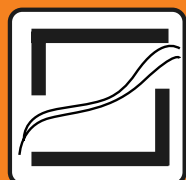
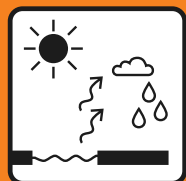


Eau de pluie : 4m<sup>3</sup>  
Distillation solaire : 8.1 m<sup>3</sup>  
Osmose inverse : 7.9 m<sup>3</sup>



20m<sup>3</sup>





## **Climat**

Géographie  
Données et analyses climatiques

## **Concept**

Ressources  
Stratégies  
Usages

## **Matériaux**

Descriptifs  
Assemblages et détails

## **Energie**

Besoins/Production

## **Synthèse**

# Abu Dhabi

Emirats Arabes Unis

Alix Piquemal



# Climat

Géographie  
Données et analyses climatiques

**Golfe persique**

Abu Dhabi





# Géographie

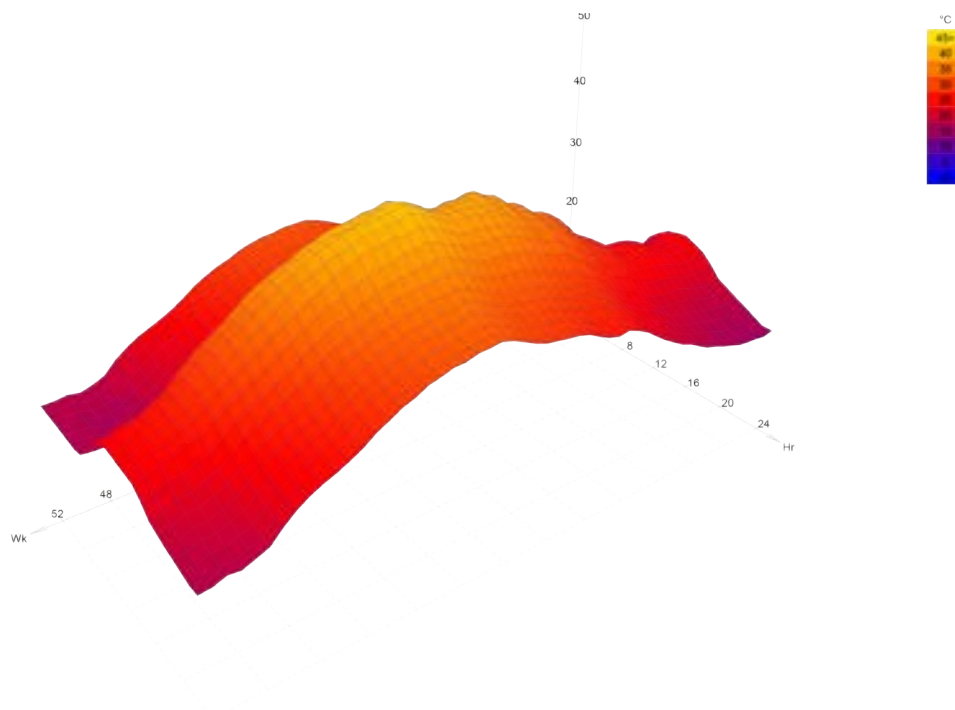
lat. **24° 28N**      long. **54° 22W**      alt. **27m**

La ville d'Abu Dhabi est située sur le golfe persique.  
Le climat est aride subtropical.

Abu Dhabi a été initialement un territoire inhabité de façon permanente jusqu'aux années 1970 environ, où l'exploitation de ressources naturelles telles que le pétrole et le gaz a impulsé le développement urbain. La région est sèche du fait des précipitations peu abondantes; environ 100mm, répartis de décembre à mars. S'ajoute à cela des conditions climatiques et caractéristiques territoriales sévères: paysages désertiques avec peu ou pas de végétation du fait d'un climat très chaud et humide près des côtes, puis chaud et moins humide à l'intérieur des terres.

Du fait de la grande teneur en sel de la terre et des nappes phréatiques, l'agriculture est quasiment impraticable sur les terres d'Abu Dhabi.

# Températures

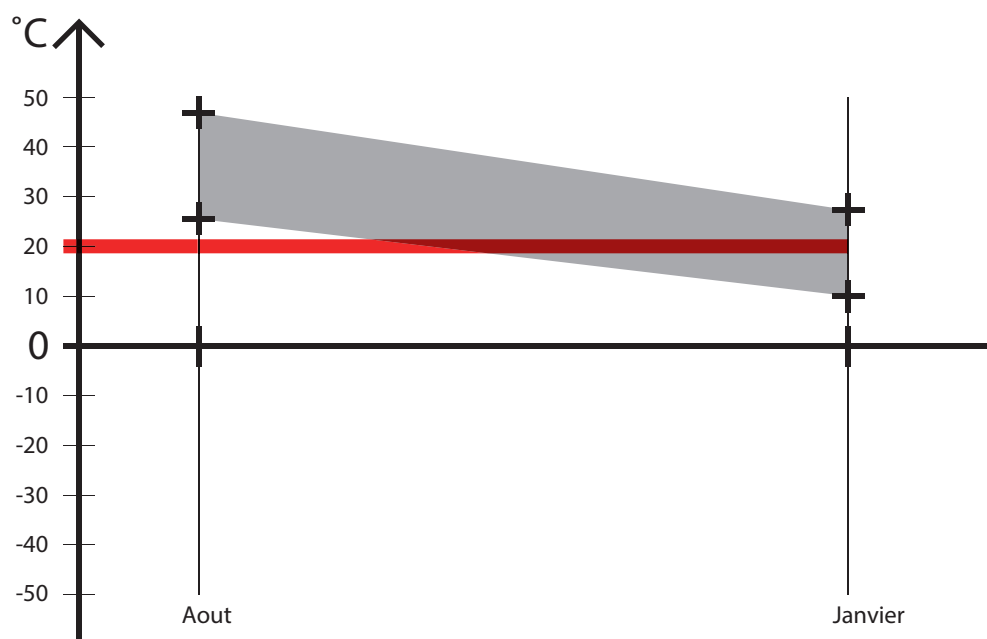


**Variation des températures en fonction des semaines et des heures**

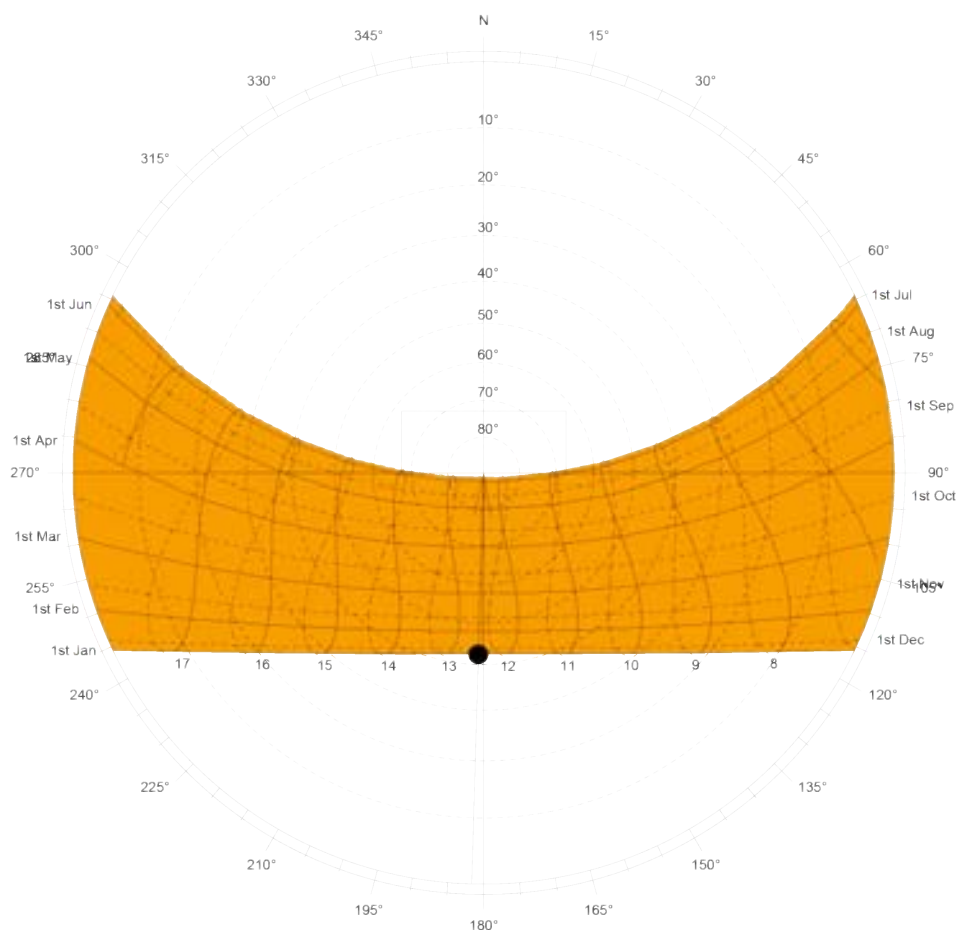
Source: Ecotect Analysis 2011

**Ecart de températures annuels**

Températures maximales  
Données 2005

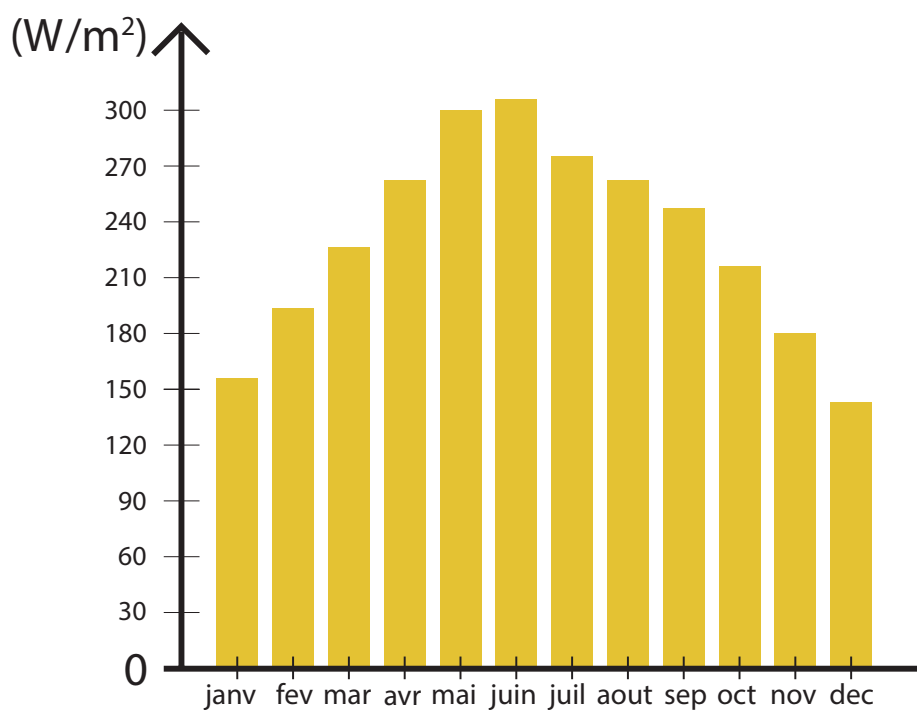


# Course solaire et rayonnements



**Course du soleil**  
W/m2 en fonction des mois  
Données 2005

**Rayonnements**  
W/m2 en fonction des mois  
Données 2005

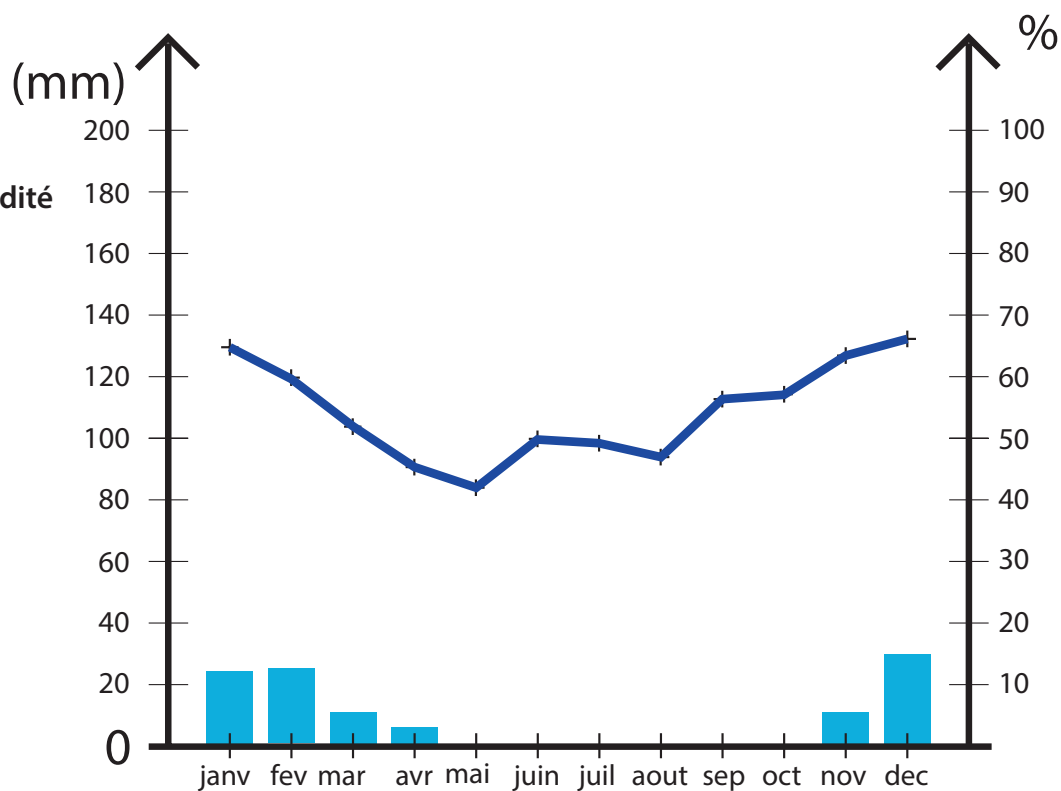




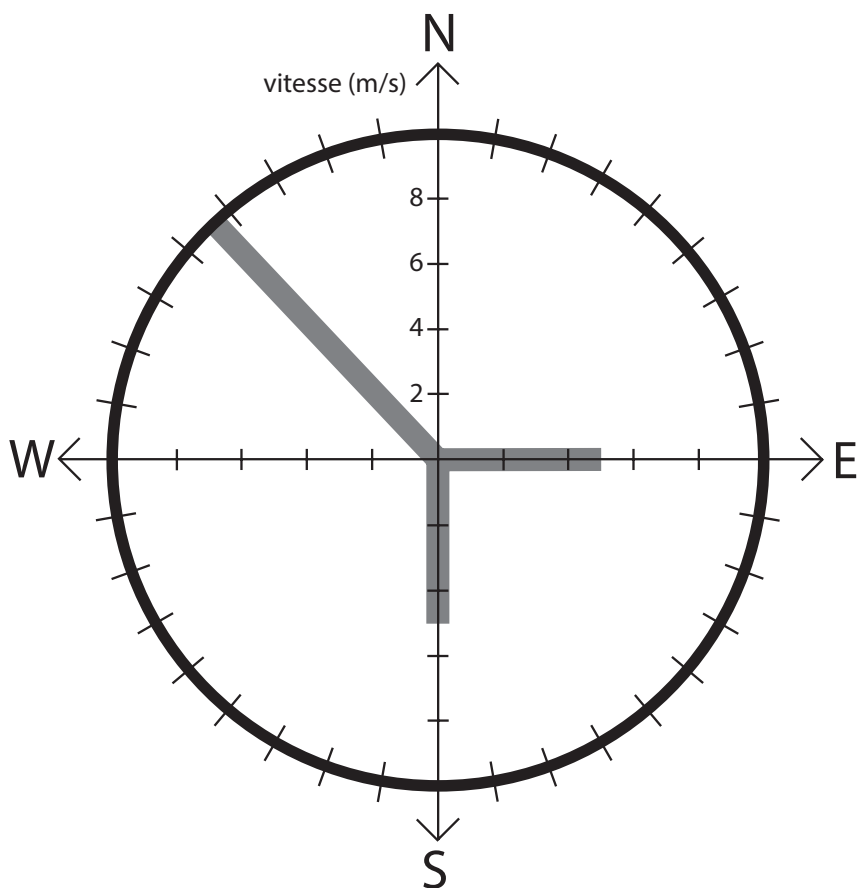
# Pluies, humidité et vents

Précipitations peu  
abondantes et humidité  
relative

Données 2005



Vents dominants





# Concept

Ressources  
Stratégies  
Usages

# Ressources locales

## Matériaux



**Sable:** constituant essentiel du paysage des Emirats Arabes Unis.



**Béton:** Importé, il est très utilisé pour les nouvelles constructions.



**Bois:** Importé et utilisé pour les mobiliers des nouvelles constructions.

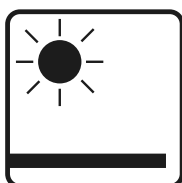
## Paysages désertiques

Du fait des conditions climatiques sévères (chaleur extrême quasiment toute l'année) toutes les constructions actuelles utilisent aujourd'hui la climatisation pour pouvoir habiter la région.



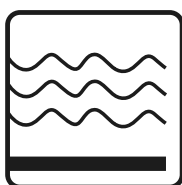


# Ressources



## Energie et climat

Soleil (231W/m<sup>2</sup> moyen) : Solaire  
Vent humide (10 - 35km/h)



## Ressources vitales

eau potable  
dessalinisation

## Avantage climat

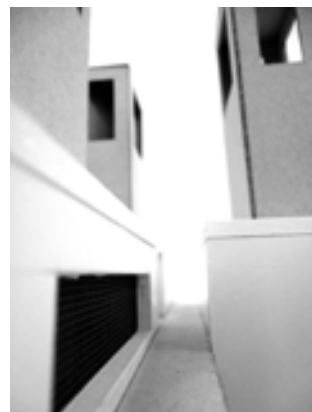
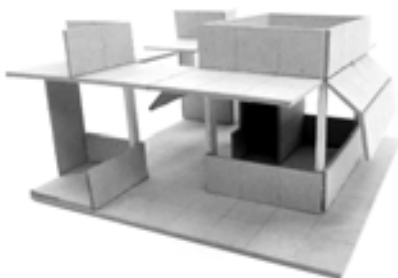
Grand gisement solaire

## Inconvénients climat

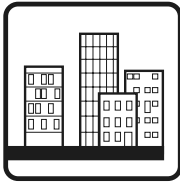
Températures élevées presque toute l'année  
Taux d'humidité important  
Peu de précipitations  
Nappes phréatiques salées à grande profondeur



# Recherches formelles

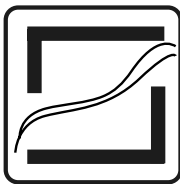


# Stratégies



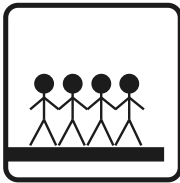
## Augmenter la densité des constructions

Cela permettra de créer de l'ombre entre les maisons et de canaliser le vent vers les tours à vent.



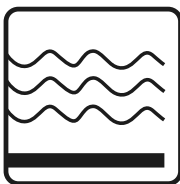
## Tour à vent et effet cheminée

Elles permettent de capter l'air et de le rediriger à l'intérieur des habitats de façon à rafraîchir les constructions. Lorsque la force du vent n'est pas assez importante, les tours de vents utilisent l'effet cheminée pour extraire la chaleur de l'intérieur des espaces

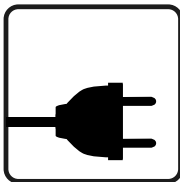


## Mutualisation de l'eau et ressources naturelles

En mutualisant certaines ressources, les usages sont plus rationnels et la réutilisation des matériaux est promue.

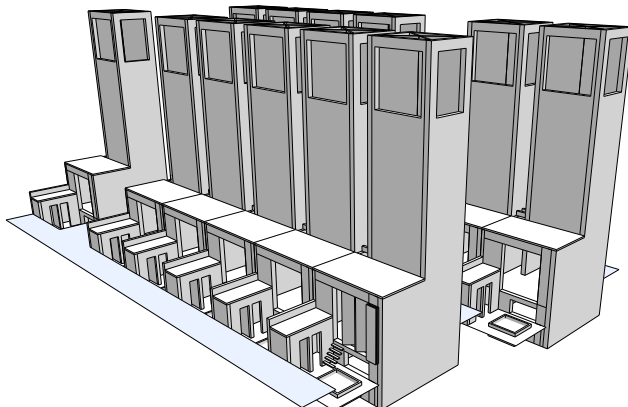


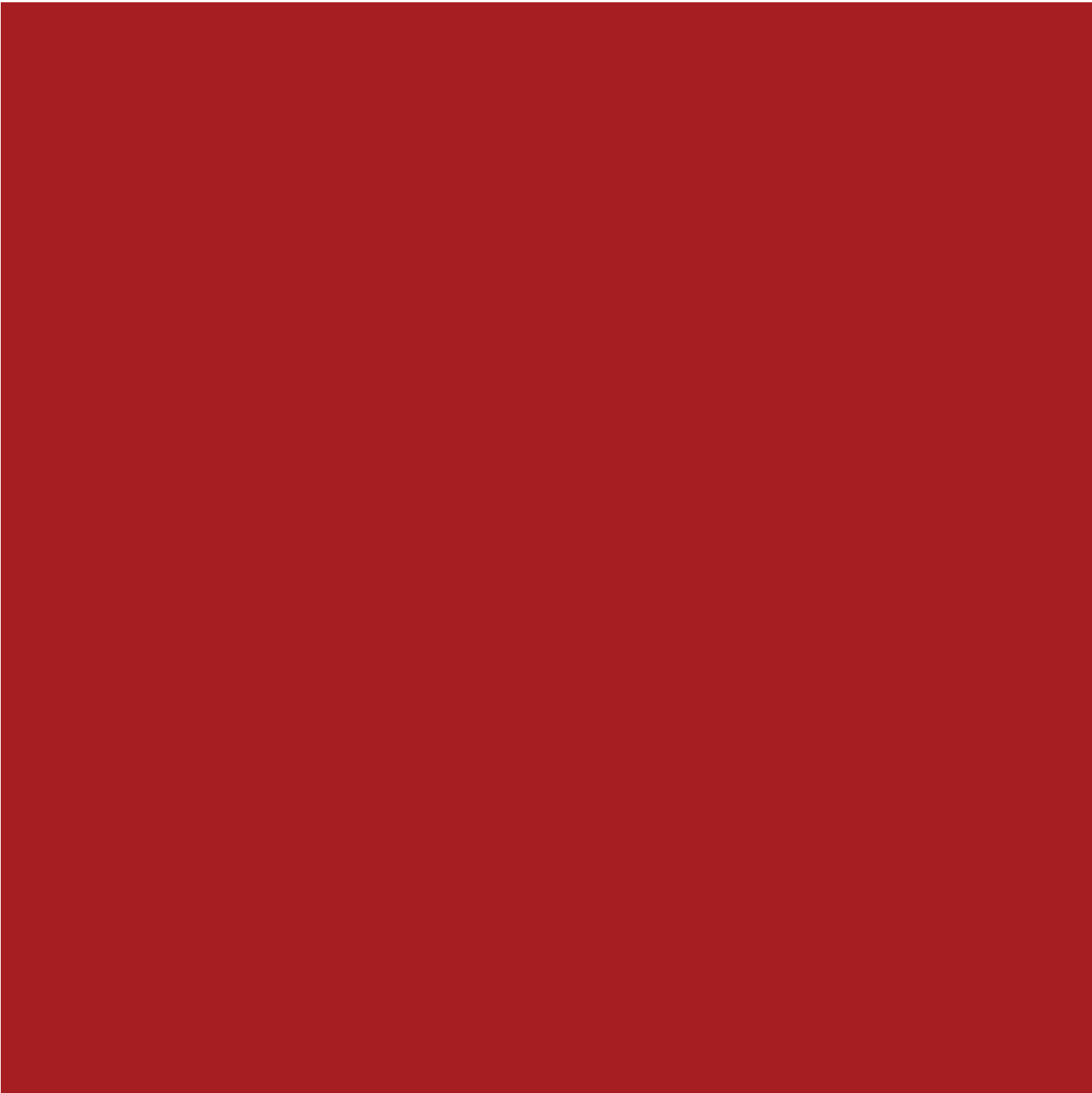
## Eclairage et ventilation naturels



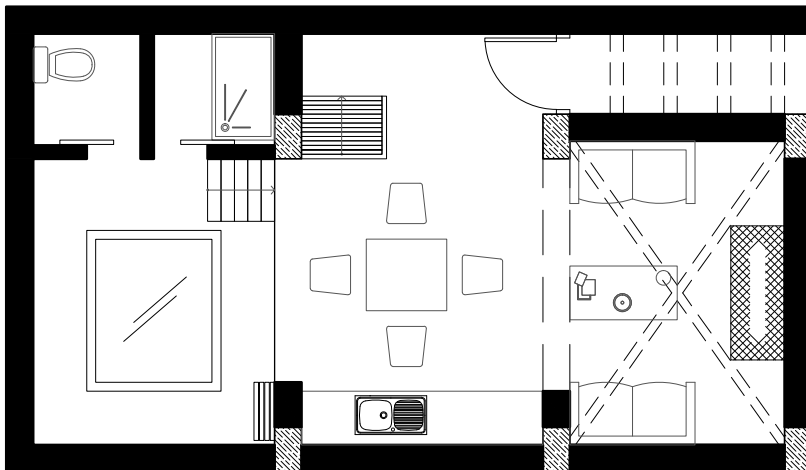
## Production d'énergie électrique

Profitant du grand gisement solaire et de grandes extensions de terres, des centrales de concentration solaire sont un bon moyen de créer de l'électricité.





Plan - Niveau RDC



# Usages

Comment habiter le volume?

Les fonctions et les usages sont répartis sur différents niveaux, chacun ayant une fonction et un confort thermique/lumière adapté.

## Le sous-sol : Le privé

Les activités de repos ont lieu au niveau du sous-sol, lieu moins illuminé mais ventilé avec de l'air frais, produit de l'évaporation de l'eau du bassin.

## Rez de chaussée: Vie commune

Toutes les activités «sociales» se déroulent au niveau du rez de chaussée

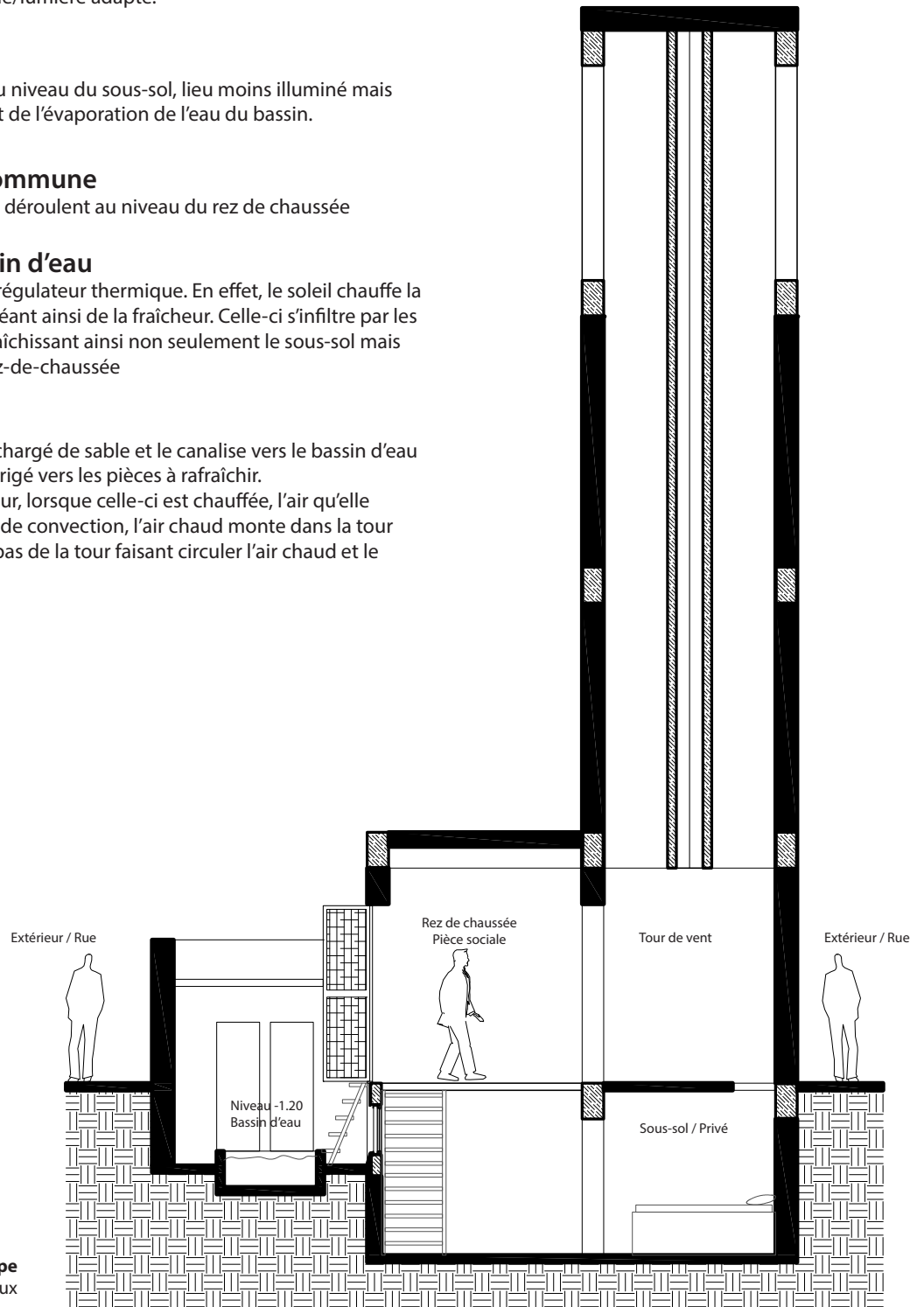
## Niveau -1.20m: Le bassin d'eau

Le bassin d'eau joue un rôle de régulateur thermique. En effet, le soleil chauffe la surface de l'eau qui s'évapore créant ainsi de la fraîcheur. Celle-ci s'infiltre par les moucharabieh du sous-sol, rafraîchissant ainsi non seulement le sous-sol mais également la pièce située au rez-de-chaussée

## La tour de vent:

Elle capte le vent chaud moins chargé de sable et le canalise vers le bassin d'eau qui le rafraîchit avant d'être redirigé vers les pièces à rafraîchir.

L'effet venturi agit aussi sur la tour, lorsque celle-ci est chauffée, l'air qu'elle contient l'est aussi. Par principe de convection, l'air chaud monte dans la tour créant ainsi une dépression au bas de la tour faisant circuler l'air chaud et le dirigeant vers l'extérieur.



### Coupe

Coupe montrant les différents niveaux du bâtiment par rapport à l'extérieur



# Matériaux

Descriptif et propriétés physiques recherchés

Assemblages et détails

Alternatives et comparaison

# Descriptif

## Propriétés physiques recherchées



### Structure porteuse : Béton armé

Le béton quant à lui est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats naturels (sable, gravillons) ou artificiels (granulats légers) agglomérés par un liant. Ce liant est habituellement du ciment.

### Dalle sol

Dalle est en béton armé, prenant appui sur les poteaux situés à chaque extrémité.

### Tour de vent

Murs en sacs de sable et structure porteuse en béton armé.



### Structure murs : Sacs de sable

Le sable étant un élément disponible en grandes quantités sur tout le territoire, donc économique, renouvelable qui présente des caractéristiques proches de celle de la terre pisée. Les murs sont constitués de sacs de sables empilés les uns sur les autres.

### Structures légères : Bois

Le bois étant un matériau renouvelable, il est issu des plantations situées à proximité d'Abu Dhabi.

### Mobilier

Issus d'un matériau renouvelable, il apporte de la «chaleur» aux espaces qui le contiennent.

### Escaliers et paravent

Structures en bois issus de la production locale.



# Descriptif

## Propriétés physiques recherchées

### Structure : Béton armé

Masse volumique: 2300 kg/m<sup>3</sup>  
Conductivité thermique: 2300 W/m.K  
Chaleur spécifique: 0.28 Wh/kg.K

$$\text{Déphasage} = \frac{\text{épaisseur}}{\text{célérité}}$$

Pour une épaisseur e= 0.20 m  
D= 0.369h

Pour une épaisseur e= 0.30m  
D= 0.55h

### Structure : Sacs de sable

Masse volumique: 1900 kg/m<sup>3</sup>  
Conductivité thermique: 2000 W/m.K  
Chaleur spécifique: 0.28 Wh/kg.K

$$\text{Déphasage} = \frac{\text{épaisseur}}{\text{célérité}}$$

Pour une épaisseur e= 0.30 m  
D= 0.56h

Pour une épaisseur e= 0.50m  
D= 0.947h

# Assemblages

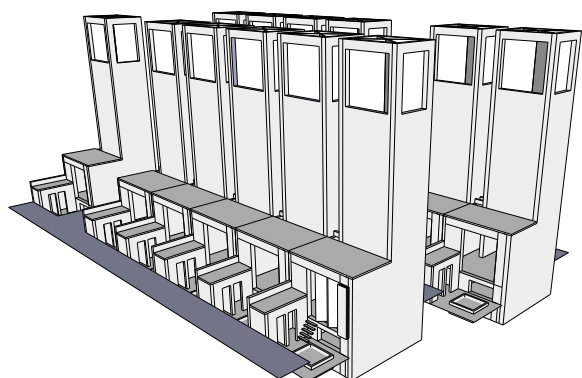
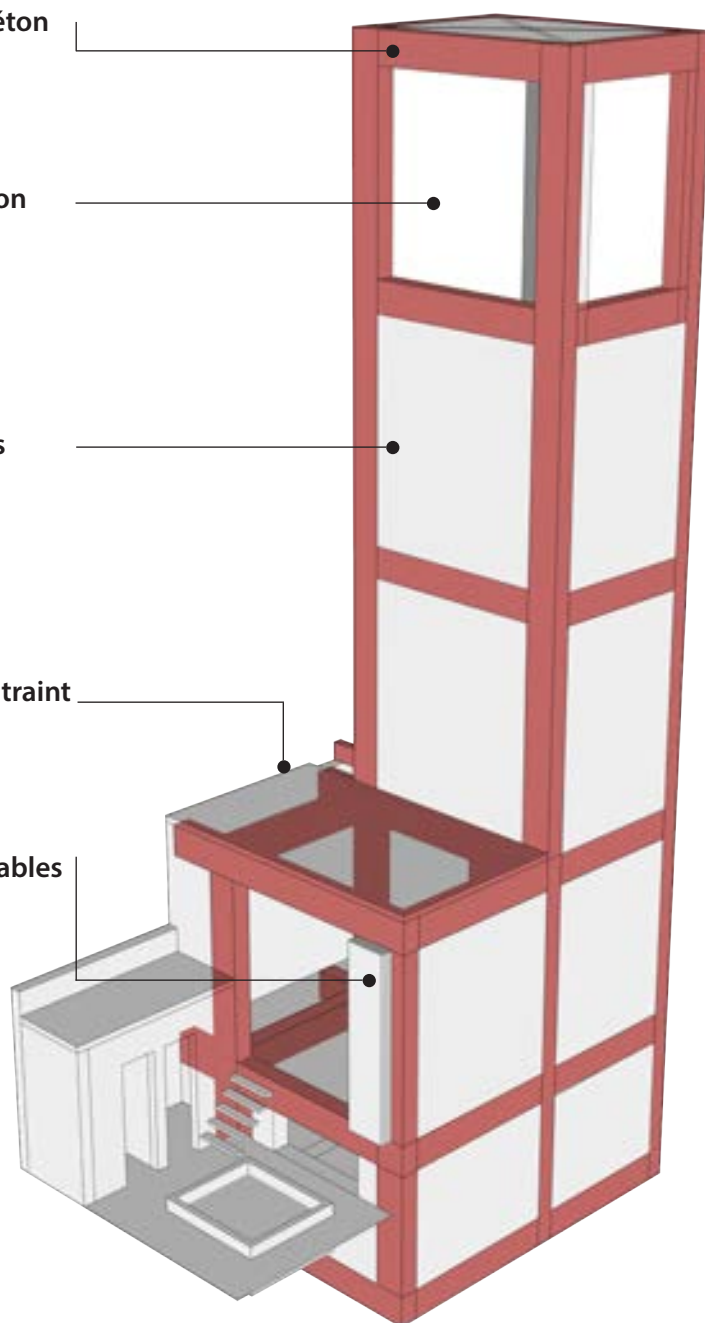
Structure porteuse: Béton

Structure interne: béton

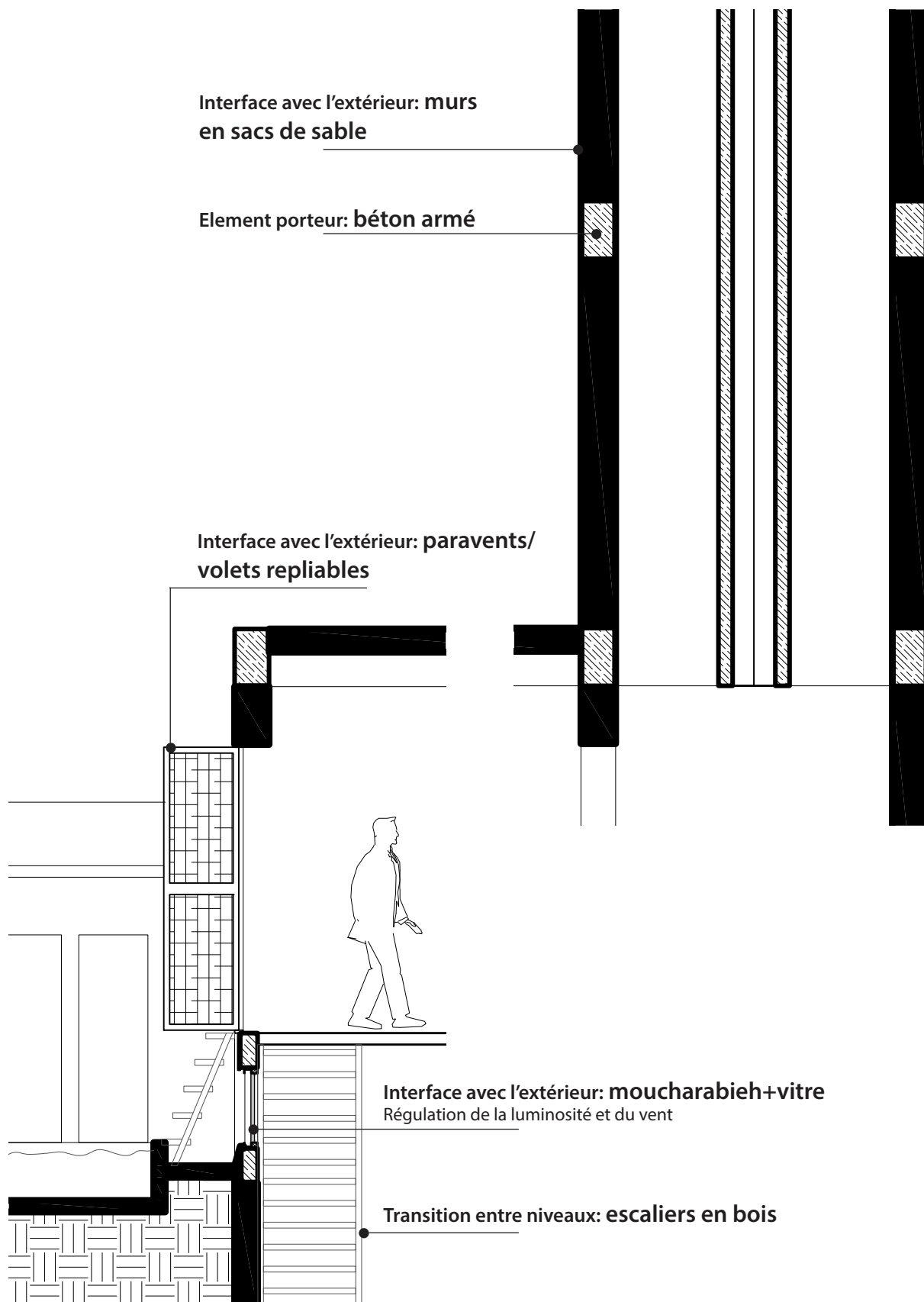
Murs en sacs de sables

Dalle en béton précontraint

Paravents/volets repliables en bois



# Détails





# Energie

Besoins  
Production  
Optimisation  
Conclusion

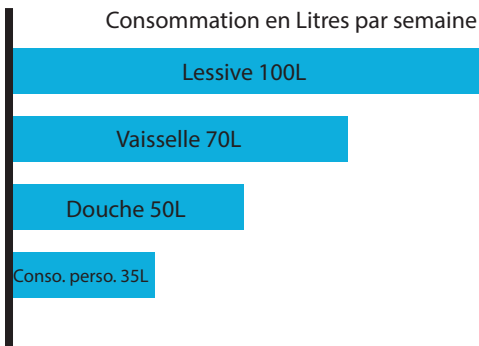
# Besoins

## Eau : consommation personnelle / lessive / douche / vaisselle



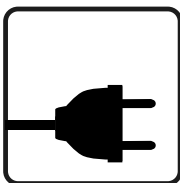
Consommation estimée par habitant par semaine:

ACTIVITE	CONSOMMATION	JOUR (en L)	SEMAINE (en L)	MOIS (en L)	ANNEE (en L)
Douche	30-80L	-	50	200	2400
Lessive	80-120L	-	100	400	4800
Vaisselle	5-15L	10	70	280	3360
Boire de l'eau	5L	5	35	140	1680
<b>TOTAL CONSOMMATION EN LITRES D'EAU PAR AN PAR HABITANT</b>					<b>12240</b>

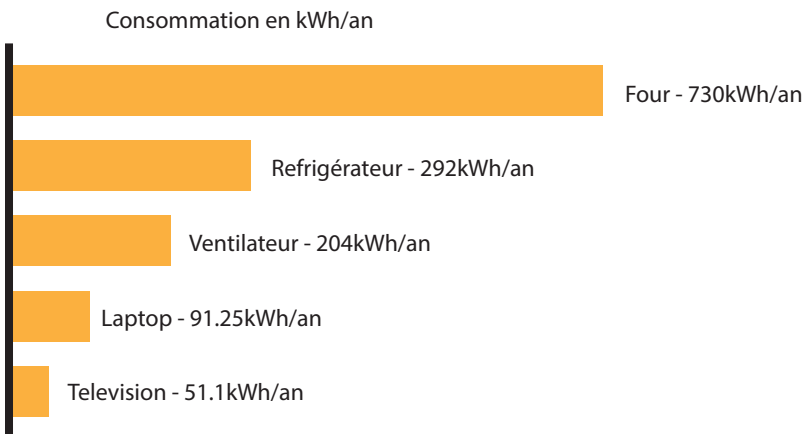


## Electricité : électroménager

Consommation estimée par habitant par an:



ACTIVITE	CONSOMMATION	JOUR (kWh)	MOIS	ANNEE (kWh)
Four	1000W	2	60	730
Réfrigérateur	200W	0.8	24	292
Laptop	100W	0.25	7.5	91.25
Ventilateur	70W	0.56	16.8	204.4
Television	70W	0.14	4.2	51.1
<b>TOTAL CONSOMMATION EN KWh PAR AN PAR HABITANT</b>				<b>1368.75</b>





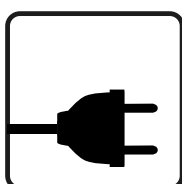




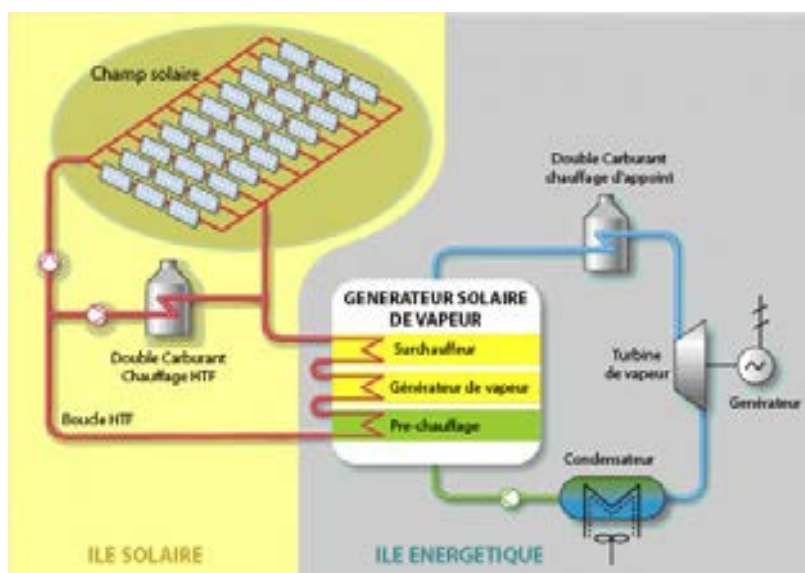
# Production



**Consommation d'eau potable dessalée (collectif)**  
Raccord au réseau d'eau potable dessalée

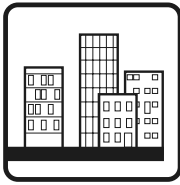


**Energie électrique (collectif)**  
L'énergie électrique est produite à la station Shams, le nouveau réseau d'énergie solaire concentré inauguré à Abu Dhabi



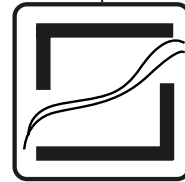


# Synthèse

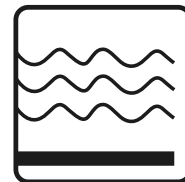


Densité - Compacité

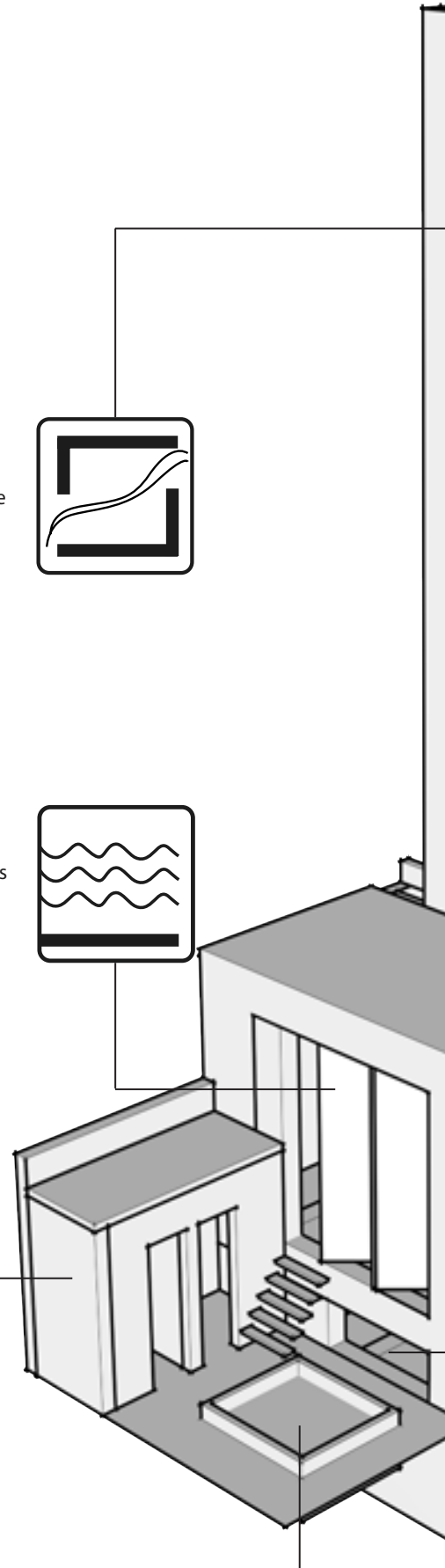
Ventilation Naturelle

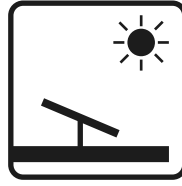
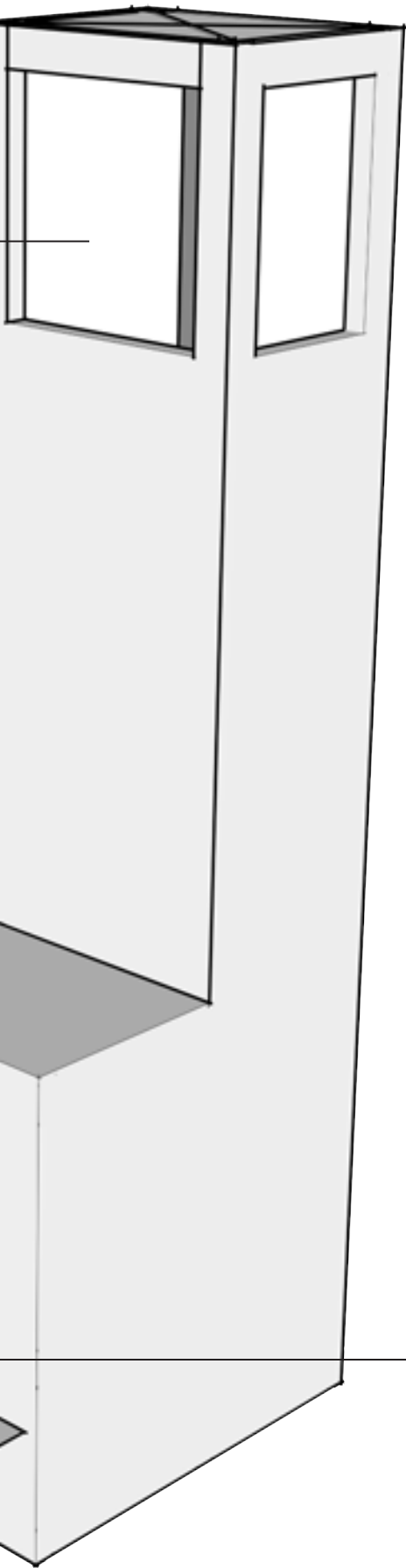


Eclairage et illumination naturels régulés par les paravent/volets

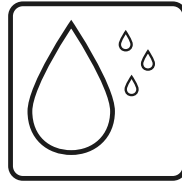


Toilettes sèches

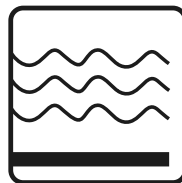




Electricité fournie  
par la centrale  
Shams, solaire  
concentré



Raccord au réseau  
d'eau potable  
dessalinisée

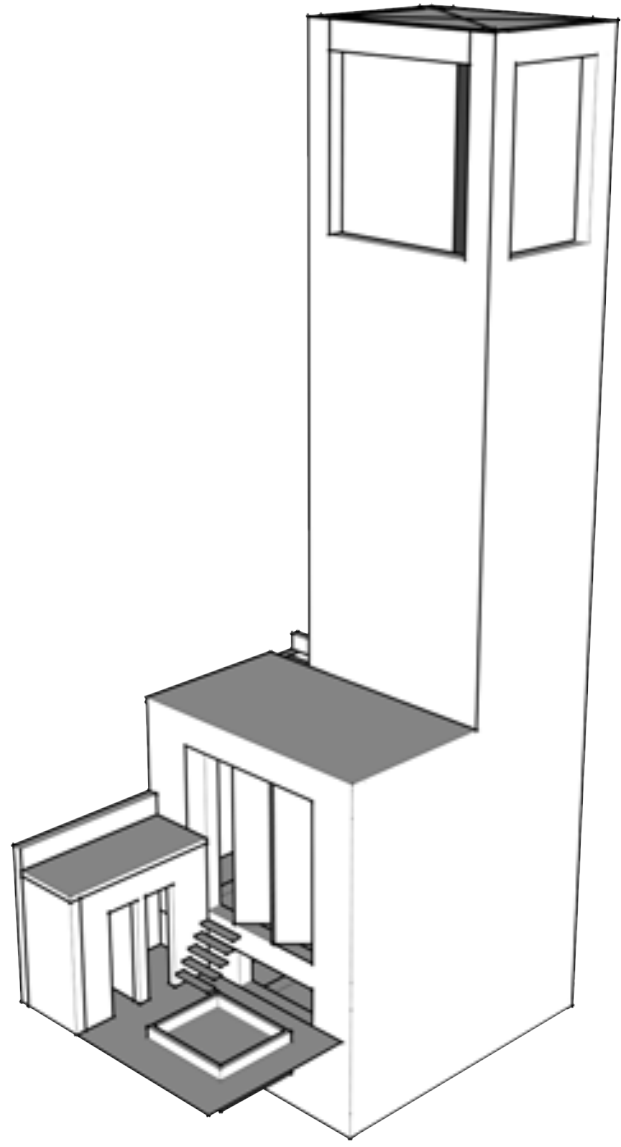
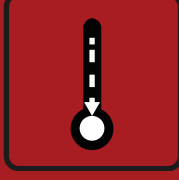
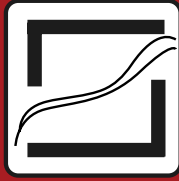
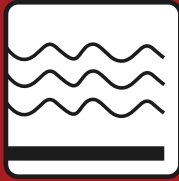
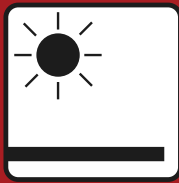


Eclairage et  
illumination naturels  
par le moucharabieh  
situé en sous-sol



Réutilisation et  
stockage d'eau  
provenant de la  
condensation de  
l'eau de la  
climatisation





## **Climat**

Géographie  
Données et analyses climatiques

## **Concept**

Ressources  
Stratégies  
Usages

## **Matériaux**

Descriptifs  
Assemblages et détails  
Alternatives et comparaisons

## **Energie**

Besoins/Production  
Conclusion

## **Synthèse**



# Caracas

pays

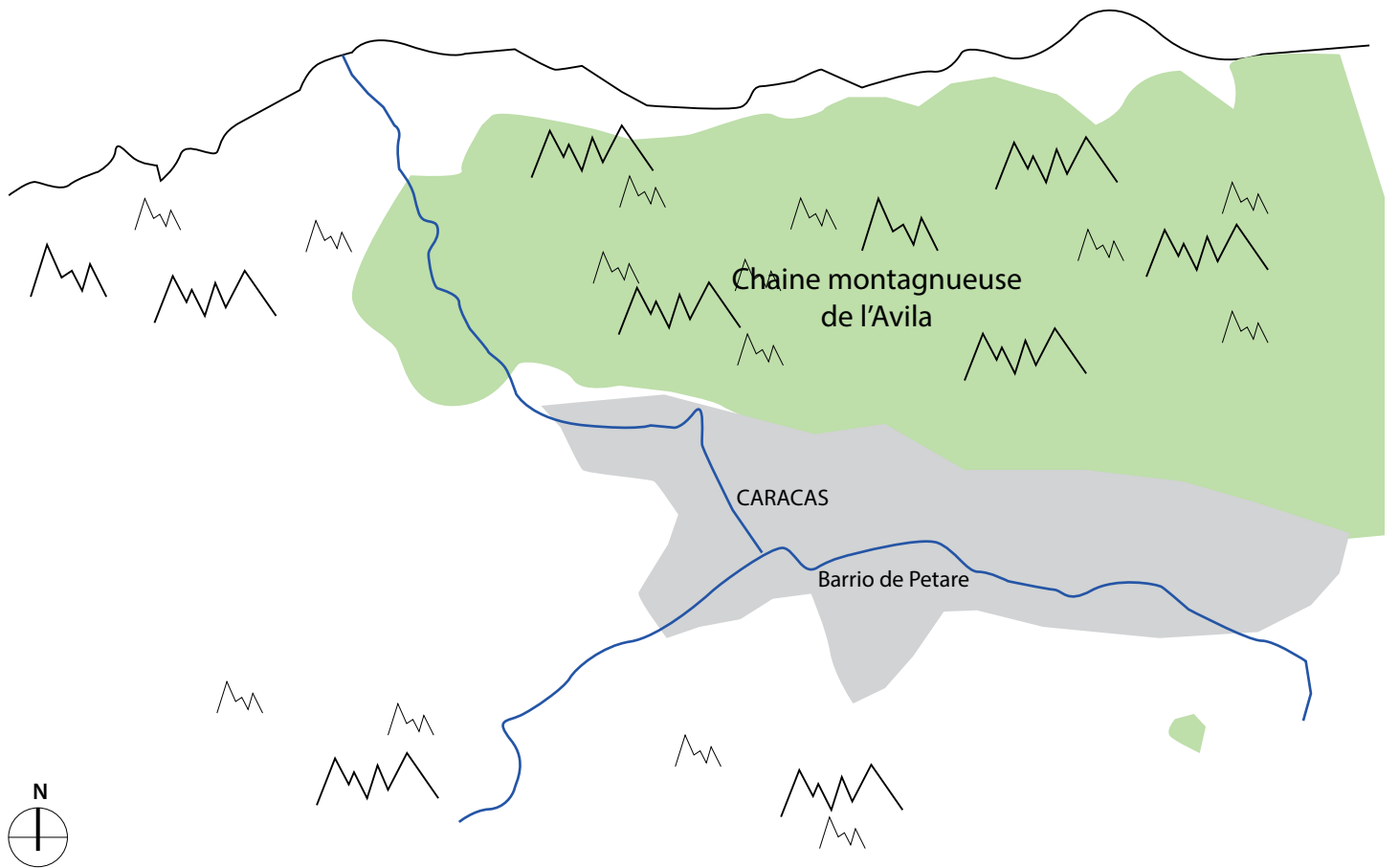
Laure Pedot



# Climat

Géographie  
Données et analyses climatiques

Mer des Caraïbes



Chaîne montagneuse  
de l'Avila

CARACAS

Barrio de Petare



# Géographie

lat. **10° 29N**      long. **66° 54W**      alt. **910m**

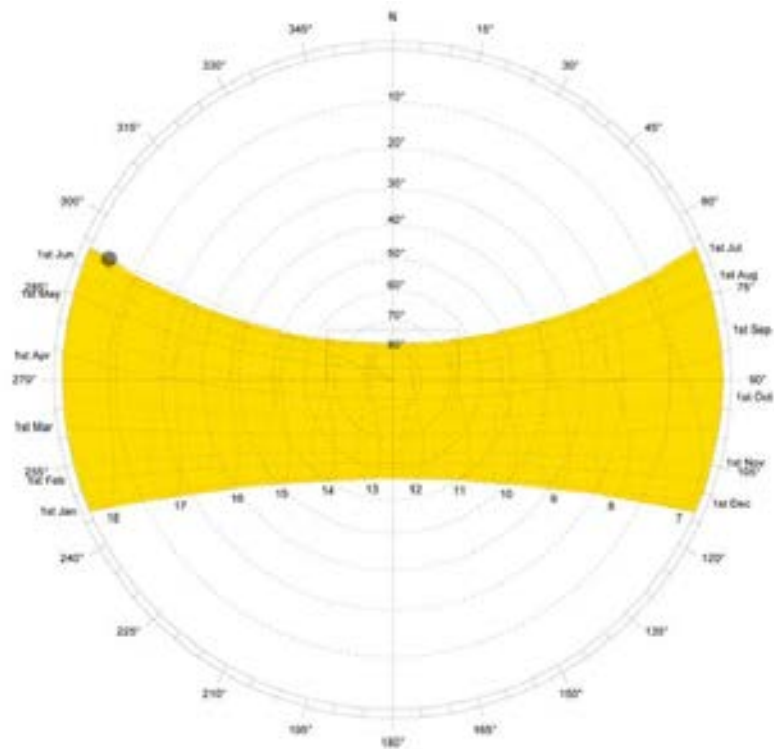
La ville de Caracas est située dans une vallée entourée de la chaîne montagneuse Avila. Ce relief d'environ 2000m d'altitude protège la ville de la mer des Caraïbes au Nord.

Le climat est tropical humide mais est quelque peu tempéré par l'altitude.

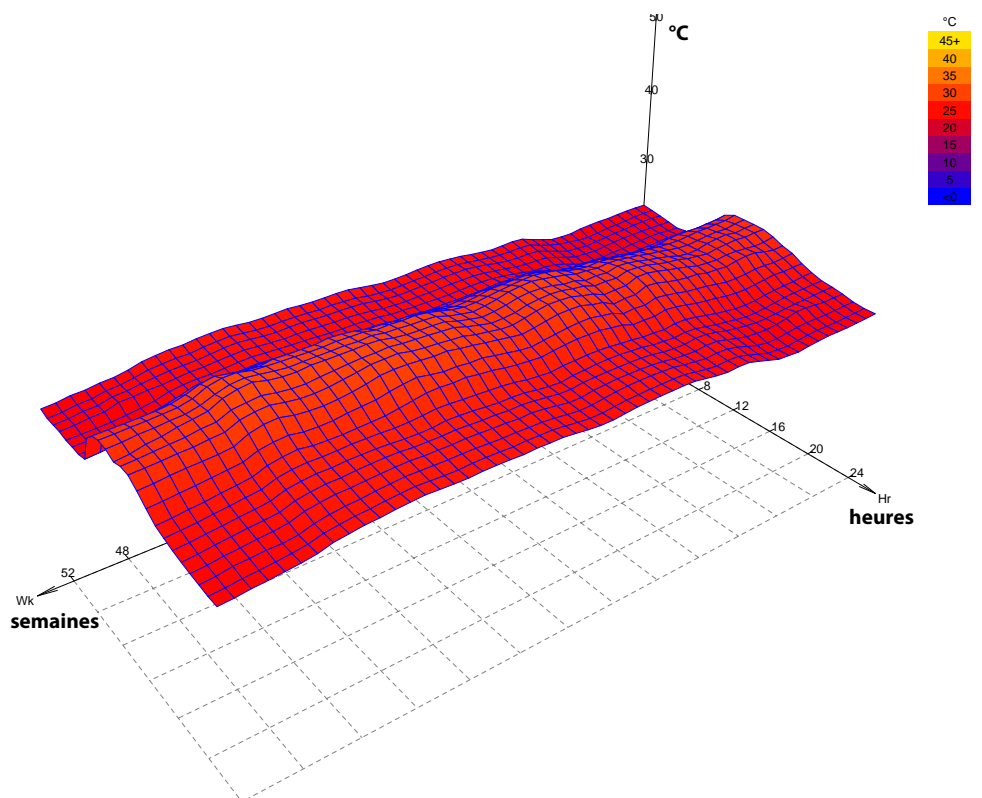
La région ne subit que très peu de variations saisonnières. Cela dit, la saison des pluies est très marquée et s'étend de mai à octobre. Les précipitations annuelles varient entre 900mm et 1300mm selon l'altitude.

La ville, s'étendant sur 433km<sup>2</sup>, compte plus de 5 millions d'habitants dont 40% vit dans le bidonville de Barrio de Petare, situé sur la rive de la rivière Guaire. Il est réputé pour être le plus grand bidonville d'Amérique latine





**Diagramme solaire**  
Source : Ecotect



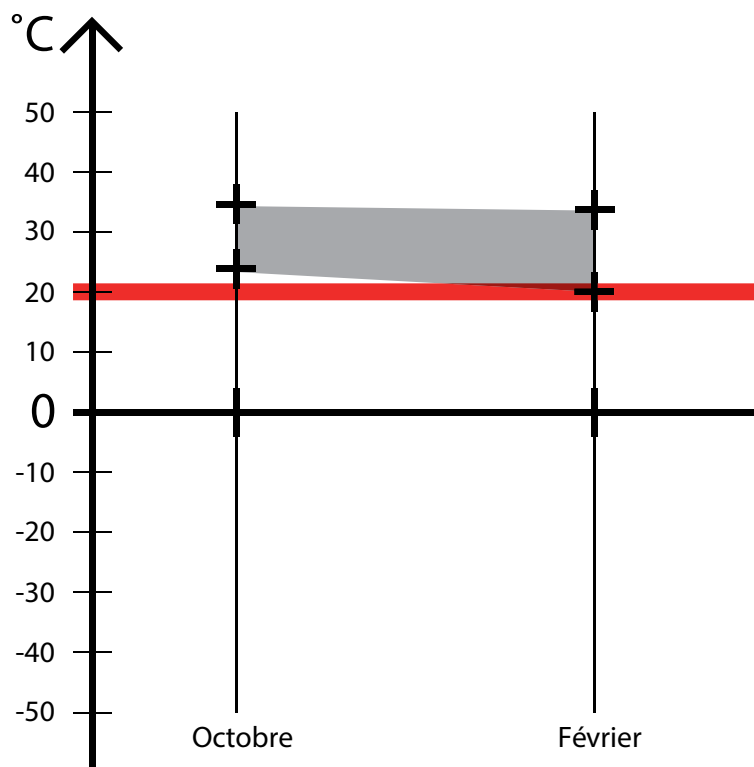
**Températures constantes**

**Moyenne de températures**  
Données sur la journée  
et sur l'année  
Source : Ecotect

# Soleil / Température / Rayonnements

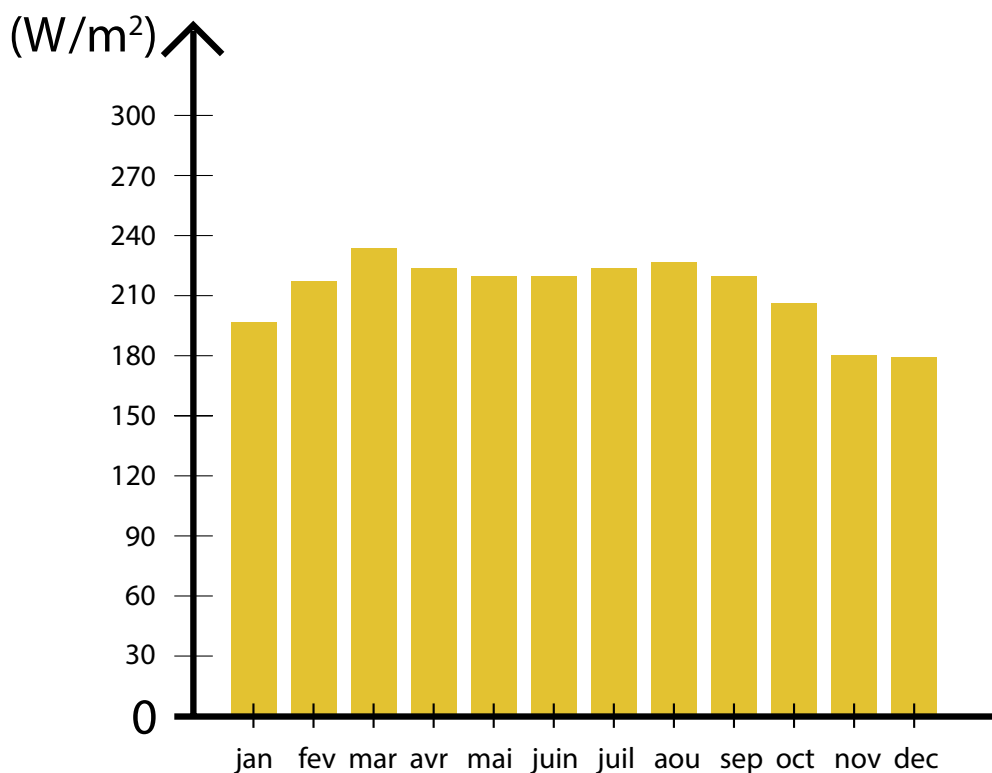
## Faible amplitude thermique

Les températures varient très peu entre le jour et la nuit et il n'y a pas réellement de variation saisonnière. Les moyennes de températures sont comprises entre 25°C et 28°C

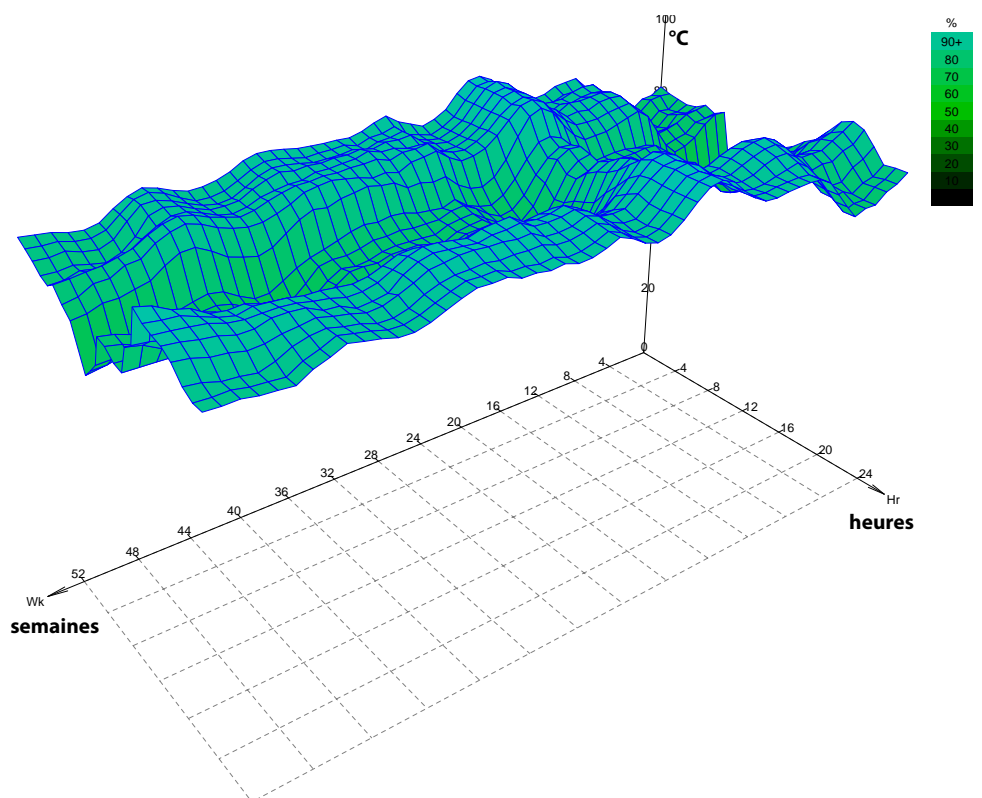


## Potentiel solaire

Le rayonnement solaire est en moyenne de 214W/m<sup>2</sup> et varie très peu au cours de l'année.



## Forte humidité relative



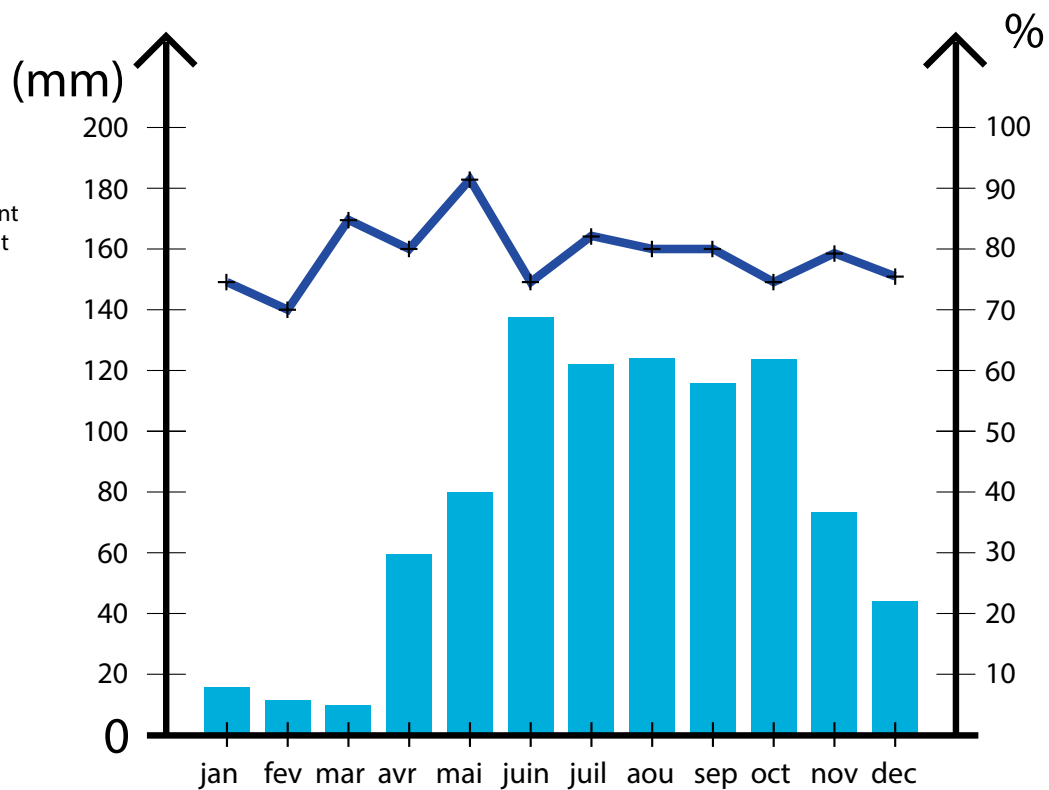
**Moyenne de l'humidité relative**  
Données sur la journée  
et sur l'année  
Source : Ecotect



# Pluie / Humidité / Vents

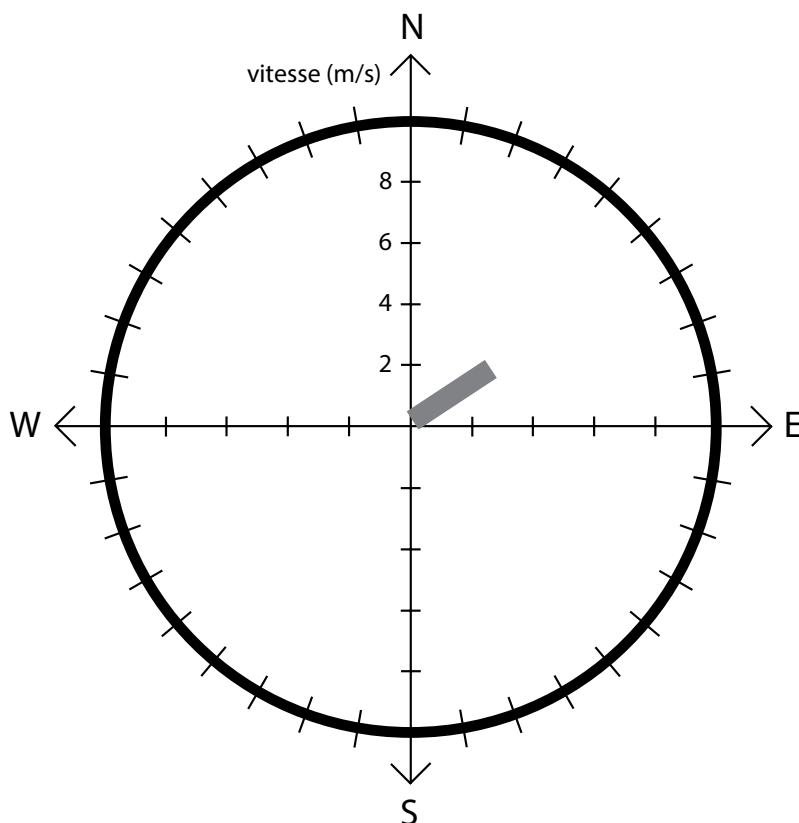
## Saison des pluies

Elle s'étend de mai à octobre et peut atteindre 140 mm par mois. Les précipitations annuelles varient entre 900 mm et 1300 mm suivant les quartiers de Caracas.



## Bruissement des feuilles

Caracas est protégé des vents forts provenant de l'océan par la chaîne de l'Avila. Les vents dominants soufflent en moyenne à 3m/s et arrivent du Nord Est.





# Concept

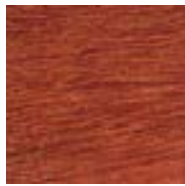
Ressources  
Stratégies  
Usages



## Matériaux

Bois : Voici des essences de bois tropicaux disponibles adondamment dans les forêts du Venezuela :

- Ipé
- Itauba
- Marçaranduba
- Curuma



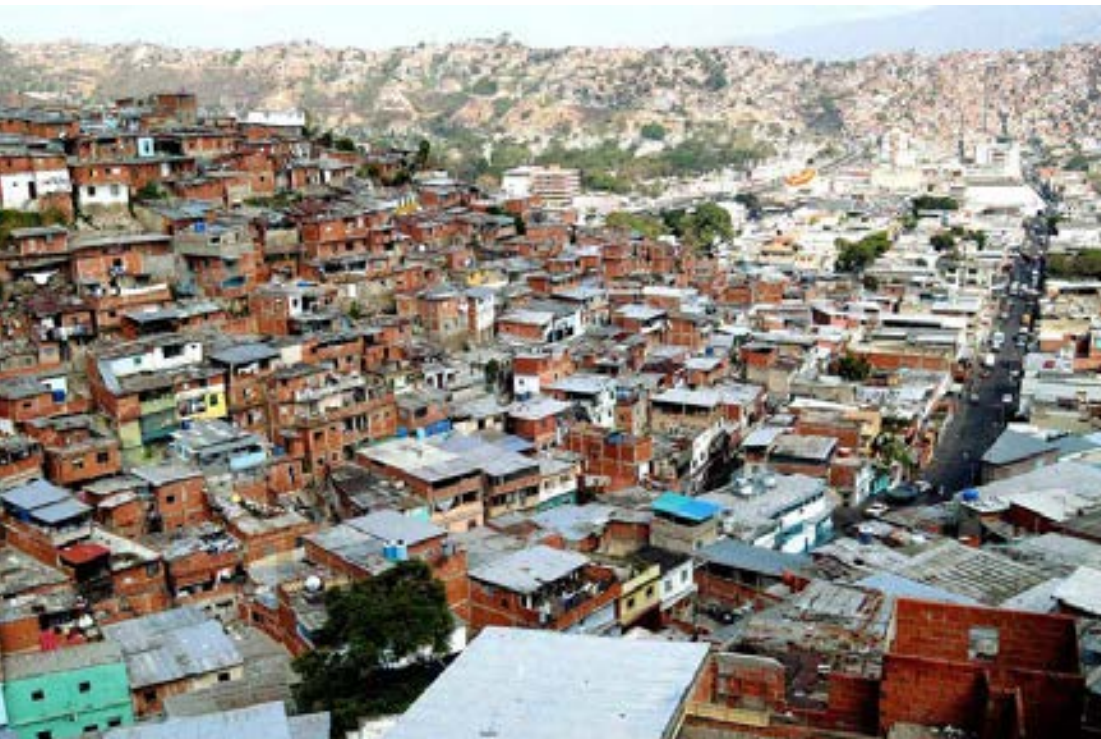
Celles-ci sont employées en structure du fait de leurs propriétés mécaniques intéressantes. De plus, elles sont caractérisées par une très grande résistance aux champignons et termites, grand fléau dans les pays tropicaux pour les constructions en bois.



On trouve également sur le site, un sol argileux. La terre mélangée à de la paille ou autre élément fibreux peut servir à constituer des briques.

## Habitat informel

Les bidonvilles sont essentiellement construits en matériaux de récupération. On trouve principalement des tôles en toiture et des parpaings pour les murs

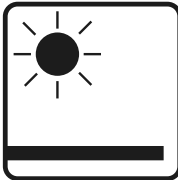


## Bidonvilles verticaux

Ces habitats précaires colonisent parfois la ville. Ici, la Torre David, le bidonville le plus densément peuplé du monde, se déploie verticalement sur plus de 28 étages.



# Ressources



## Energie et climat

Soleil (214W/m<sup>2</sup> moyen) : potentiel solaire  
Vent dominant (10 km/h) : faible potentiel éolien



## Avantages climatiques

Températures agréables sur toute l'année  
Peu d'amplitude thermique jour/nuit  
Brise



## Ressources géographiques

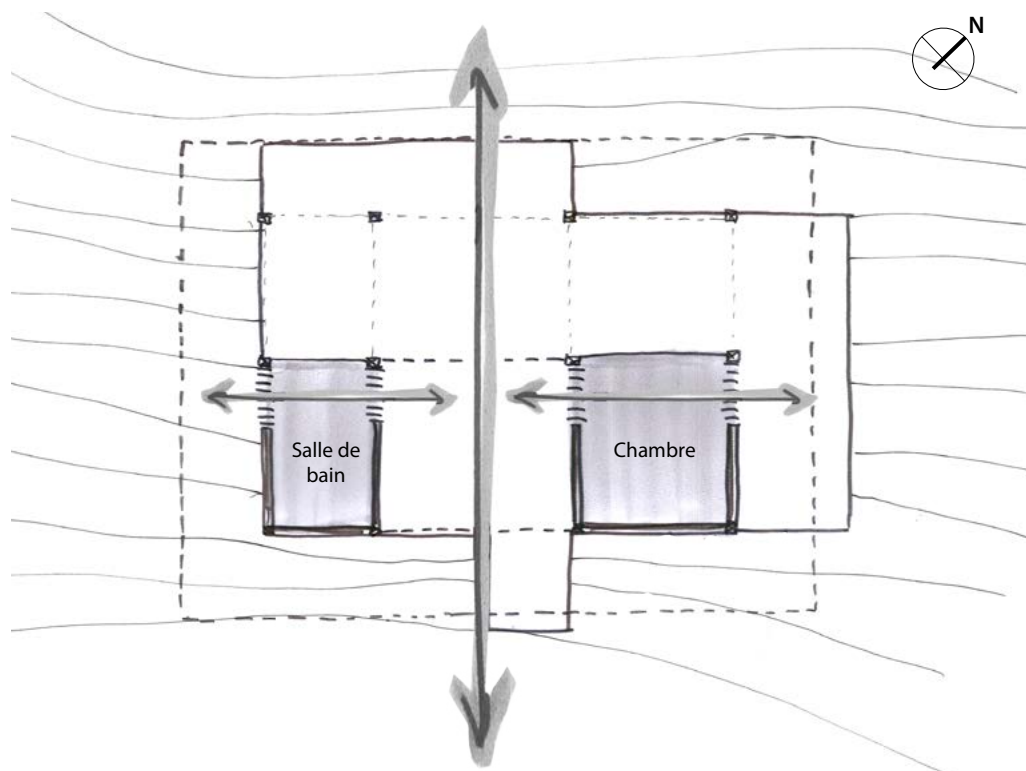
Relief et vallée  
Végétation abondante : forêt équatoriale





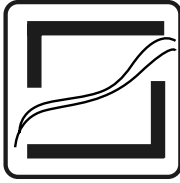
**Toiture ventilée**

L'air traverse le bâtiment, d'Est en Ouest et du Nord vers le Sud mais surtout du sol vers la toiture.



**Plan éclaté**

L'air circule librement dans l'ensemble du plan de la cellule. Les pièces closes, la chambre et la salle de bain bénéficient d'ouvertures traversantes



# Stratégie climatique

## Ventiler naturellement

Le climat est caractérisé par des températures élevées et une forte humidité relative toute l'année. Un des moyens les plus efficaces pour atteindre un niveau de confort optimal est de faire circuler de l'air dans le logement.

Pour cela, plusieurs stratégies sont adoptées :

### - Une toiture ventilée

L'air circule sous la toiture, ce qui permet d'éviter les surchauffes dues aux rayonnements sur la couverture en tôle. Les deux pentes du toit forment un resserrement entre la toiture et le mur. C'est alors que se crée une zone de dépression tirant l'air chaud. (effet Venturi)

### - Un plancher poreux

Le plancher est surélevé du sol de 70cm à 150cm selon la topographie. Le vent s'engouffre dessous et passe à travers les planches de bois qui le constitue.

### - Un plan ouvert

La majorité du plan est ouvert au vent. Seules deux pièces bénéficient de parois opaques. Cela dit, celles-ci possèdent des ouvertures traversantes équipées de lames pivotantes en bois permettant d'ouvrir et de fermer selon les besoins.

### - Une double toiture

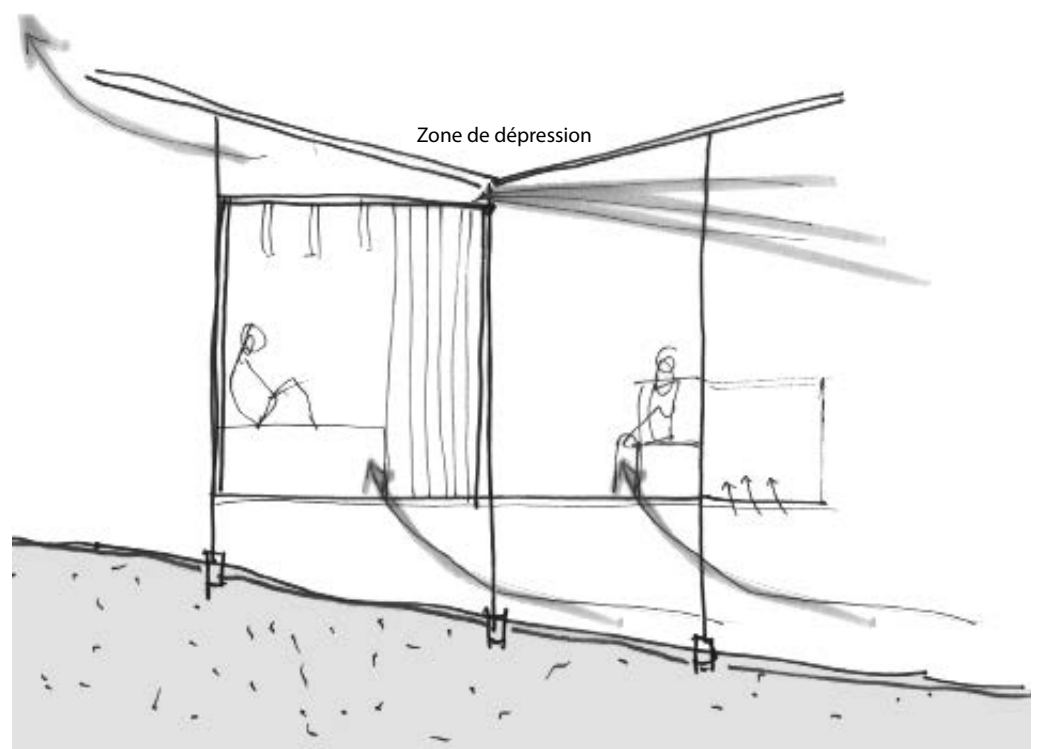
Ces pièces possèdent un plafond permettant d'évacuer l'air chaud. En effet, l'air passe à travers le plancher et s'échappe en partie haute à travers le plafond qui est, tout comme le plancher, poreux. C'est le principe du tirage thermique.

### Effet Venturi

Il y a formation d'une dépression dans une zone où les particules de fluides sont accélérées. «Si le débit de fluide est constant et que le diamètre diminue, la vitesse augmente nécessairement.»  
Théorème de Bernoulli

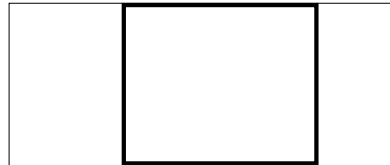
### Tirage thermique

L'air chaud est évacué en toiture par un effet de pression dû à la différence de température entre le sol et la toiture. Le débit d'air évacué est proportionnel à la hauteur entre l'entrée et la sortie d'air.

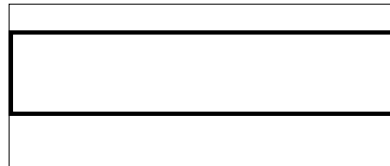


## Etude sur la compacité du bâtiment

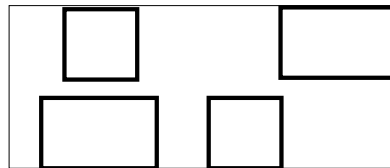
1. Plan carré  
**Surface habitable** 20m<sup>2</sup>  
**Volume** 60m<sup>3</sup>  
4m x 5m x 3m  
**Surfaces déperditives** 94m<sup>2</sup>



2. Plan étiré  
**Surface habitable** 20m<sup>2</sup>  
**Volume** 60m<sup>3</sup>  
10m x 2m x 3m  
**Surfaces déperditives** 112m<sup>2</sup>



3. Plan éclaté  
**Surface habitable** 20m<sup>2</sup>  
**Volume** 60m<sup>3</sup>  
2(3m x 2m x 3m) + 2(2m x 2m x 2m)  
**Surfaces déperditives** 148m<sup>2</sup>

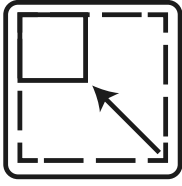


**Comparaison morphologique**  
Pour un même volume, la superficie de l'enveloppe varie. La forme la plus compacte est donc la moins déperditive.



1. Plan carré





## Stratégie morphologique

Une ventilation naturelle efficace reste une priorité. Or, il est important de maîtriser les échanges avec l'extérieur afin de réguler les fortes températures et de faciliter la ventilation. Ceci peut s'effectuer de différentes manières :

### Réduire les apports solaires

Pour cela, il est important de s'abriter des rayonnements solaires directs en créant un grand débord de toiture délimitant une zone ombragée. Cette ombre protège ainsi la surface du plancher mais aussi les parois verticales. De plus, des brises soleil sont mis en place devant les ouvertures afin de protéger les pièces dès les premières heures de la journée et jusqu'au coucher du soleil.

### Favoriser les déperditions

Une fois la protection solaire établie par la toiture, il s'agit de chercher une morphologie de plan permettant de maximiser les échanges avec l'extérieur. L'étude menée, présentée ci-contre, a démontré que la forme éclatée de plan était la plus déperditiv. Ainsi, de toutes petites pièces composées de parois à très faible inertie évitent le réchauffement dû à l'activité humaine. L'air chaud s'évacue et est renouvelé constamment.

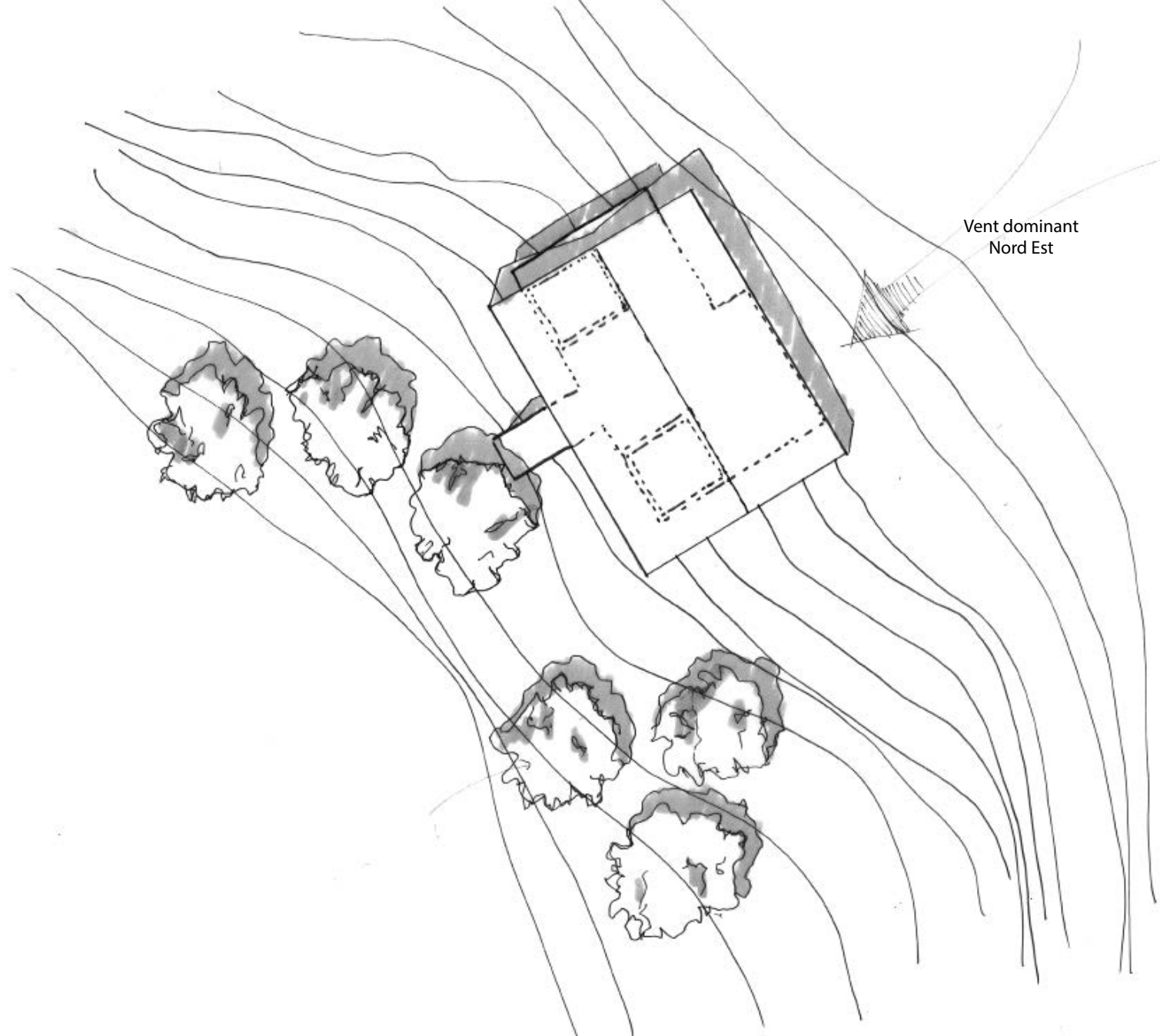
#### Calcul du coefficient de forme

Le coefficient de forme (Cf) est le rapport entre la surface de l'enveloppe du bâtiment et le volume habité.

Deux stratégies semblent se mettre en place consistant respectivement à limiter les échanges thermique grâce à la grande toiture et à favoriser les échanges d'air par le biais d'un plan éclaté.



2. Plan étiré



Vent dominant  
Nord Est



3. Plan éclaté



# Stratégie paysagère

## Aménagement paysager

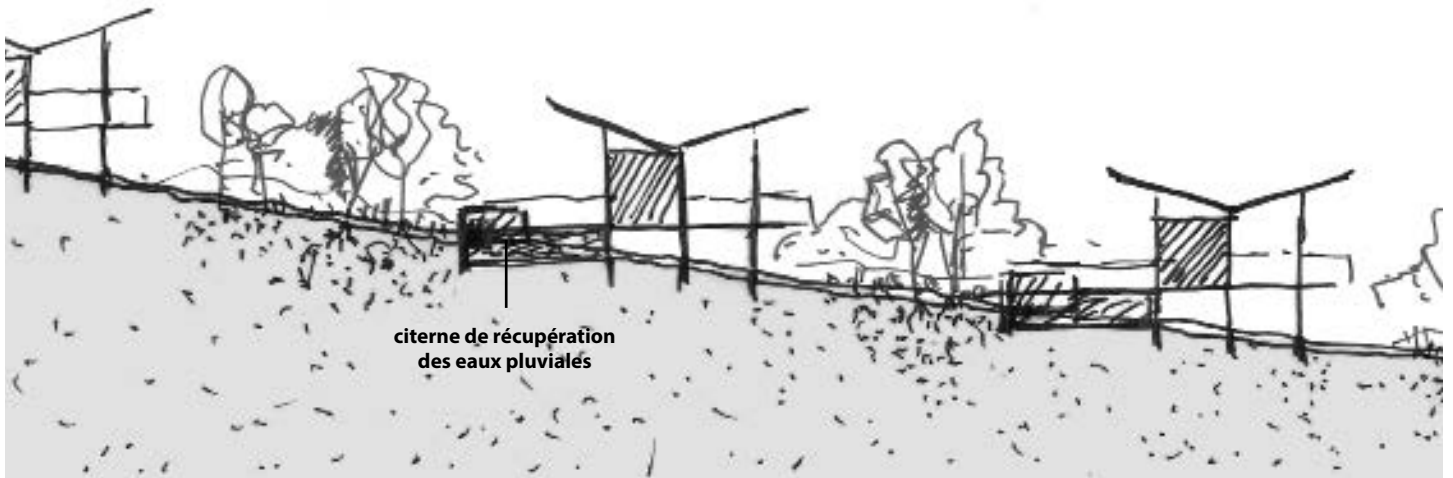
Dans l'optique de se protéger des rayonnements solaires, une couverture arborée est plantée au Sud Ouest laissant ainsi, au Nord, les vents dominants traverser le bâtiment. De plus, le boisement des terrains en haut des maisons permet de lutter contre le ravinement.

## Implantation dans la pente

Afin d'améliorer les performances de la ventilation naturelle, le projet s'installe dans une situation topographique tenant compte de la direction principale du vent. Ainsi, le bâtiment, posé au dessus du sol, à flanc de colline, profite de la remontée des vents de fond de vallée.

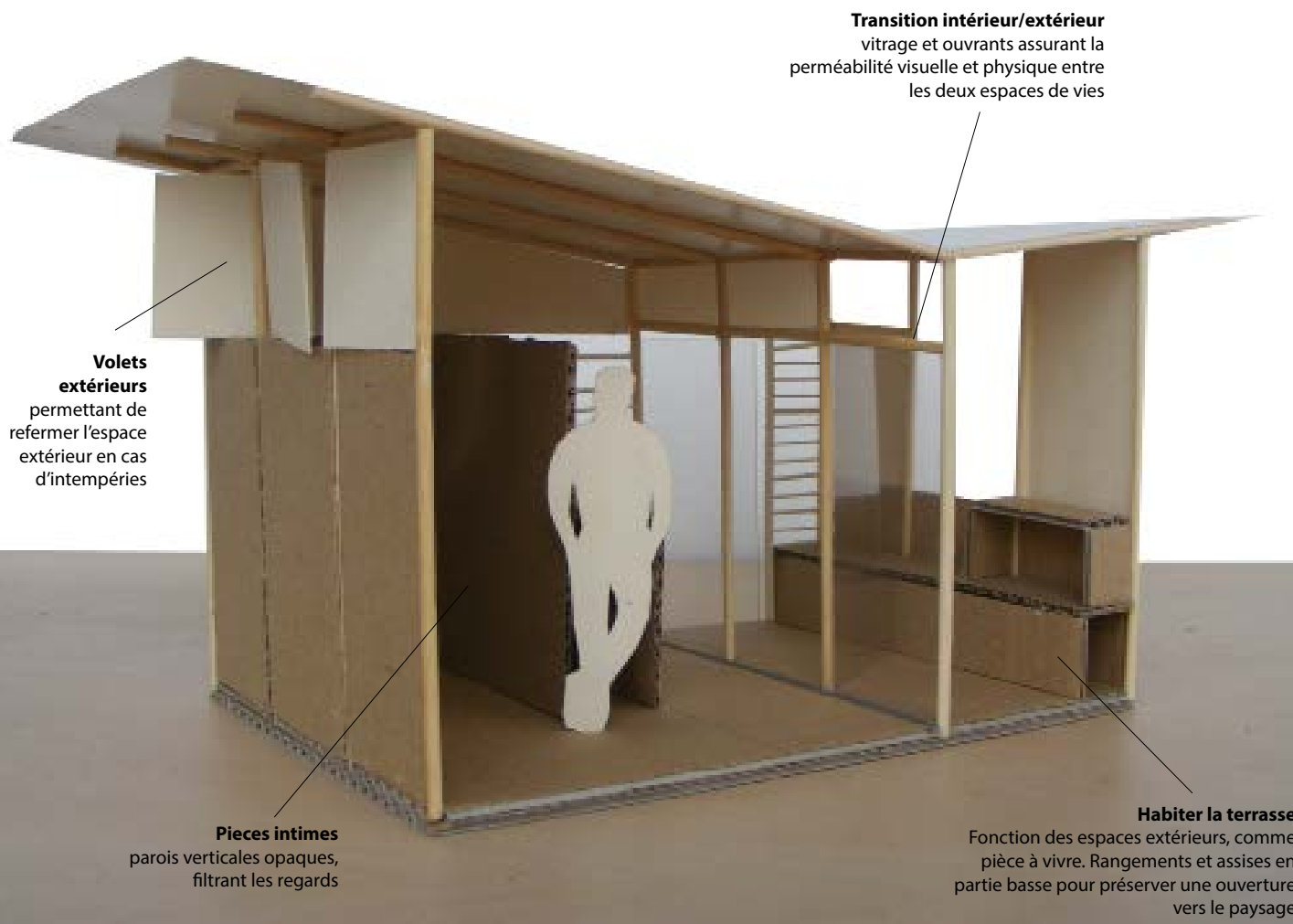
## Maitriser le ruissellement

Or, la situation dans la pente a quelques désavantages, notamment durant la saison des pluies. Les constructions spontanées implantées sur les collines de Caracas subissent régulièrement des éboulements dus à des glissements de terrain. Il est important de mettre en place un traitement du sol luttant contre le ravinement durant la mousson.



### Coupe sur les murets de protection

Les accès au Sud sont aussi des murs de soutènement qui protègent les maisons du ravinement. Ils permettent également d'y installer les citernes de stockage d'eau pluviales.



**Volets extérieurs**  
permettant de refermer l'espace extérieur en cas d'intempéries

**Transition intérieur/extérieur**  
vitrage et ouvrants assurant la perméabilité visuelle et physique entre les deux espaces de vies

**Pieces intimes**  
parois verticales opaques, filtrant les regards

**Habiter la terrasse**  
Fonction des espaces extérieurs, comme pièce à vivre. Rangements et assises en partie basse pour préserver une ouverture vers le paysage

**Principes d'usage**  
maquette représentant la transition entre les espaces intimes et les espaces à vivre ouverts sur le paysage.

# Usages

## Un rapport au climat dans la manière d'habiter

La climat clémente et la nécessité de ventiler pour atteindre un niveau de confort appréciable permet de déployer les fonctions dans des espaces extérieurs aménagés. On distingue dans le projet une série de filtres caractérisant des rapports à la nature différents.

### La toiture : rapport au ciel

La couverture qui délimite une zone ombragée. Elle constitue la première enceinte du logement.

Fonction : protège de la pluie et des rayonnements solaires directs.

### Le dek : rapport au sol

Le plancher définit la zone sur laquelle on peut habiter. Il délimite le logement.

Fonction : protège de la pluie et de l'humidité du sol, de certains nuisibles.

### La toile : rapport à l'air

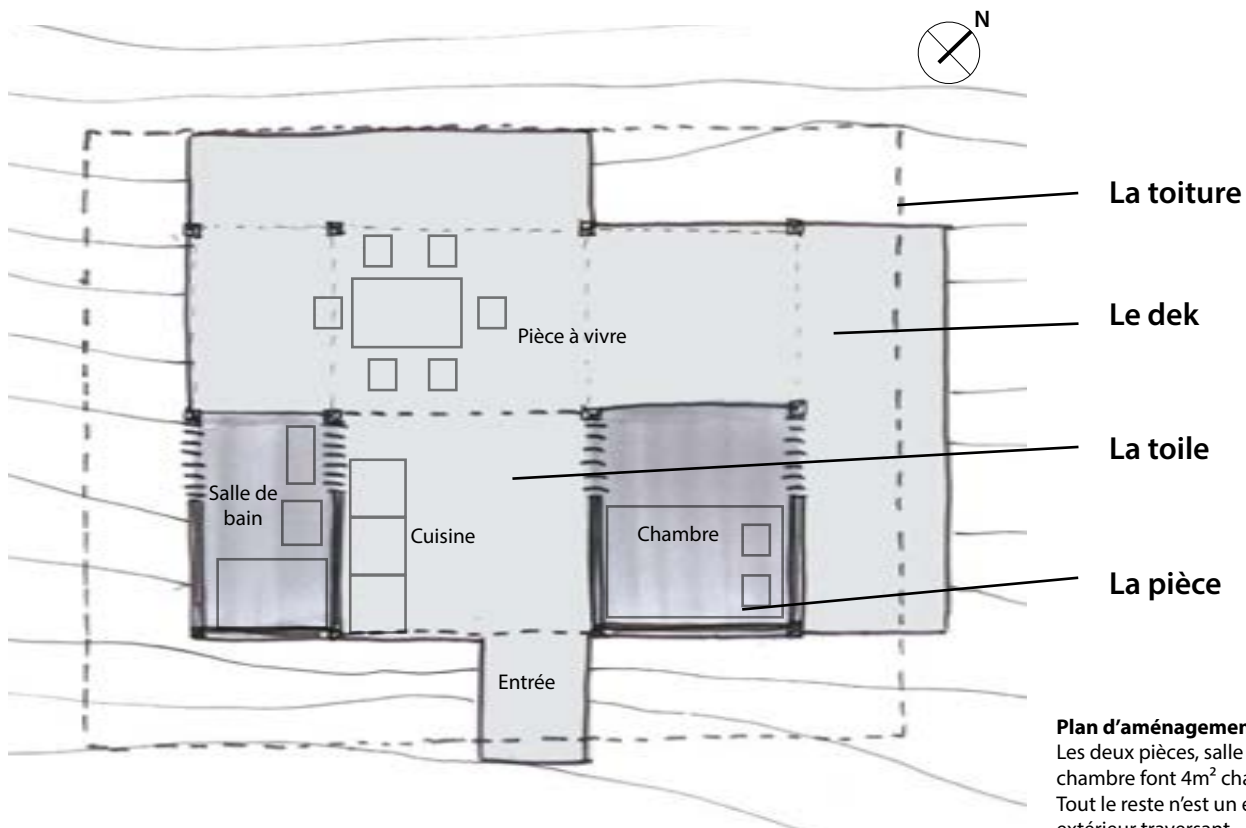
La moustiquaire permet de tenir à distance les éléments nuisibles. De plus, elle forme un filtre physique qui délimite certains espaces (ex: cuisine)

Fonction : protège des moustiques et autres nuisibles et des rayonnements solaires diffus.

### La pièce : rapport à la lumière

La pièce se caractérise par des murs qui dessinent un espace intime pouvant être isolé du monde extérieur. C'est, par exemple, la chambre dans laquelle on peut faire l'obscurité

Fonction : protège de la vue et de la lumière, des infractions, et du vent/pluie en cas d'intempéries violentes.





# Matériaux

Descriptif et propriétés physiques recherchés  
Assemblages et alternatives





# Descriptif

## Propriétés physiques recherchées

### Fondations et murets de soutènement

Fonction : maintenir, soutenir, assurant l'interface sol/air/structure  
Résistant à l'eau et à l'humidité, bonne résistance mécanique

### Structure

Fonction : porter, soutenir  
Résistant à l'eau/humidité, aux champignons et termites  
Léger et souple - résistance sismique : bonnes propriétés de déformation à la flexion et à la torsion, module d'élasticité important.

### Couverture

Fonction : protéger de la pluie et du soleil  
Résistant à la corrosion et supporter charges dues à la pluies.  
Léger. Faible inertie et conductivité thermique  
Etanchéité

### Plancher

Résistant à l'eau/humidité, aux champignons et termites  
Poreux, faible inertie et conductivité thermique

### Murs

Fonction : protéger du soleil et si besoin des intempéries, remplissage  
Résistant à l'eau, aux champignons et termites  
Stopper les rayonnements thermiques : basse émissivité  
Poreux, faible inertie et conductivité thermique

### Ouvrants : fenêtres

Fonction : protéger des intempéries et des nuisibles, laisser pénétrer la lumière  
Résistant à l'eau, aux champignons et termites  
Transparence

### Ouvrants : volets

Fonction : protéger des intempéries et des nuisibles, faire l'obscurité  
Résistant à l'eau, aux champignons et termites  
Opacité

### Brise-soleil

Fonction : protéger du soleil et si besoin des intempéries  
Résistant à l'eau, aux champignons et termites  
Faible inertie et conductivité thermique

### Toile

Fonction : protéger des moustiques et autres nuisibles  
Réduire les rayonnements thermiques : basse émissivité  
Maillage serré laissant passer les flux d'air  
Transparence

#### Estimation du volume de matière :

Béton (plots 0.25 m <sup>3</sup> )	4 m <sup>3</sup>
Bois structure	5 m <sup>3</sup>
Bois (murs 30m <sup>2</sup> )	0.6m <sup>3</sup>
Bois plancher (36m <sup>2</sup> )	0.7m <sup>3</sup>
tôle toiture (45m <sup>2</sup> )	1m <sup>3</sup>

Couverture en tôle ondulée

Charpente en bois tropical

Plafond en lattes de bois  
laissant passer les flux d'air

Toile basse émissivité  
réduisant les rayonnements

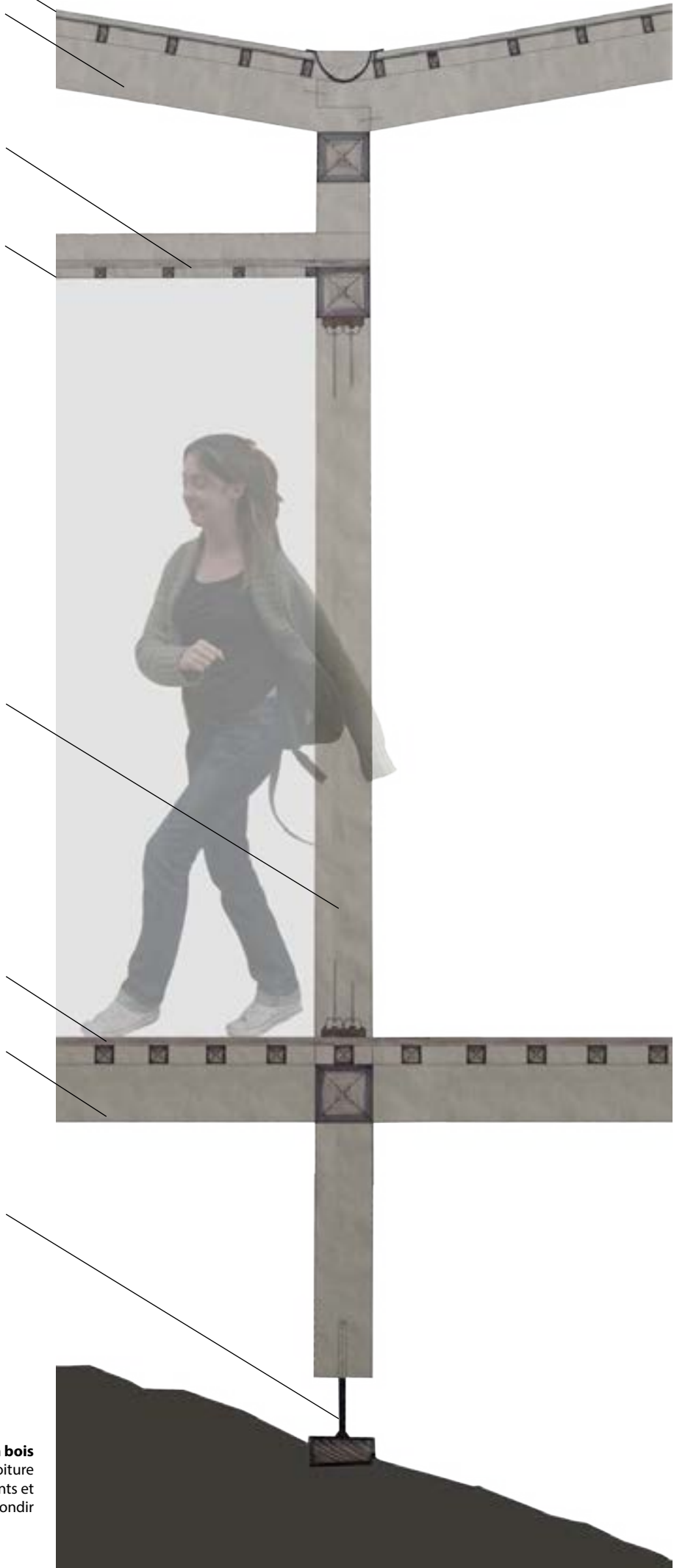
Porte-fenêtre coulissante  
simple vitrage

Plancher en lattes de bois  
laissant passer les flux d'air

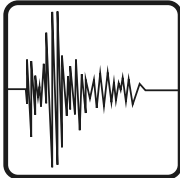
Structure en bois tropical

Tige en acier visée dans le poteau  
en bois et ancrée dans les plots de  
fondations en béton

**Structure en bois**  
Les fondations et le chéneau en toiture  
sont des assemblages importants et  
complexes qu'il faudrait approfondir



# Assemblage et alternatives



## Les risques climatiques

Les collines de la ville subissent d'importants ravinements lors des moussons et la plupart des habitats informels construits sur ces pentes menacent de s'effondrer. De plus, Caracas se situe sur une zone sismique où les probabilités de tremblements de terre sont élevées. La fréquence et l'intensité de ceux-ci risquent d'augmenter dans les années à venir. Il est important de concevoir une structure pouvant résister à ces désordres.

### Quelques propriétés du Curuma (exemple de bois tropical)

Contrainte de rupture de compression axiale : 100 MPa  
 Contrainte de rupture de flexion parallèle : 220 MPa  
 Module d'élasticité longitudinal en flexion : 26 610 MPa  
 Masse volumique moyenne à 12 % : 1050 kg/m<sup>3</sup>

## Proposition

### Toiture en tôle

Mise en œuvre facile, légèreté et bonne étanchéité  
 pb : conductivité thermique élevée  
Origine : récupération

### Structure en bois

Souplesse, légèreté et mise en œuvre facile. Bois tropicaux de type Ipé, Itauba ou Curuma, bonne résistance aux termites  
Origine : forêt équatoriale à proximité de Caracas

### Fondations en béton

Bonne résistance à l'humidité  
 Facile à mettre en œuvre et peu coûteux  
Origine : industrie vénézuélienne

### Parois poreuses en bois

Panneau de bois ou bardage bois  
 Tressage de fibres bois, d'osier ou rotin.  
Origine : forêt équatoriale à proximité de Caracas  
 Toile basse émissivité et moustiquaire

## Alternatives

### Toiture naturelle

Feuilles de bois tropicaux  
Origine : forêt équatoriale à proximité de Caracas

### Structure en métal

Mise en œuvre facile mais solution plus coûteuse. L'acier devra être traité contre la corrosion.  
 pb : conductivité thermique élevée  
Origine : industrie

### Fondations en réemploi

Bidon en plastique ou pneumatiques de voiture que l'on remplit de terre.  
Origine : récupération

### Parois poreuses réemploi

Murs en bouteilles en plastiques ou en verre coulé dans du ciment.  
Origine : récupération  
 Textile léger de couleur clair

	Proximité	Fabrication	Mise en œuvre	Recyclage
Bois tropical	+++	++++	++	+++
Acier	+	+	+++	+
Béton	+	+	+	++
Tôle récupérée	+++	++++	++	+
Toile	+	++	++++	+++

Critères de choix et évaluation d'un matériau par rapport à la question de l'énergie grise



# Energie

Besoins  
Production  
Conclusion

# Besoins

## Eau : potable / courante

L'usage des toilettes sèches réduit fortement les besoins d'eau. Néanmoins, certains postes restent très demandeurs, comme les douches qui représentent presque 50% des consommations totales.

On estime, d'après le graphique, ci contre :

Lessive	11 m <sup>3</sup> /an	14.6 L/jour
Vaisselle	8.8 m <sup>3</sup> /an	12 L/jour
Ménage	0.8 m <sup>3</sup> /an	1.1 L/jour
Douches	29.2 m <sup>3</sup> /an	40 L/jour
Cuisine, boisson	11 m <sup>3</sup> /an	15 L/jour

### Calcul des besoins en eau

Consommation estimée pour un logement occupé à l'année par 2 adultes  
Simulation effectuée sur le site de l'office international de l'eau  
<http://www.oieau.org>

**Besoins en eau estimés : 93 L/j**

## Electricité : éclairage / électroménager

La spécificité du climat permet d'éviter tout besoin en chauffage et réduit donc considérablement les dépenses énergétiques.

Cela dit, il faut prévoir la possibilité de rafraîchir la pièce à vivre durant les heures les plus chaudes. Le projet étant ouvert aux vents, l'usage d'un climatiseur serait inutile. Je propose donc l'emploi d'un simple ventilateur à hélice, moins coûteux et tout aussi efficace.

Le détail des consommations est estimé dans le tableau ci-dessous. Les besoins varient très peu au cours de l'année, à l'exception des besoins de rafraîchissement:

**Besoins en électricité estimés : 6,46 kWh/j**

Tableau récapitulatif des besoins estimés en électricité

Fonctions	Type d'appareils	Puissance	Temps d'utilisation par jour	Energie nécessaire par jour
Cuisiner	plaques électriques	3,3 kW	20 min	1 kWh/j
Refroidir	réfrigérateur	0,002 kW	24h	0,5 kWh/j
	ventilateur à hélice	0,05 kW	12h	0,6 kWh/j
Nettoyer	ECS		2 douches	2,8 kWh/j
	lave-linge	2,5 kW	1 par semaine	1 kWh/j
Eclairer	2LED	0,02 kW	3 h	0,06 kWh/j
Communiquer	ordinateur portable	0,016 kW	4 h	0,06 kWh/j
	modem internet	0,009 kW	24 h	0,2 kWh/j
	téléphone	0,0017 kW	24 h	0,04 kWh/j
	téléviseur	0,1 kW	2 h	0,2 kWh/j

**Données extraites et extrapolées**  
de l'ouvrage de David J.C. MacKay  
«L'énergie durable, pas que du vent!»  
2009, Edition Deboeck

# Productions

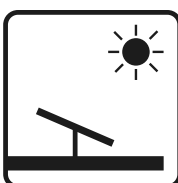


## Récupération l'eau

De mai à novembre, la récupération des eaux pluviales en toiture est suffisante pour répondre aux besoins d'eau estimés précédemment. Or, pendant les 4 mois suivants (de décembre à mars) les précipitations couvrent à peine 6% des besoins. Cela démontre la nécessité de collecter l'eau durant la saison des pluies.

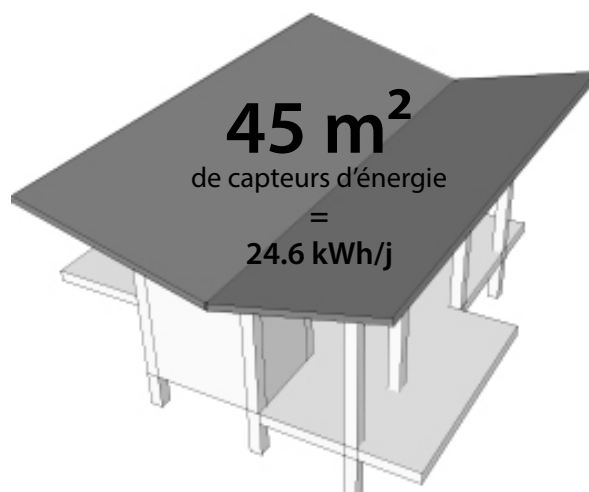
MOIS	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aou	sep	oct	nov	déc
Précipitations en mm	16	13	12	59	80	139	121	124	114	123	73	42
Récupération en L	720	585	540	2655	3600	6255	5445	5580	5130	5535	3285	1890
(L/jour)	23,2	20,2	17,4	88,5	116	208,5	175,6	180	171	178,5	109,5	61
Ration pluies/ besoins (L/jour)	- 70	- 73	- 76	- 5	+ 23	+115	+ 82	+ 87	+ 78	+ 85	+16	- 32
Manques en L	7170	2263	2356	36	-	-	-	-	-	-	-	992

Durant la saison sèche, de décembre à avril, il manque un total 12 817 L pour répondre aux besoins. Cela dit, durant la saison des pluies, on peut récupérer 486 L/j de surplus d'eau. On peut estimer le volume de la citerne pour couvrir les besoins en eaux sur la durée de la saison sèche à 13 000 L, soit 13 m<sup>3</sup>



## Electricité photovoltaïque

On estime qu'un panneau photovoltaïque a une puissance de 230 W/m<sup>2</sup>. Si les 45m<sup>2</sup> de la toiture sont recouvert de panneaux photovoltaïques alors on peut produire 246 kWh/j. Or, il faut appliquer à cela un coefficient de rendement de 10%, on produit alors 24.6 kWh/j.



Or, en cas de forte chaleur, on considère que l'on se douche à l'eau froide. Le poste **ECS est donc supprimé** et on peut faire l'économie de 2,8 kWh/j, réduisant ainsi les besoins à 4 kWh/j. Cette économie en période de canicule, pourrait permettre de faire fonctionner plus de ventilateurs et pendant plus longtemps, soit **4 ventilateurs supplémentaires 24h/j**.



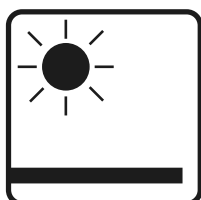


# Synthèse énergie

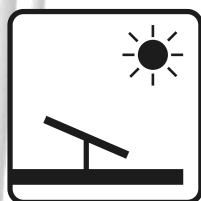
## RESSOURCES

Moyenne de rayonnement solaire direct  
+  
Moyenne des précipitations annuelles  
NB : fortes variations de précipitations entre la saison sèche et la saison humide

230 W/m<sup>2</sup>



900 mm/m<sup>2</sup>



24,5 kWh/j



40 L/j

## PRODUCTIONS sur 45m<sup>2</sup> de toiture

Moyenne annuelle de production photovoltaïque  
+  
Moyenne annuelles de surplus d'eau  
NB : soit 486 L/j durant la saison de pluies

6,5 kWh/j

93 L/j

## BESOINS pour 2 personnes

Moyenne des besoins d'électricité  
+  
Moyenne des besoins d'eau

### ÉLECTRICITÉ

La toiture produit un surplus d'énergie de 18kWh/j par rapport aux besoins estimés. Il n'est pas nécessaire de stocker cette quantité d'énergie, puisque la production est constante sur l'année. Cela dit, je pourrais la redistribuer ou densifier les usages autour de cette toiture. Je pourrais également baisser le nombre de panneaux afin de réduire ma production. En réalité, **17m<sup>2</sup> de panneaux suffirait à couvrir les besoins.**

### EAU

Grâce au stockage, les besoins en eau peuvent être équilibrés entre la saison des pluies et la saison sèche puisque l'on arrive à une moyenne annuelle de 40L/j de surplus d'eau estimés en fonction des besoins journaliers. Durant la saison sèche, de décembre à avril, il manque un total 12 817 L pour répondre aux besoins. **La citerne devrait pouvoir contenir l'équivalent de 13 000L**, ce qui représente un réservoir de 2m X 6m X 1m



# Conclusion

## Climat chaud et humide

A Caracas, il y a très peu de variation de températures saisonnière et journalière. La seule variation climatique réside dans la saison des pluies qui s'étend de mai à octobre.

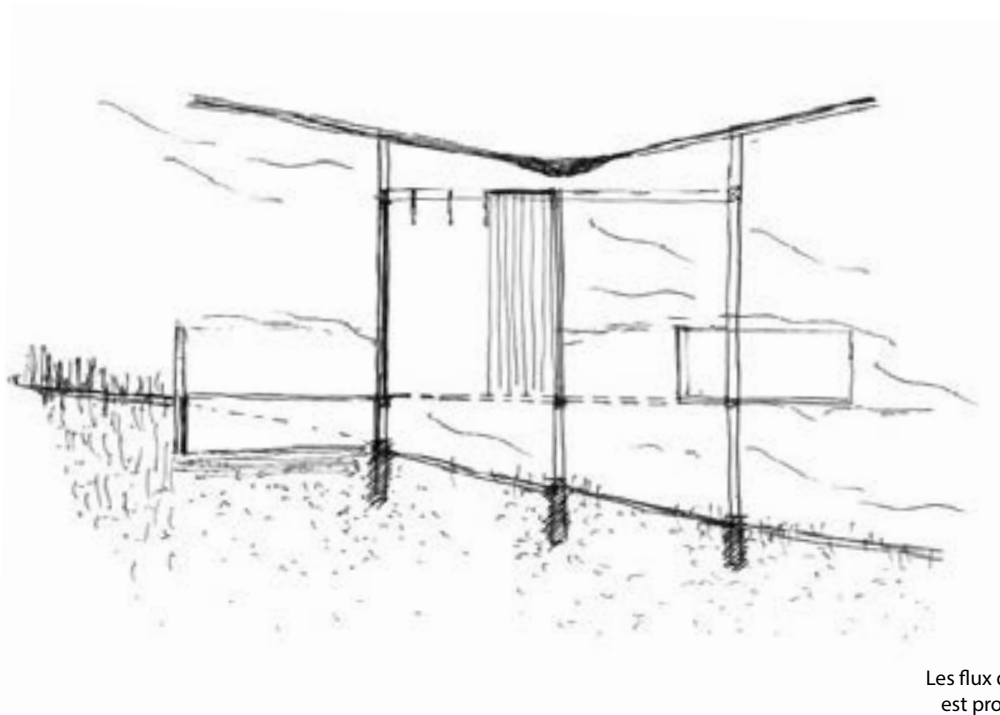
La forte humidité relative nécessite de ventiler le logement afin d'atteindre un niveau de confort optimal. Il est donc important de faciliter la ventilation naturelle et de limiter les apports solaires.

## Favoriser les échanges pour ventiler ...

- un plancher surélevé qui facilite le tirage thermique
- des parois poreuses qui laissent passer les flux d'air
- une toiture ventilée
- des espaces de vie extérieur

**... mais se protéger des aléas :** humidité, chaleur excessive, moustiques, termites et autres nuisibles, risques sismiques

- une large toiture qui protège de la pluie et des rayonnements solaires
- une structure surélevée protégée de l'humidité du sol et du ravinement
- une structure souple et légère
- des matériaux résistants aux termites, champignons et à l'humidité
- des éléments amovibles permettant de refermer les espaces en cas de désordres climatiques importants (tempêtes, fortes pluies, séisme...)

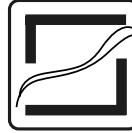


### Ouvert aux vents

Les flux d'air traversent le logement qui est protégé de la pluie et du soleil par une grande toiture



# Synthèse



Utilisation de matériau poreux, à faible inertie, laissant l'air circuler à travers le plancher et les murs. Proposition d'un plancher en bois.



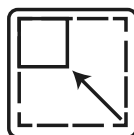
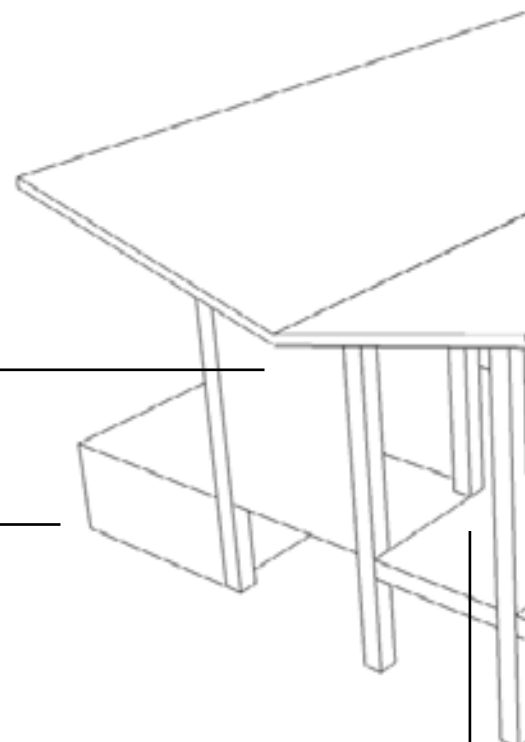
Favoriser l'usage de matériau de récupération et du réemploi. Murs en bois ou bouteilles récupérées. Béton recyclé pour les fondations.



Implantation dans la pente et plancher surélevé d'un mètre minimum afin de permettre les flux d'air par tirage thermique.



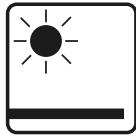
Nécessité de maîtriser le ravinement. Aménagement paysager en amont pour contenir l'eau de la mousson.



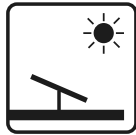
Choix d'une morphologie de plan éclaté pour favoriser les échanges avec l'extérieur. Création de deux petits volumes de 4m<sup>2</sup> chacun.



Ventilation naturelle par le développement des usages à l'extérieur sur une grande surface de dek traversante.



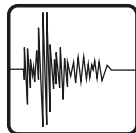
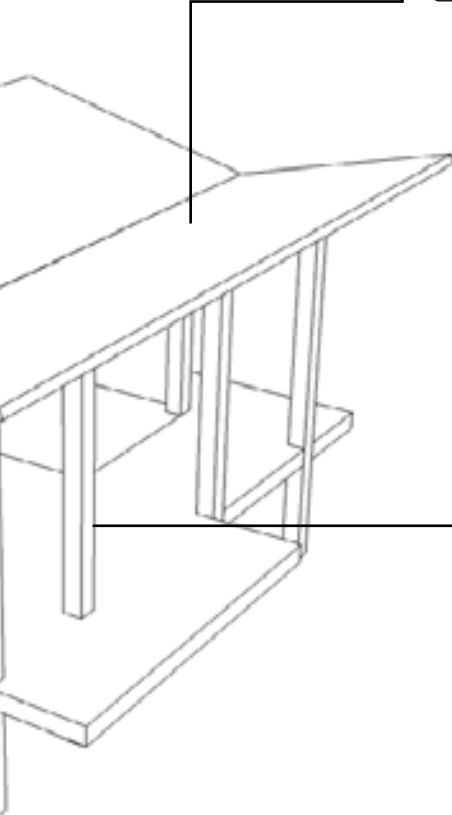
Grand débord de toiture comme protection solaire. Création d'une zone ombragée de plus de 45m<sup>2</sup>.



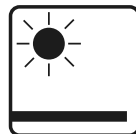
Installation de panneaux photovoltaïques sur les deux pentes de la toiture.



Récupération des eaux pluviales et stockage sous une partie du bâtiment dans une citerne de 7m<sup>3</sup>



Structure souple et légère pour mieux résister aux secousses sismiques. La toiture est un élément autostatique.



Structure légère en bois tropical. Choix d'un matériaux à faible inertie résistant aux attaques de champignons et de termites.

### S'adapter à un climat chaud et humide

Il est important de faciliter la ventilation naturelle et de limiter les apports solaires. C'est ainsi que le projet s'articule autour de deux éléments principaux :

- une large toiture qui protège de la pluie et des rayonnements solaires
- un plancher surélevé qui facilite le tirage thermique tout en se protégeant de l'humidité du sol







## **Climat**

Géographie  
Données et analyses climatiques

## **Concept**

Ressources  
Stratégies  
Usages

## **Matériaux**

Descriptifs  
Assemblages et détails  
Alternatives et comparaisons

## **Energie**

Besoins/Production  
Conclusion

## **Synthèse**

# Lagos

pays

Giovanna Togo





## **Climat**

Géographie  
Données et analyses climatiques

## **Concept**

Ressources  
Stratégies  
Usages

## **Matériaux**

Descriptifs  
Assemblages et détails  
Alternatives et comparaisons

## **Energie**

Besoins/Production  
Conclusion

## **Synthèse**

# Asuncion

## Paraguay

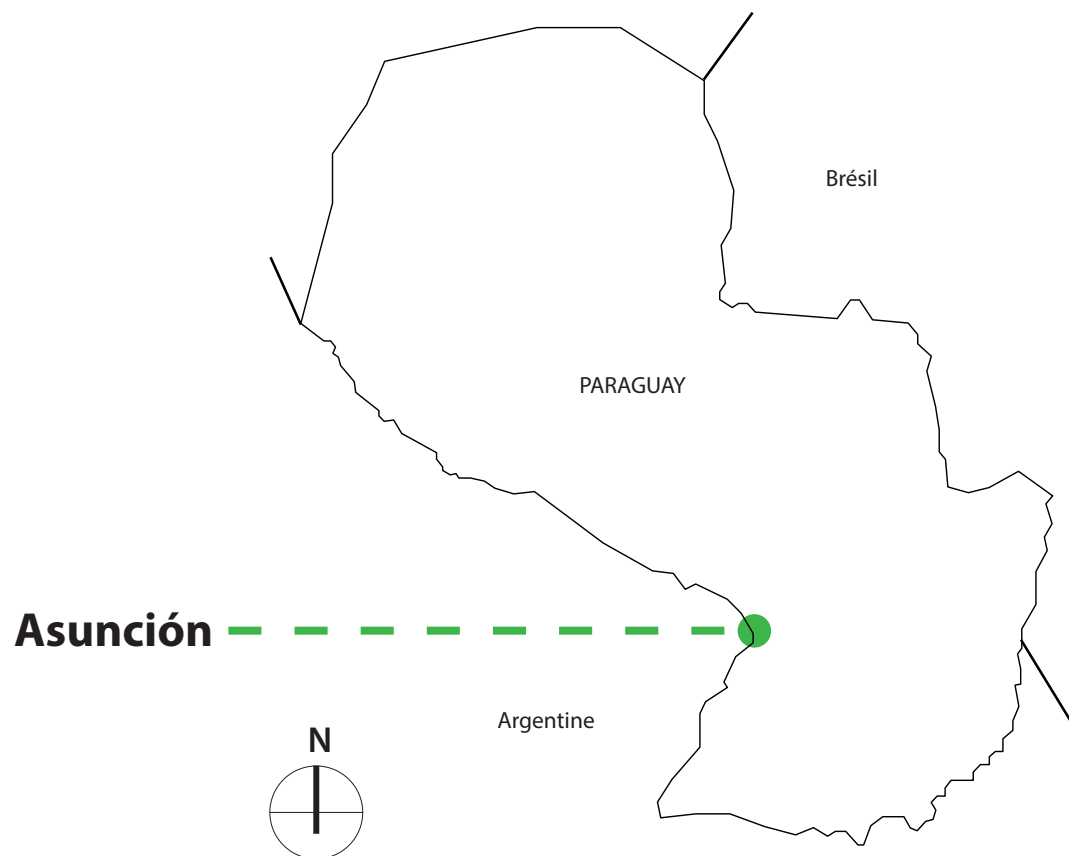
Florian Bichet





# Climat

Géographie  
Soleil, rayonnement  
Températures, écarts journaliers  
Pluie, humidité, vent



# Géographie

Lat. **25° 25 S**      Long. **57° 36 W**      Alt. **43 m**

Le Paraguay est situé dans l'hémisphère Sud en Amérique du Sud. Il est limitrophe avec le Brésil, la Bolivie et l'Argentine. Asunción est la capitale et la ville la plus peuplée du Paraguay. Elle se situe sur la rive gauche du Río Paraguay, sur une portion du cours d'eau qui fait frontière avec l'Argentine. Centre administratif et financier, important pôle industriel avec des usines de chaussures, de textiles et de tabac, la ville comporte également un important port fluvial. Les terres autour de la région d'Asunción et sur les pourtours du fleuve sont très fertiles.

La ville comptait approximativement 600 000 habitants en 2001. La population a fortement augmenté au cours des dernières décennies en raison d'un exode rural prononcé et du boom économique des années 1970. Cependant c'est l'aire métropolitaine dénommée Gran Asunción qui a absorbé l'essentiel de cet afflux migratoire. En janvier 2009, la population de l'agglomération était ainsi estimée à 2 100 000 habitants, soit près de 30 % de la population totale du Paraguay.

Asunción est le plus ancien site habité en permanence du bassin Rio de la Plata. C'est pourquoi on la surnomme la « Mère des villes ». C'est de là que les expéditions sont parties pour fonder d'autres villes comme la seconde fondation de Buenos Aires, et les autres villes importantes de la région comme Villarrica, Corrientes, Santa Fe en Argentine et Santa Cruz de la Sierra.



### **Course du soleil**

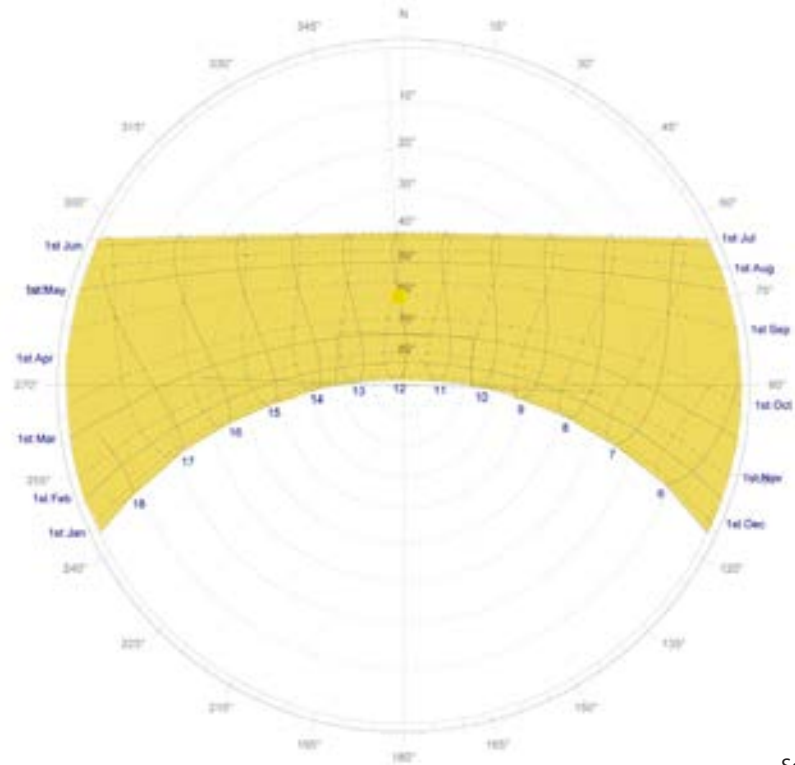
La ville d'Asunción située dans l'hémisphère Sud, est soumise à une course solaire différentes du climat Européen. Les saisons sont inversées, l'été est plutôt aux alentours du mois de Janvier, l'hiver du mois d'Août.

### **Rayonnements solaires Gh**

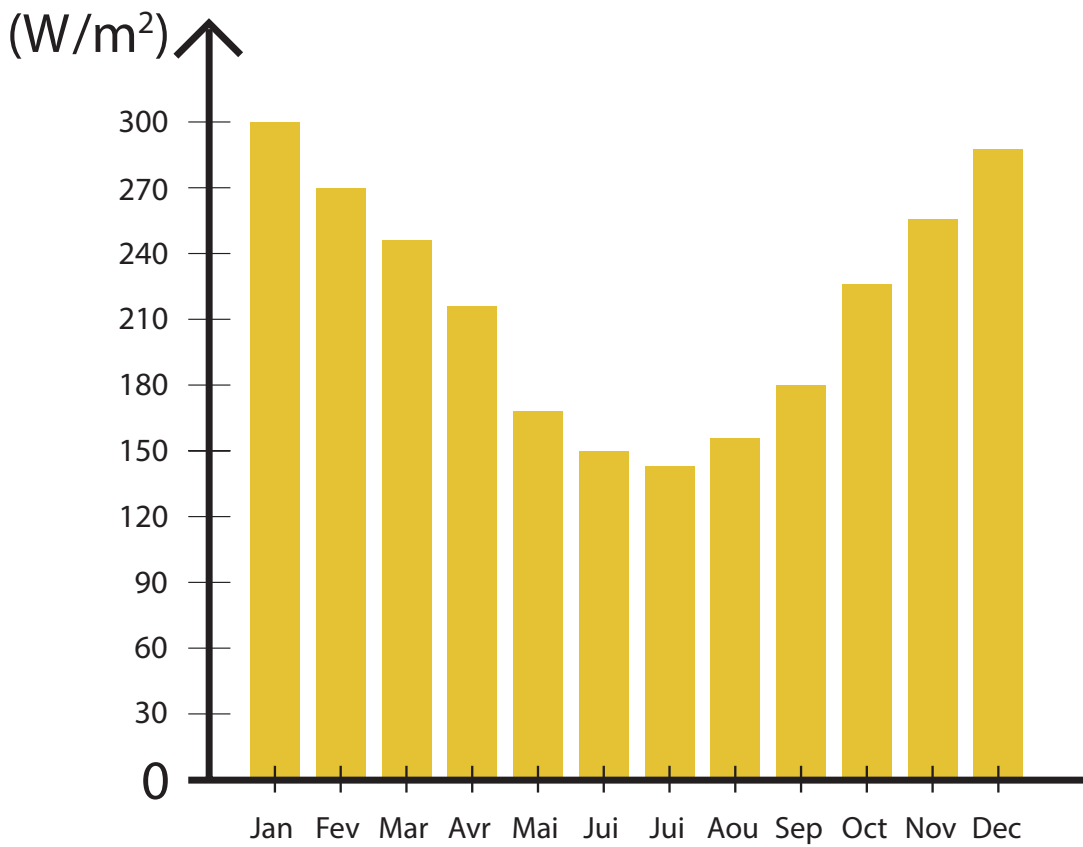
Le rayonnement global est inversement proportionnel à la course solaire.

Le rayonnement globale varie entre  $300 \text{ W/m}^2$  en janvier au maximum et entre  $150 \text{ W/m}^2$  en hivers en Juin.

# Soleil / Rayonnements



Source : Ecotect



Source : The Weather Network

### **Températures annuelles**

La moyenne des températures sur l'année est de 23°C.  
Les températures à l'année sont relativement élevées.  
Elles varient entre 27°C en été en 2005 et descendent jusqu'à 17°C en hivers en 2005. En moyenne les prévisions en 2050 annoncent une élévation des températures moyenne de 3°C sur l'année.

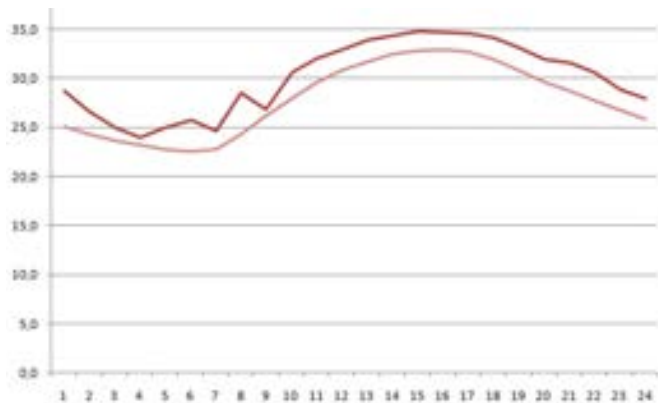
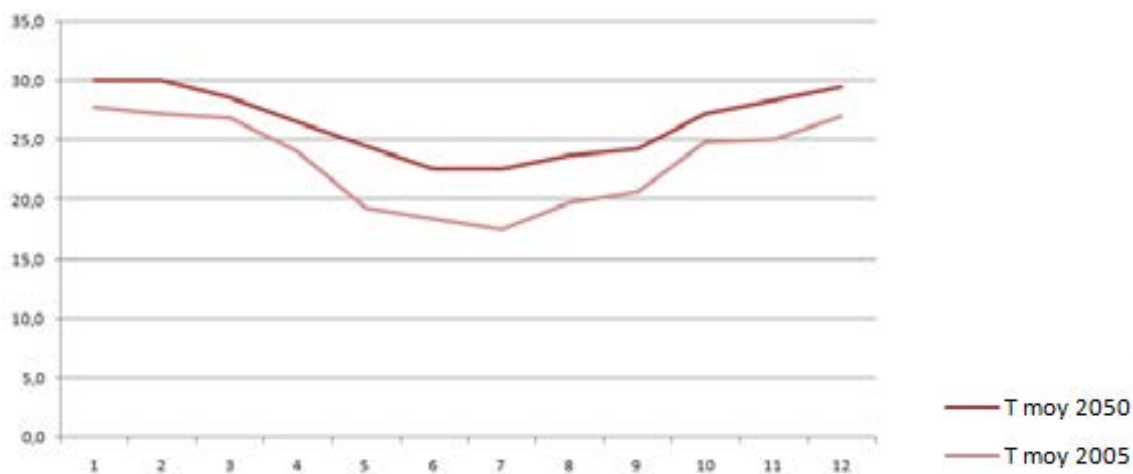
### **Écarts jour/nuit sur deux mois significatifs**

En moyenne sur une journée d'été comme au mois de Janvier, il y a un écart journalier de température d'environ 9°C et sur une journée d'hivers, on observe un delta de température de 8°C.

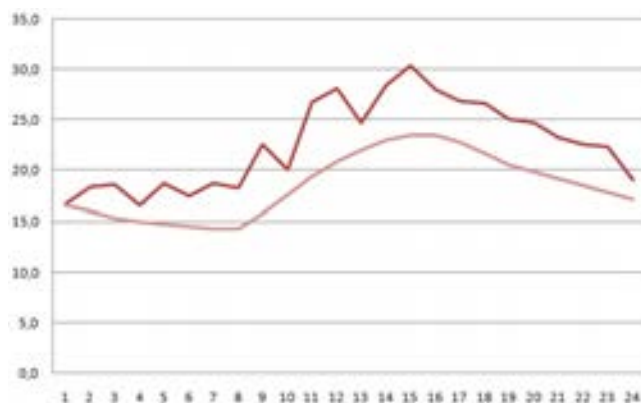
### **Zone de confort**

Le climat de la ville d'Asunción est agréable tout au long de l'année. Cependant pour améliorer la zone de confort l'enveloppe doit diminuer l'humidité et la température à l'intérieur de l'habitat.

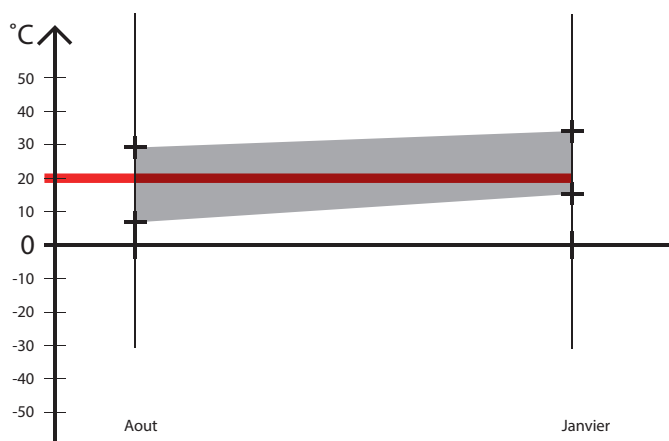
# Températures / Zone de confort



Écart jour/nuit pour le mois de Janvier



Écart jour/nuit pour le mois de Juin



## **Pluie**

Les précipitations sont abondantes sur Asunción, il pleut environ 1350 mm de pluie sur une année avec environ 105 mm par mois en moyenne. Ces pluies ont tendance à s'amenuiser dans les années 2050, mais les épisodes de pluie sont d'une rare violence, il faudra donc se protéger des pluies qui risquent de détruire l'environnement.

## **Humidité**

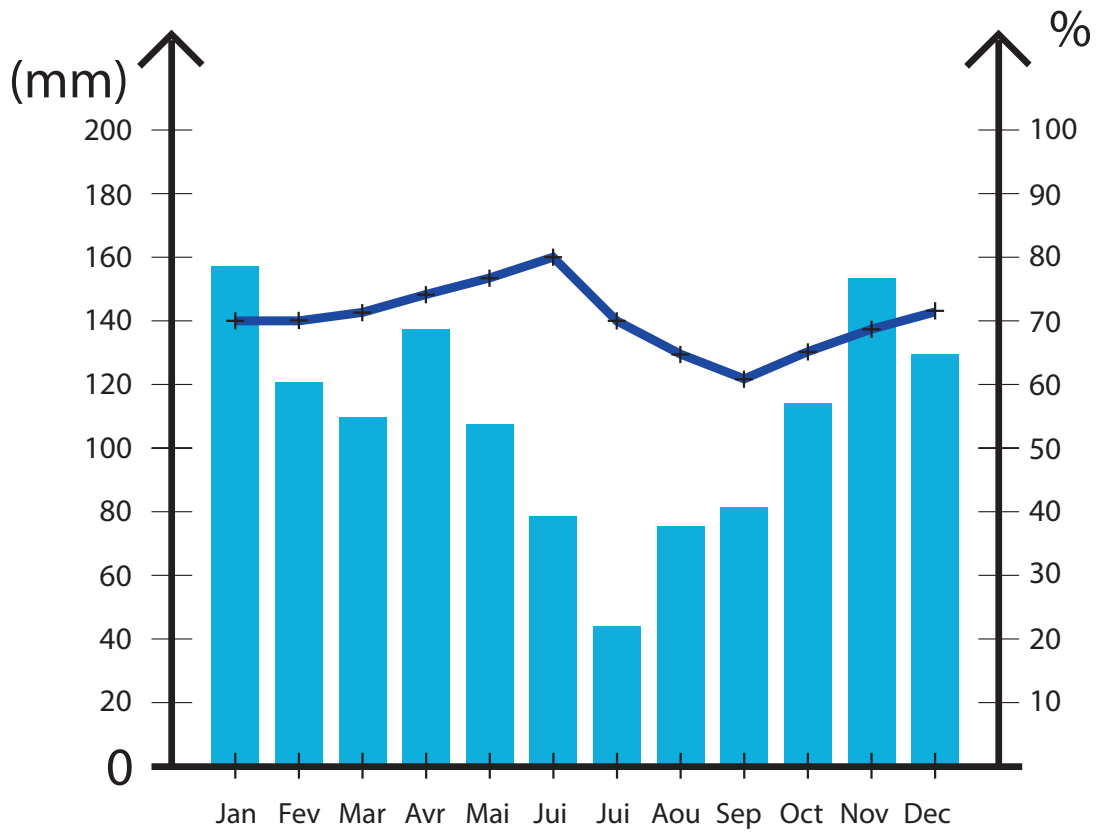
L'humidité relative d'Asunción est comprise entre 80% et 65%, c'est un climat très humide, qui va influencer beaucoup quant aux matériaux utilisés et à la manière d'habiter. Les éléments produisant de l'humidité peuvent être externalisés à l'extérieur du logement.

## **Carte des vents dominants**

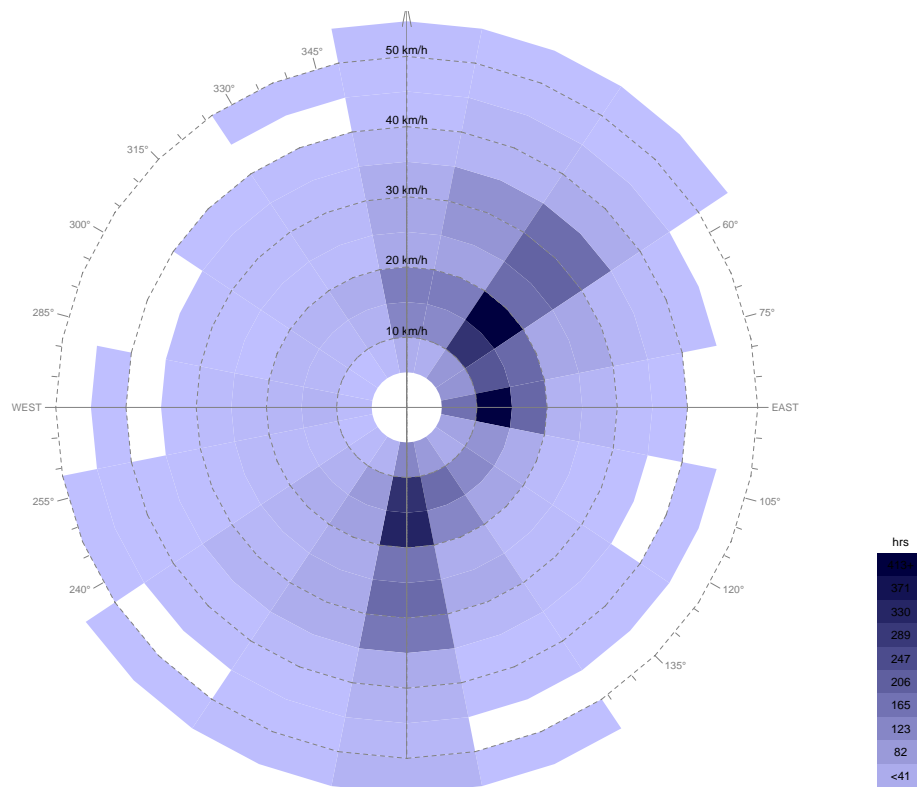
Les vents dominants soufflent principalement au Nord-Est et au Sud à environ 20 km/h soit environ 5.5 m/s en moyenne sur l'année. Le vent du Sud sont une source de rafraîchissement et les vents du Nord sont source de chaleur. Il est possible d'utiliser le vent provenant du Sud pour rafraîchir la maison par ventilation naturelle.



# Pluie / Humidité / Vent



Source : Ecotect



Source : Ecotect



# Concept

Ressources matériaux  
Stratégies d'implantation  
Recherches de principe  
Stratégies de rafraîchissement  
Usages et aménagements  
Stratégies de récupération des eaux de pluie  
Scénario catastrophe 2050



### **Terre**

La construction en terre est propre à un grand nombre de pays. Elle est utile dans les pays chauds pour créer de l'inertie thermique qui conserve la fraîcheur d'un lieu même si l'extérieur est soumis à des températures très élevée.

Propriétés physiques intéressantes : Inertie, production locale, mise en œuvre facile et rapide, culture locale, recyclable, réutilisable.



### **Biomasse**

La biomasse constitue une grande ressource pour le Paraguay. Le bois peut être utilisé pour construire. Néanmoins il faudra qu'il soit traité contre les termites qui pourraient détruire les constructions.

Propriétés physiques intéressantes : Production locale, biodégradable, piège à CO2, mise en œuvre facile, culture locale.



### **Carrières de pneus**

Il existe de nombreuses carrières de pneus usagés au Paraguay. Ces lieux engrangent un nombre considérable de pneus qui sont destinés à être brûler par l'industrie locale, rejetant ainsi de nombreux gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Il serait préférable de les recycler pour fabriquer son logement.

Propriétés physiques intéressantes : construction sèche, assemblages rapides, production locale, produit recyclé, réutilisable



### **Tôle métallique**

Un grand nombre de bidonvilles sont construits avec de la tôle métallique recyclée qui protège les habitations des pluies abondantes qui déferlent sur le Paraguay.

Propriétés physiques intéressantes : Mise en oeuvre facile et rapide, étanche à la pluie, recyclable, réutilisable.



### **L'eau du Fleuve Rio-Paraguay**

Ce fleuve est le plus important du Paraguay. Il participe à l'économie de la ville, pour la pêche et le commerce fluvial.

Propriétés physiques intéressantes : eau à proximité, pêche, déplacement, culture, etc.

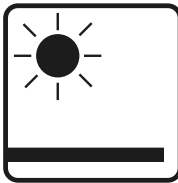


La biomasse disponible



Les Bidonvilles aux bords du fleuve

# Ressources

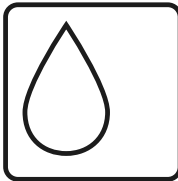


## Soleil

### Energie et climat

**Soleil abondant** (5,4 kWh/m<sup>2</sup>/j)  
Panneaux solaire

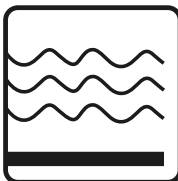
**Vent frais du Sud** (10 à 40km/h)  
Ventilation naturelle (pas assez pour Éolienne)



## Eau

**Sol froid**  
Puits provençal

**Différentiel jour/nuit**  
Inertie thermique



## Vent

### Ressources vitales

**Terres agricoles fertiles**  
Cultures de différentes variétés pour se nourrir

**Eau du fleuve**  
Eau disponible pour arroser ou se désaltérer

**Biomasse**  
Bois de chauffage ou construction à proximité

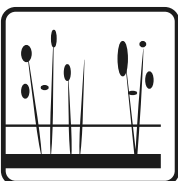


## Biomasse

**Pêche**  
Possibilité de se nourrir grâce au fleuve

### Inconvénients

**Termites**  
Les termites sont des insectes ravageurs qui peuvent causer de grands dégâts dans les habitations en creusant leurs galeries dans le bois d'œuvre dont ils se nourrissent.



## Terres Cultivables

**Humidité**  
L'humidité de la ville est très élevée toute l'année.



La pêche dans le Rio-Paraguay



L'étendue du fleuve



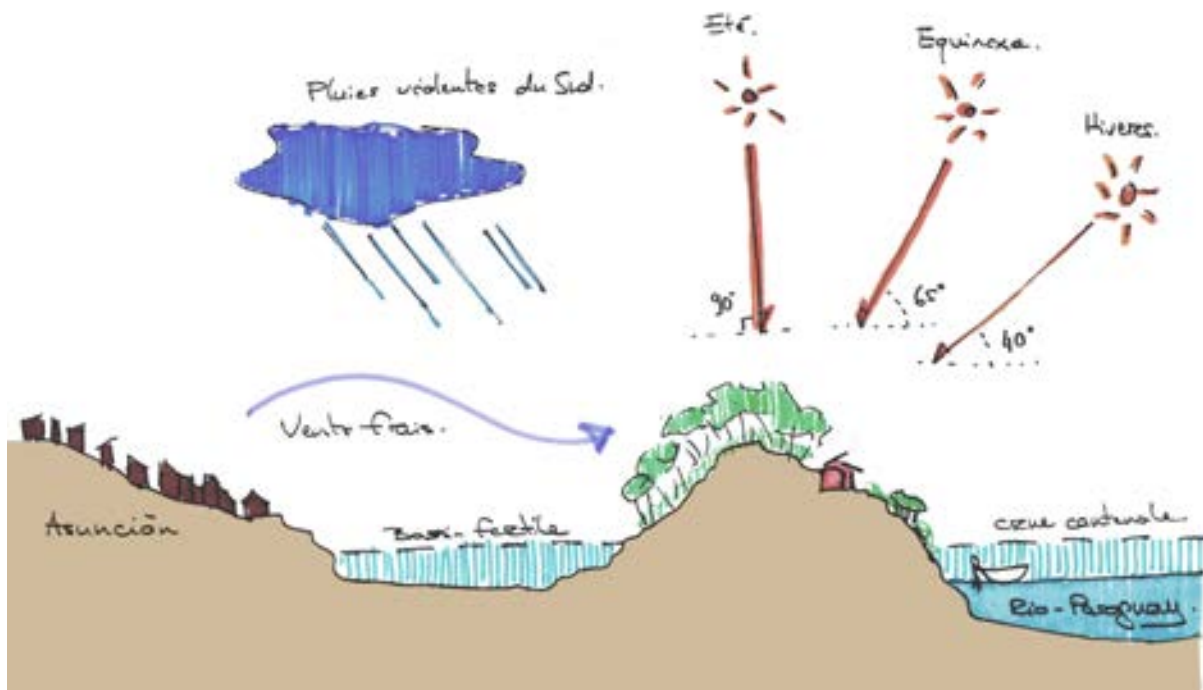
**Les abords du fleuve Rio-Paraguay, après une crue.**  
Les crues centenales peuvent atteindre jusqu'à 5 m de hauteur parfois.  
Il convient donc dans le projet de se mettre à l'abri de ces inondations exceptionnelles.

# Stratégies d'implantation



**Plan masse de la ville d'Asunción montrant le lieu d'implantation de la maison par rapport à la ville**

La maison s'implante près du fleuve Rio Paraguay dans une emprise arborée à l'intérieure de la ville, assez loin en hauteur des zones inondables.



**Coupe schématique montrant l'implantation de la maison par rapport au fleuve en fonction des différents éléments du contexte.**

Le soleil, le vent, la pluie, le fleuve, la biomasse, sont des éléments qui vont influencer la conception de la maison en particulier les crues.

**Double toiture inversée**



**Double toiture en profondeur**



**Double toiture**





# Recherche de principes



**Double peau solaire**



**Coque protégée par une double toiture**



**Coque protégée par une double toiture**

**Eté / Jour**  
 Le puit provençale aspire l'air chaud de l'extérieur qui se refroidit sous la terre. Il rafraîchit l'air ambiant de la maison. Cet air est aspiré vers le haut de la maison.  
 Le soleil de l'été tape à 90° la toiture en acier qui s'échauffe très vite créant un effet d'aspiration de l'air du dessous. Cet effet créé un mouvement d'air qui rafraîchit.



**Eté / Nuit**  
 Le puit provençale aspire l'air plus frais de la nuit et l'injecte à l'intérieur de la maison créant un courant d'air qui rafraîchit l'ambiance. En cas de vent du Sud très frais, un jeu de surpression-dépression est effectué entre le Sud et Nord de la maison, créant un courant d'air frais.



**Hivers / jour**  
 Par temps froid, l'air froid est prélevé de l'extérieur et réchauffé par le sol. L'air trop chaud est rejeté en toiture. Le soleil avec un angle de 40° contribue à chauffer le mur épais en brique de la maison pour créer un déphasage



**Hivers / Nuit**  
 En période froide, les murs épais en brique redonne leur chaleur à l'intérieur de la maison par déphasage. Le puit provençale peut être fermé pour éviter trop de pertes de chaleur.



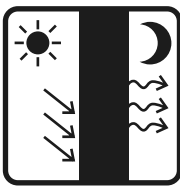
# Stratégies de rafraîchissement



## Inertie

### Inertie thermique

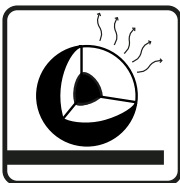
Pour se protéger de la chaleur en été, un des principes est de privilégier l'inertie thermique. Ainsi la maison pourra conserver sa fraîcheur tout au long de la journée. De grandes ouvertures sont tout de même conseillées à travers cette masse inertielle pour favoriser la ventilation naturelle grâce au vent frais provenant du Sud par exemple.



## Déphasage jour/nuit

### Déphasage et l'écart jour/nuit

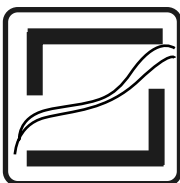
Les écarts jour / nuit étant importants, un mur épais avec de l'inertie permet un déphasage important entre le jour et la nuit permettant de conserver la fraîcheur de la nuit pour la journée et la chaleur de la journée pour les nuits fraîches.



## Géothermie

### Géothermie (puit provençal)

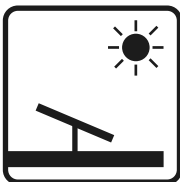
La terre étant à une température relativement constante tout au long de l'année à environ 7m de profondeur, elle permet d'apporter de la fraîcheur l'été en période chaude et une température plus chaude en période plus froide.



## Ventilation naturelle

### Ventilation naturelle

Le vent du Sud étant très rafraîchissant, de petites ouvertures au Sud sont prévues pour créer une surpression avec de grandes ouvertures au Nord et ainsi créer un appel d'air naturel rafraîchissant la maison.



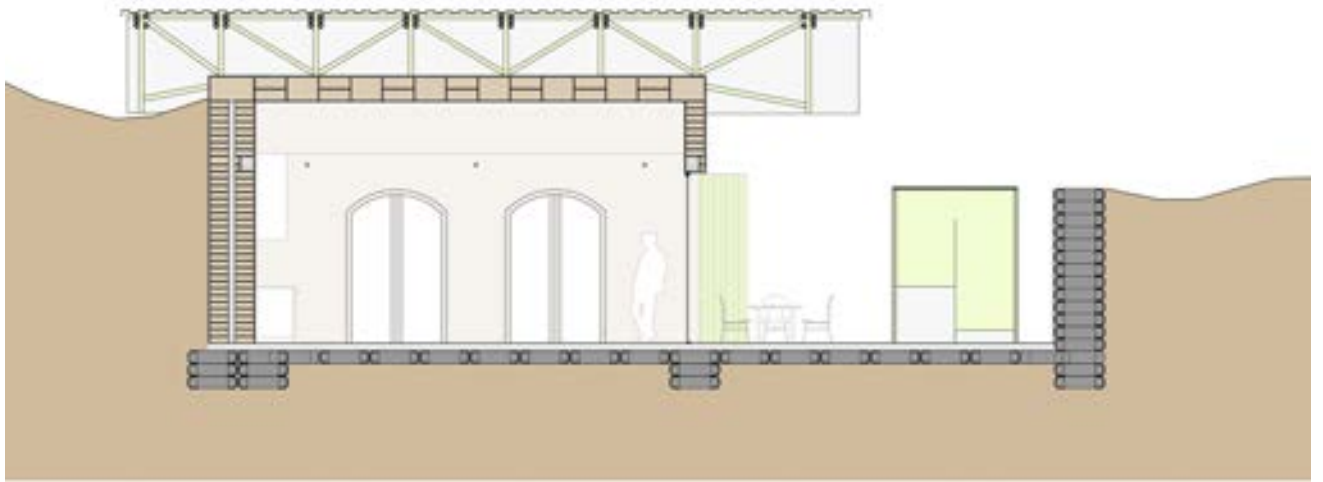
## Panneau pv

### Panneaux photovoltaïques

En raison du grand gisement solaire disponible à Asunción, il est possible d'utiliser des panneaux photovoltaïques en toiture pour assurer les besoins en électricité des habitants. L'électricité sera la source d'énergie principale servant par exemple à pomper l'eau du fleuve, faire fonctionner le grill pour la nourriture, la machine à laver, etc.

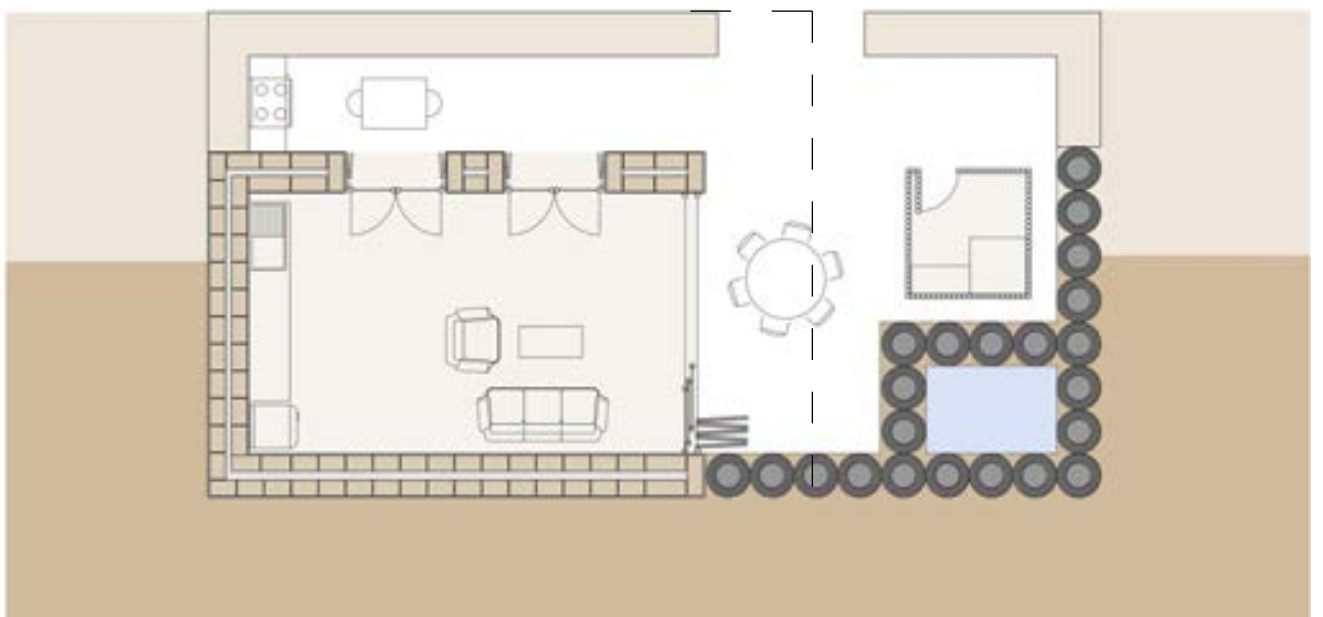
### Eclairage naturel

Le soleil a une bonne puissance lumineuse permettant ainsi un éclairage naturel en ouvrant de grandes baies côté Nord pour faire rentrer un maximum de lumière à l'intérieur de la maison.



**Coupe longitudinale \_ éch 1/100**

Différentes ambiances à travers la longueur de la maison. Passage progressif d'une intériorité forte vers une extériorité végétale, en passant par une extériorité protégé par une toiture légère.



**Plan de la maison \_ éch 1/100**

L'aménagement des différents espaces de l'habitation. Les éléments rejetant de l'humidité, telle la douche, ou les élément émettant de la chaleur, tel que le four, sont rejetés à l'extérieur pour éviter toute augmentation de chaleur à l'intérieur de l'habitation.

# Usages

## Principes

Le principe de cette maison est de créer une coque épaisse en brique de terre crue, protégée de la pluie violente et du soleil par une toiture légère faite de bambou et d'acier plié.

## Aménagement

L'aménagement des différents espaces de l'habitation.

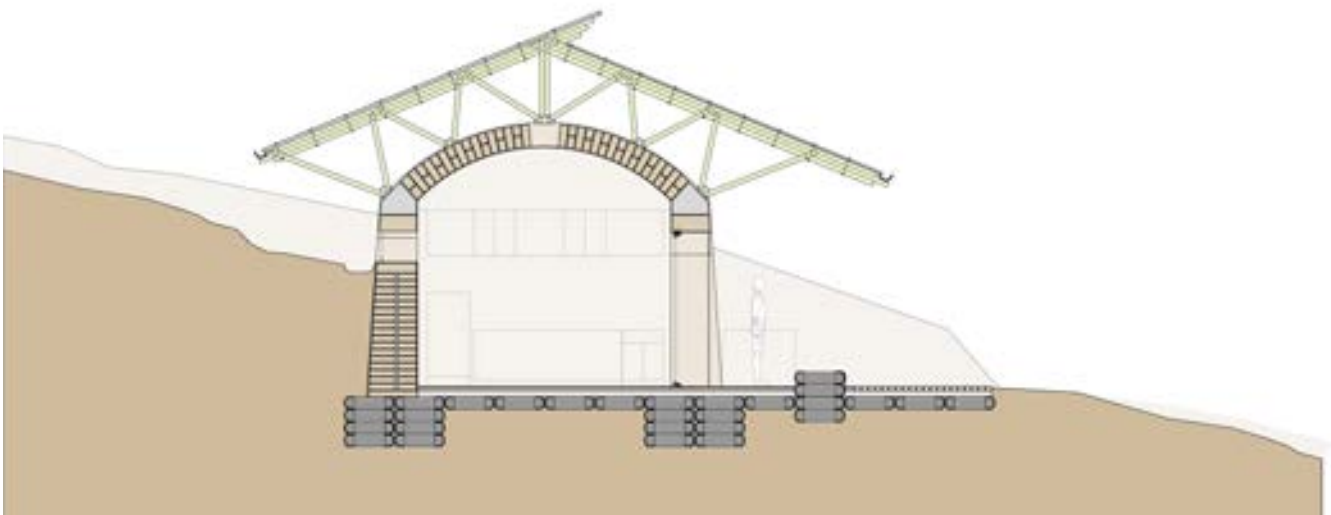
Les éléments rejetant de l'humidité, telle la douche, ou les éléments émettant de la chaleur, tel que le four, sont rejetés à l'extérieur pour éviter toute augmentation de chaleur à l'intérieur de l'habitation.

## Ventilation

La chaleur de la maison est évacuée par la toiture ventilée qui fabrique un tirage thermique.

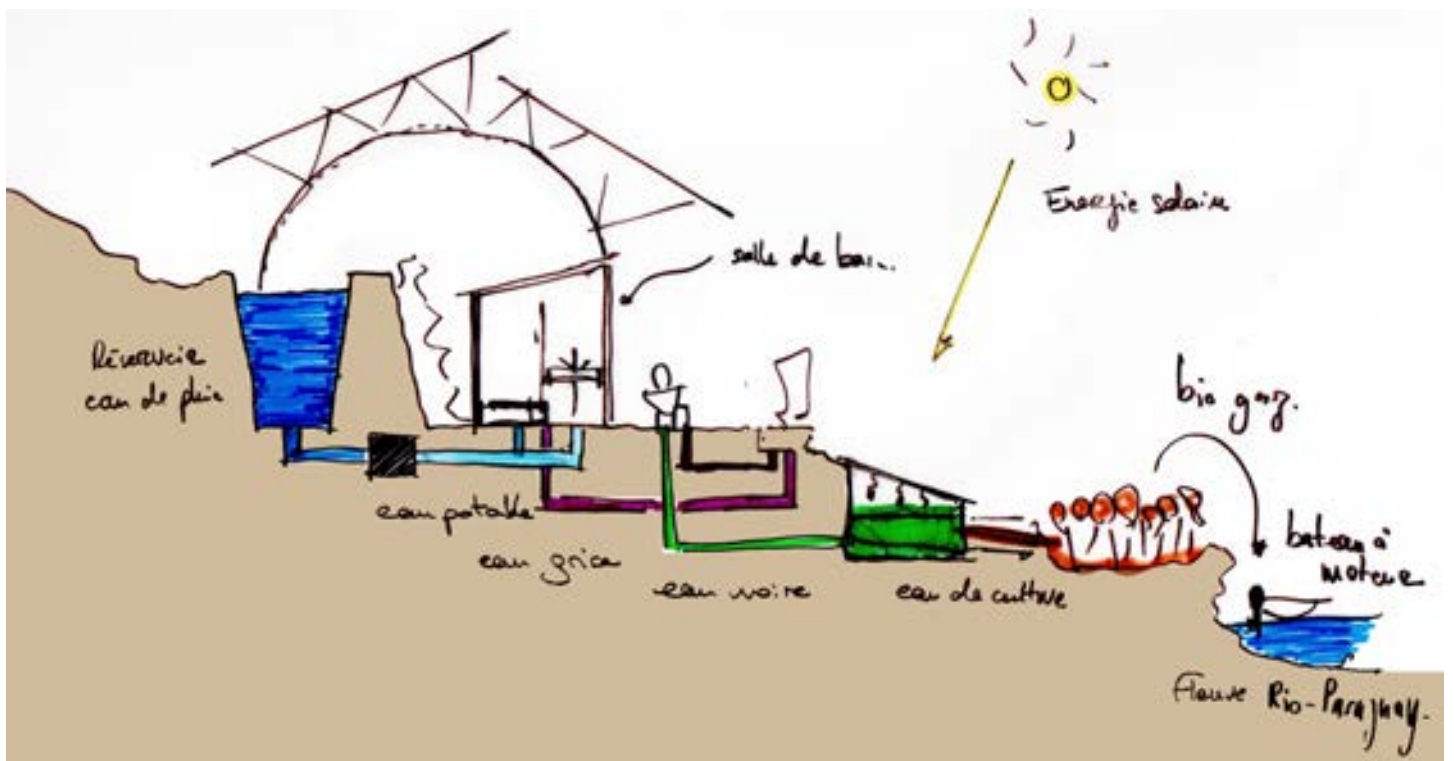
## Intérieur

Différentes ambiances à travers la longueur de la maison. Passage progressif d'une intériorité forte vers une extériorité végétale, en passant par une extériorité protégée par une toiture légère.



**Coupe transversale \_ éch 1/100**

Une coque épaisse en brique de terre crue, protégée de la pluie violente et du soleil par une toiture légère faite de bambou et d'acier plié.



**Coupe transversale schématique montrant les différentes étapes de l'eau du réservoir jusqu'au fleuve**

L'eau de pluie est récupérée dans un réservoir d'eau d'une capacité de 10m<sup>3</sup>. Elle est purifiée pour être potable et utilisée pour les douches et se laver les mains. Puis elle est transférée vers des plantes qui nettoient l'eau pour l'utiliser dans les toilettes. L'eau noire est ensuite envoyée dans une cuve qui, sous l'action du soleil va tuer des bactéries et purifier l'eau afin qu'elle puisse être rejetée dans les cultures qui serviront à faire du biogaz, pouvant être utilisé pour le moteur du bateau.

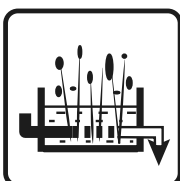
# Stratégies de récupération de l'eau et recyclage des matériaux



## Collecte des eaux Pluviales

### Collecter les eaux pluviales

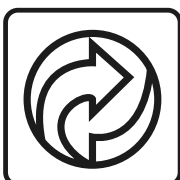
Collecter les eaux pluviales est indispensable pour économiser son eau. La maison étant située assez loin du fleuve, il est difficile de pomper l'eau directement depuis le fleuve pour la remonter jusqu'à la maison, cela serait trop coûteux. De plus, Asunción connaît des épisodes de sécheresse majeure durant l'été, le fleuve pouvant être totalement asséché durant quelques mois : le récupération des eaux de pluie s'avère donc un moyen indispensable pour disposer d'eau pour se laver, boire, ou arroser ces cultures durant ces périodes de sécheresse importantes. Phénomène qui risque de s'aggraver à l'horizon 2050.



## Phyto-épuraton

### La Phyto-épuraton

La phyto-épuraton est un moyen naturel et économique de rendre l'eau de pluie ou l'eau du fleuve potable. La phyto-épuraton est un procédé d'épuration des eaux usées, impliquant l'utilisation de plantes dans le processus biologique. Leur rôle est d'aider à la dépollution de l'eau par l'absorption des éléments polluants. Cette eau sera utile pour se laver, ou pour l'eau des toilettes.



## Réemploi

### Réemploi de matériaux

Le réemploi a plusieurs intérêts. Il est un des moyens de : s'équiper à moindre frais ; diminuer l'empreinte écologique d'une activité ; d'économiser des ressources naturelles ; de limiter les émissions de gaz à effet de serre ou de polluants générés par l'élimination d'un produit en fin de vie ; créer et entretenir des emplois et filières locales ; limiter le gaspillage ; favoriser une économie décarbonée.



**2015 Encore en vie**



**2030 Après la tempête Janus**



**2040 Après la tornade Giovanna**



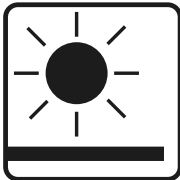
**2050 Après les inondations**

### **La maison recyclable**

Si la maison venait à être détruite à cause de grandes catastrophes naturelles, les différents matériaux de la maison peuvent être recyclés, ou alors se dégrader naturellement. La tôle métallique peut être recyclée, le bambou se dégrade car il a été traité naturellement contre les termites. Enfin, les briques de terre crue retournent à leur état de terre suite à une forte inondation.

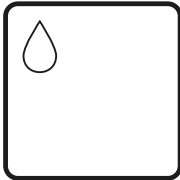


# Scénario catastrophe 2050



## Réchauffement climatique

Le rayonnement solaire augmente assez pour élever la température de 3°C



## Ressources en eau

L'élévation de la température, la pollution des sols et de l'eau, entraîne un raréfaction de l'eau potable, son prix augmente exponentiellement. Des maladies se propage à travers elle.



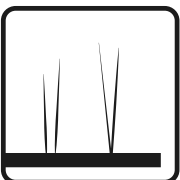
## Tornades

Les vents sont de plus en plus rares et de plus en plus violents entraînant des tornades qui ravagent tous sur leur passage.



## Biomasse

La déforestation continue à grand pas pour cultiver de plus en plus de terre pour l'exportation vers l'Europe.



## Cultures

Les terres sont de moins en moins fertiles, les récoltes de moins en moins abondantes, l'environnement est dérégulé.



# Matériaux

Descriptif et propriétés physiques recherchés

Assemblages et détails

Alternatives et comparaison

MATERIAUX	Epaisseur (E) [cm]	$\lambda$	$R_i = E/\lambda$	$U = 1/R_i$ [W/m <sup>2</sup> ]	En Grise [kWh/m <sup>3</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	En Grise Tot[kWh]	En Grise Recyclée
ADOBE BRIQUE	50	0,60	0,833	1,20	80	50	4000	4000
ENDUIT TERRE	2	0,60	0,033	30,00	30	30	900	900
BAMBOO VERTICAUX	7	0,16	0,438	2,29	100	8	800	600
BAMBOO HORIZONTALAUX	10	0,03	3,846	0,26	100	3,5	350	350
PNEUS	70	0,17	4,118	0,24	1440	8	11520	0
GRAVATS	68	0,04	17,000	0,06	50	60	3000	3000
TOLE ACIER	0,2	50,00	0,000	25000,00	4000	0,2	800	0
VERRE (simple vitrage)	0,3	1,00	0,003	333,33	200	0,03	6	0,18
BOIS	8	0,18	0,444	2,25	150	4	600	2400
<b>Total</b>							<b>21976</b>	<b>11250,18</b>

#### Propriétés physiques et énergie grise des matériaux

21976 kWh énergie grise pour la maison avec la tôle et les pneus comme éléments non recyclés.

11300 kWh énergie grise pour la maison avec matériaux locaux recyclés et biodégradables

# Descriptif des matériaux

## Propriétés physiques recherchées



### Adobe

L'adobe est la brique de terre crue, moulée et séchée au soleil. Ces briques sont obtenues à partir d'un mélange d'argile, d'eau et éventuellement d'une charge utilisée en petite quantité : de la paille hachée par exemple.

Il s'agit d'un des premiers matériaux de construction : les premières villes connues étaient construites en briques de terre crue. Ce matériau est encore l'un des plus utilisés au monde.

Propriétés physiques intéressantes : Inertie, production locale, mise en œuvre facile et rapide, culture locale, biodégradable.

Utilisation : Murs intérieurs lourds et épais permettant un déphasage jour/nuit important.



### Bambou

Le bambou fut très largement utilisé au cours de l'histoire en tant que plante ornementale, aliment et matériaux. Il est caractérisé par des tiges formées d'un chaume creux lignifié à la croissance très rapide. Les bambous se sont adaptés à de nombreux climats dont celui du Paraguay. Robuste, il peut être utilisé dans la construction aussi en structure principale que secondaire. Laissé trempé pendant environ trois semaines dans un bain d'eau naturelle, le bambou perd son amidon. Ensuite séché, il développe une résistance toute particulière aux termites.

Propriétés physiques intéressantes : Production locale, flexible, grande résistance mécanique, mise en œuvre facile et rapide, culture locale, biodégradable.

Utilisation : Structure supportant le toit



### Pneus

Réemployer les pneus pour les fondations de la maison en compactant des gravats trouvés in situ est une technique souvent utilisée dans la construction de maisons en Arabie. Ces fondations se montent rapidement avec peu de main d'œuvre, elle constitue une bonne rétention d'eau et évite de brûler ces pneus qui rejetteraient des tonnes de CO2 dans l'atmosphère.

Propriétés physiques intéressantes : construction sèche, assemblages rapides, production locale, recyclable, réutilisable.

Utilisation : Fondation de la maison



### Tôle métallique

De nombreux bidonvilles ont été construits avec des tôles en acier recyclées. Ces habitants réutilisent ce matériau issu de l'industrie pour créer des toitures étanches à l'eau. Ce matériau malléable peut s'adapter à plusieurs formes et dispose d'une grande étanchéité à l'eau.

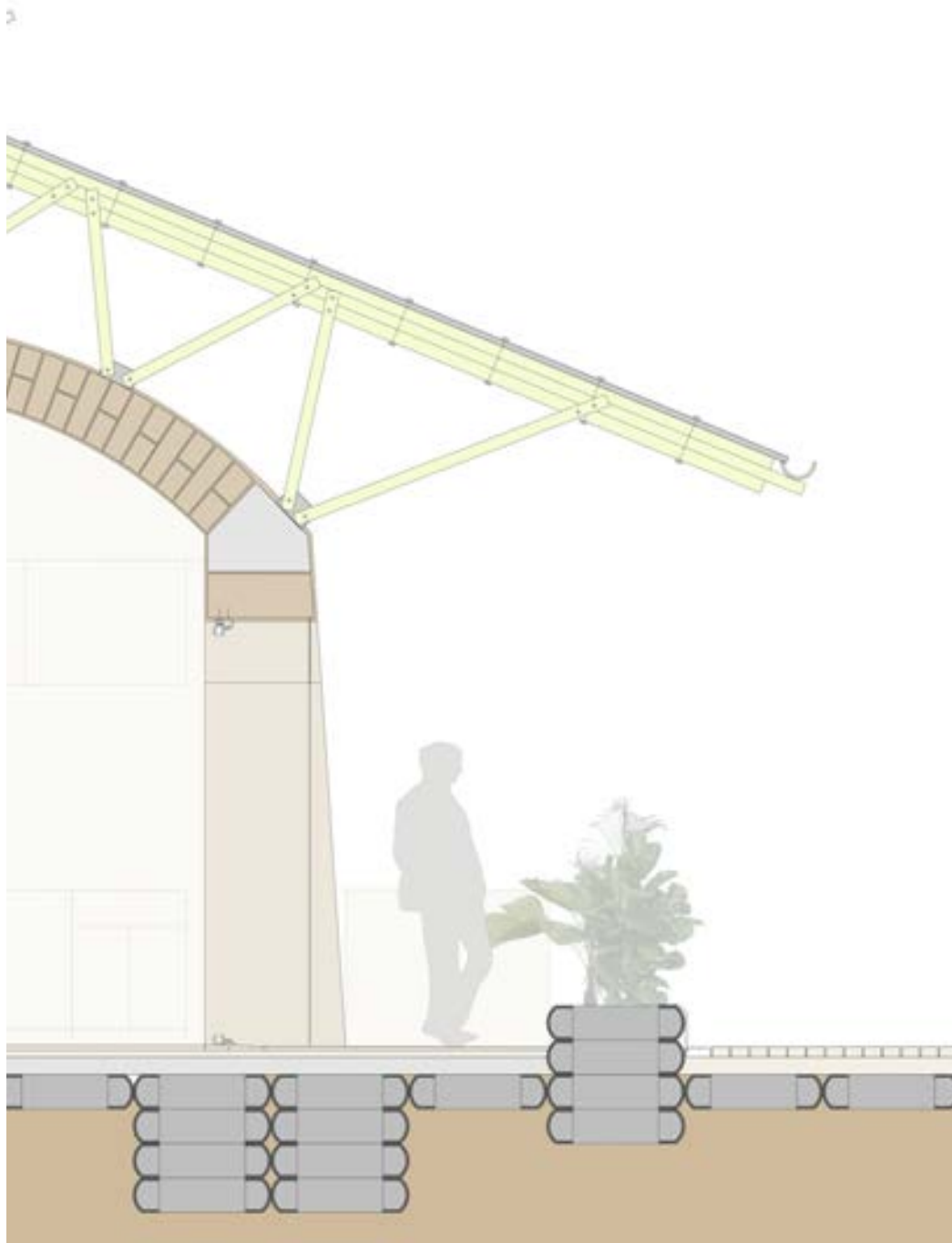
Propriétés physiques intéressantes : Mise en œuvre facile et rapide, étanche aux pluies abondantes, recyclable, réutilisable.

Utilisation : En toiture pour se protéger contre les pluies violentes

MATERIAUX	Fonction	Interface	Assemblage	Propriétés physiques
ADOBE BRIQUE	Protéger de la chaleur	bamboo V & gravats & pneus	Posées	Dur & compact
ENDUIT TERRE	Protéger les briques	adobe	Projeté	Friable
BAMBOO VERTICAUX	Ridifier la toiture	tole acier & bamboo H & osier	Vissé	Flexible
BAMBOO HORIZONTALS	Supporter le toit	bamboo V	Vissé	Très flexible
PNEUS	Maintenir les gravats compactés	gravats & terre naturelle	Posés sur le sol	Résistant & Déformable
GRAVATS	Fondation stable & rétention eau	pneu	Compactés	Dur & compact
TOLE ACIER	Protéger de la pluie et soleil	bamboo V	vissée	Souple
VERRE (simple vitrage)	protéger du vent	bois	Emboîter	Cassant
BOIS	Maintenir le verre dans un plan	bamboo H	assemble & collé	Rigide

#### Assemblage et fonctions des différents matériaux employés dans la maison

# Assemblage et détails



Détail de la façade Nord de la maison montrant la fondation et le toit \_ éch. 1/40

MATERIAUX	Epaisseur (E) [cm]	$\lambda$	$R_i = E/\lambda$	$U = 1/R_i$ [W/m <sup>2</sup> ]	En Grise [kWh/m <sup>3</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	En Grise Tot[kWh]	En Grise Recyclée
ADOBE BRIQUE	50	0,60	0,833	1,20	80	50	4000	4000
ENDUIT TERRE	2	0,60	0,033	30,00	30	30	900	900
BAMBOO VERTICAUX	7	0,16	0,438	2,29	100	8	800	600
BAMBOO HORIZONTAUX	10	0,03	3,846	0,26	100	3,5	350	350
PNEUS	70	0,17	4,118	0,24	1440	8	11520	0
GRAVATS	68	0,04	17,000	0,06	50	60	3000	3000
TOLE ACIER	0,2	50,00	0,000	25000,00	4000	0,2	800	0
VERRE (simple vitrage)	0,3	1,00	0,003	333,33	200	0,03	6	0,18
BOIS	8	0,18	0,444	2,25	150	4	600	2400
<b>Total</b>							<b>21976</b>	<b>11250,18</b>

#### ALTERNATIVES

MATERIAUX	Epaisseur (E) [cm]	$\lambda$	$R_i = E/\lambda$	$U = 1/R_i$ [W/m <sup>2</sup> ]	En Grise [kWh/m <sup>3</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	En Grise Tot[kWh]
BRIQUES TERRE CUITE	50	0,60	0,833	1,20	1200	50	60000
ENDUIT CIMENT	2	0,60	0,033	30,00	1100	30	33000
BOIS LAMELLE COLLE	7	0,16	0,438	2,29	2200	8	17600
BOIS MASSIF	20	0,03	7,692	0,13	200	3,5	700
ARMATURE ACIER	0,2	0,17	0,012	85,00	60000	8	480000
BETON	70	0,04	17,500	0,06	1850	60	111000
TOLE ALUMINIUM	0,2	50,00	0,000	25000,00	190000	0,2	38000
VERRE (simple vitrage)	0,3	1,00	0,003	333,33	200	0,03	6
BOIS LAMELLE COLLE	8	0,18	0,444	2,25	2200	4	8800
<b>Total</b>							<b>749106</b>

#### Comparaison de l'énergie grise totale en kWh de la maison et d'une alternative

11300 kWh pour la maison avec matériaux locaux recyclés et biodégradables

750 000 kWh avec la maison construite avec des matériaux industriels importés non recyclés et non dégradables.

Le choix des matériaux et leur impact sur l'environnement ainsi que l'énergie grise qu'ils déploient ensuite est très importante dans le bilan énergétique de la maison.



# Alternatives



## Brique de terre cuite

La brique de terre cuite présente des capacités mécaniques plus importantes que la brique de terre crue. En revanche le fait de la cuire consomme beaucoup plus d'énergie grise que les briques de terre crue, mais cela peut s'avérer nécessaire dans le cadre de voûtes qui doivent franchir de grandes portées.

Propriétés physiques : Inertie, production locale, mise en œuvre facile et rapide, réutilisable.



## Bois contrecollé

Le bois contrecollé est un produit élaboré, fabriqué à partir de lames de bois collées entre elles à plis croisés. Les avantages du bois contrecollé de cette technique sont de créer des éléments structurels ayant une meilleure résistance mécanique dans différentes directions.

Propriétés physiques : Production délocalisée et industrielle, traité en autoclave contre les termites, énergie grise hautement supérieure à celle du bambou.



## Béton armé

Le béton est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats naturels agglomérés par un liant. Ce liant est habituellement du ciment. Le béton frais associé à de l'acier permet d'obtenir le béton armé, un matériau de construction courant. Le béton est le deuxième matériau minéral le plus utilisé par l'homme après l'eau potable.

Propriétés physiques : construction humide, production locale, stable et solide, barrage aux termites.



## Aluminium

L'aluminium est un métal malléable, léger, mais résistant. Son aspect est dû à une mince couche d'oxydation qui se forme quand on l'expose à l'air et qui empêche la corrosion de progresser au cours du temps. Ce film composé d'alumine se forme spontanément très rapidement quand l'aluminium est mis en contact avec l'air. À la différence de la plupart des métaux, il est utilisable même s'il est oxydé en surface. Il est plus facile à mettre en œuvre que l'acier, néanmoins, il est plus rare et demande plus de transformation qu'un autre métal, en cela son énergie grise est très élevée. Tous comme les autres métaux, il est recyclable.

Propriétés physiques : Production délocalisée et industrielle, produit rare, mise en œuvre facile et rapide, très léger, très résistant au temps, étanche à la pluie, recyclable, réutilisable.



# Energie

Besoins en eau

Besoins en rafraîchissement, chauffage

Besoins électriques

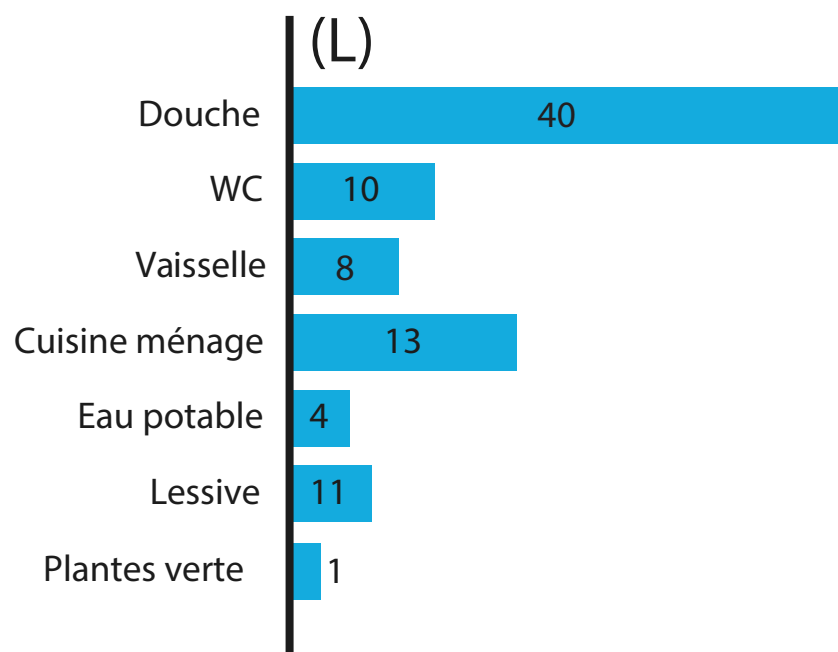
Production

Stockage

## Consommation d'eau annuelle en Litre pour deux personnes

90 m<sup>3</sup>/an

130 L/j/per



### Bilan annuel des consommations d'eau

Deux personnes dans une maison d'environ 20m<sup>2</sup> consomme en moyenne 100 m<sup>3</sup>/an, soit environ 240 L/j/per. La plus grande consommation d'eau est la douche qui consomme environ 42 m<sup>3</sup>/an.

Concernant le potager, on estime qu'il possède son propre réservoir d'eau.

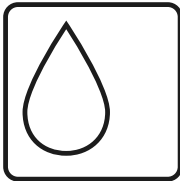
# Besoins en eau



## Calcul de consommation d'eau en fonction du potentiel de récupération

Il pleut environ 1350 mm d'eau par an (soit 1,35m) à Asunción.  
La récupération d'eau sur le toit s'effectue par une surface de toiture de 54 m<sup>2</sup>.

Suivant ces précipitations, on peut récupérer par la toiture :  
 $54,0 \times 1,35 = 70,0$  m<sup>3</sup> d'eau /an



$$(70 \times 1000) / 365 = 192 \text{ L/j}$$

$$192 / 2 = 96 \text{ L/j/pers.}$$

Or le besoin d'eau pour deux personnes par jour est d'environ 140 L.  
Compte tenu des ressources en eau, il faudrait que chaque personne consomme en moyenne 30% d'eau en moins.

Pour cela plusieurs solutions sont envisageables :

- \_ Récupérer l'eau du terrain en amont pour augmenter le cubage d'eau.
- \_ Prendre une douche tout les deux jours. Réduction de la consommation à 77m<sup>3</sup>/an, soit presque la consommation idéale.
- \_ Utiliser des toilettes sèches et ainsi arriver à 63 m<sup>3</sup>/an, soit 86 L/j/per. soit moins que la production moyenne du réservoir par jour et par personne.

## Calcul d'autonomie du réservoir d'eau

Le réservoir d'eau peut accueillir au maximum environ 10 m<sup>3</sup> d'eau.

$$10\ 000 / 192 = 52 \text{ jours}$$

Si le réservoir est plein, en période en sécheresse il a une autonomie de 52 jours, en considérant que les restrictions ci-dessus sont appliquées.

## Calcul du besoin de fraîcheur par an pour la maison sur pilotis

Puissance Consommée =  $T_d * Dep. / R$

Calcul de la différence moyenne de température :

$T_{max} + T_{min} / 2$  soit,  $(28+22)/2 = 25^\circ\text{C}$

Delta de Température (saison chaude) :  $T_{moy.} - T_{requise} = 25 - 22 = 3,0^\circ\text{C}$

Donc  $T_d = 3,0^\circ\text{C}$

## Calcul de la déperdition par conduction du bâtiment

$D_c = S * U * T_d$

On a :  $D_t = 20 * 0,5 = 6 \text{ W}/^\circ\text{C}$

avec :

$D_p = 20 * 0,45 = 9 \text{ W}/^\circ\text{C}$

$D_v = 15 * 1,7 = 25,5 \text{ W}/^\circ\text{C}$

$D_m = 40 * 0,5 = 20 \text{ W}/^\circ\text{C}$

$U$  voûte toit = 0,5

$U$  plancher = 0,45

$U$  simple vitrage = 1,7

$U$  mur = 0,5

Et  $D_c = 60 \text{ W}/^\circ\text{C}$

## Calcul de la déperdition par ventilation du bâtiment

$D_v = 1/3 NV * T_d$

Avec :  $V = 50\text{m}^3$  et  $N = 1,5$

On a :  $(50 * 1,5) / 3 = 25 \text{ W}/^\circ\text{C}$

Donc la déperdition totale est de :

$D_t = 60 + 25 = 85 \text{ W}/^\circ\text{C}$

soit  $85 * 24 * 10^{-3} \text{ kWh}/\text{J}/^\circ\text{C}$ , Soit : **2,0 kWh/J/°C**

Si l'on considère qu'il faut climatiser 7 mois dans l'année avec un écart de température de  $3^\circ\text{C}$ ,

Alors on a :

$E$  nécessaire =  $(3,0 * 7 * 30 * 2,0) / 365 = 3,45 \text{ kWh}/\text{j}$

Correspond à l'énergie nécessaire pour refroidir la maison à une température de  $22^\circ\text{C}$  en moyenne toute l'année.

Si on considère un rendement de 30% pour assurer ce besoin :

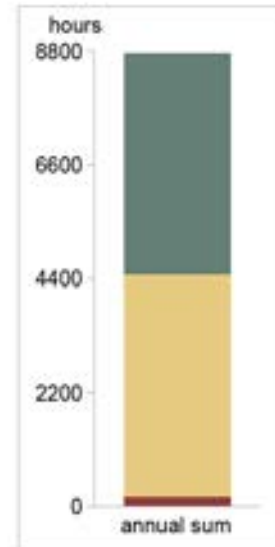
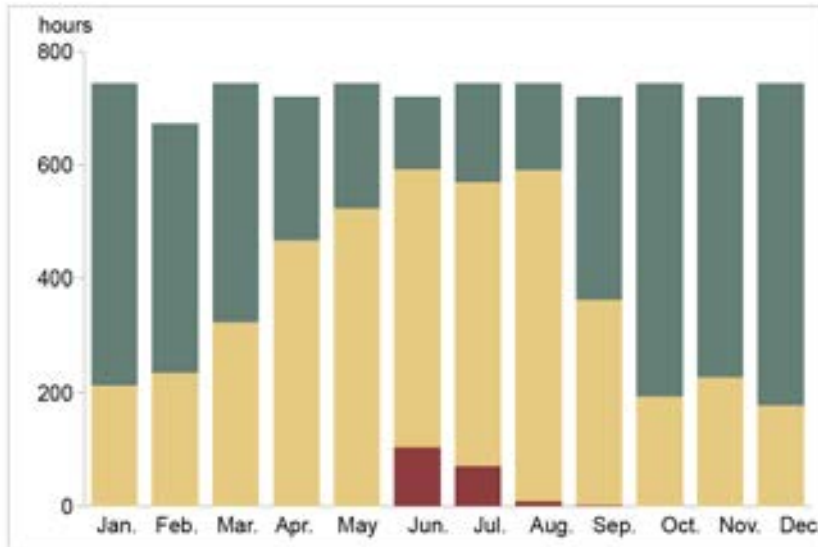
$3,45 / 0,3 = 11,5 \text{ kWh}/\text{j}$

En ajoutant le chauffage, ( 2,2 kWh/J)

**On obtient une demande en énergie équivalente à environ 14 kWh/J en moyenne dans l'année.**

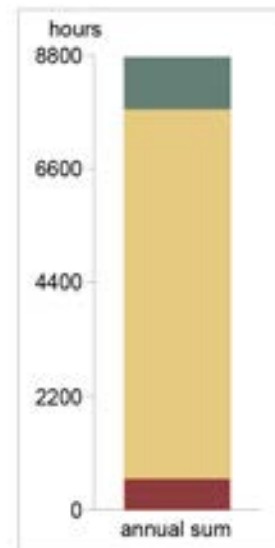
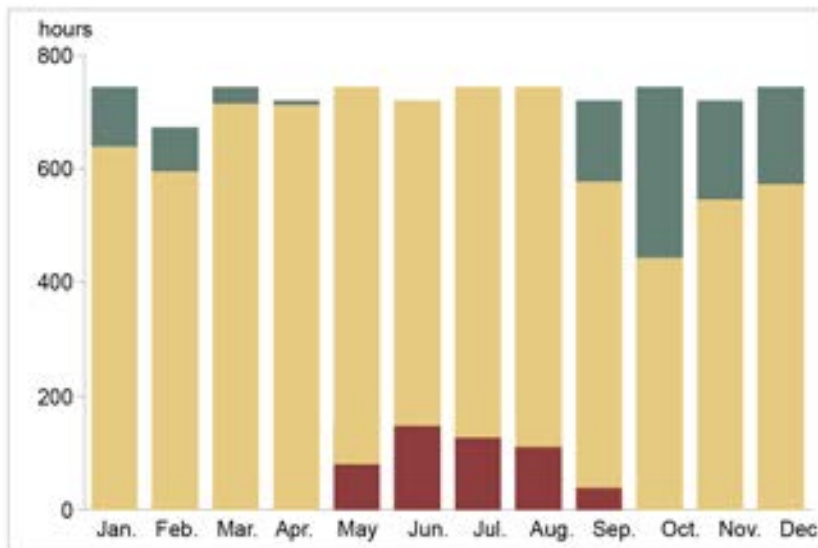
Cette demande peut être assurée en majeure partie par le puit provençal

# Besoins en rafraîchissement, chauffage



## Estimation des besoins de chaud et de froid sans le puit canadien

La demande de refroidissement est équivalente à celle de l'autonomie du bâtiment. Mais il est possible de baisser les demandes en froid en apportant de la ventilation naturelle et un renouvellement d'air par un puit canadien.



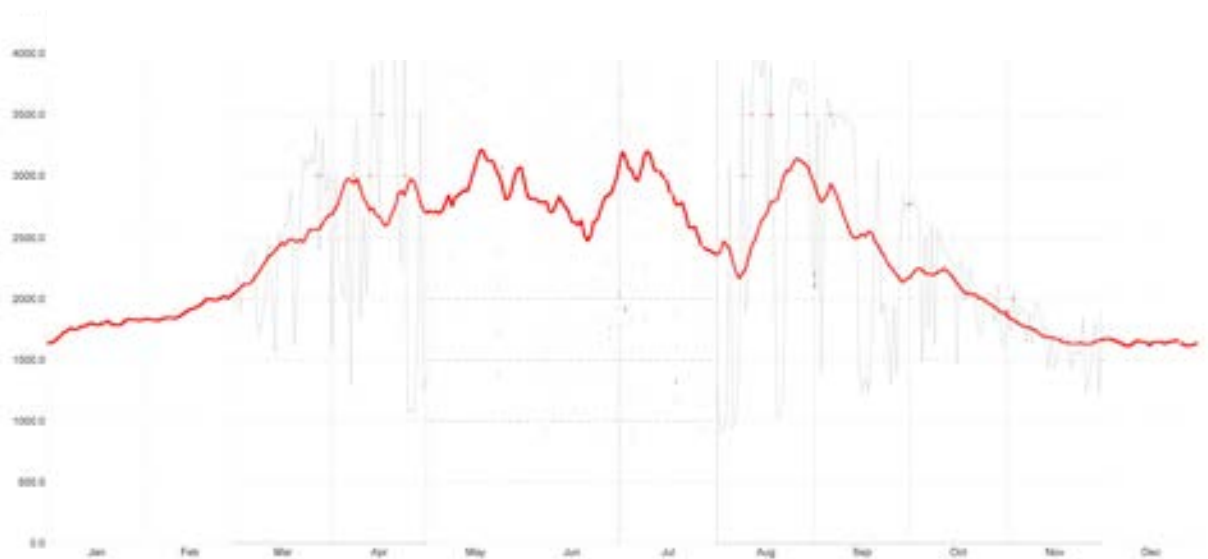
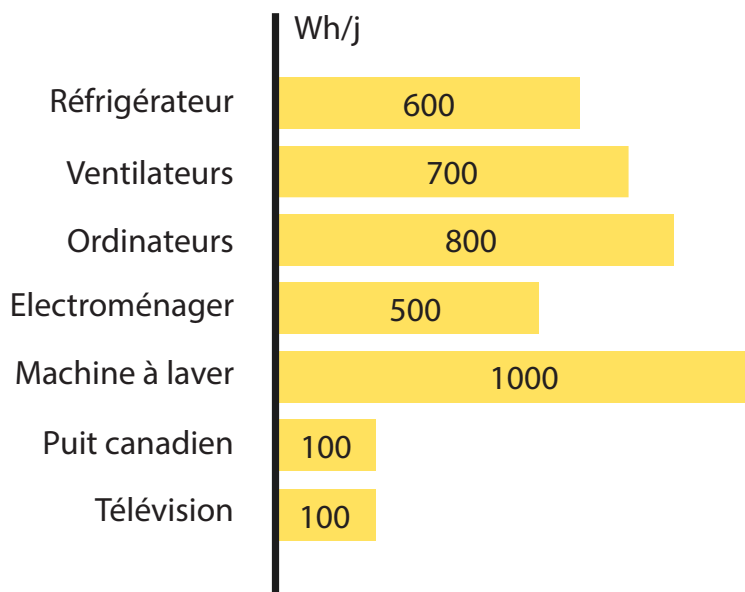
## Simulation des besoins en intégrant un puit canadien

Le demande en refroidissement ont été diminuer à plus de 75 % à cause du renouvellement d'air frais à la température constante du sol. Les demandes en chaleur peuvent être compensées par le puit canadien également. Concernant les demandes en fraîcheur en période estivale, elles peuvent être totalement par l'ajout d'une système électrique alimenté par les panneaux solaires, qui favorise le tirage thermique et le renouvellement d'air.

## Consommation d'électricité annuelle en Wh/j pour deux personnes

3,8 kWh/j

1390 kWh/an



### Radiation solaire incidente annuelle sur Asunción

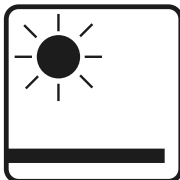
Radiation annuelle totale : 2100 kWh/m<sup>2</sup>

Période de surchauffe : 3000 kWh/m<sup>2</sup>

Période de sous-refroidissement : 1500 kWh/m<sup>2</sup>



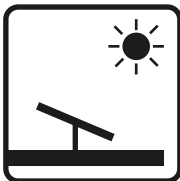
# Besoins électriques, Production, Stockage



## Estimation des besoins en électricité

D'après la consommation d'électricité estimée dans le tableau ci-contre, le besoin journalier en électricité pour deux personnes par jour est : 4 kWh/j

**Donc les besoins en électricité de la maison sont de 4 kWh/j**



## Calcul de la production d'électricité avec les panneaux solaires

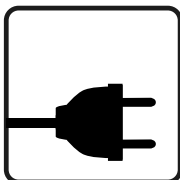
D'après les données d'Ecotech, la valeur journalière de la radiation solaire est de 2000 kWh / m<sup>2</sup>.

$$2000 / 365 = 5.40 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$

En moyenne par jour on peut recevoir 5.40 kWh/m<sup>2</sup>/j

$$5.40 \times 0.3 = 1.6 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$$

Les panneaux solaires ayant un rendement de 30%, l'énergie solaire effective reçue est de : 1.6 kWh/m<sup>2</sup>/j



$$1.6 \times 3 = 5.0 \text{ kWh/j}$$

**Avec deux panneaux solaires standards de 1.5x1.0m, soit 3.0 m<sup>2</sup>, on peut produire 5.0 kWh/j, soit un peu plus que le besoin par jour estimé pour deux personnes.**

## Stockage de l'énergie solaire

La maison n'est raccordée à aucun réseau collectif, elle est autonome en énergie. Pour cela, elle stocke son énergie grâce à des batteries solaires à gel (220 Ah en C20).

Cela représente par rapport aux besoins quotidiens en énergie :

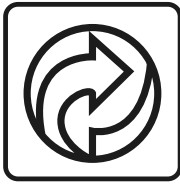
$$220 \text{ Ah} \times 60\% \times 20 \text{ Volt} = 2640 \text{ Wh}$$

Soit 2.6 kWh en comptant le rendement de 60%.

**Deux batteries à Gel sont nécessaire pour stocker les besoins journaliers en énergie électrique pour deux personnes.**



# Synthèse



### Recyclage

Le réemploi a plusieurs intérêts. Il est un des moyens de : s'équiper à moindre frais ; diminuer l'empreinte écologique d'une activité ;

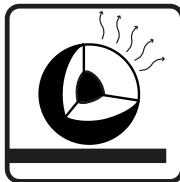
**10 000 kWh**



### Collecter les eaux pluviales

Asunción connaît des épisodes de sécheresse majeure durant l'été, la récupération des eaux de pluie s'avère donc un moyen indispensable

**70 m<sup>3</sup>/an**



### Géothermie

La terre étant à une température constante tout au long de l'année, elle permet d'apporter de la fraîcheur l'été, et de la chaleur en hivers.

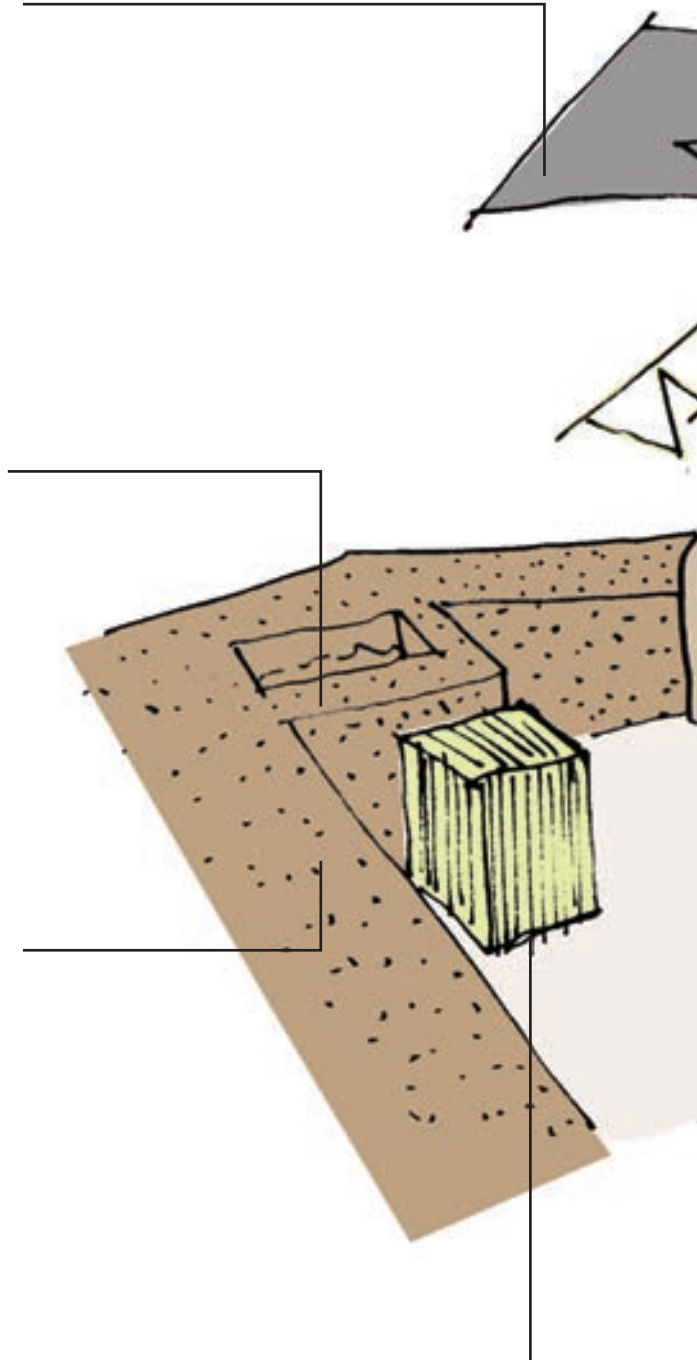
**11 kWh/j**

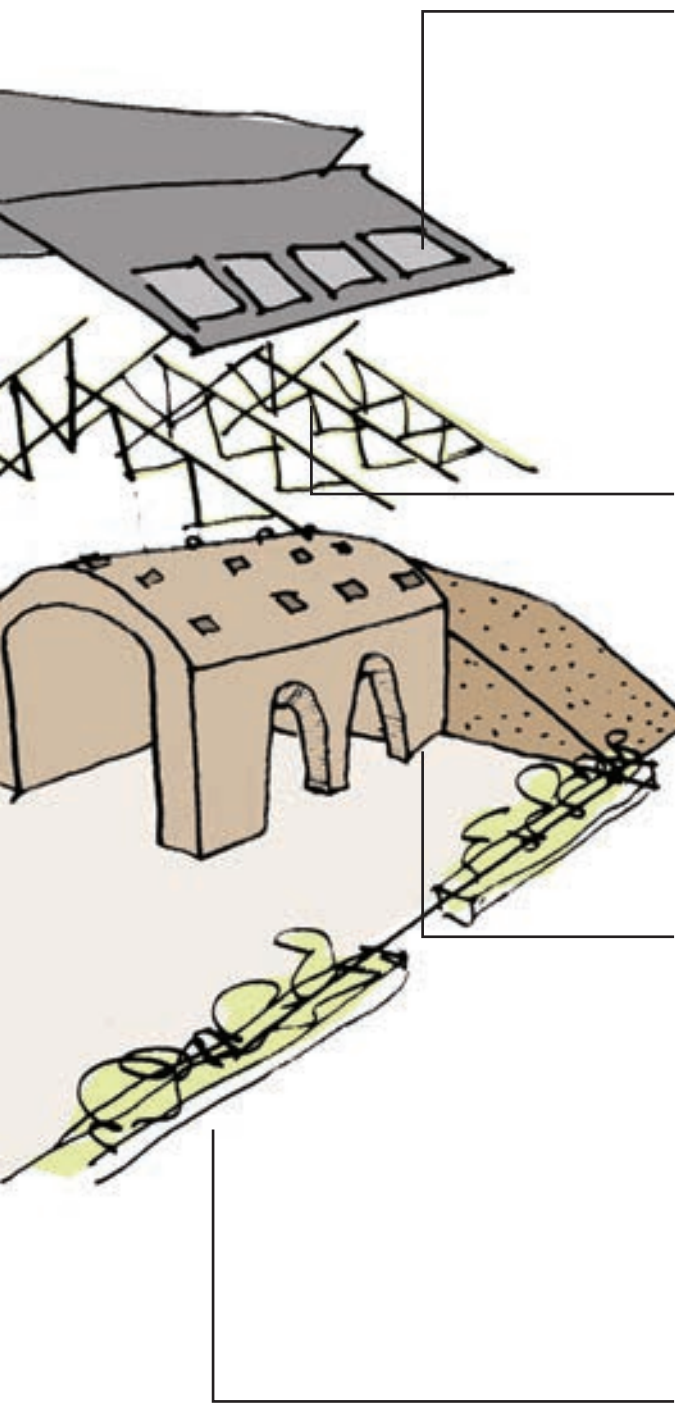


### La Biomasse

Utiliser des matériaux bio dégradable est un moyen pour éviter de polluer l'environnement après la destruction de la maison

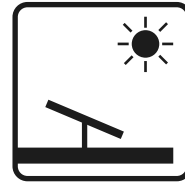
**0,7 MWh/j**





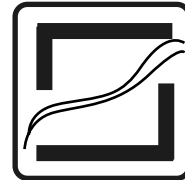
**Panneaux solaires**  
Des panneaux photovoltaïques en toiture pour assurer les besoins en électricité des habitants.

**5,0 kWh/j**



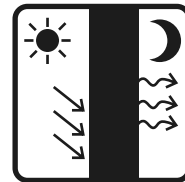
**Ventilation naturelle**  
De petites ouvertures au Sud permettent de créer un courant d'air apportant de l'air du Sud plus frais, rafraîchissant la maison.

**1,0 kWh/j**



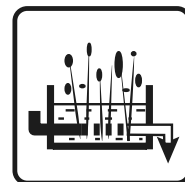
**Déphasage**  
Cela permet de conserver la fraîcheur de la nuit pour la journée et la chaleur de la journée pour les nuits fraîches.

**10 h**



**La Phyto-épuration**  
Son rôle est d'aider à la dépollution de l'eau par l'absorption des éléments polluants. Cette eau sera utile pour se laver, ou pour l'eau des toilettes.

**70 m<sup>3</sup>/an**

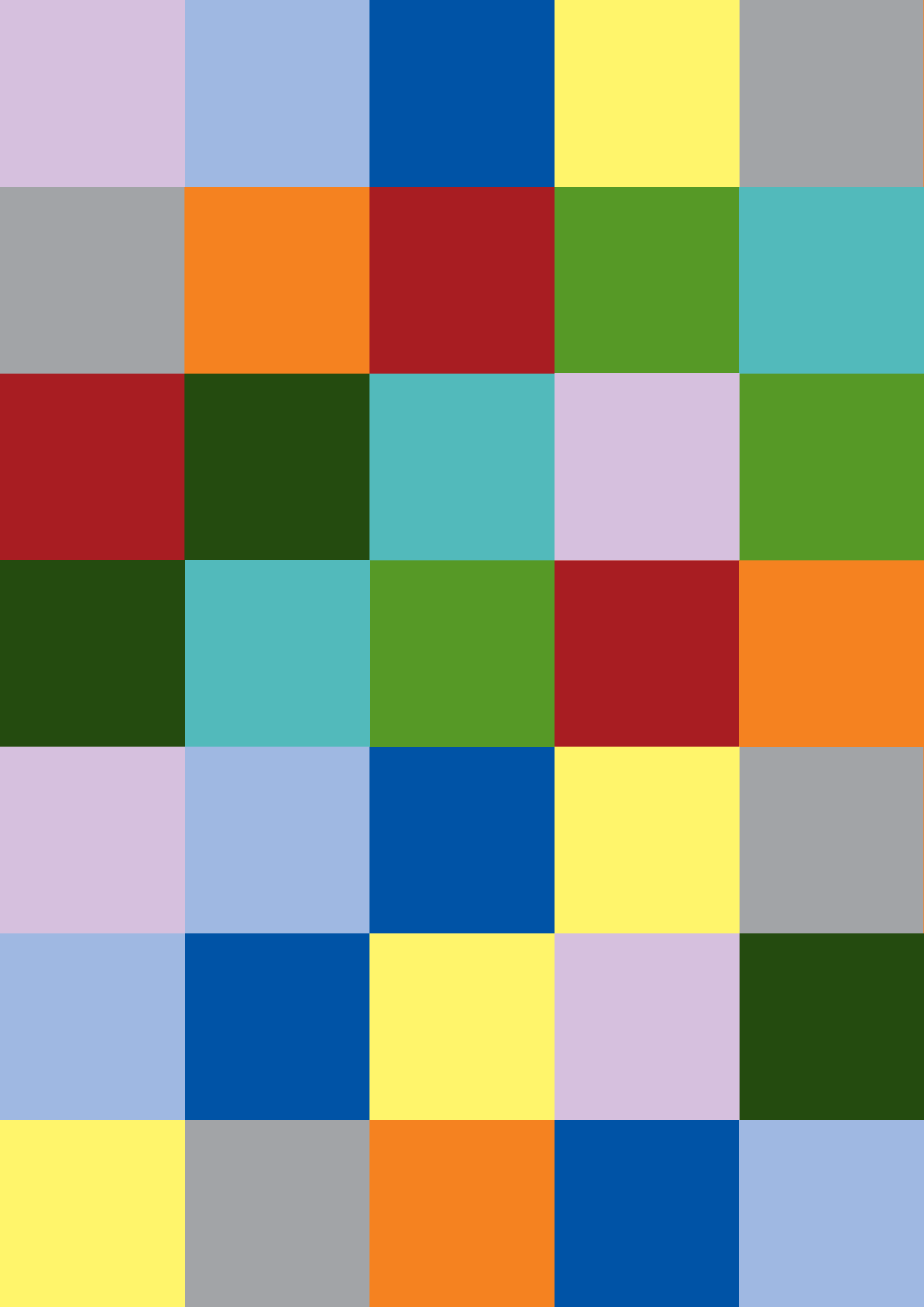


## Schéma de synthèse des principes utiliser dans la maison

Les différents principes pour les besoins en refroidissement, en eau, en électricité.



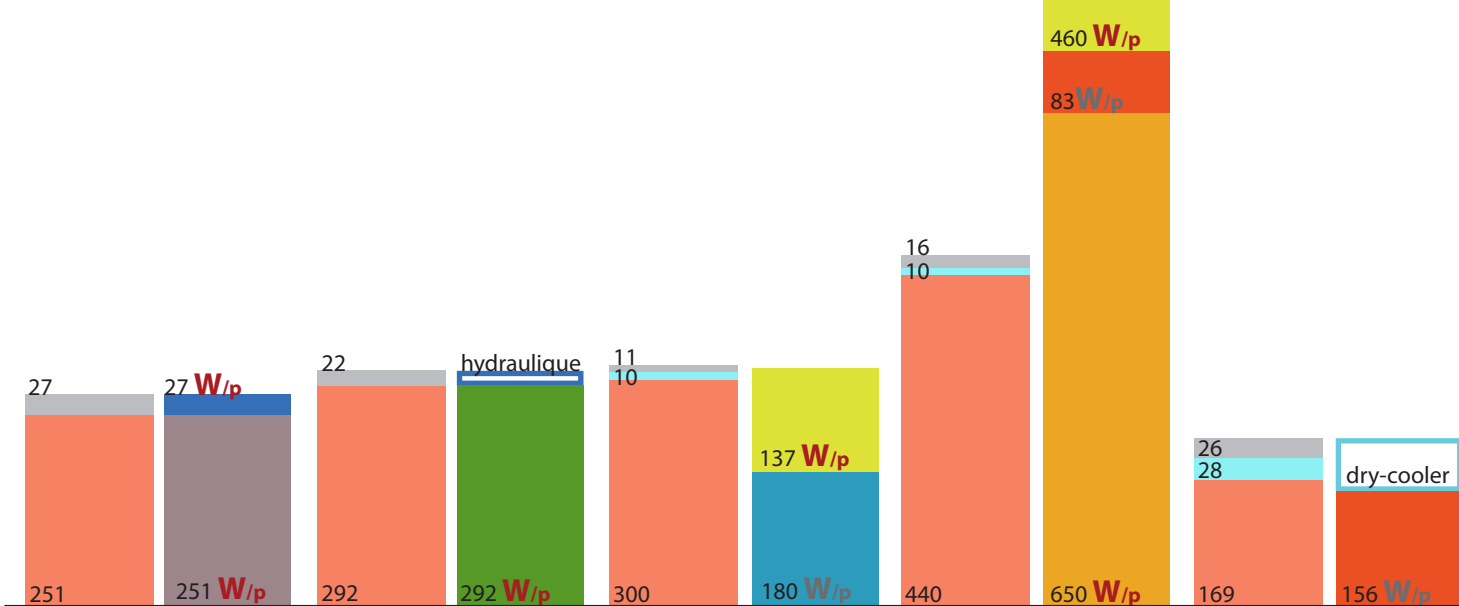
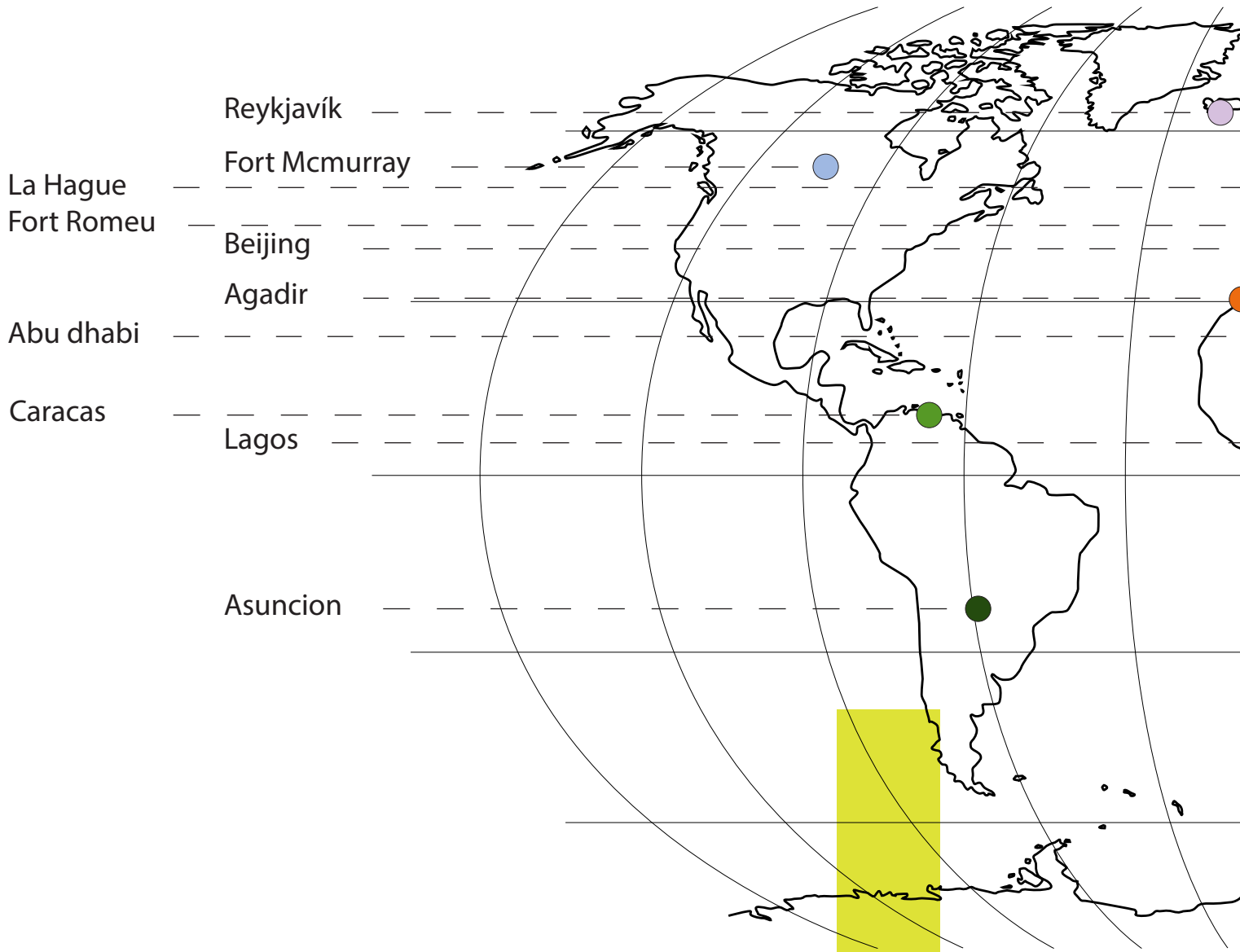


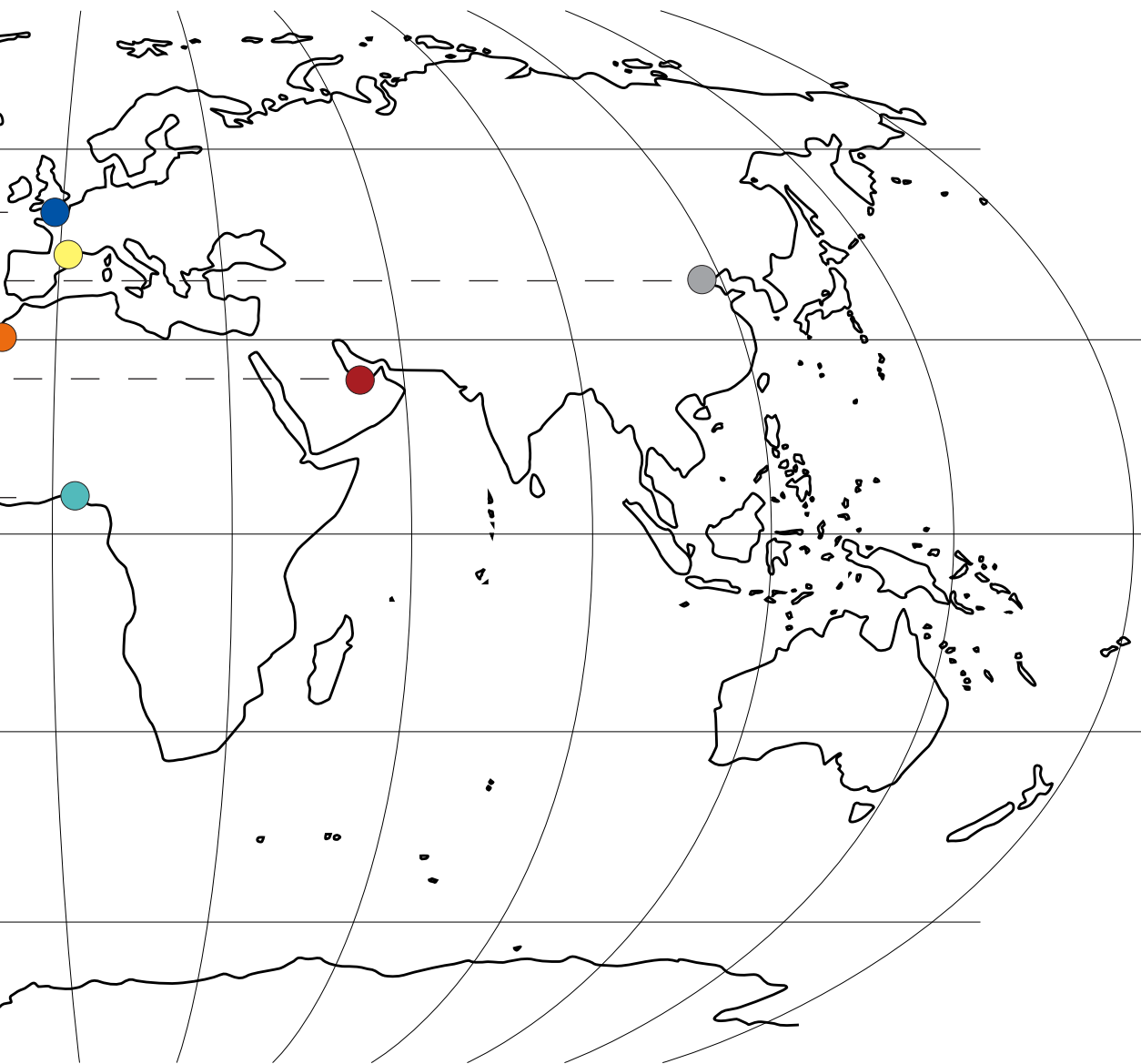




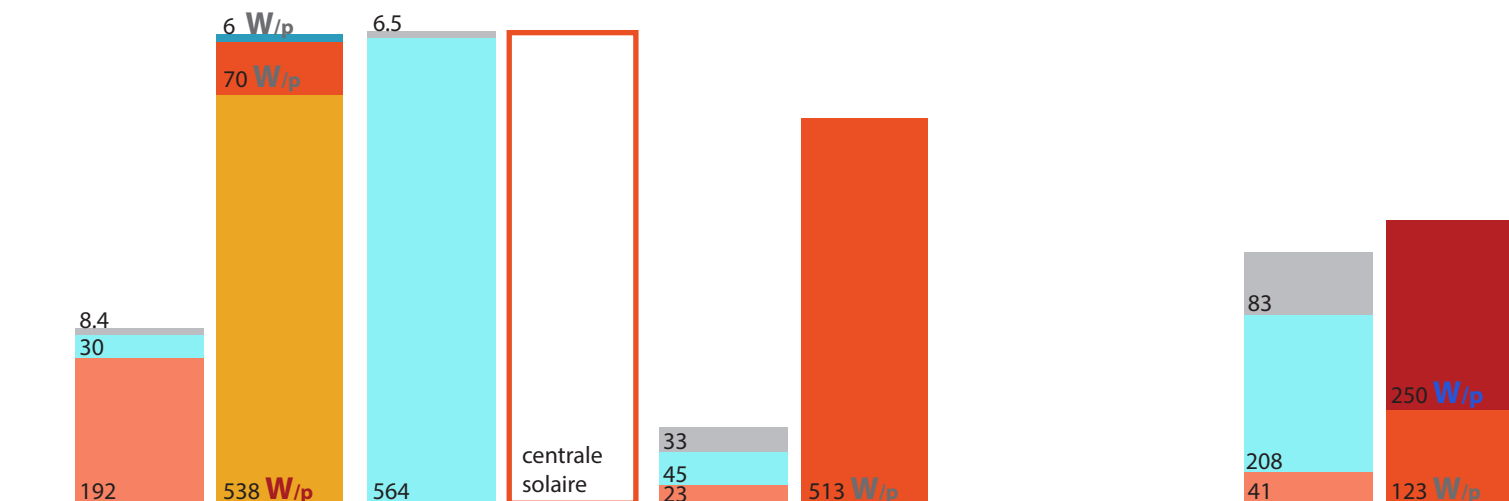
A 5x5 grid of colored squares. The colors of the squares are: Row 1: Orange, Red, Green, Teal, Dark Green; Row 2: Dark Green, Light Purple, Yellow, Blue, Light Blue; Row 3: Light Blue, Blue, Orange, Gray, Yellow; Row 4: Gray, Yellow, Blue, Light Blue, Light Purple; Row 5: Orange, Red, Green, Teal, Dark Green. The word 'Synthèse' is centered in the middle square (Row 3, Column 3) in a dark gray font.

Synthèse





- Besoins**
- Chaud
  - Froid
  - Electricité
- Productions**
- Géothermie
  - Hydraulique
  - Biomasse
  - Solaire passif
  - Solaire thermique
  - Photovoltaïque
  - Eolien
  - Puit canadien
  - Réseau public



**Agadir**

**Abu Dhabi**

**Caracas**

**Lagos**

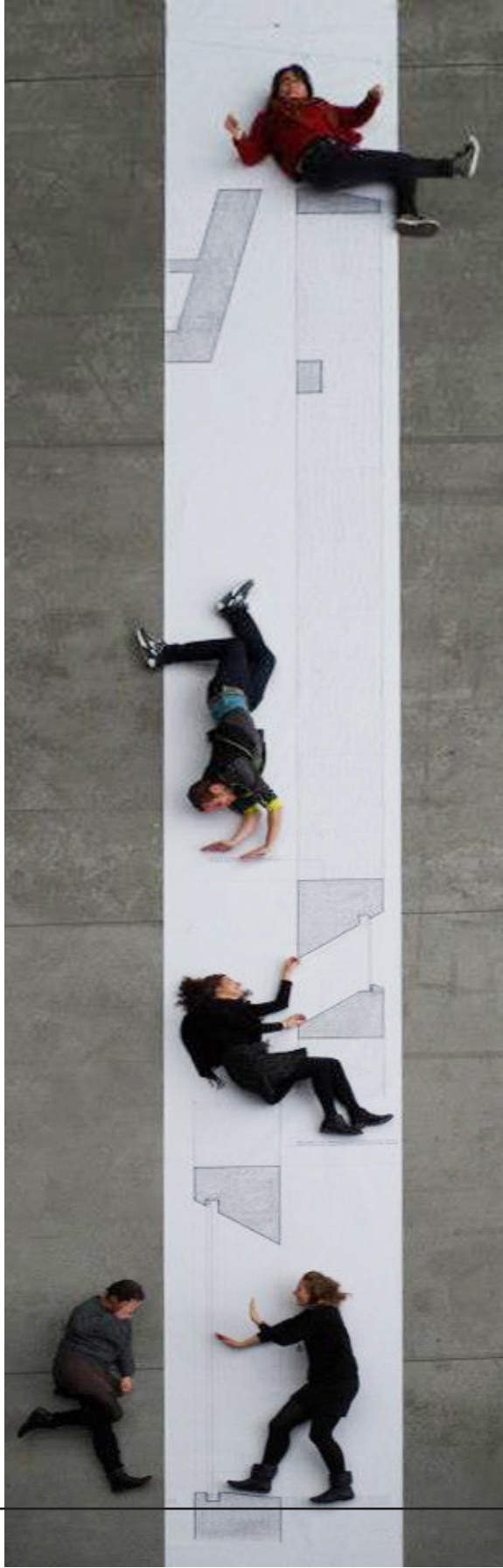
**Asuncion**















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

**DPEA Post-Carbone**  
**2013 / 2014**