

# DIOGÈNE 2.0

6 Villes | 6 Climats | 6 Modes de vie

**FAIRBANKS**

**TRONDHEIM**

**BREGENZ**

**MARNE-LA-VALLÉE**

**OUARZAZATE**

**BANGKOK**

DPEA **Post-Carbone**

2015

**École d'architecture**  
de la ville & des territoires

# DPEA Post-Carbone<sup>2015</sup>

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

## École nationale supérieure d'architecture de la Ville et des Territoires - ENSAVT

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

[www.marnelavallee.archi.fr](http://www.marnelavallee.archi.fr)

### Amina Sellali

directrice

### Sophie Perdial

directrice administrative et financière

### Isabelle Vierget-Rias

directrice du développement

## DPEA Post-Carbone

### Jean-François Blassel

directeur et enseignant

### Raphaël Ménard

enseignant

### Mathieu Cabannes

coordinateur et enseignant

### Administration

Nathalie Guerrois

### Projets par

Bertolt Alvarez

Marion Bonnet

Victor Caballero

Florence Capoulade

Mauricio Peralta

David Pistre

### Image de couverture

Mauricio Peralta

© ENSAVT DPEA Architecture Post-Carbone  
Champs-sur-Marne Octobre 2014

Toute reproduction interdite sans  
l'autorisation de l'auteur.  
Tous droits réservés.



École d'architecture  
de la ville & des territoires

ASSOCIÉ À LA COMUE  
UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST



## Diogène 2.0

6 Villes | 6 Climats | 6 Modes de vie

Diogène 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 incontournables 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.

## **FAIRBANKS**

Alaska

Marion Bonnet

## **TRONDHEIM**

Norvège

Mauricio Peralta

## **BREGENZ**

Autriche

Victor Caballero

## **MARNE la VALLÉE**

France

Bertolt Alvarez

## **OUARZAZATE**

Maroc

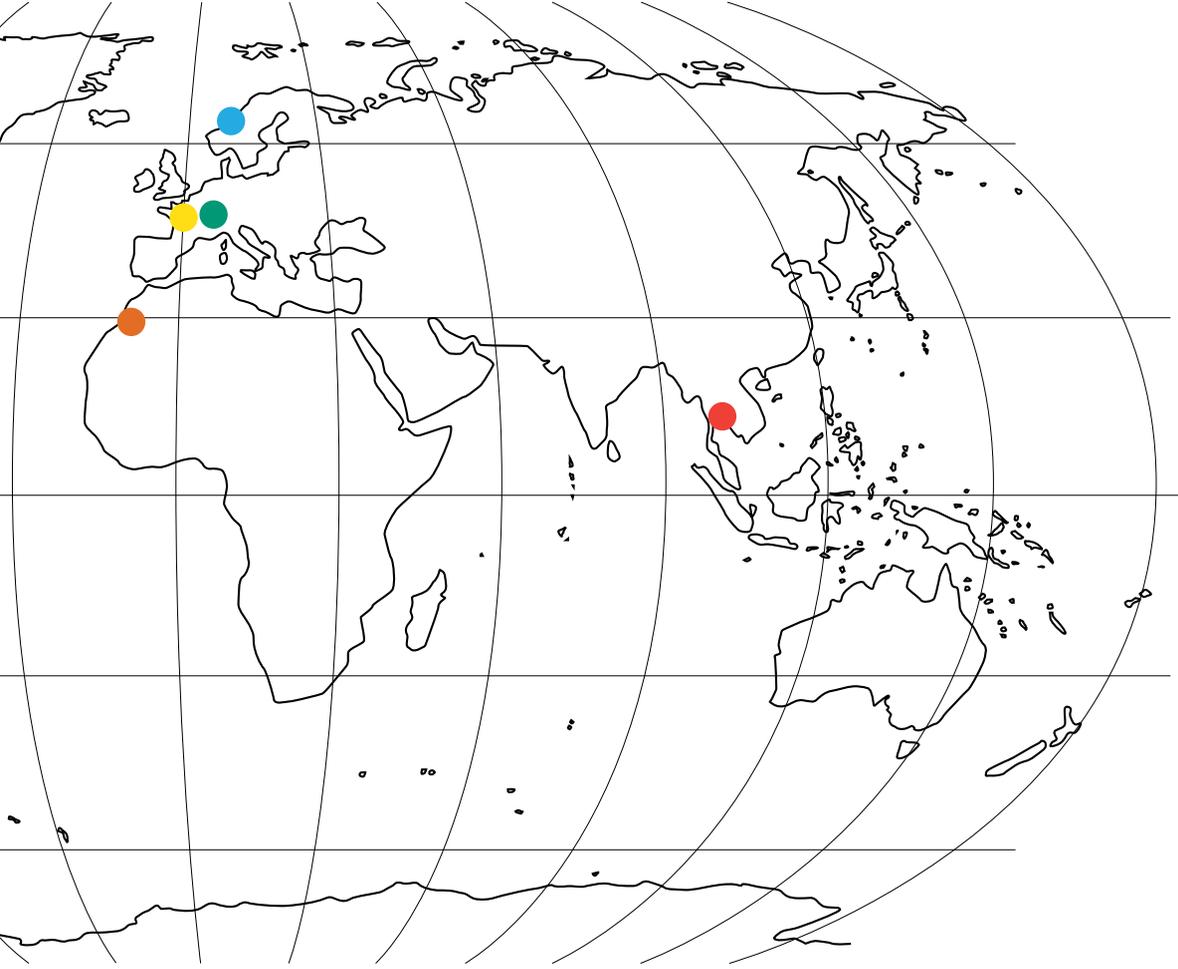
David Pistre

## **BANGKOK**

Thaïlande

Florence Capoulade







# MARNE-LA-VALLÉE

France



Latitude : 48° 51' N  
Longitude : 02° 35' E  
Altitude : 90 m

**Bertolt Alvarez**



## **CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE**

Géographie / Histoire / Culture

Le lieu

Contexte Environnemental

Données et analyses climatiques

## **STRATÉGIES DU PROJET**

Intentions, recherches

Stratégies formelles

Proposition architecturale

Structure et matériaux

## **RÉPONSES ÉNERGÉTIQUES**

Simulations Énergétiques

Donnés et calculs

Besoins - productions

## **SYNTHÈSE**

Bilan annuel besoins-productions

Diagramme de Sankey

Conclusions



# **CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE**

Géographie / Histoire / Culture

Le lieu

Contexte Environnemental

Données et analyses climatiques





# MARNE LA VALLÉE

Géographie / Histoire / Culture

**M**arne-la-Vallée est une ville nouvelle de la Région parisienne développée à partir des années 1960. Cette agglomération de l'est parisien est aujourd'hui l'une des plus grandes d'Île de France. Son territoire s'étend sur 171.24 km<sup>2</sup> et regroupe 27 communes de 3 départements franciliens différents. L'agglomération se développe le long de la rive sud de la Marne. La particularité de ce territoire réside dans l'absence de centre urbain, mais il est multipolaire s'appuyant sur les anciens centres villes. Cette «composition» territoriale contribue à une pluralité des types urbains et de leur atouts respectifs.

Le pôle universitaire (Université de Marne la Vallée) et industriel (grande activité dans le secteur de l'imprimerie et de la papeterie) apportent un dynamisme intellectuel et économique. Avec sa quinzaine de grandes écoles et la cinquantaine de laboratoires de recherches, le campus Descartes est le premier pôle de recherche et d'enseignement supérieur dédié à la ville durable.

Les centres anciens et la présence de bâtiments historiques (comme le Château de Champs sur Marne) constituent un ensemble patrimonial valorisé touristiquement.

Ce territoire est composé à 20% d'espaces naturels, dont la moitié ont été aménagés pour être praticables. Ces espaces sont des espaces verts accessibles, des territoires boisés ainsi que les rives de la Marne.

En haut: La Cité Descartes.  
Milieu: Château de Champs sur Marne.  
En bas: La Marne.

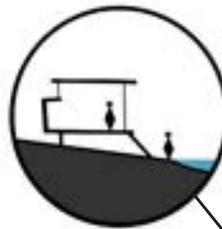
# Le lieu

## LOCALISATION

Située à une trentaine de kilomètres à l'est de Paris, le territoire de Marne-la-Vallée se base sur deux atouts géomorphiques: un cours d'eau, la Marne et quelques haut-plateaux comme le Mont d'Est.



VAIRES-SUR-MARNE



## BASE NAUTIQUE DE VAIRES TORCY



Le choix du terrain du diogène s'établit sur un site naturel à côté du lac de Vaires sur Marne. La proximité de la base nautique avec le lac et les zones boisées a constitué la trame du scénario de ce diogène.

L'équipement de sport lui confère son usage: le diogène pourra être occupé par un sportif de la base nautique.

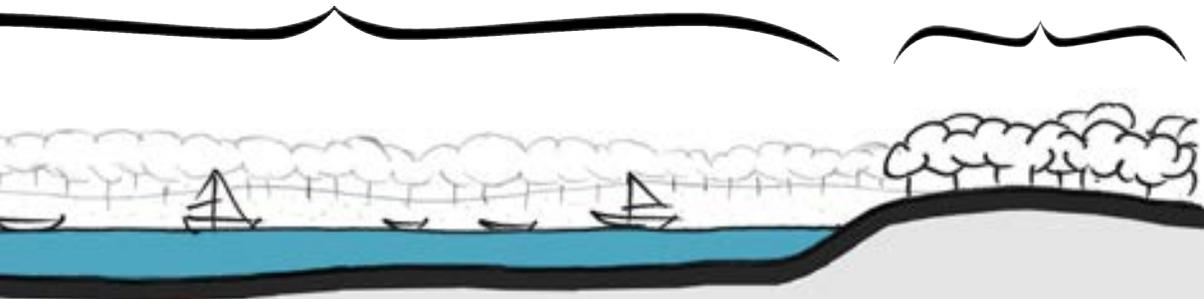
Le lac constitue à la fois un paysage remarquable et une surface permettant de récupérer le rayonnement solaire. Les espaces boisés environnants procurent des matériaux de construction et des combustibles éventuels.



BASE NAUTIQUE DE  
VAIRES-TORCY



PARC DE NOISIEL



# Contexte Environnemental

## MATÉRIAUX ET RESSOURCES



### Bois

Les essences des zones forestières alentours, chênes et ormes, peuvent être utilisées pour la construction.



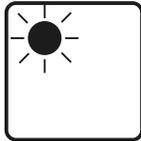
### Cellulose

L'un des secteurs industriels locaux les plus importants est l'industrie du papier et l'imprimerie. On peut exploiter ses déchets pour la production de ouate de cellulose.



### Biomasse Végétale

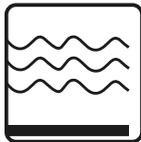
Les feuilles et les branches des forêts disponibles en grandes quantités peuvent être utilisées comme combustible.



#### Soleil

1117 kWh/m<sup>2</sup> par an.

Ce rayonnement peut-être exploité par des panneaux PV, et capteurs solaires thermiques.



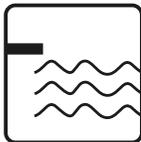
#### Vent

En moyenne 3 à 5 m/s. Ces vitesses permettent l'exploitation d'une éolienne de production moyenne.



#### Pluie

Plus de 600 mm par an. L'abondance des précipitations la rend exploitable dans son captage pour les sanitaires et le ménage.



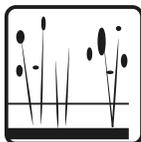
#### Masses d'eau

Le lac et surtout la Marne peuvent être utilisés pour une petite production électrique et pour la consommation domestique.



#### Biomasse

L'environnement constitué de forêts est utilisable.

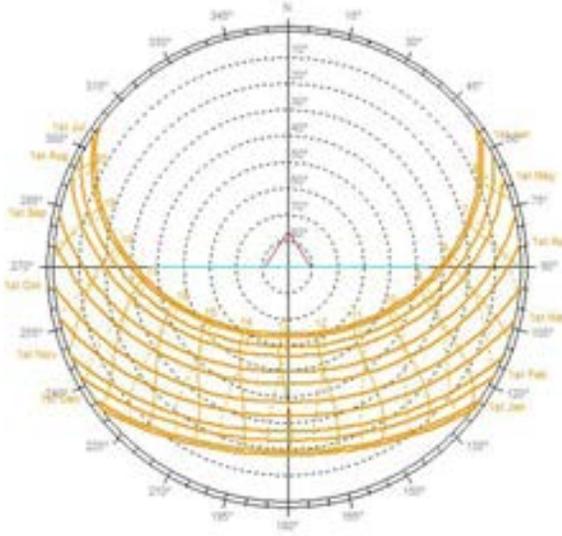


#### Terres cultivables

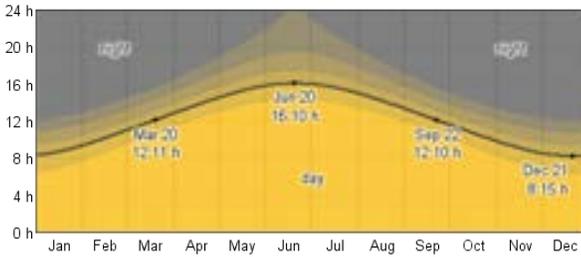
La terre du site est de bonne qualité pour les cultures maraîchères.

# Données et analyse climatiques

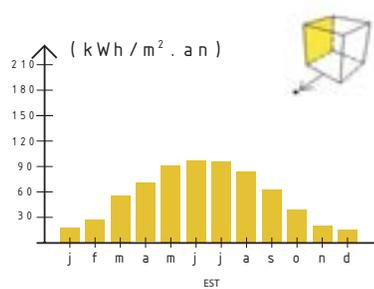
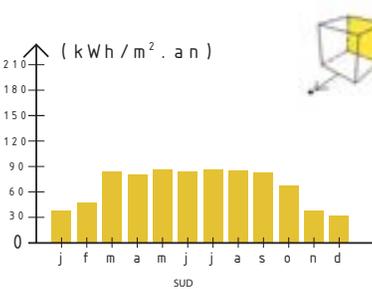
## ANALYSE SOLAIRE



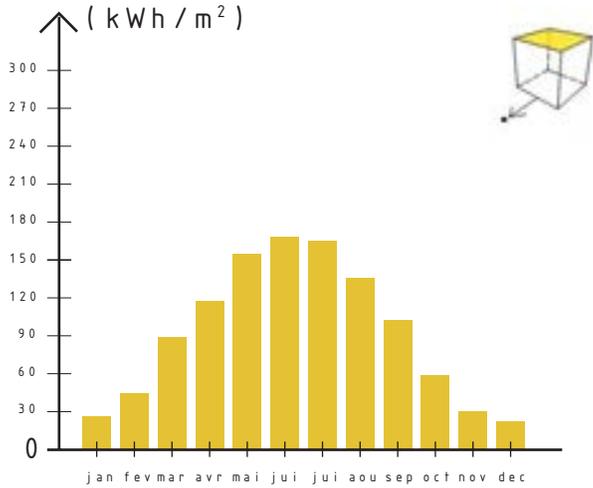
Cadran Solaire  
Source: Ecotect.



Heures de lumière du  
jour et crépuscule.  
Source: weatherspark.com.



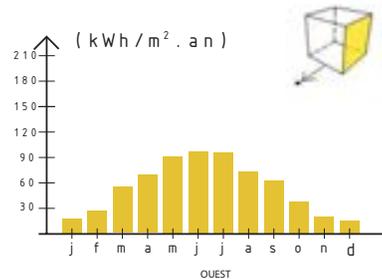
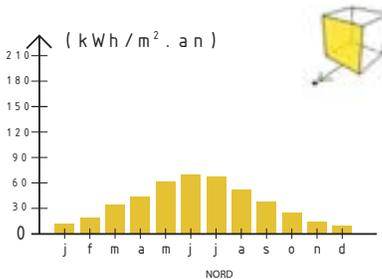
Rayonnement Global  
Source: ines.solaire.free.fr.



Le soleil fournit 1 117 kWh/m<sup>2</sup> pendant l'année (3.06 kWh/m<sup>2</sup>.j). Le mois avec le plus de rayonnement est juin avec une moyenne de 5.6 kWh/m<sup>2</sup>.j et le mois avec le moins d'apports est décembre (0.7 kWh/m<sup>2</sup>.j).

La longueur du jour varie de façon significative au cours de l'année. Le jour le plus court est le 21 décembre avec 8:15 h de jour et le plus long est le 20 juin avec 16:10 h de jour.

Rayonnement selon l'orientation  
Source: Ecotect.



## ANALYSE DES PRECIPITATIONS

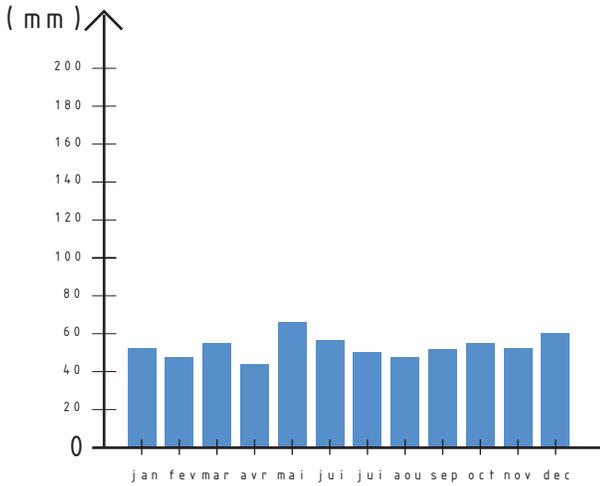
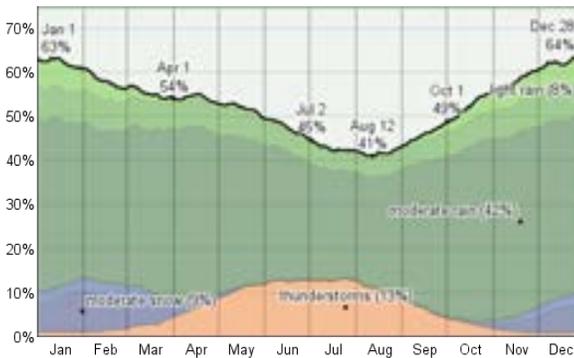


Tableau des Précipitations  
Source: Meteonorm.

Les Précipitations donnent un total annuel supérieur à 600 mm et sont relativement homogènes pendant l'année. En outre, nous avons entre 3 et 6 jours de pluie par mois.

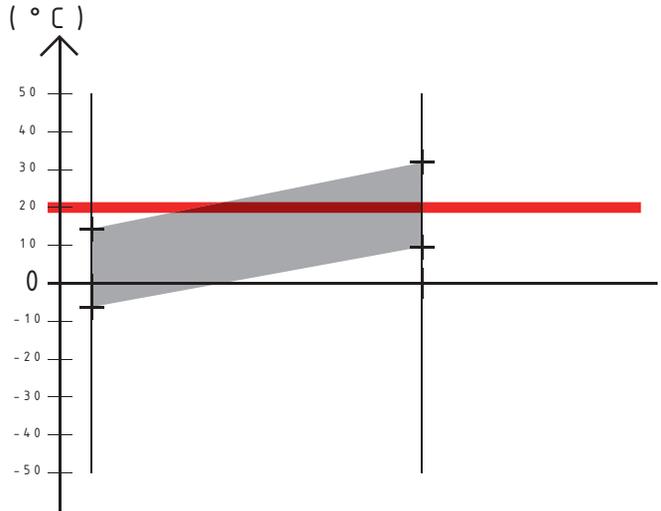


Probabilité des Précipitations à un moment de la journée  
Source: weatherspark.com.

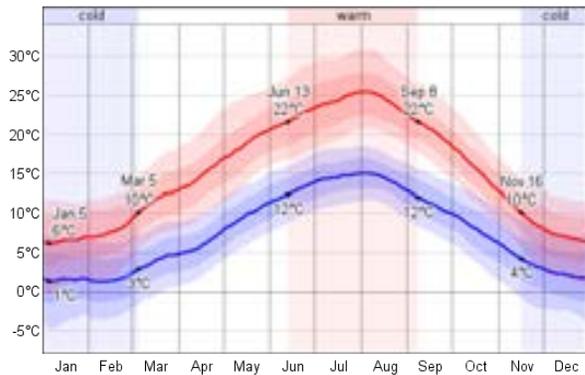
Les formes les plus courantes de précipitations sont la pluie modérée et la pluie légère.

## ANALYSE DE TEMPÉRATURE

Température plus haute  
et plus basse de l'année  
Source: weatherspark.com.

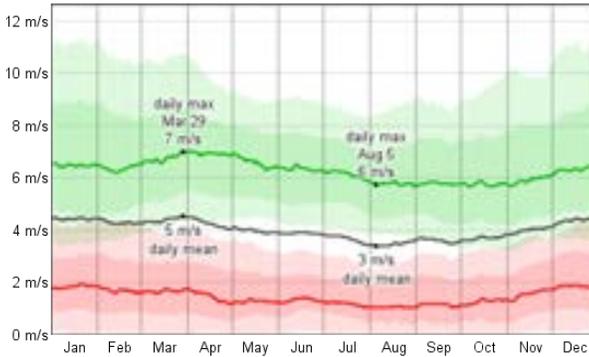


Température haute et  
basse quotidienne  
Source: weatherspark.com.

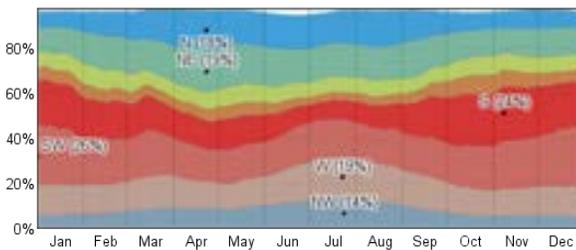


La saison chaude dure du 13 Juin au 8 Septembre avec une température maximale moyenne journalière supérieure à 22 °C. La saison froide dure du 16 novembre au 5 mars avec une temp. maximale moyenne inférieure à 10 °C.

## ANALYSE DES VENTS



Vitesse du Vent  
Source: weatherspark.com.

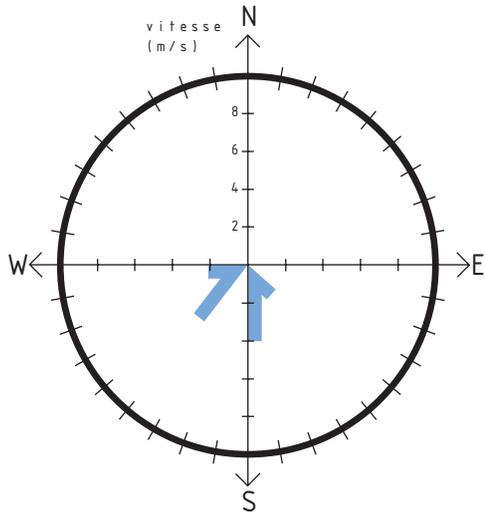


Fraction du temps passé  
avec différentes  
directions de vent  
Source: weatherspark.com.

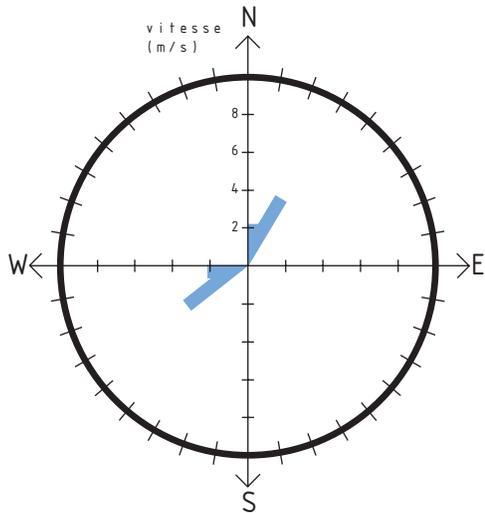
Sur l'année, la vitesse du vent varie de 1 m/s à 7 m/s (brise légère à modérée), dépassant rarement 11 m/s (forte brise).

La plus haute vitesse moyenne du vent est de 5 m/s (brise) se produit aux environs du 29 Mars, date à laquelle la vitesse moyenne maximale du vent est de 7 m/s (brise modérée).

La plus faible vitesse moyenne du vent de 3 m/s (brise légère) se produit aux environs du 5 Août, date à laquelle la vitesse moyenne quotidienne maximale du vent est de 6 m/s (brise modérée).



Vents Hivernaux  
Source: windfinder.com.



Vents Estivaux  
Source: windfinder.com.

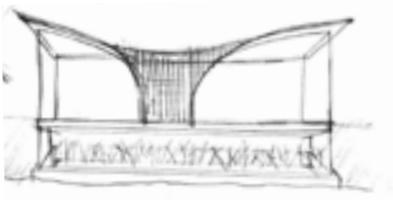
Pendant l'hiver, le vent vient principalement du nord et du nord-est. En été le vent vient le plus souvent du nord-est et du sud-ouest.



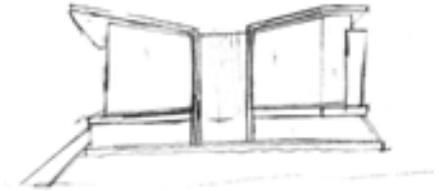
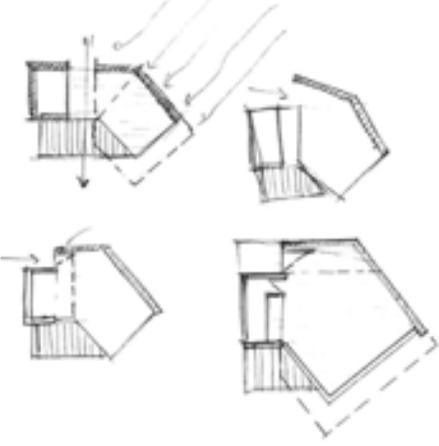
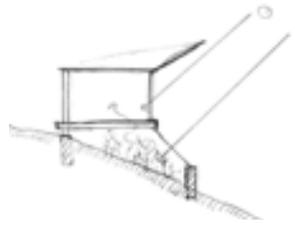
# **STRATÉGIES DU PROJET**

Intentions, recherches  
Stratégies formelles  
Proposition architecturale  
Structure et matériaux

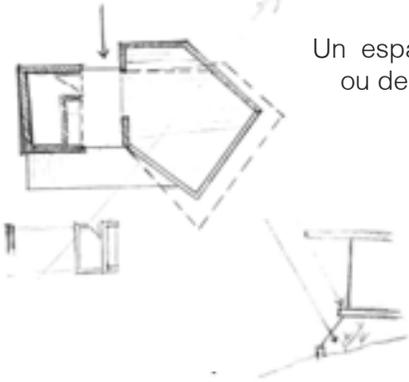
# Intentions, recherches



Un cube de verre et une serre pour stocker la chaleur?

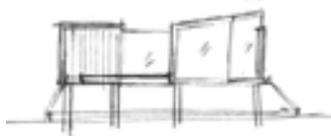
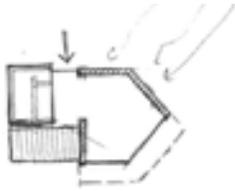


Un espace ou deux?



L'entrée: se protéger du vent?

Structure en bois et vide sanitaire?



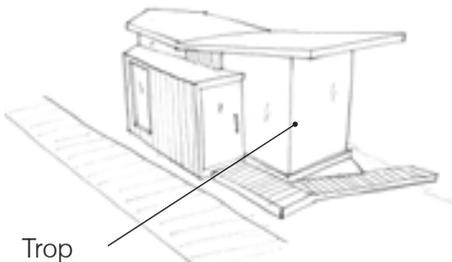
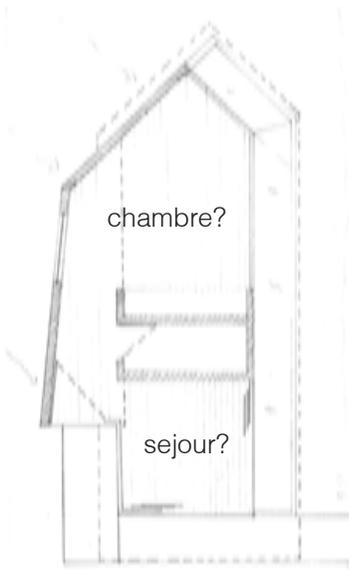
Le vent et les perspectives visuelles



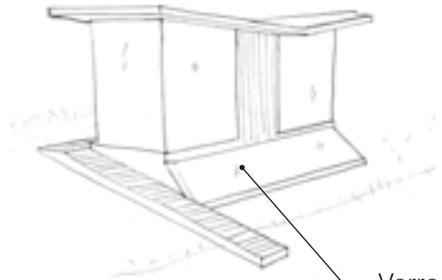
## «UN BÂTIMENT DE CONCEPTION PASSIVE»

Le projet a été développé sous des critères d'architecture minimale, avec une conception énergétique la plus autonome possible; pour un petit bâtiment qui permet d'assurer les fonctions essentielles de vie.

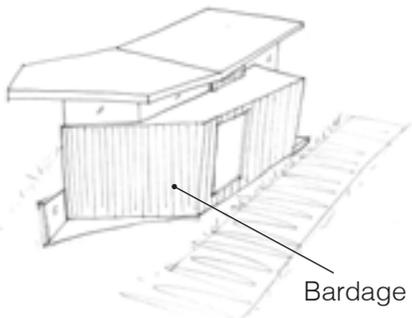
Pour cette demande, une recherche formelle a permis d'articuler trois espaces (chambre, bain et séjour) disposés de façons diverses, en prenant en compte des stratégies bioclimatiques différentes pour répondre à une analyse spécifique du climat sur une surface de 30m<sup>2</sup>.



Trop vitrée?

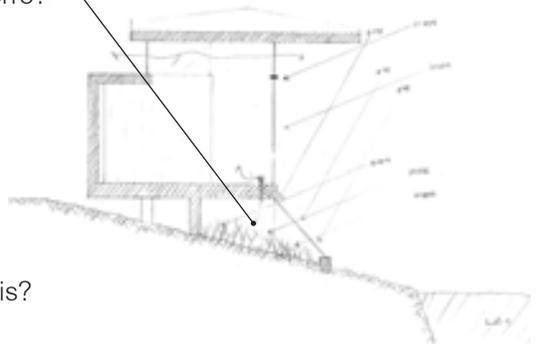


Verre photovoltaïque?



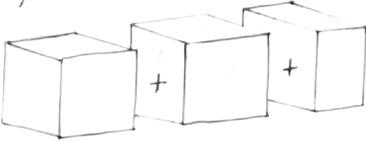
Bardage bois?

Ventilation Serre?



# Stratégies Formelles

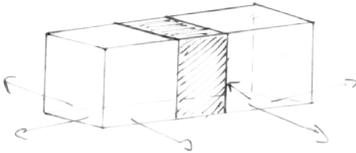
3 espaces



1

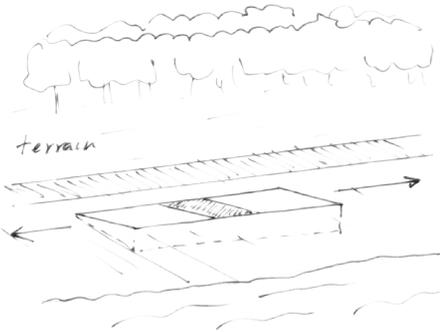
Addition de trois unités spatiales indépendantes: chambre, bain et séjour.

vue



2

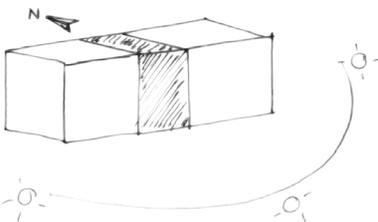
Espaces de vie périphériques pour la vue.



3

Dispositif placé parallèlement à la rive du lac et de la route.

orientation

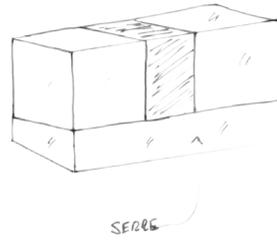


4

Grande largeur du diogène, orienté au sud avec un système de contrôle solaire d'été.

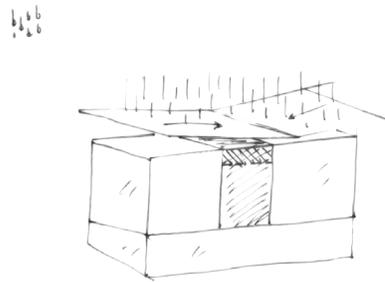
5

Récupération d'apports solaires par une serre en base du diogène.



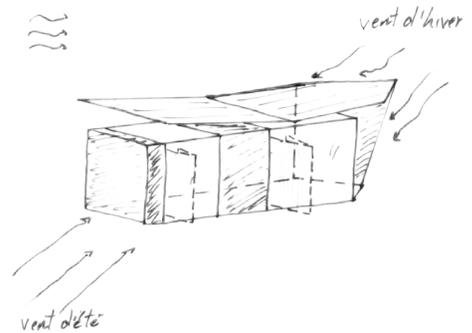
6

Toiture en double pente intérieure pour capter les eaux pluviales.



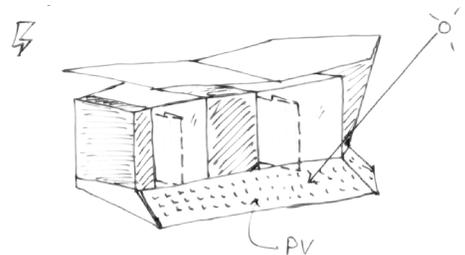
7

Les côtés N-E et S-E sont bloqués par des murs fermés protégeant des vents dominants.



8

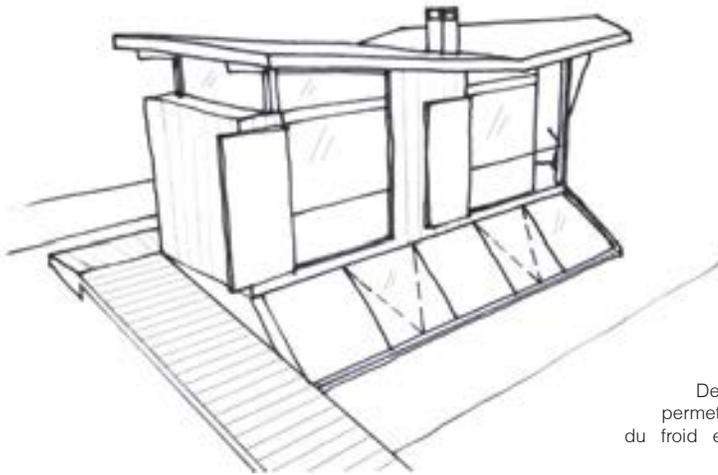
Pour optimiser les apports solaires de la serre, celle-ci est réalisée avec une façade inclinée en verre PV.



# Proposition Architecturale

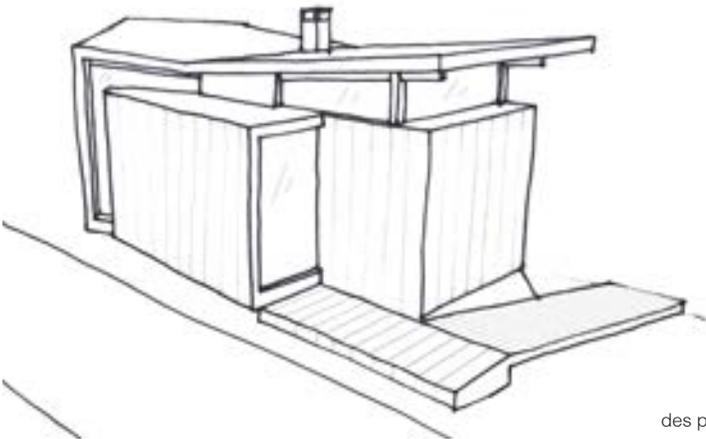
«Le projet est pensé comme un petit cabanon de pêche en bordure de lac, en dessous duquel un vide sanitaire fait office de serre captant l'énergie solaire.» Accessible de plain pied depuis un chemin piétonnier, l'entrée protégée des vents dominants.

Les vues du diogène sont orientées vers le paysage du plan d'eau. Un quai aménagé latéralement permet à l'utilisateur d'avoir un contact avec le lac et de manipuler des kayaks ou des petits canoës.



Axonométrie  
côté Sud-est

Des volets pliants en bois permettent de se protéger du vent, du froid et du soleil de l'après-midi.



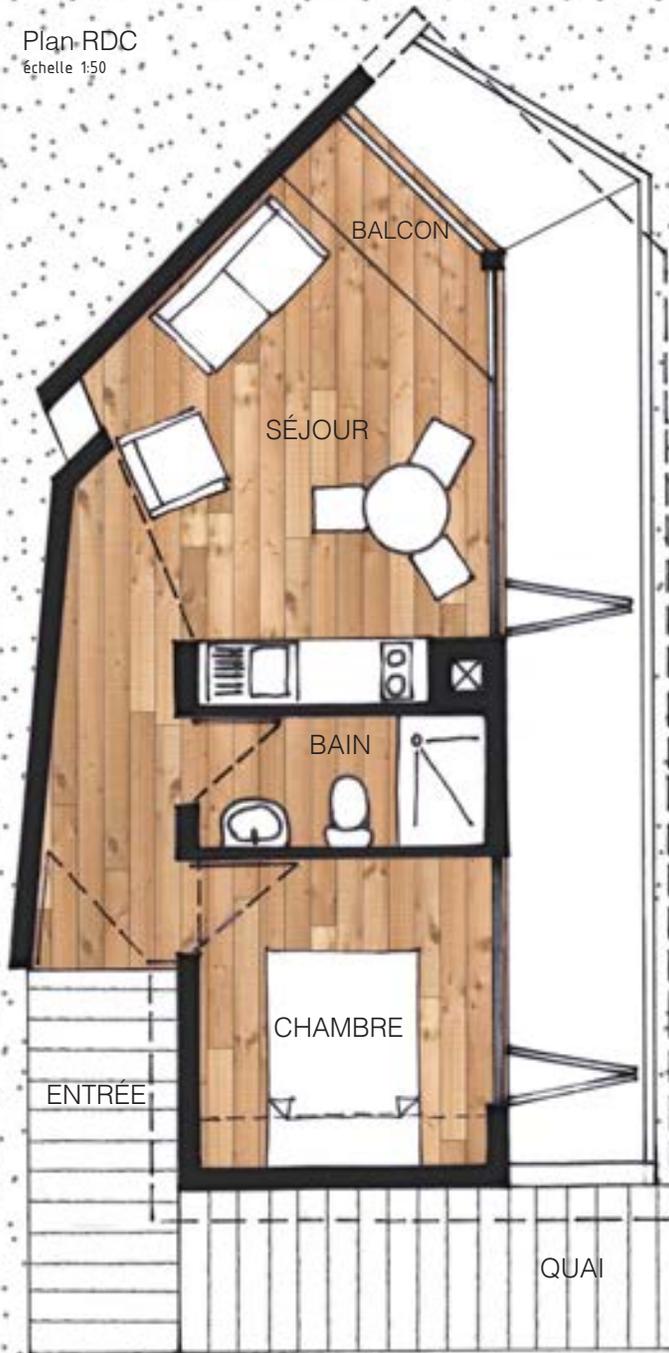
Axonométrie  
côté Nord-ouest

Sur le côté nord prédomine le bardage en bois, des petites fenêtres et l'accès au quai.

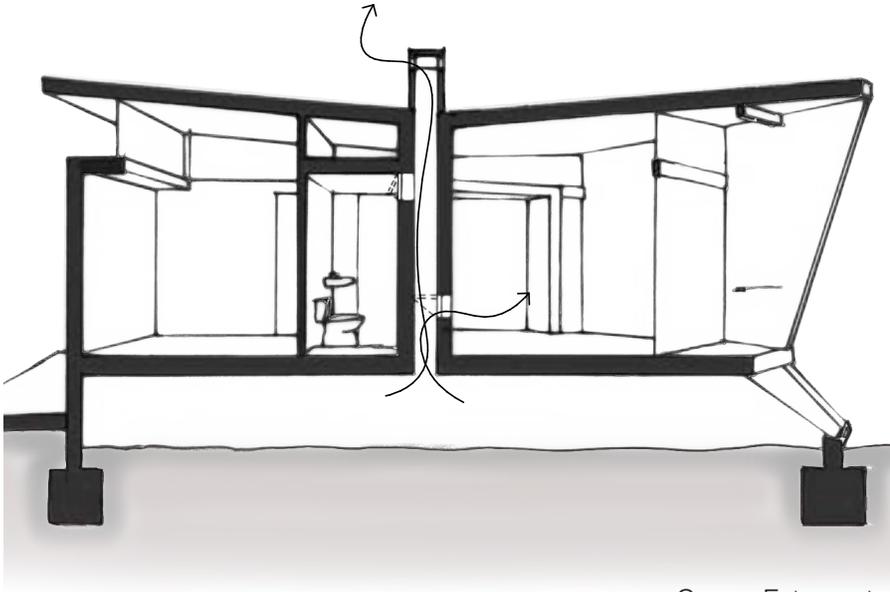


Plan RDC  
échelle 1:50

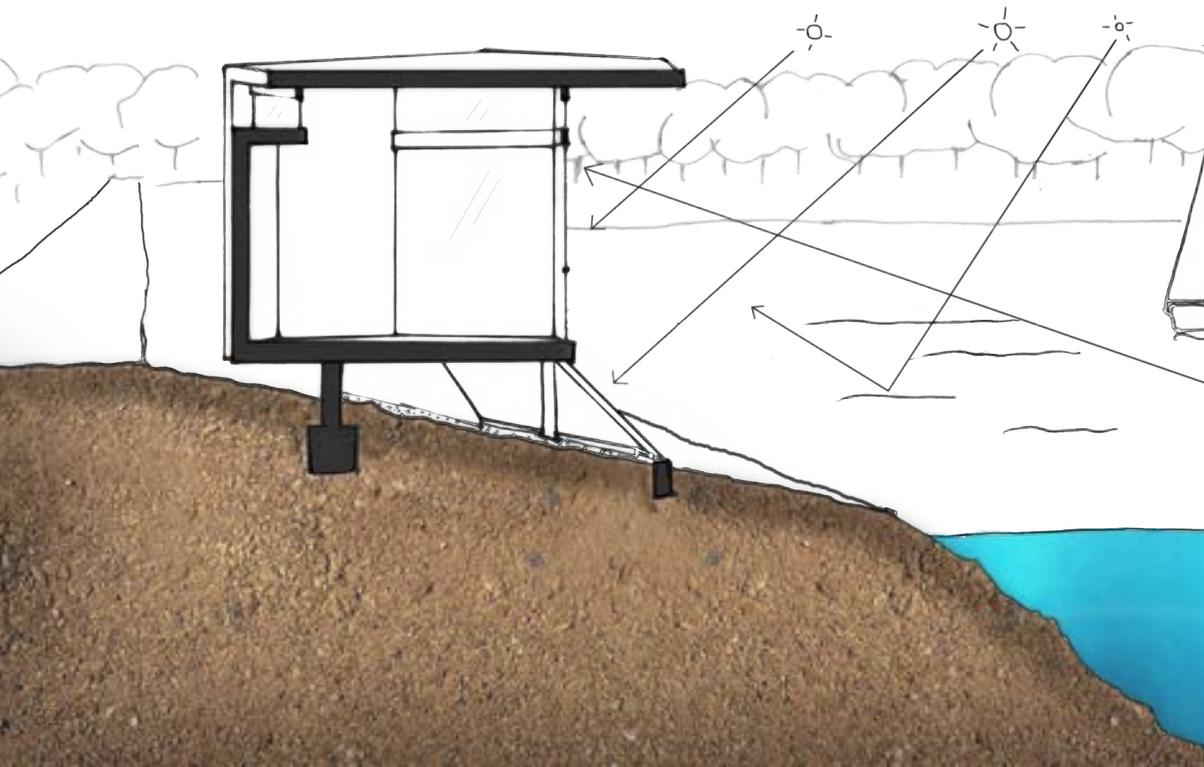
CHEMIN



QUAI



Coupe Est-ouest  
échelle 1:50

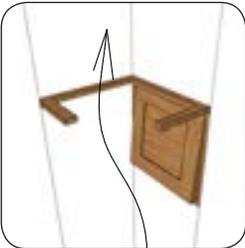


## «UNE SERRE ÉNERGÉTIQUE»



Mode Chauffage

Profitant de la pente naturelle du terrain on installe une serre dans le soubassement, qui génère la chaleur nécessaire à l'habitation même par temps couvert. Le système fonctionne avec une cheminée solaire permettant de distribuer l'air chaud dans le logement et d'en éjecter l'excédent. Une petite porte à rupture de pont thermique fonctionne comme un dispositif que l'on peut faire varier selon le besoin de chaud dans l'habitation.



Mode Ventilation

La cheminée solaire est positionnée au centre du logement dans la partie technique pour permettre de ventiler aussi les locaux humides.

L'orientation sud, face au lac, permet de capter une bonne quantité de rayonnement par réflexion et aussi de bénéficier d'une meilleure inertie thermique.



Coupe Nord-sud  
échelle 1:50

# Structure et Matériaux

La toiture en pente inversée permet de capter les eaux de pluie (environ  $2.5 \text{ m}^3$  par mois) et de les acheminer directement dans le réservoir du bloc.

La serre a une surface vitrée de  $19 \text{ m}^2$ , son vitrage est photovoltaïque avec un rendement de 6% qui couvre les besoins d'électricité à hauteur de 1100 kWh par an. De plus, une partie de la serre est un capteur solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire.

Étant donné que le diogène a une grande surface vitrée, on a employé un double vitrage 4-16-4 ( $U=1.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) avec cadres en bois à rupteur de pont thermique.



Maquette (vue S-E)  
échelle 1:50

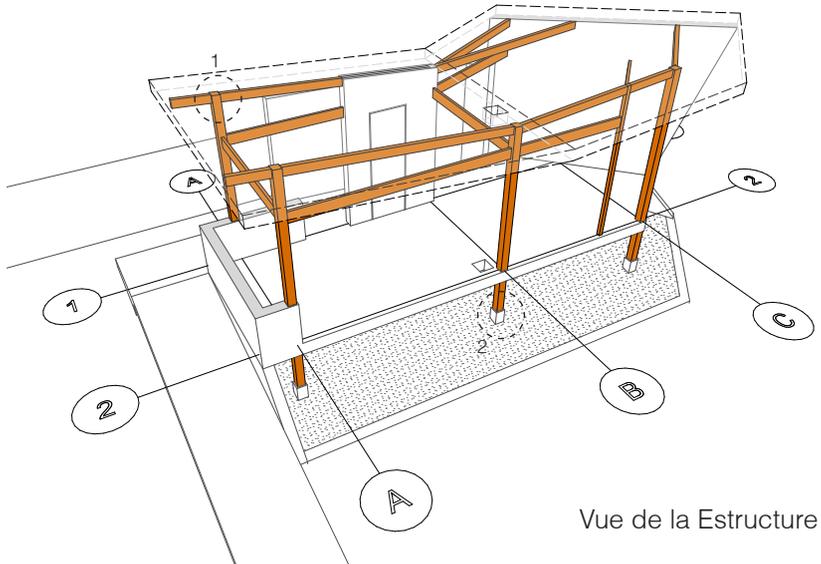


Maquette (vue N-E)  
échelle 1:50

Maquette (vue N-O)  
échelle 1:50



Maquette (vue S-O)  
échelle 1:50



Vue de la Estructure



Detail 1  
Liaison poteau-poutre



Detail 2  
Liaison poteau-fondation

La structure utilisée est de type poteaux-poutres bois, avec des fondations et un vide sanitaire en béton cellulaire pour protéger de l'humidité. La dalle et la toiture ont un cadre interne pour leur conférer un aspect plus léger.

Toutes les colonnes sont de section carrée et se présentent dans une trame orthogonale: 3m entre axes 1-2 et 4m entre axes A-B-C.

Pour des raisons de durabilité, les liaisons poteau-poutre et poteau-fondation sont matérialisées par des ancrages métalliques.

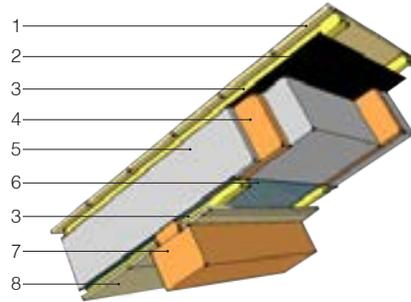
## DÉTAILS CONSTRUCTIFS

Le projet est construit en ossature et parements bois disponible localement. Cependant, certains matériaux industrialisés pourront être utilisés afin de garantir la bonne performance énergétique de l'habitat.

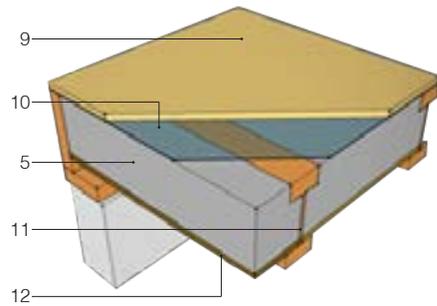
La toiture est composée de poutres en bois, avec pare-pluie et frein-vapeur. La couverture est constituée de bardeaux de bois. Pour la dalle, on utilise des poutres en I, frein-vapeur et un plancher bois.

Par ailleurs, les murs sont munis de frein-vapeur et pare-pluie avec bardage bois extérieur - intérieur.

La ouate de cellulose est l'isolant utilisé pour tout l'habitat. Avec ses composants, on obtient un Coefficient de transmission thermique (U) autour de 0.24 W/m<sup>2</sup>·K.



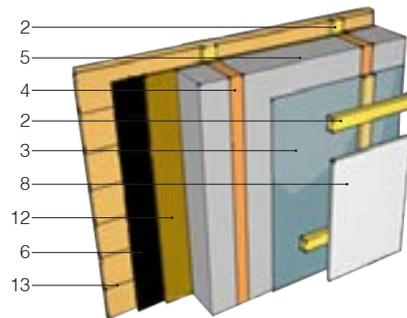
Composition Toiture



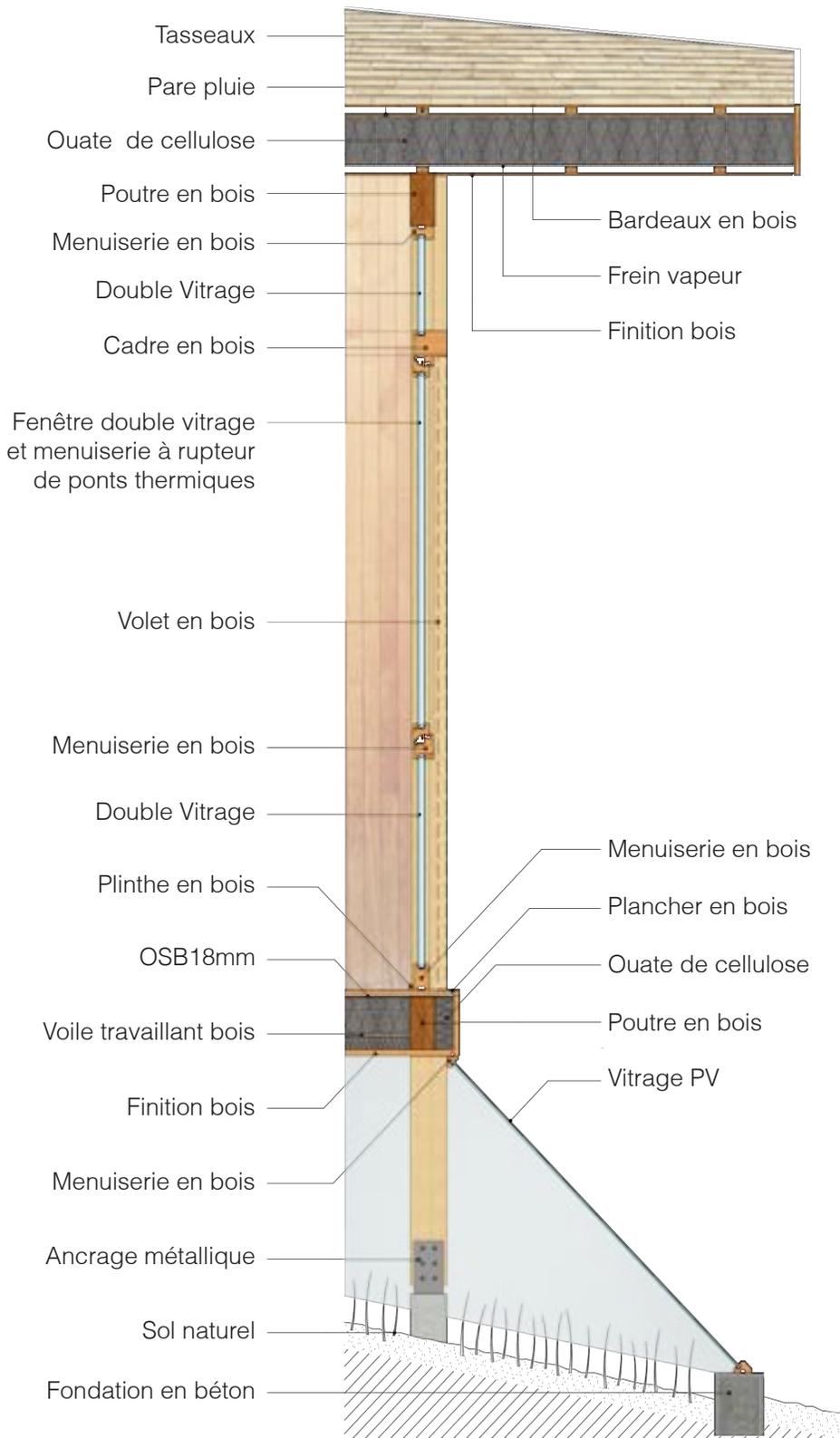
Composition Dalle

Légende:

1. Bardeaux en bois
2. Tasseaux
3. Frein-Vapeur
4. Chevrons porteurs
5. Ouate de cellulose
6. Pare-pluie
7. Poutre en bois
8. Finition intérieure
9. OSB 18mm
10. Frein-Vapeur
11. Poutre en I
12. Voile travaillant
13. Bardage



Composition Mur



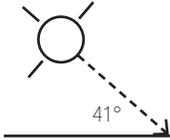


# RÉPONSES ÉNERGÉTIQUES

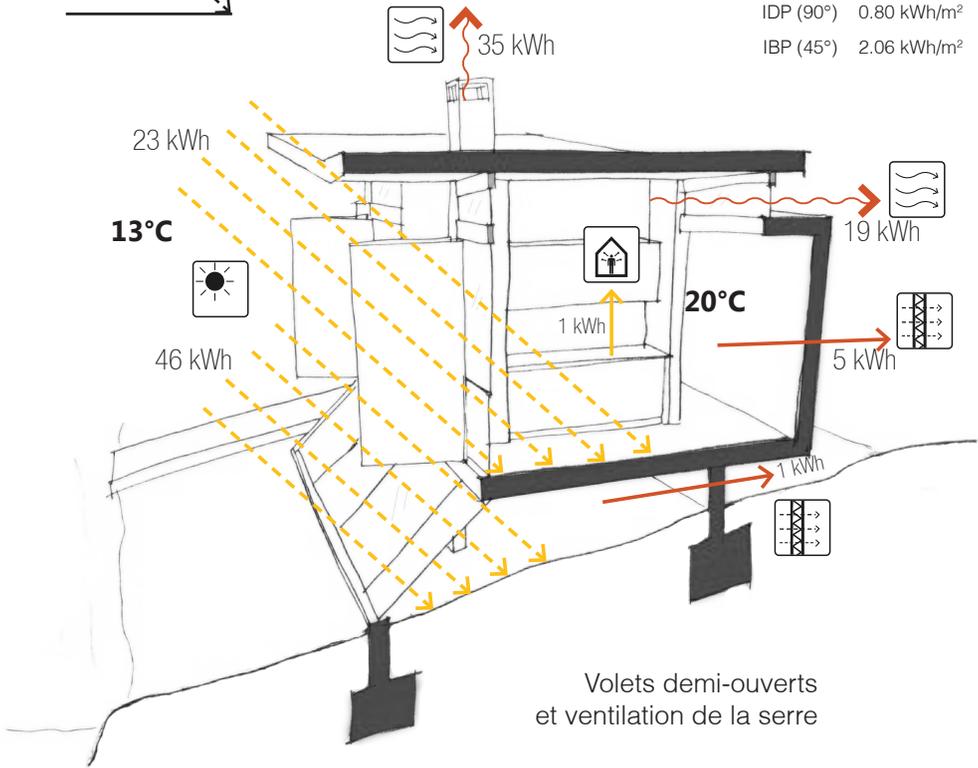
Simulations Énergétiques  
Donnés et calculs  
Besoins - productions

# Simulations énergétiques

ECHANGES ENERGETIQUES AU 21 MARS



Alt. du soleil	41° (12h)
Temp. ext.	13°C
Temp. int.	20°C
IBP (90°)	1.65 kWh/m <sup>2</sup>
IDP (90°)	0.80 kWh/m <sup>2</sup>
IBP (45°)	2.06 kWh/m <sup>2</sup>



BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.49 \times 115 \times (20-13) - (1+23)$

BC = 5 - 24

**BC = 0 kWh**

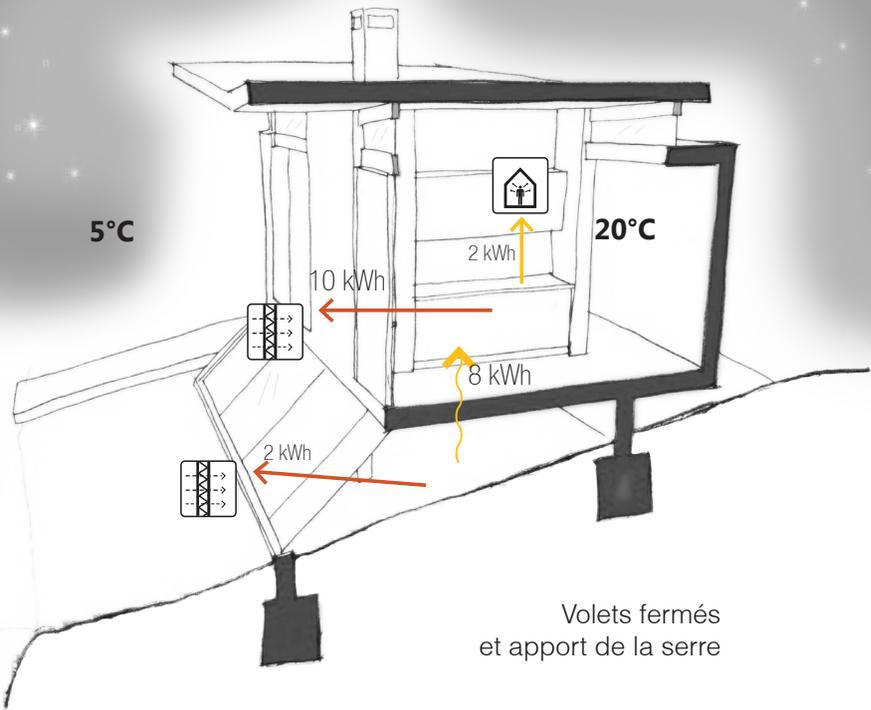
BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (20-13) - (46)$

BC = 1 - 46

**BC = 0 kWh**



Temp. ext. 5°C  
Temp. int. 20°C



BESOIN POUR L'HABITATION

$$BC = 0.49 \times 115 \times (20-5) - (2)$$

$$BC = 10 - 2$$

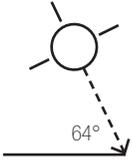
$$BC = 8 \text{ kWh}$$

BESOIN POUR LA SERRE

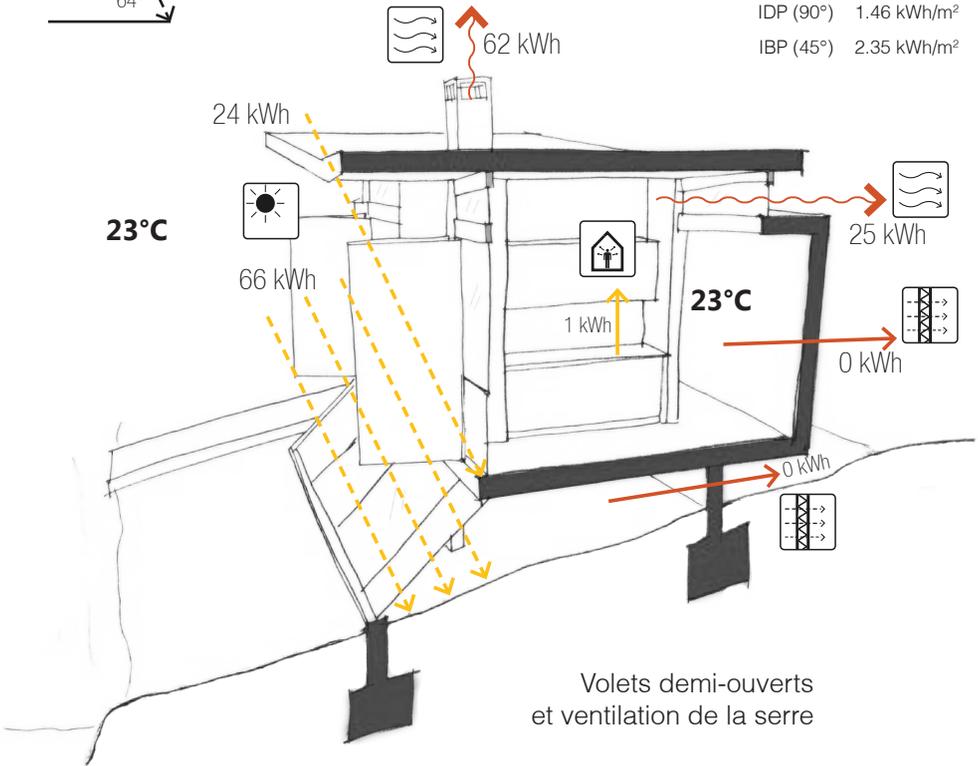
$$BC = 0.42 \times 30 \times (20-5)$$

$$BC = 2 \text{ kWh}$$

# ECHANGES ENERGETIQUES AU 21 JUIN



Alt. du soleil	64° (12h)
Temp. ext.	23°C
Temp. int.	23°C
IBP (90°)	0.83 kWh/m²
IDP (90°)	1.46 kWh/m²
IBP (45°)	2.35 kWh/m²



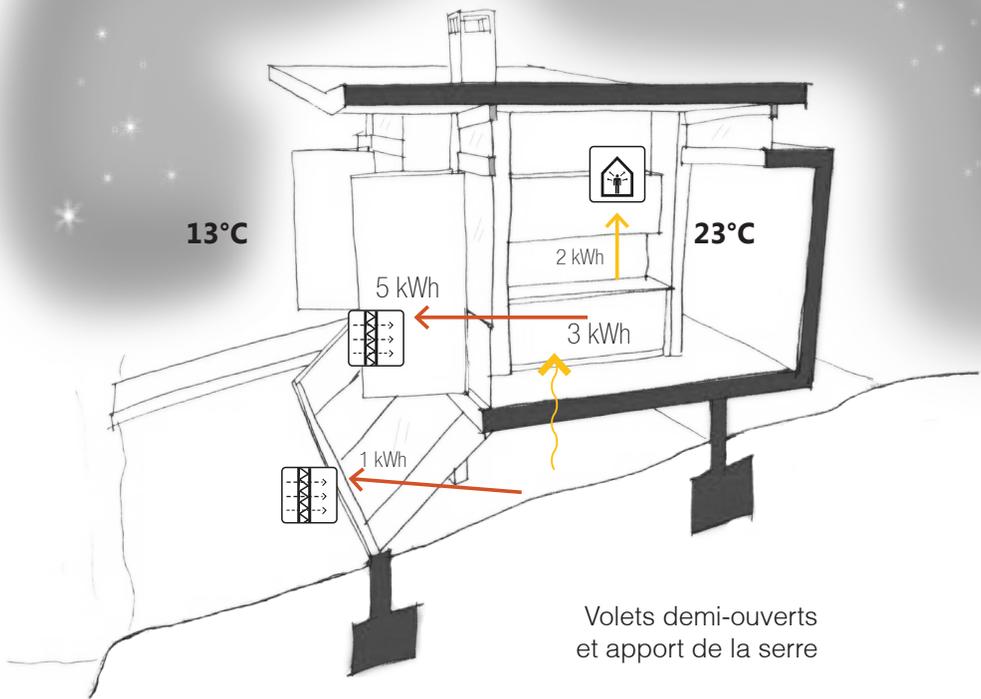
BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.49 \times 115 \times (23-23) - (1+24)$   
 $BC = 0 - 25$   
**BC = 0 kWh**

BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (23-23) - (66)$   
 $BC = 0 - 66$   
**BC = 0 kWh**



Temp. ext. 13°C

Temp. int. 23°C



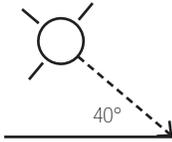
BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.49 \times 115 \times (23-13) - (2)$   
 $BC = 5 - 2$

**BC = 3 kWh**

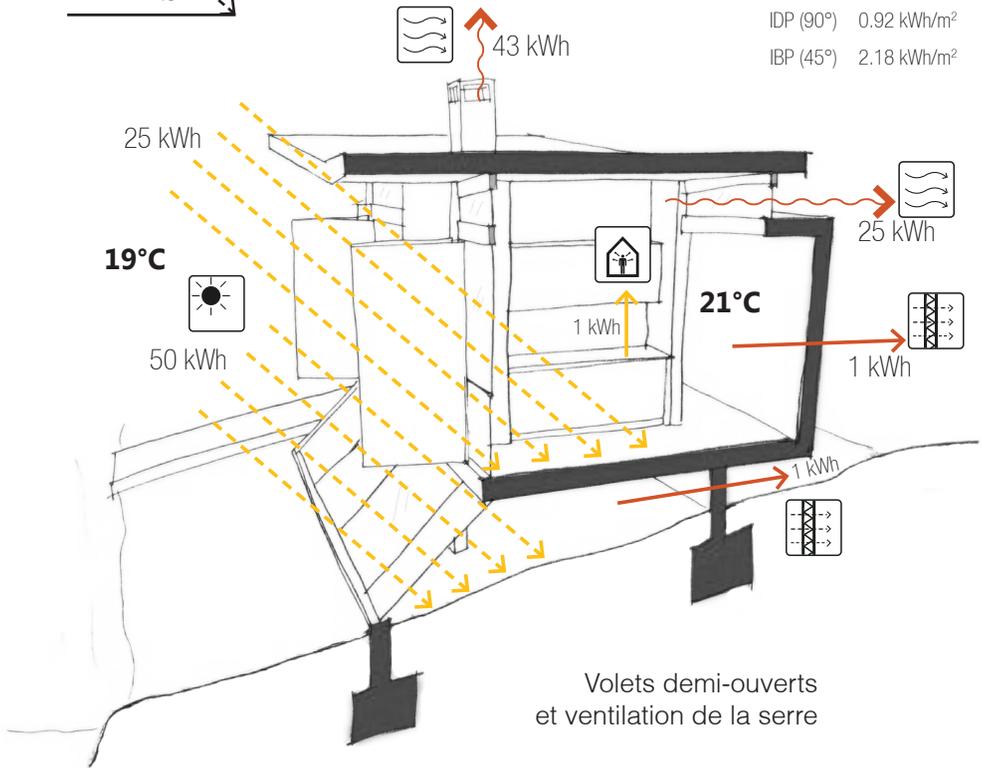
BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (23-13)$

**BC = 1 kWh**

# ECHANGES ENERGETIQUES AU 21 SEPTEMBRE



Alt. du soleil	40° (12h)
Temp. ext.	19°C
Temp. int.	21°C
IBP (90°)	1.55 kWh/m²
IDP (90°)	0.92 kWh/m²
IBP (45°)	2.18 kWh/m²



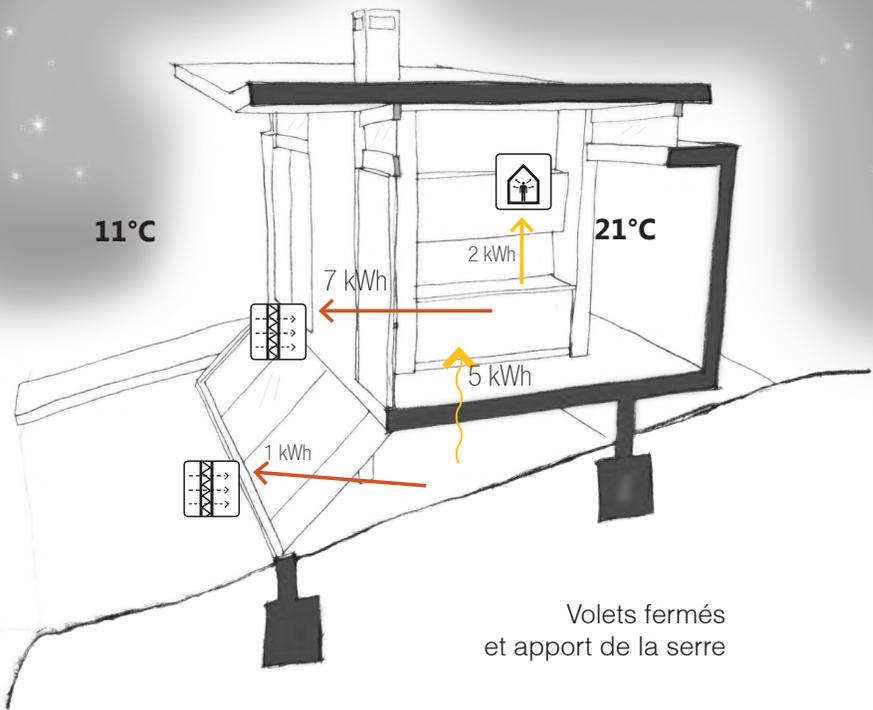
BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.49 \times 115 \times (21-19) - (1+25)$   
 $BC = 1 - 26$   
**BC = 0 kWh**

BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (21-19) - (50)$   
 $BC = 1 - 50$   
**BC = 0 kWh**



Temp. ext. 11°C

Temp. int. 21°C



BESOIN POUR L'HABITATION

$$BC = 0.49 \times 115 \times (21-11) - (2)$$

$$BC = 7 - 2$$

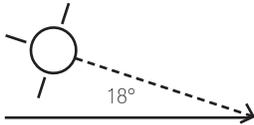
$$BC = 5 \text{ kWh}$$

BESOIN POUR LA SERRE

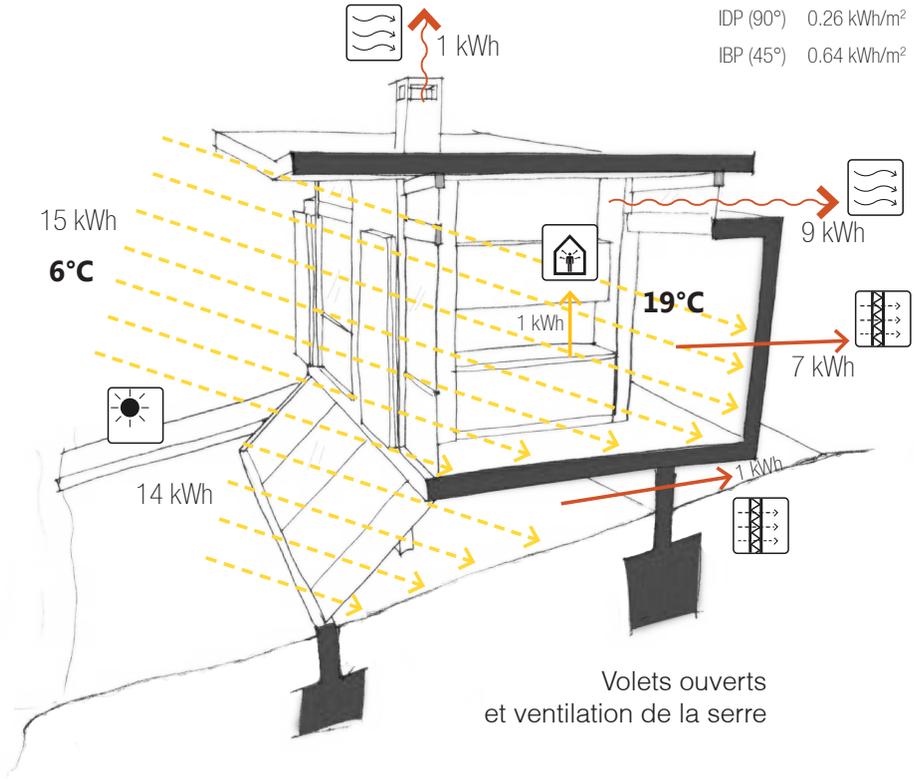
$$BC = 0.42 \times 30 \times (21-11)$$

$$BC = 1 \text{ kWh}$$

# ECHANGES ENERGETIQUES AU 21 DECEMBRE



Alt. du soleil	18° (12h)
Temp. ext.	6°C
Temp. int.	19°C
IBP (90°)	0.71 kWh/m²
IDP (90°)	0.26 kWh/m²
IBP (45°)	0.64 kWh/m²



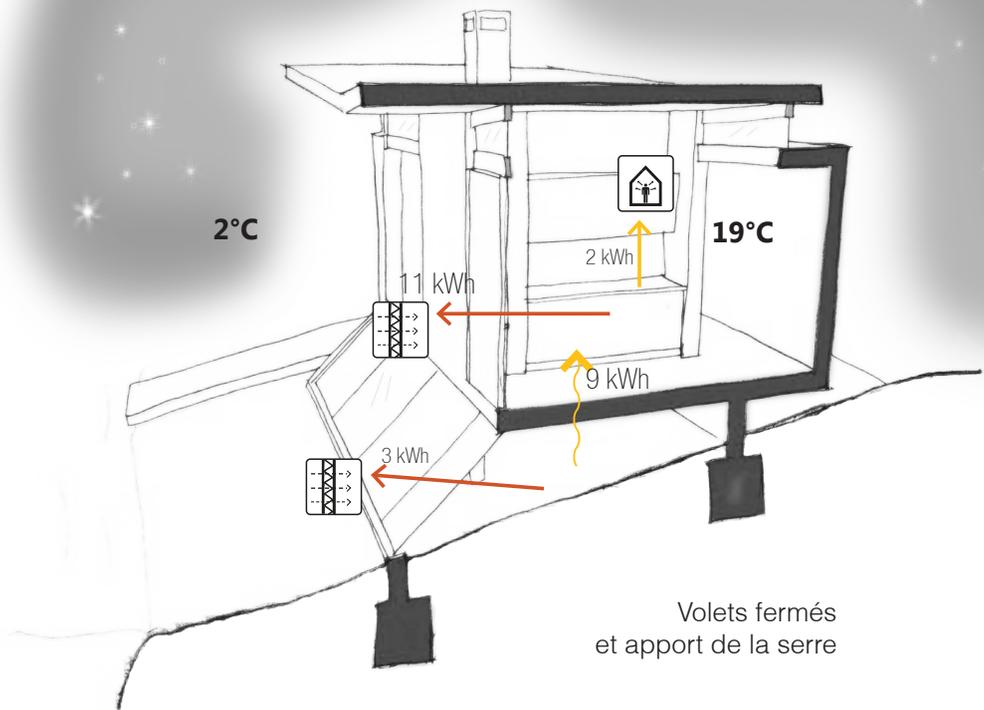
BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.49 \times 115 \times (19-6) - (1+15)$   
 $BC = 7 - 16$   
**BC = 0 kWh**

BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (19-6) - (14)$   
 $BC = 1 - 14$   
**BC = 0 kWh**



Temp. ext. 2°C

Temp. int. 19°C



BESOIN POUR L'HABITATION  
 $BC = 0.35 \times 115 \times (19-2) - (1+23)$   
BC = 11 - 2

**BC = 9 kWh**

BESOIN POUR LA SERRE  
 $BC = 0.42 \times 30 \times (19-2)$

**BC = 3 kWh**

# Données et calculs

## DONNÉES DE L'ENVELOPPE

		SURFACE	MATÉRIAU	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	SURFACE (m <sup>2</sup> )
HABITATION	Murs		Bois/cellulose/bois	0.24	50
	Vitrage	Sud	Double vitrage (4-12-4)	1.7	14
		Sud-est	Double vitrage (4-12-4)	1.7	9
		Autres	Double vitrage (4-12-4)	1.7	8
	Toiture		Bois/cellulose/bois	0.24	34
Dalle		Bois/cellulose/bois	0.24	34	

U Moyenne (volets ouvertes): 0.49 W/m<sup>2</sup>·K

U Moyenne (volets fermés): 0.34 W/m<sup>2</sup>·K

		SURFACE	MATÉRIAU	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	SURFACE (m <sup>2</sup> )
SERRE	Murs		Béton cellulaire	0.4	10.5
	Vitrage	Sud	Vitrage Photovoltaïque	2.0	15.5
		Sud-est	Vitrage Photovoltaïque	2.0	3.5
	Toiture		Bois/cellulose/bois	0.24	35
	Sole		Terre	0	35

U Moyenne: 0.42 W/m<sup>2</sup>·K

## APPORT SOLAIRE DANS L'HABITATION

ORIENTATION		21 MARS	21 JUIN	21 SEPT	21 DEC	ANNUEL
SUD	IGP (kWh/m <sup>2</sup> )	2.71	2.78	2.85	1.13	821
	Ratio masqué*	69%	55%	67%	82%	65%
	A.S. (kWh/jour)	18.33	14.98	18.71	9.08	5230
S-E	IGP (kWh/m <sup>2</sup> )	2.55	3.26	2.82	0.90	833
	Ratio masqué*	65%	53%	63%	75%	61%
	A.S. (kWh/jour)	10.44	10.89	11.19	4.25	3200
AUTRES	IGP (kWh/m <sup>2</sup> )	0.80	1.46	0.92	0.26	315
	Ratio masqué*	100%	100%	100%	100%	100%
	A.S. (kWh/jour)	4.48	8.18	5.15	1.46	1770
TOTAL		33	34	35	15	10200

\* % D'Apport solaire utile considérant le débord de la toiture  
Facteur Solaire (F.S.) considère pour le vitrage: 0.7

APPORT SOLAIRE DANS LA SERRE

ORIENTATION		21 MARS	21 JUIN	21 SEPT	21 DEC	ANNUEL
SUD	IGP (kWh/m <sup>2</sup> )	3.52	5.01	3.86	1.11	1183
	Ratio masqué*	100%	100%	100%	100%	100%
	A.S. (kWh/jour)	38	54	42	12	12840
S-E	IGP (kWh/m <sup>2</sup> )	3.22	5.02	3.60	0.96	1127
	Ratio masqué*	100%	100%	100%	100%	100%
	A.S. (kWh/jour)	7.89	12.30	8.82	2.35	2760
TOTAL		46	67	51	14	15600

\* % D'Apport solaire utile considérant le débord de la toiture.  
Facteur Solaire (F.S.) considère pour le vitrage PV: 0.7

BESOINS DE CHALEUR

ASPECT		21 MARS	21 JUIN	21 SEPT	21 DEC	ANNUEL
HABITATION	Tempér. Intérieur (°C)	20	23	21	19	20
	Moy. jour (°C)	13	23	19	6	
	Moy. nuit (°C)	5	13	11	2	
	Heures de soleil	12.11	16.10	12.10	8.15	
	Besoin Jour <sup>1</sup> (kWh)	-19*	-25*	-25*	-9	
	Besoin Nuit <sup>1</sup> (kWh)	8	3	4	7	
Besoin Total (kWh)		8	3	4	7	-6800

\*Considérant l'apport solaire diminué 30% en raison des volets demi fermés.

ASPECT		21 MARS	21 JUIN	21 SEPT	21 DEC	ANNUEL
SERRE	Tempér. Intérieur (°C)	20	23	21	19	20
	Moy. jour (°C)	13	23	19	6	
	Moy. nuit (°C)	5	13	11	2	
	Heures de soleil	12.11	16.10	12.10	8.15	
	Besoin Jour <sup>1</sup> (kWh)	-45	-67	-50	-13	
	Besoin Nuit <sup>1</sup> (kWh)	2	1	1	3	
Besoin Total (kWh)		-43	-66	-49	-10	-14600

<sup>1</sup> Formule appliquée:  $U_{\text{moy}} \times S_{\text{env}} \times (\text{Temp int.} - \text{Temp ext.}) - (\text{App. Interne} + \text{A.S.})$

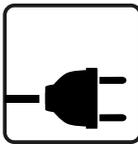
Apport Interne de l'habitation: 200 W pendant tout la nuit et le 20% du jour; aucune apport interne a été considéré pour la serre.

# Besoins et Production



## Besoin de Chaud

Chauffage	9350	kWh/an
ECS	1250	kWh/an



## Electricité

Cuisson	400	kWh/an
Éclairage	100	kWh/an
Réfrigérateur	200	kWh/an
TV LCD	150	kWh/an
Lave-linge	100	kWh/an
Micro-ondes	50	kWh/an
Ordinateur	50	kWh/an
Autres	50	kWh/an
<b>TOTAL</b>	<b>1100</b>	<b>kWh/an</b>



## Eau

Douche	20	m <sup>3</sup> /an
Chasse d'eau	15	m <sup>3</sup> /an
Cuisine	2	m <sup>3</sup> /an
Lave-linge	4	m <sup>3</sup> /an
Vaisselle	15	m <sup>3</sup> /an
Lavabo	22	m <sup>3</sup> /an
Boisson	1	m <sup>3</sup> /an
Ménage	1	m <sup>3</sup> /an
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>m<sup>3</sup>/an</b>



### Production de Chaud

---

App. Internes	1050 kWh/an
PCHab.	10200 kWh/an
PCSerre <sup>1</sup>	11200 kWh/an

---

PCTotal	22450 kWh/an
---------	--------------

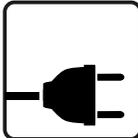
<sup>1</sup> Résultat de la soustraction de l'énergie utilisée dans la production d'électricité y ECS.

### ECS

---

$$PECS = 1600 \text{ kWh/an}^2$$

<sup>2</sup> Avec 4 m<sup>2</sup> de Surface en capteurs thermiques et un stockage de 150 l.



### Electricité

---

$$PElec. = PElec. \text{ verre PV sud} + PElec. \text{ verre PV S-E}$$

$$PElec. = 1100 + 150$$

---

$$PElec. = 1250 \text{ kWh/an}$$



### Eau

---

$$650 \text{ mm/an} \times 47 \text{ m (toiture)} = 30.55 \text{ m}^3/\text{an}$$

---

$$PEau = 30 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$\text{Déficit: } 50 \text{ m}^3/\text{an}$$



# **SYNTHÈSE**

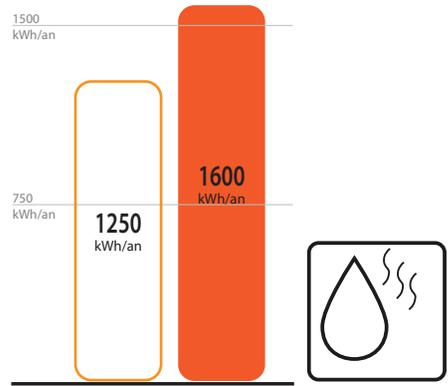
Bilan annuel besoins-productions  
Diagramme de Sankey  
Conclusions

# Bilan annuel Besoins-Production

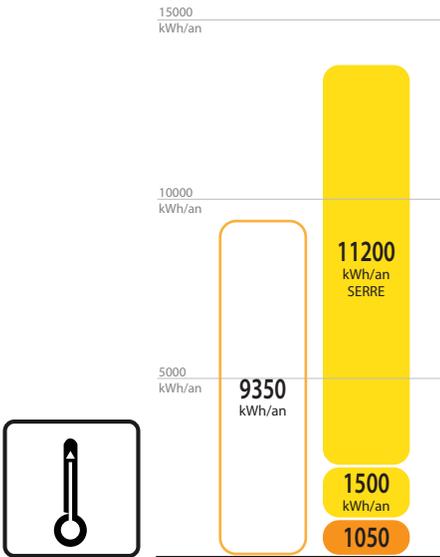
L'énergie captée à l'intérieur de la serre couvre les besoins de chaud dans l'habitation. Il y a un excès de 4400 kWh/an qui ne sont pas utilisés.

Le capteur solaire thermique installé avec un rendement de 75% permet de chauffer environ 25 m<sup>3</sup> d'eau pendant l'année (1250 kWh/an).

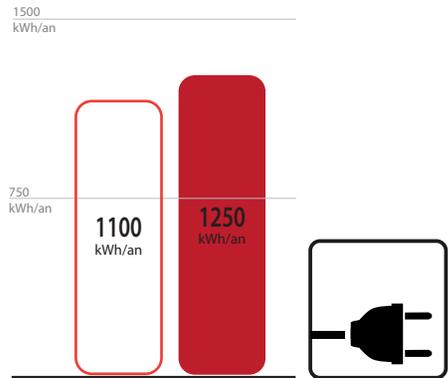
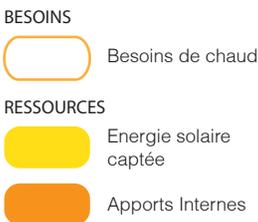
Le vitrage photovoltaïque de la serre est capable de récupérer 1250 kWh/an avec un rendement de 6%.



Bilan ECS

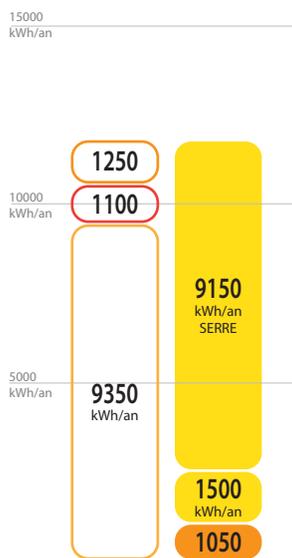


Bilan Chaud <sup>1</sup>



Bilan Electricité





### Bilan Energie

#### BESOINS

-  Besoins d'ECS
-  Besoins d'électricité
-  Besoins de chaud

#### RESSOURCES

-  Energie solaire utilisée
-  Apports Internes

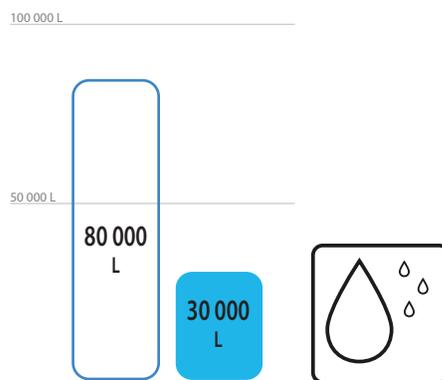
<sup>1</sup> Environ 4400 kWh/an qui ne sont pas utilisés. Le principal contributeur de chaleur est la serre, malgré les grands gains solaires de l'habitation.

<sup>2</sup> L'eau de pluie obtenue peut être utilisée pour le bain et le ménage directement.

Ces graphiques montrent que la serre et ses dispositifs captent assez d'énergie pour les besoins de chaud, d'ECS et d'électricité.

Si l'on considère toute l'énergie utilisée, on a 11700 kWh/an; dont, pour le chauffage, 1050 kWh utilisés qui proviennent des apports internes. Les gains solaires de l'habitation ne représentent que 1500 kWh/an. Le reste provient de l'énergie stockée dans la serre et restituée pendant la nuit. L'énergie pour l'ECS et l'électricité représente autour de 10% de toute l'énergie utilisée.

Avec 34 m<sup>2</sup> de toiture, on peut récolter 30 m<sup>3</sup>/an. Le lac en revanche permettrait de récupérer 50m<sup>3</sup>/an.



### Bilan Eau <sup>2</sup>

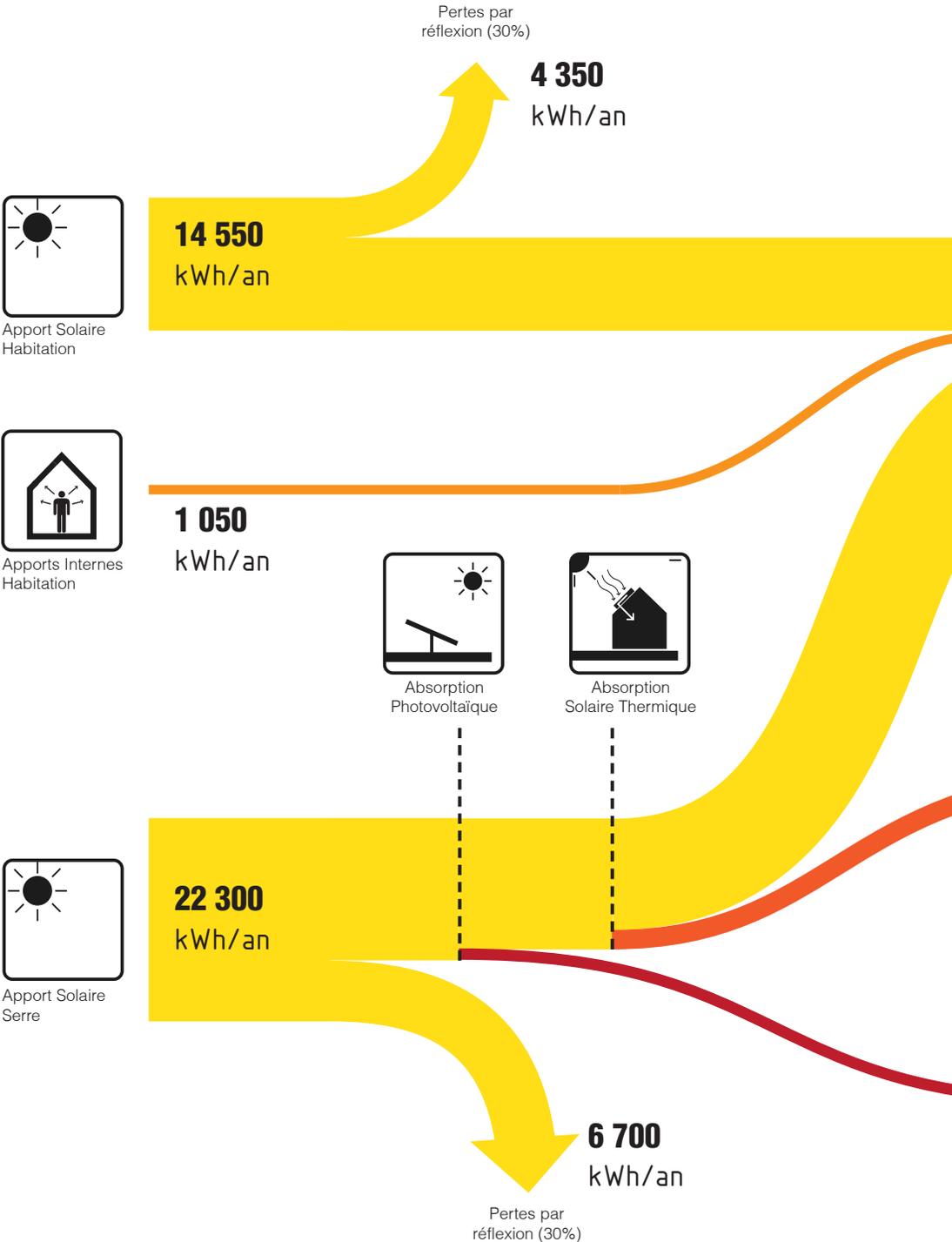
#### BESOINS

-  Besoins en eau

#### RESSOURCES

-  Eau récupérée des précipitations

# Diagramme de Sankey



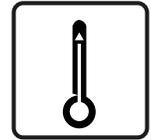


Entrée des apports dans l'habitation

**8 700**  
kWh/an

Ventilation de l'habitation

**9 350**  
kWh/an



Besoin Chaud

**1 000**  
kWh/an

Pertes par Transmission de la serre

**4 400**  
kWh/an

Ventilation de la serre

**550**  
kWh/an

Pertes de Rendement (75%)

**350**  
kWh/an

Pertes par Recirculation

**1 250**  
kWh/an

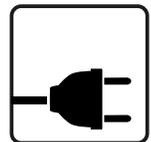


Besoin ECS

**150**  
kWh/an

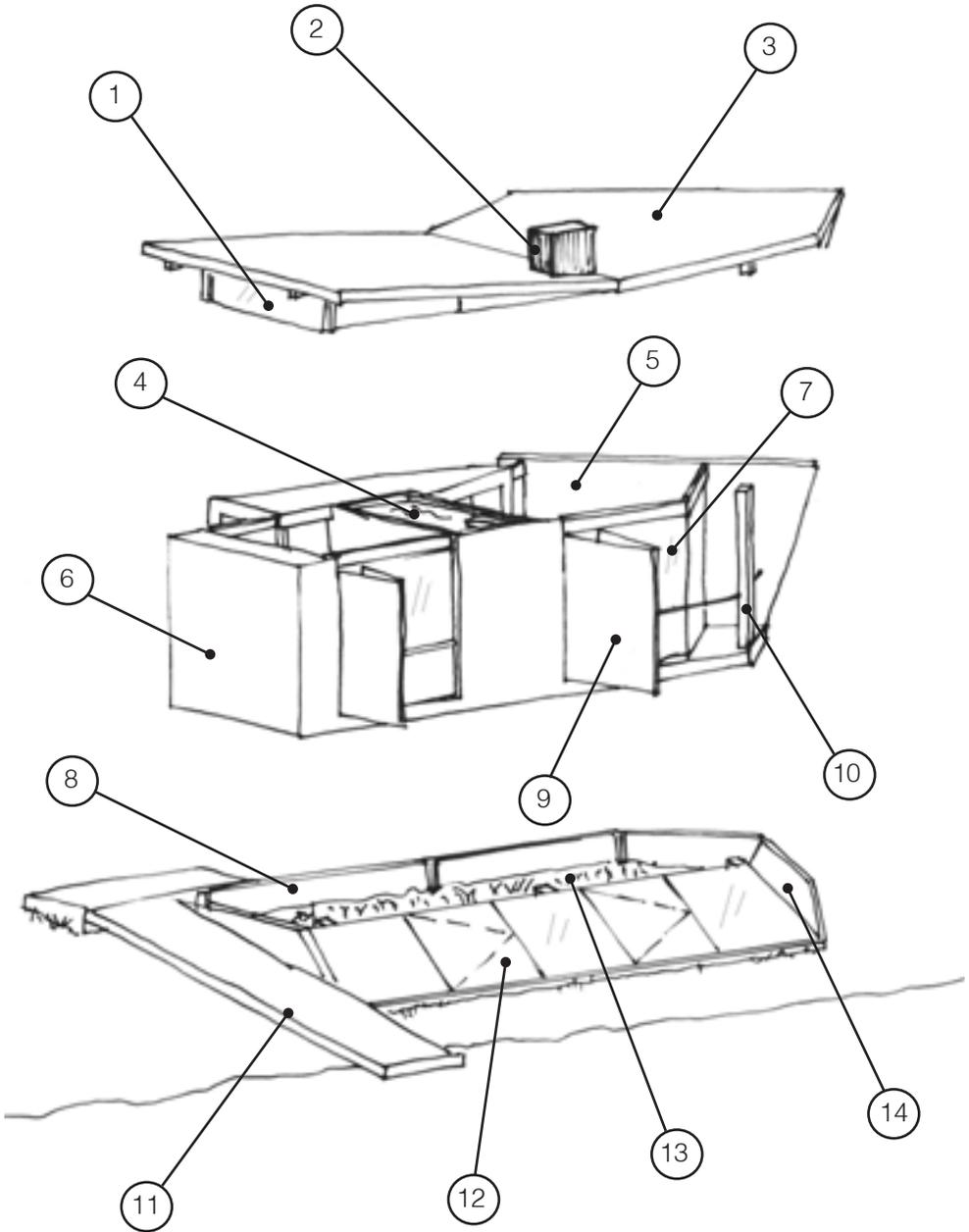
Pertes non utilisées

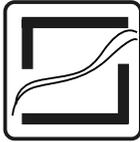
**1 100**  
kWh/an



Besoin Électricité

# Conclusions





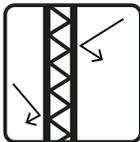
### Ventilation Naturelle

1. Fenêtres hautes pour la ventilation naturelle
2. Cheminée solaire métallique pour la ventilation de la serre



### Captage d'eaux pluviales

3. Toiture en bois, isolée, avec double pente pour récolter l'eau
4. Petit réservoir d'eau



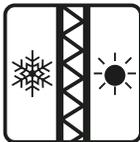
### Isolation

5. Mur Nord Est Pour protéger du vent d'hiver
6. Mur de façade en bois avec isolation de ouate de cellulose



### Captage solaire passif

7. Grande fenêtre double vitrage au sud avec menuiserie en bois à rupteur de ponts thermiques



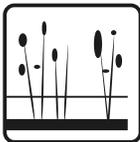
### Isolation

8. Mur en béton cellulaire
9. Volets pliants en bois



### Utilisation des ressources locales

10. Structure en bois, poteau de 15 x 15 cm
11. Petit quai en bois



### Énergie Solaire Photovoltaïque

12. Vitrage Photovoltaïque

### Auto-production

13. Serre avec plantes basses



### Énergie Solaire Thermique

14. Panneau Solaire Thermique



# O U A R Z A Z A T E

Maroc



Latitude : 30,9° N  
Longitude : -6,9 O  
Altitude : 1140m

David Pistre



## CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE

Géographie / Histoire / Culture  
Contexte environnemental  
Données et analyses climatiques

## STRATÉGIES DU PROJET

Stratégies  
Parti architectural développé  
Spatialité Usages  
Structure matériaux

## RÉPONSES ÉNERGÉTIQUES

Eau  
Électricité  
Chauffage  
Rafraîchissement

## SYNTHÈSE

## ANNEXES



# **CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE**

Géographie / Histoire / Culture

Contexte environnemental

Données et analyses climatiques





## Ouarzazate

ESPRIT DU SITE / RESSOURCES & CONTRAINTES

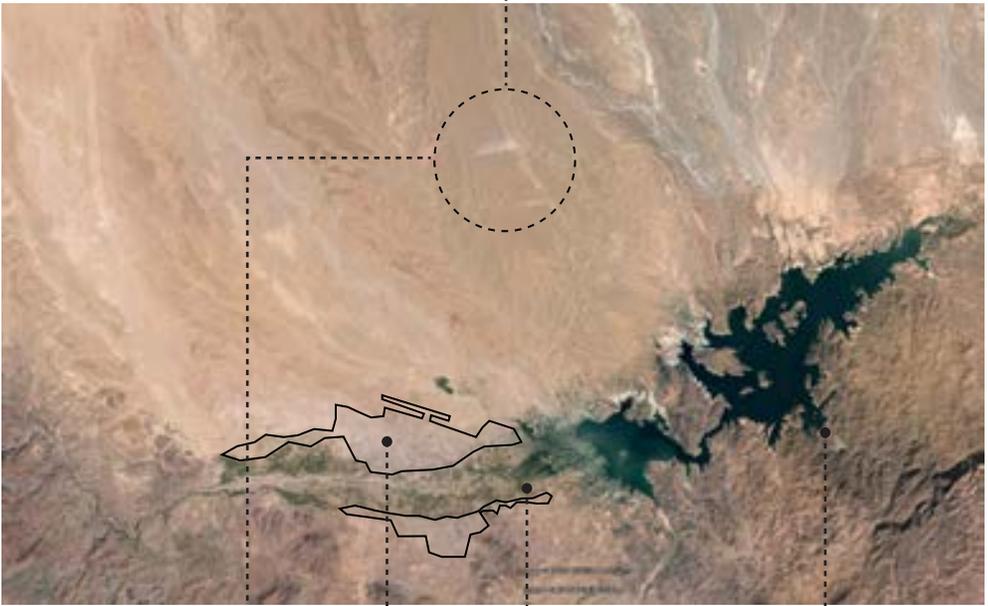
Ouarzazate, est une ville du Sud Est du Maroc, située dans la province éponyme. La région compte 440 000 habitants, dont 75% habitent dans des localités rurales.

La ville est située à la rencontre de la vallée de l'oued Ouarzazate et l'oued Dadès qui forment à leur confluence l'oued draa. Les cours d'eau ont façonné cette région aride semi désertique, et les hommes se sont installés le long des cours d'eau, bordés par des palmeraies.

Le climat est marqué par de faibles précipitations annuelles, de fortes amplitudes thermiques jour/nuit, des températures caniculaires en été de 30° à 40°C et un hiver plutôt la journée mais froid la nuit, avec des variations de températures de 0°C à 20°C. Une particularité de la région est son incroyable rayonnement solaire, qui a amené les autorités marocaines à y développer un projet de centrale solaire à concentration.

# Site du projet

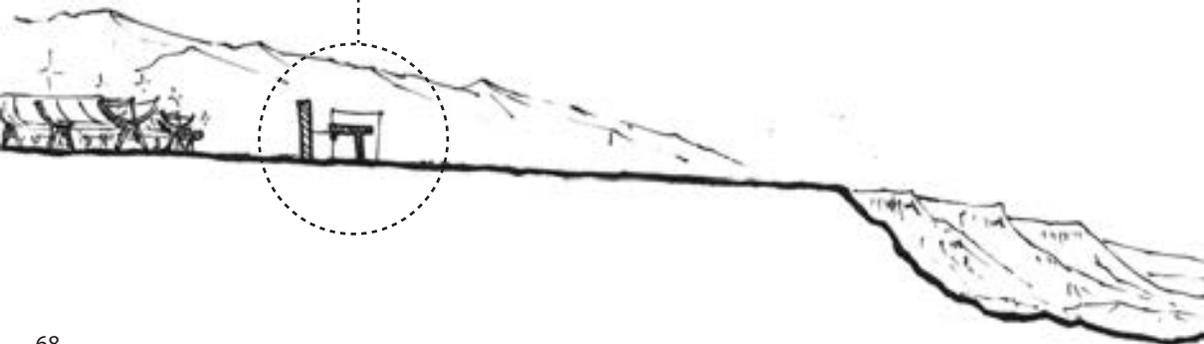
Centrale solaire en construction  
Site du diogène



Ouarzazate

Palmeraie

Barrage  
El Mansour Eddahbi



## Maison du gardien de la centrale solaire Ouarzazate, Maroc

Situé à 15 km au Nord-Est de Ouarzazate, le site est un plateau aride, sec et stérile situé à 1200 m d'altitude. Les premiers villages sont situés à 6 km à l'Ouest à vol d'oiseau .

La pluie et l'érosion ont creusé des cours d'eau et des falaises qui délimitent le plateau. A l'échelle locale le site est entaillé de petits cours d'eau à sec faisant office de drainage lors des pluies.

«La Moroccan Agency for Solar Energy (MASEN) a confié au bureau d'études Phenixa, l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) du Plan de Développement (POD) du site du complexe énergétique solaire de Ouarzazate (CESO) .

Le projet du complexe énergétique solaire de Ouarzazate dans son ensemble s'inscrit dans le cadre de la stratégie énergétique marocaine qui prévoit la production de 2 000 MW solaires. Cinq sites ont été identifiés afin de répartir cette production dont Ouarzazate. Il est situé au niveau de la commune rurale de Ghassate, au lieu dit « Tamzaghten Izerki », sur la route nationale RN 10 reliant Ouarzazate à Errachidia. Ce complexe comprend cinq centrales solaires à réaliser par tranches. La première tranche correspondra à la construction d'une centrale thermique (CSP) d'une capacité de 125 à 160 MW.»

source: Etude du plan d'impact environnemental du plan de développement du complexe énergétique de Ouarzazate

Ce projet diogène se propose d'explorer ce que pourrait être la maison du gardien (et de sa femme) de la futur centrale de Ouarzazate.



# Une journée d'hiver dans le haut Atlas

Cet extrait de l'ouvrage «onze lunes au Maroc chez les berbères du haut Atlas» de Karin Huet et Titouan Lamazou nous renseigne sur les usages et les modes de vie ruraux dans ces régions.

« 6 Janvier

*Un objet de saison est apparu dans les maisons: le canoun-chaufferette. Des canouns, ou imjmar -c'est à dire des braseros en terre cuite- il y en a de toute sortes. Ils sont fabriqués non loin d'ici, dans un village de potiers aux Ayt Bou Oulli. Le canoun-chauffage est bas, évasé: une vasque à braises. On l'apporte dans le salon sur un socle en bois, qui évite de brûler les tapis. Et chacun fait rôtir ses paumes, roulant et déroulant les doigts, comme en une danse rituelle au dessus d'un petit autel païen. S'il ne fait pas froid, ça donne une contenance. S'il fait froid, on n'en est pas moins glacé.*

*En hiver, il vaut mieux faire partie des intimes et être reçu, plutôt que dans la salle d'hôtes, dans la cuisine (agnir). La vie familiale s'y concentre, autour du foyer. Comme sa traduction française, le mot takat (foyer) désigne à la fois le feu, le lieu où l'on fait le feu, le lieu où habite la famille et la famille elle même. Le foyer chleuh consiste en une fosse circulaire dans une fosse de terre battue; un mètre de diamètre environ, dix centimètres de profondeur «...».*

*Aussi durant les jours obscurs de l'hiver, la cuisine, domaine féminin, est-elle également la pièce à vivre pour toute la maisonnée. C'est là que la famille partage les repas, c'est là que la femme tisse tout en surveillant la cuisson du couscous en allaitant le bébé. C'est là que les garçons apprennent leurs leçons. Là que l'homme discute avec son berger ou son ouvrier agricole. Là que, le vendredi, femme et enfants font leur toilette hebdomadaire. Là que l'on abrite les veaux ou les agneaux nouveaux nés. »*



# CULTURE CONSTRUCTIVE

Architecture de terre  
massive  
+ confort d'été  
-Confort d'hiver

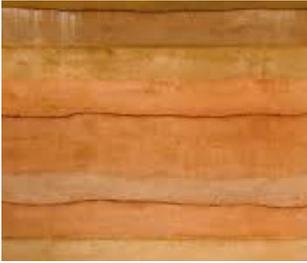
La région de Ouarzazate est renommée pour son patrimoine architectural composé par les innombrables casbahs et ksars que l'on rencontre au fil des vallées.

l'habitat traditionnel est un habitat groupé à vocation défensive, construites en pisé, technique de construction traditionnelle en terre compressée, elles incarnent l'archétype de l'habitat traditionnel de la région de Ouarzazate. Leur compacité, leur forte inertie thermique conférée par la construction de terre, leur articulation autour de patios en font des habitats parfaitement adaptés aux conditions extrêmes caniculaire de la saison chaude. Elle le sont moins en revanche pour les hivers froids qui caractérisent cette région, la stratégie adoptée étant alors de faire rentrer le bétail dans les étages bas et d'aller vivre dans les pièces hautes, bénéficiant du rayonnement direct du soleil la journée.

Ksar Ait Benhaddou



# RESSOURCES : MATÉRIAUX



## TERRE

La terre est le matériau principal des constructions traditionnelles de la région de Ouarzazate. Elle est présente en quantité abondante sur place et constitue la matière principale du projet.



## BOIS

Cèdre de l'Atlas ou pin.

L'industrie du bois marocaine exploite comme bois d'oeuvre les forêts de cèdre de l'atlas et de pin. Cela couvre 30% de ses besoins. Elle produit en petite quantité du liège dédié à l'exportation.

Source: Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification

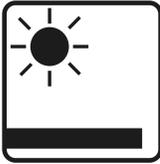


## TEXTILE



## CHANVRE

# CARACTÉRISTIQUES ET ENVIRONNEMENT



## ÉNERGIE

soleil: Gisement élevé (2250 kWh/m<sup>2</sup>.an horizontal)

Vent : Faible



## RESSOURCES VITALES

Eau: Très faibles précipitations annuelles.

Les villages alentour tirent leur eau de puits dont la profondeur varie entre 12 et 26 m.

Un forage réalisé sur site n'a pas démontré la présence d'eau souterraines.

Le futur complexe de la centrale solaire comprendra un réservoir d'eau.

L'eau potable de Ouarzazate provient du barrage.

Nourriture: Il n'y a pas de production de nourriture sur place, mais les communes rurales proches pratiquent l'élevage et l'agriculture.

Le ravitaillement peut se faire en allant faire ses courses dans ces villages, à Ouarzazate, ou bien se faisant ramener des denrées sur place.

## AVANTAGES CLIMAT

Fort ensoleillement hivernal

## INCONVÉNIENTS CLIMAT

Sècheresse

Rayonnement solaire très intense en été

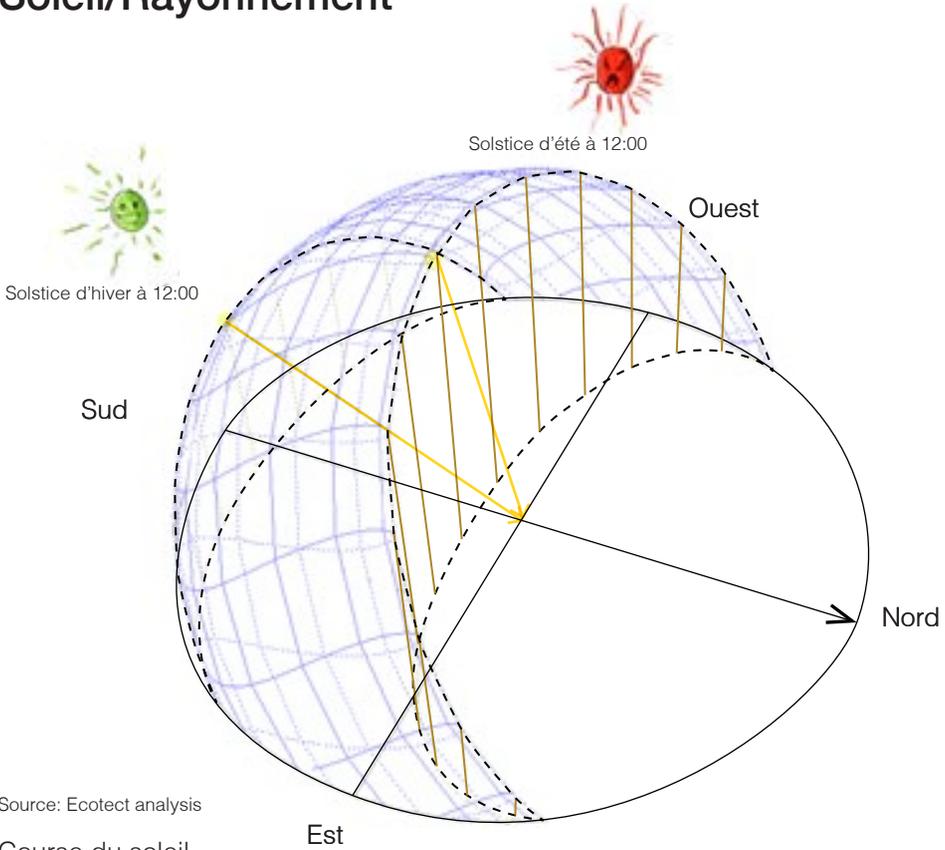
Variation des températures jour/nuit et été/hiver

## EVENEMENTS EXCEPTIONNELS

Sismicité: faible à négligeable

Climat: Averses orageuses violentes avec montée des eaux soudaines des oueds. Le site n'est pas concerné par la montée des eaux.

# Soleil/Rayonnement



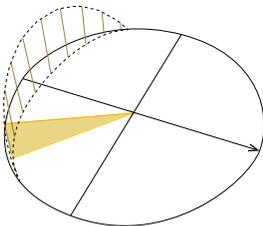
Source: Ecotect analysis

## Course du soleil

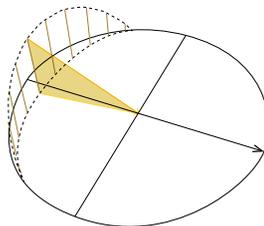
Ce schéma représente les différentes positions du soleil sur la voûte céleste tout au long de l'année. Il permet de lire sa position en fonction du jour et de l'heure donné.

### 21 Décembre

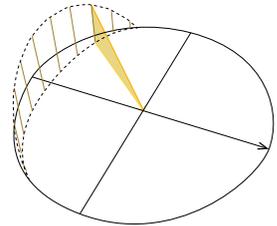
09:00



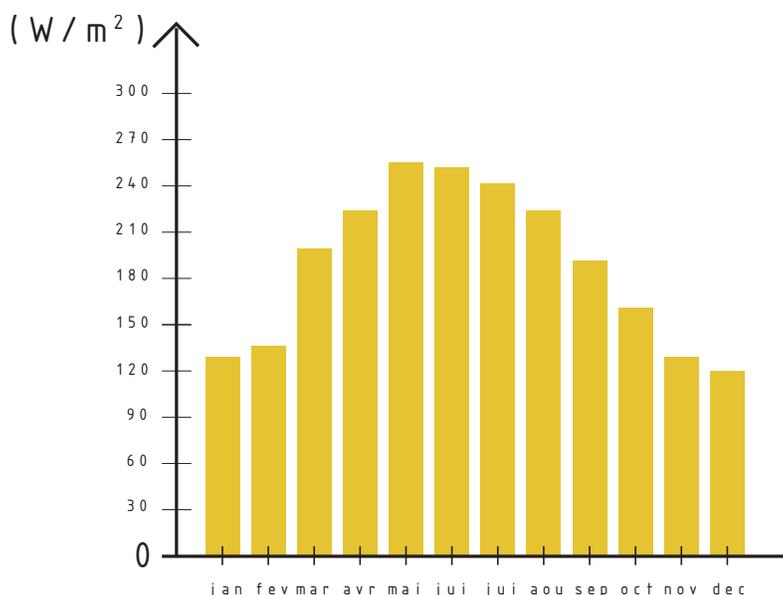
12:00



15:00



Le soleil se lève au Sud Est, à un angle d'incidence de 34° au zénith et se couche au Sud Ouest



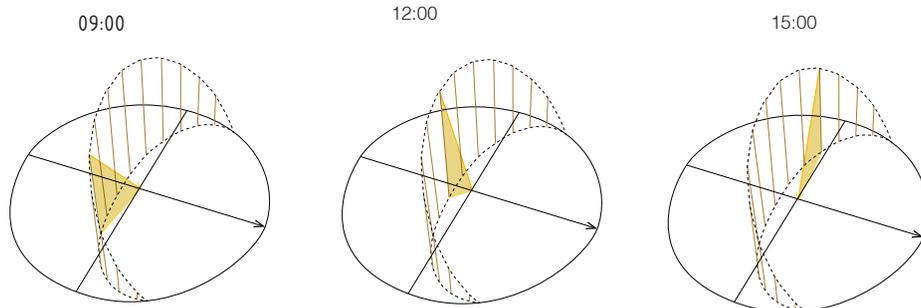
Rayonnement global Cumulé 2010 : 2250 kWh/m<sup>2</sup>

Rayonnement global Cumulé 2050 : 2250 kWh/m<sup>2</sup> (scénario A2)

### MOYENNES MENSUELLES DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Gisement fort à toutes les saisons. Cette ressource abondante constitue une aubaine en hiver pour des stratégies solaires passives, il faut en revanche absolument s'en protéger en été.

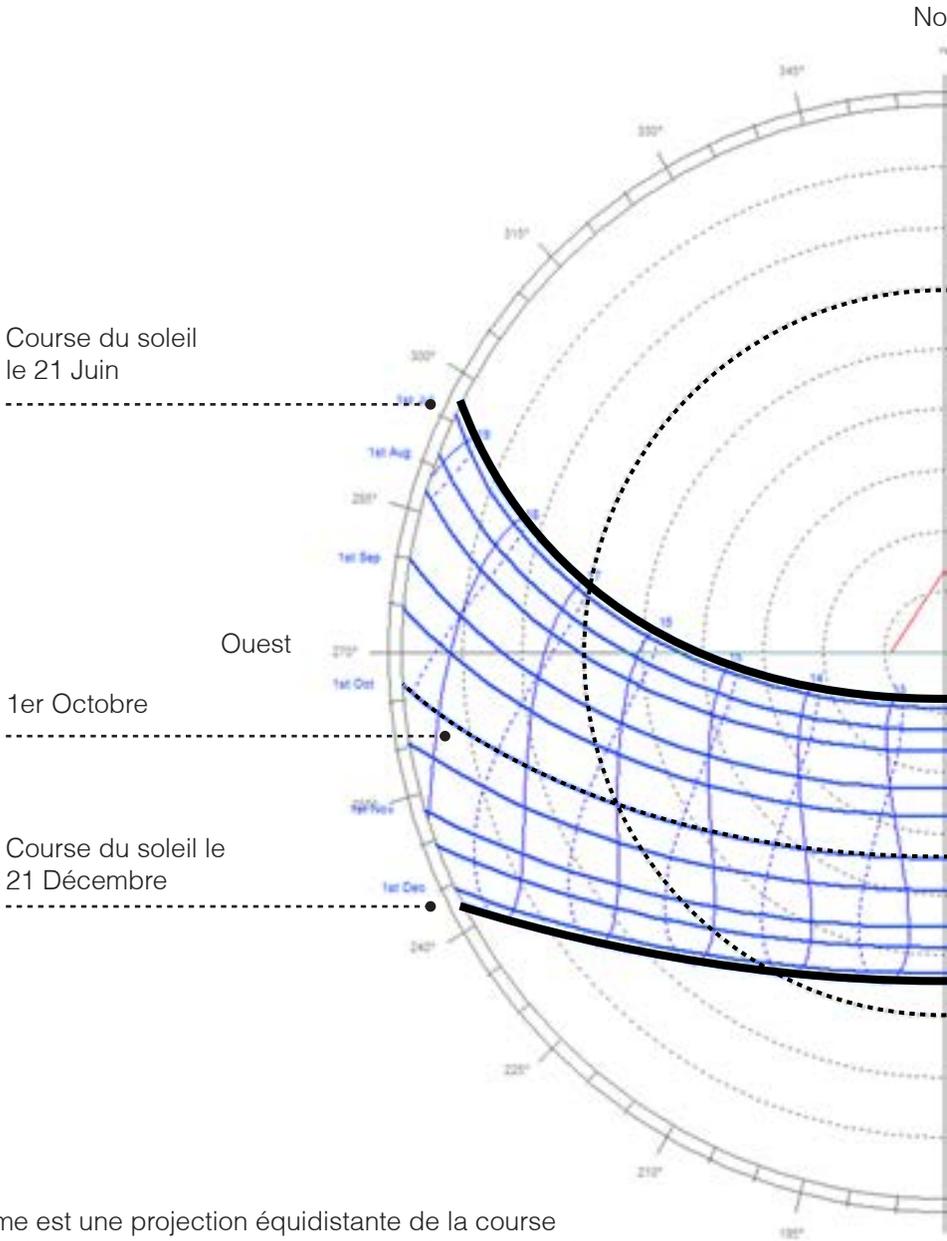
21 Juin



Le soleil se lève au Nord Est, à un angle d'incidence de 81,5° au zénith et se couche au Nord Ouest

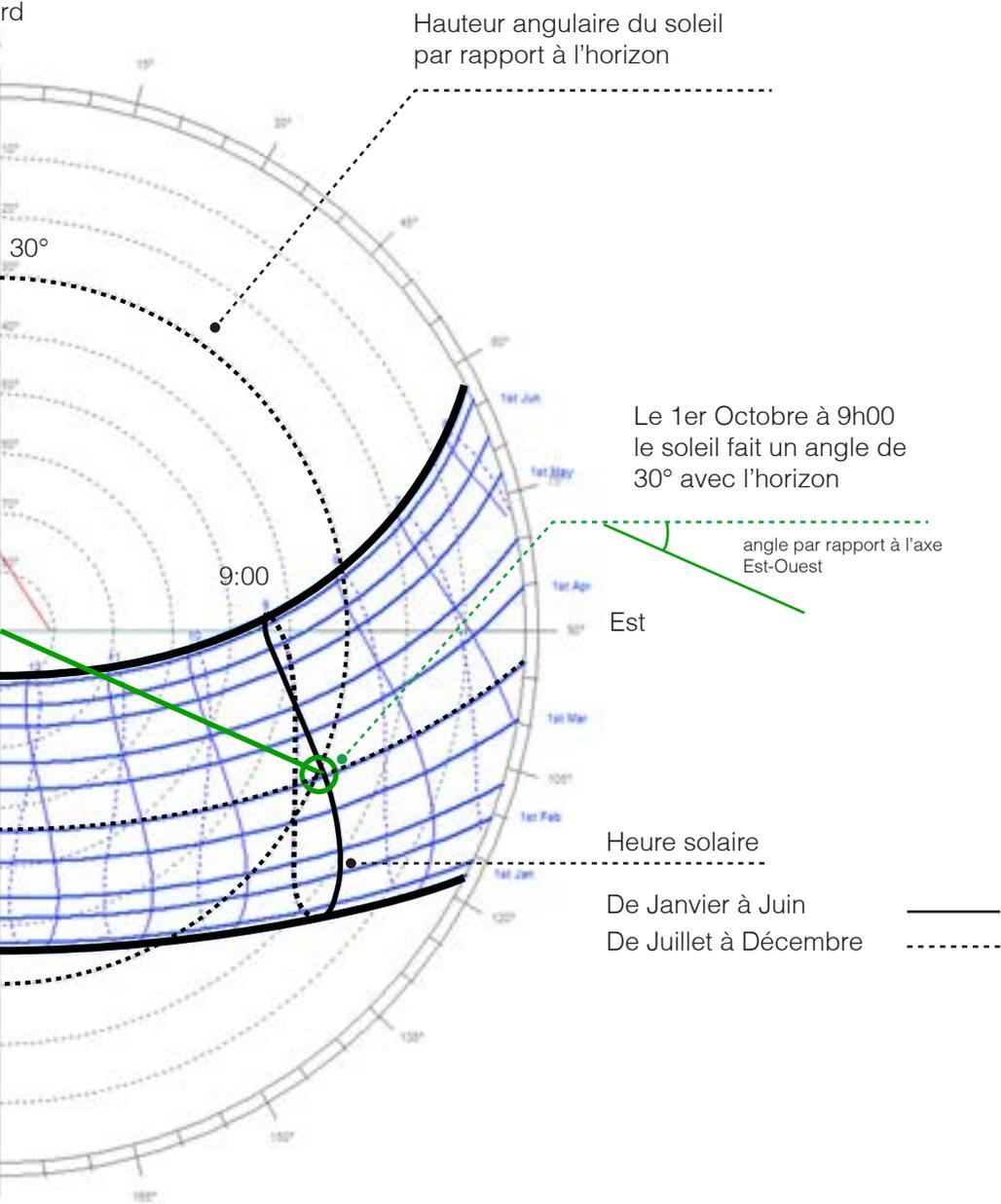
# Soleil/Rayonnement

Diagramme solaire de Ouarzazate



Ce diagramme est une projection équidistante de la course annuelle du soleil. Il permet de lire les coordonnées solaires à savoir azimut et hauteur angulaire en fonction de l'heure et de la date.

rd



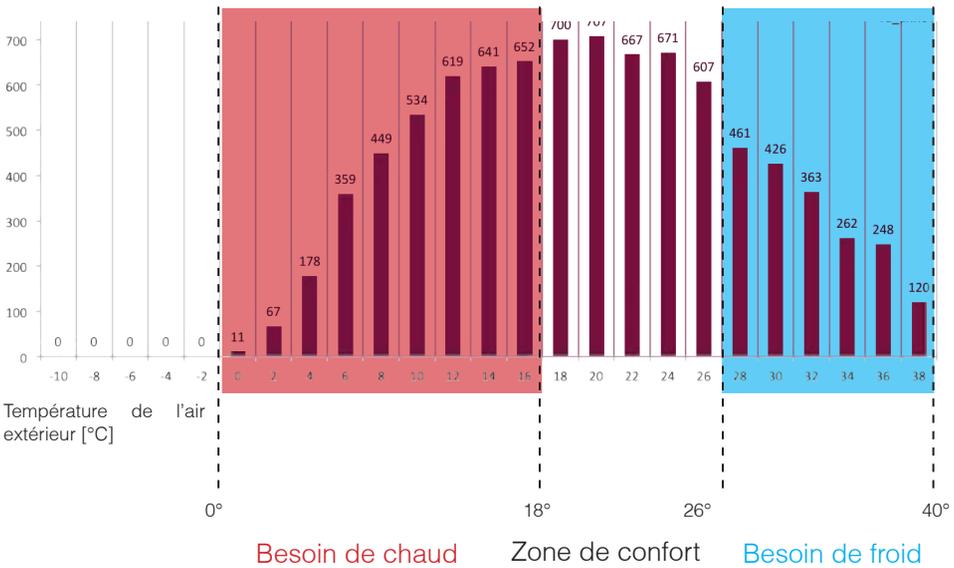
d

Source: Ecotect analysis

# Degrés heures

Répartition horaire des températures sur une année

Nombre d'heures



Les besoins de chaud sont plus importants que les besoins de froid.

Etre bioclimatique à Ouarzazate c'est se préoccuper d'abord des besoins de chauffage donc se concentrer sur une bonne stratégie de captation solaire en hiver.

**Besoins de chaud**

**24 400**

**degrés.heures**

3500 heures de chauffe

**Besoins de froid**

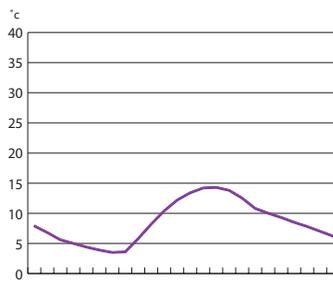
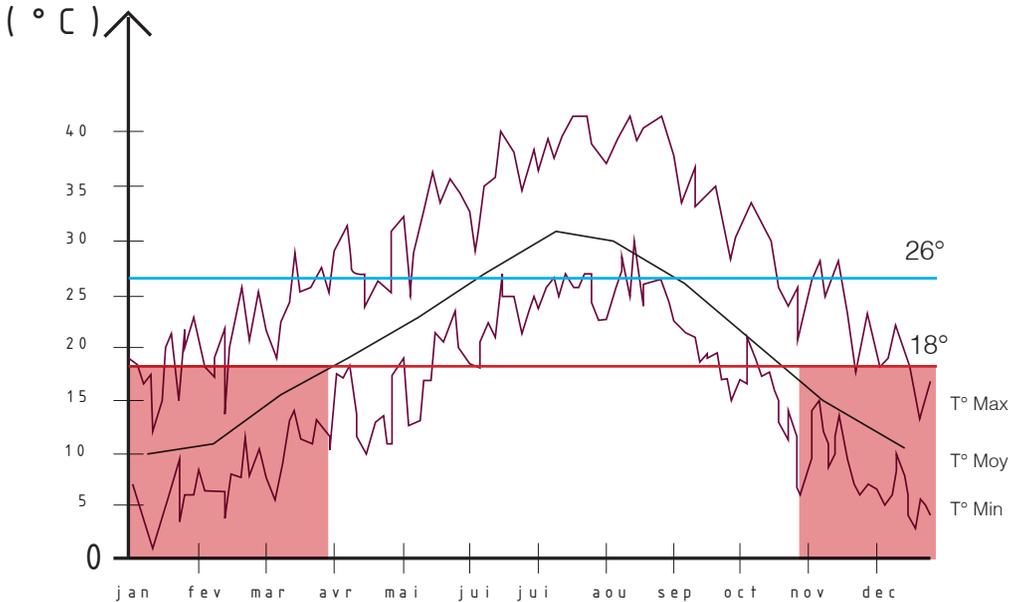
**10 800**

**degrés.heures**

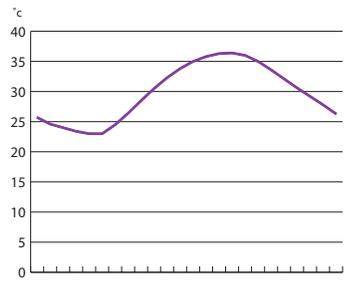
1800 heures de refroidissement

# Températures

Variation des Températures maximales minimales et moyennes



Températures le 21 Décembre



Températures le 21 Juin

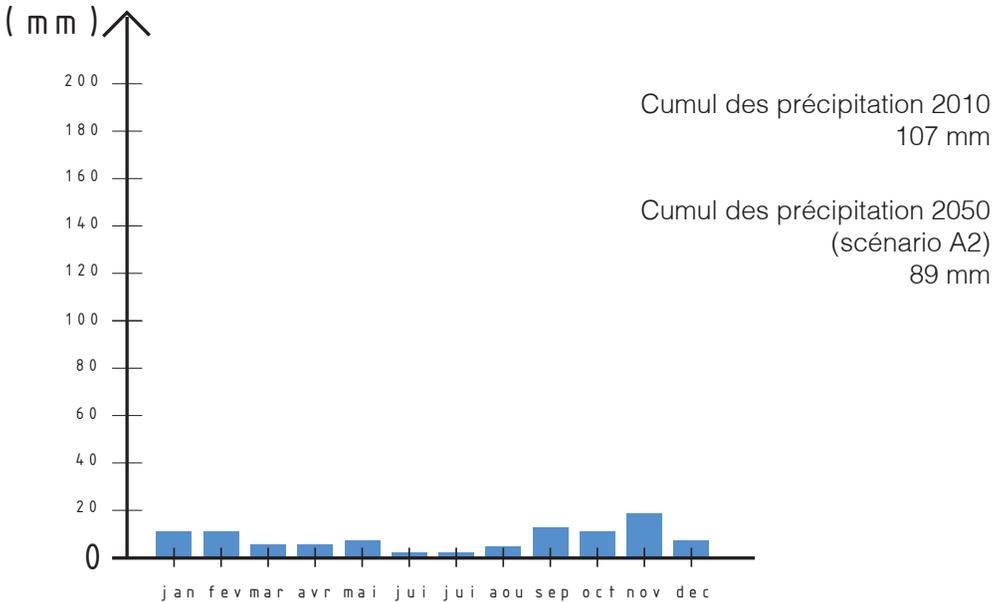
amplitude moyenne: 13°C  
amplitude maximale: 18°C

Le climat de Ouarzazate présente la particularité d'avoir de fortes oscillations de températures entre le jour et la nuit. En hiver, en journée la température peut avoisiner les 20°C et descendre à près de 0°C pendant la nuit.

La stratégie architecturale se doit d'intégrer une forte inertie au projet afin d'atténuer les oscillations de température, de déphaser le pic de température et notamment de stocker pour les nuits d'hiver l'énergie captée en journée.

# Précipitations

Précipitations mensuelles en mm



Le régime des précipitations est très faible à Ouarzazate.

La période la plus humide est de Septembre à Novembre.

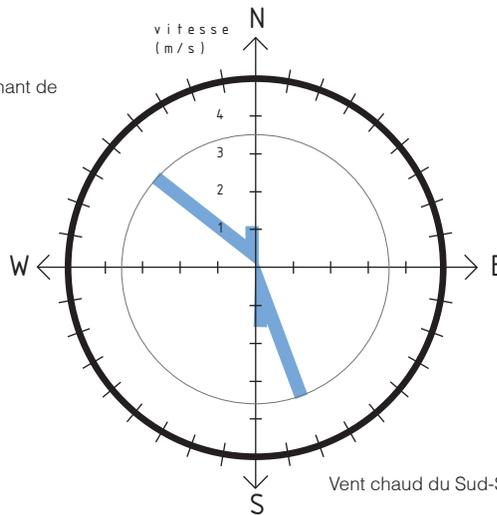
En raison de la Localisation du projet, et de la rareté de la ressource en eau, les précipitations consistent néanmoins une ressource à ne pas négliger. Compte tenu de la faible quantité des précipitation, la stratégie de collecte des eaux de pluie pousse le projet à un étalement horizontal afin de maximiser le captage de cette ressource.



# Vents

## Rose des vents: Synthèse annuelle Forces et directions principales

LE Chergui  
Vent Froid du Nord Ouest dominant de  
Novembre à Avril



Vent du Sahara  
Vent chaud du Sud-Sud Est dominant de  
Mai à Octobre

Les vents principaux de Ouarzazate soufflent depuis le Nord Ouest et l'atlas en hiver, depuis le Sud Est et Sahara en été. Les vitesses excèdent rarement 3,5 m/s sauf lors de phénomènes orageux très rares. Les brises du vent du Sud peuvent être intéressantes à capter en été pour ventiler le projet et accentuer le confort des occupants.

L'air pouvant être très chaud en journée, différentes stratégies peuvent être utilisées pour le rafraîchir entre sa zone de captation et la zone ventilée.



# PROJET

Stratégies

Parti architectural développé

Spatialité Usages

Structure matériaux



## Quelle architecture bioclimatique à Ouarzazate?

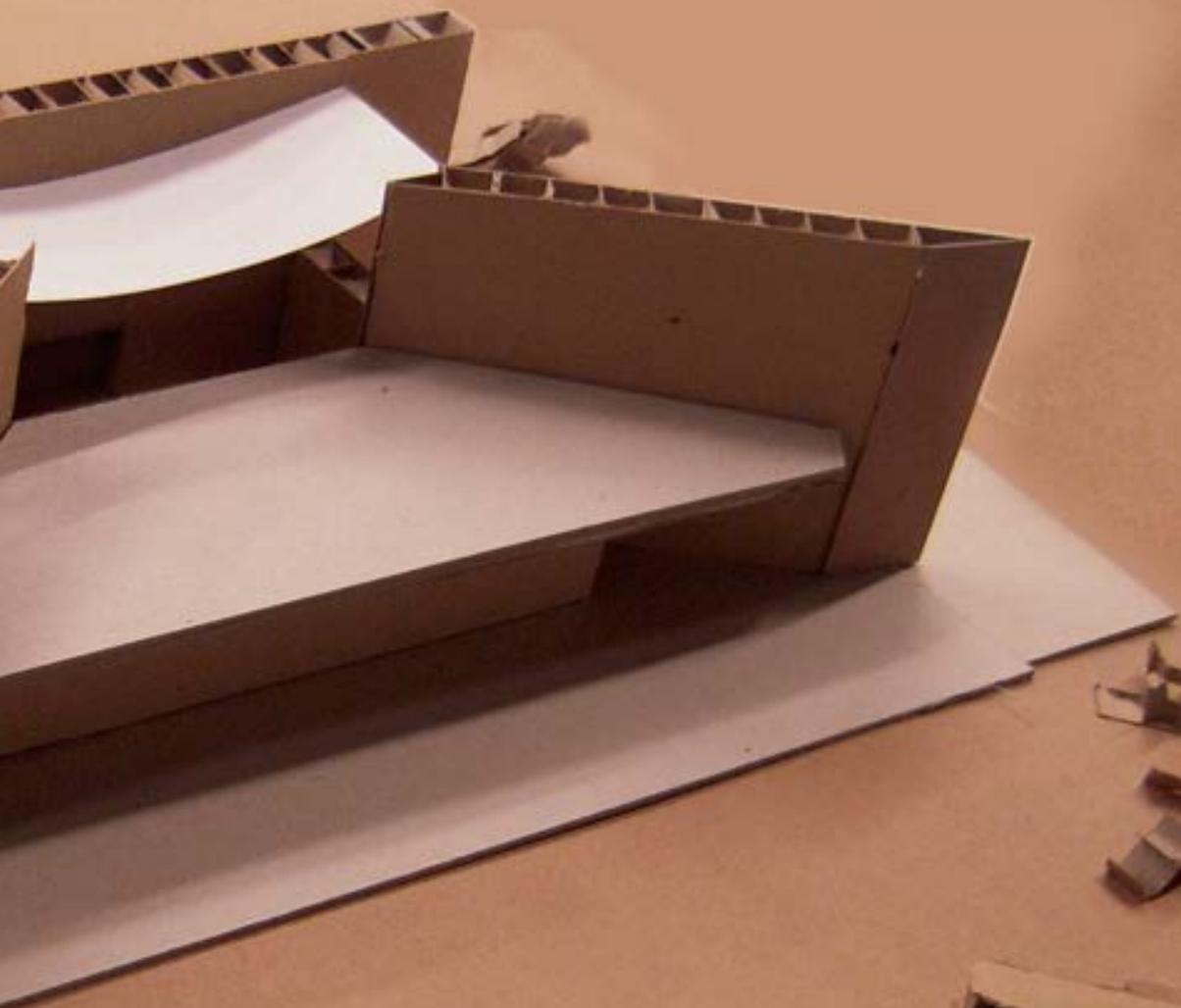
Lorsque l'on évoque Ouarzazate, ce sont des images de désert, de forteresses en terre, de journée caniculaires qui nous viennent à l'esprit. Cette carte postale, si elle a sa part de vérité, n'est qu'en partie représentative de la réalité du climat de Ouarzazate.

Le Maroc est un pays chaud où il fait froid pourrait on dire. Si il peut faire extrêmement chaud en été, ressenti dû autant à la température de l'air qu'au fort rayonnement solaire, l'analyse climatique a clairement

montré que les besoins de chaud sont bien plus importants que les besoins de rafraîchissement, tant en heures de chauffe qu'en degrés-heures.

Dès lors, si les réponses architecturales aux chaleurs d'été ne sont pas à négliger, c'est d'abord la stratégie bioclimatique d'hiver qui va orienter l'architecture et définir le projet.

L'architecture traditionnelle et vernaculaire a développé toute une intelligence de réponses aux problématiques des fortes chaleurs: patio, fontaines et bassins, construction

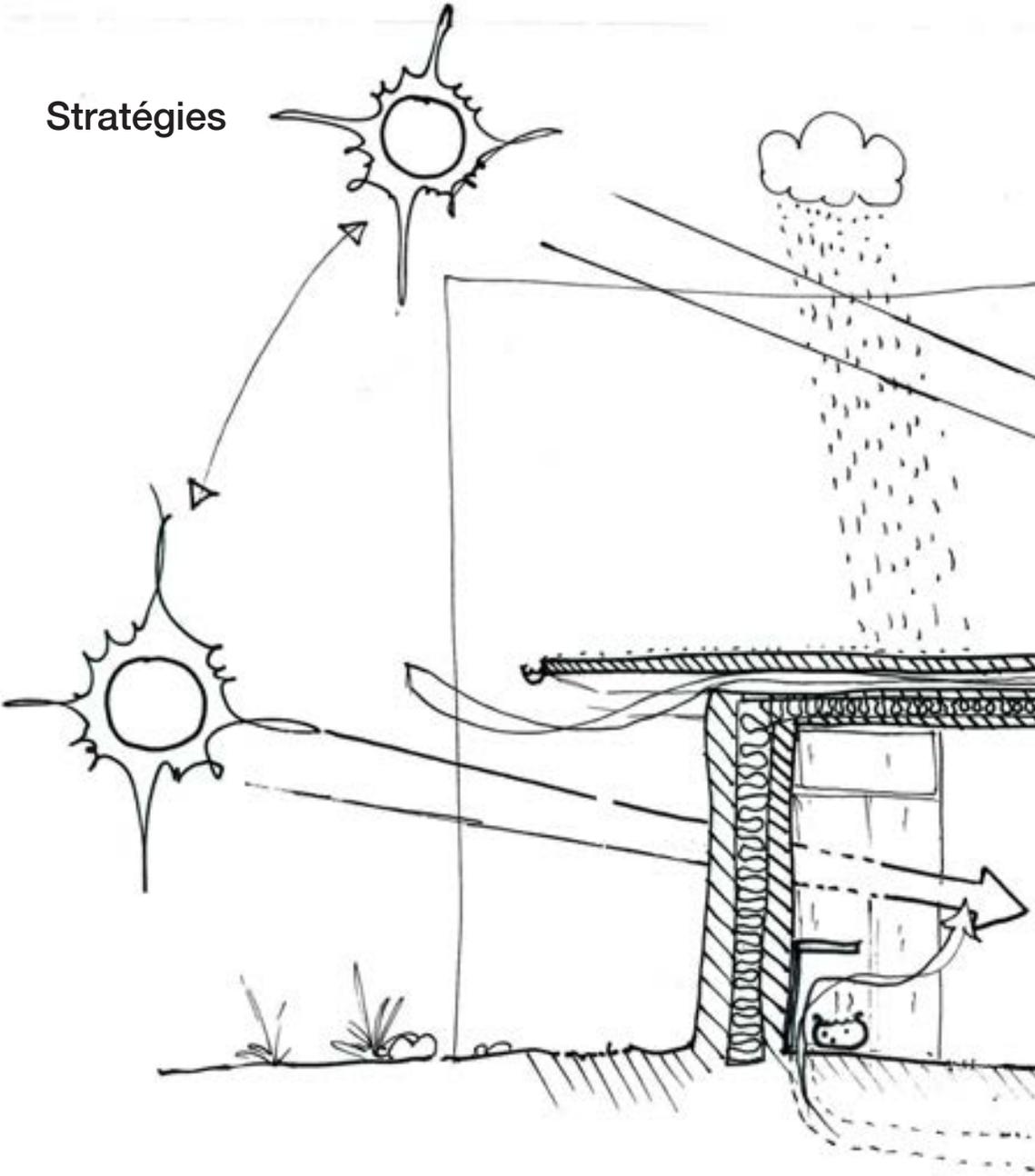


en terre à forte inertie. Ces dispositions rendent ces architectures confortables en été. Mais cette efficacité devient toute relative face à la question du froid. La terre, matériau aux multiples vertus n'est pas un bon isolant, et les nuits peuvent être très froides en hiver. Qui plus est, le ciel très clair entraîne des échanges radiatifs importants avec la voûte céleste. On dit que les nuit sont froides dans les déserts. Une des pistes du projet est de rechercher une meilleure efficacité thermique en travaillant sur l'isolation tout en utilisant

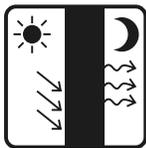
la terre comme matière première, tout en maximisant les apports solaires d'hiver.

Une des forces majeures du site est son fort rayonnement solaire. L'enjeu est d'en tirer partie en hiver sans compromettre le confort d'été. Une forte inertie aplanit les amplitudes de température jour/nuit et joue sur le déphasage et le stockage des apports d'énergie.

# Stratégies



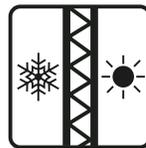
Inertie



Déphasage thermique



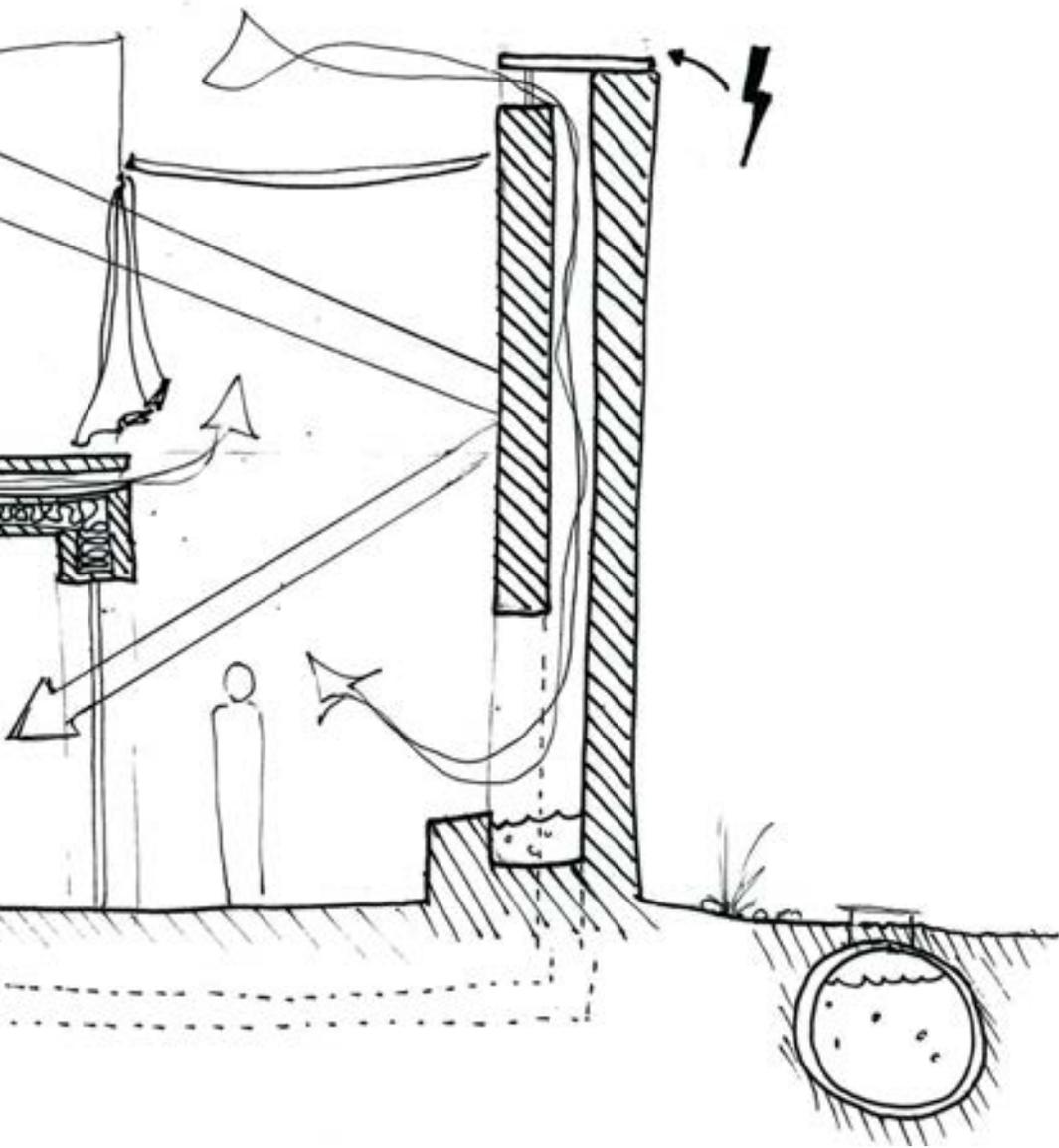
Solaire passif



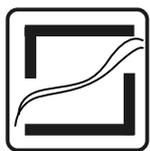
Isolation



Evapo transpiration



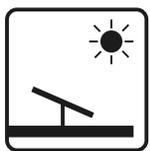
Récupération



Ventilation naturelle



Panneau solaire Thermique



Panneau solaire



Récupération pluviale

# Bioclimatisme à Ouarzazate

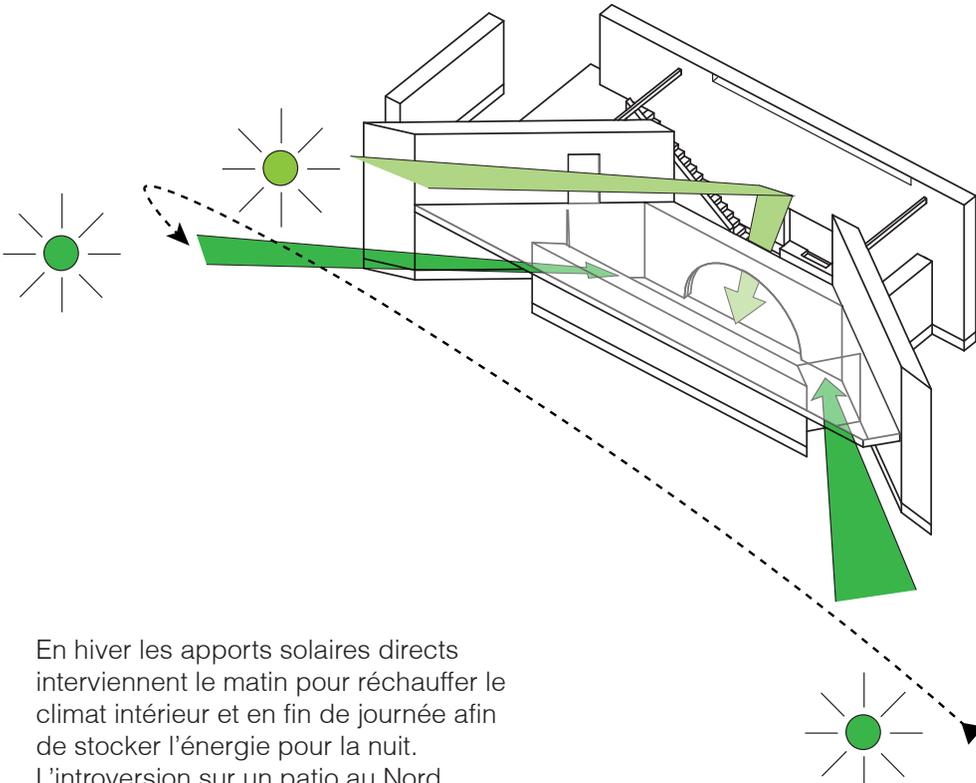
## HIVER



Neiges sur le Haut Atlas.

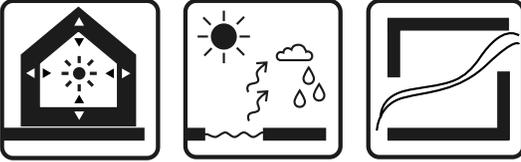


Captage solaire en Journée  
Stockage de l'énergie dans la masse du bâtiment pour la relâcher la nuit

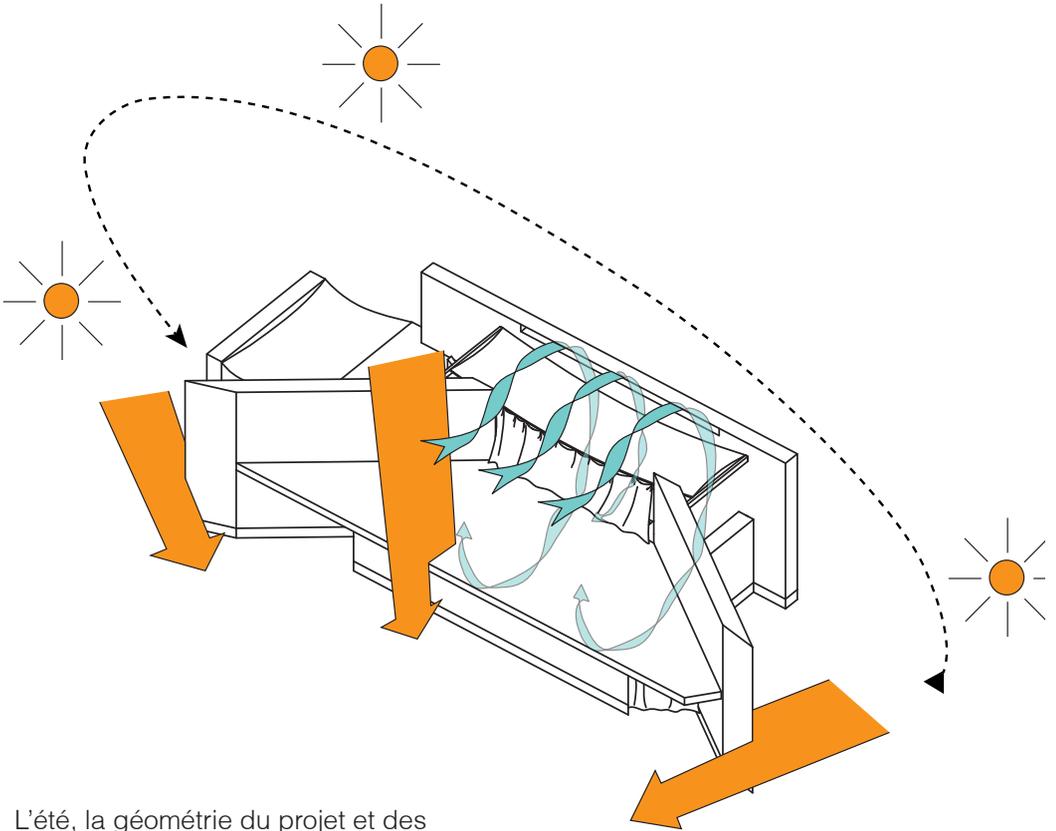


En hiver les apports solaires directs interviennent le matin pour réchauffer le climat intérieur et en fin de journée afin de stocker l'énergie pour la nuit. L'introversion sur un patio au Nord permet, en plus de reprendre un thème de l'architecture marocaine, de réfléchir en partie le rayonnement du milieu de journée venant du Sud...

## ÉTÉ



Protections solaires saisonnières  
inertie thermique  
Ventilation naturelle  
Rafraîchissement par évaporation

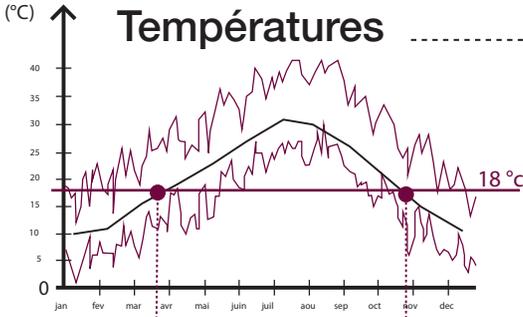


L'été, la géométrie du projet et des protections solaires textiles amovibles protègent habitat et patio du rayonnement.

Le captage des brises dominantes du Sud accroît le confort en les faisant

passer dans le sol puis sur une surface d'eau. La présence de plantes dans le patio lui apporte enfin un complément de fraîcheur.

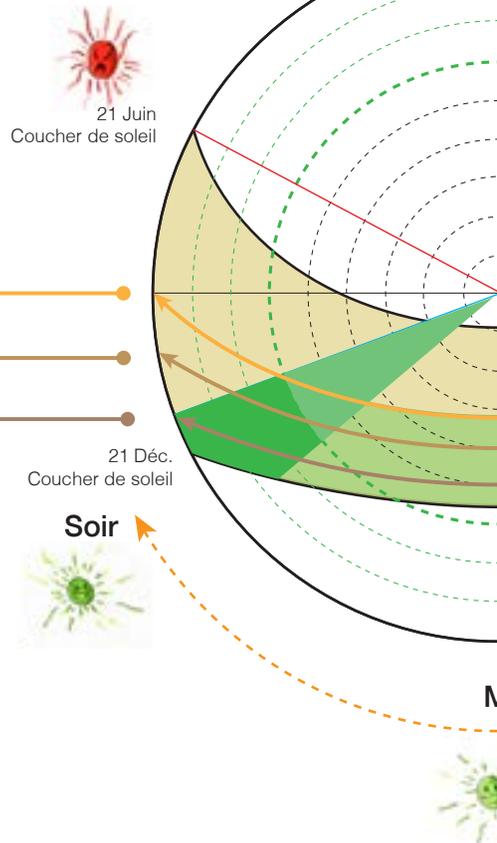
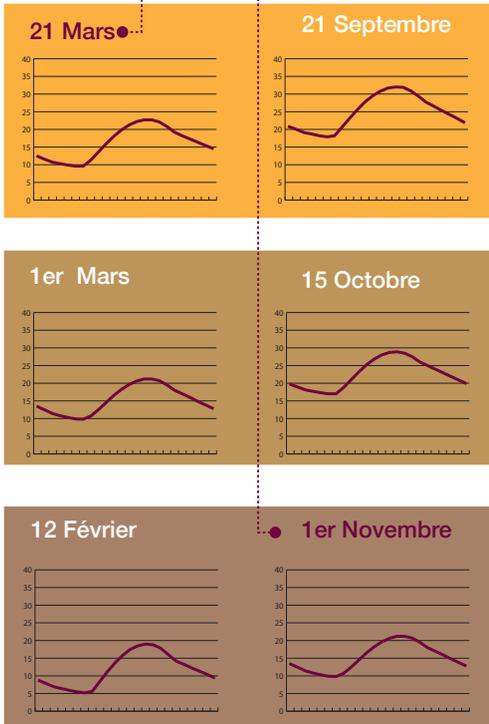
# Architecture solaire passive



## Dates jumelles

Une même course solaire correspond à deux dates différentes dans l'année. Ce sont des dates jumelles.

L'analyse des températures montre que les températures sont bien plus élevées du 21 Septembre au 1er Novembre que du 12 Février au 21 Mars. Pour une date les apports peuvent être bénéfiques, pour l'autre préjudiciables.



## Quand ?

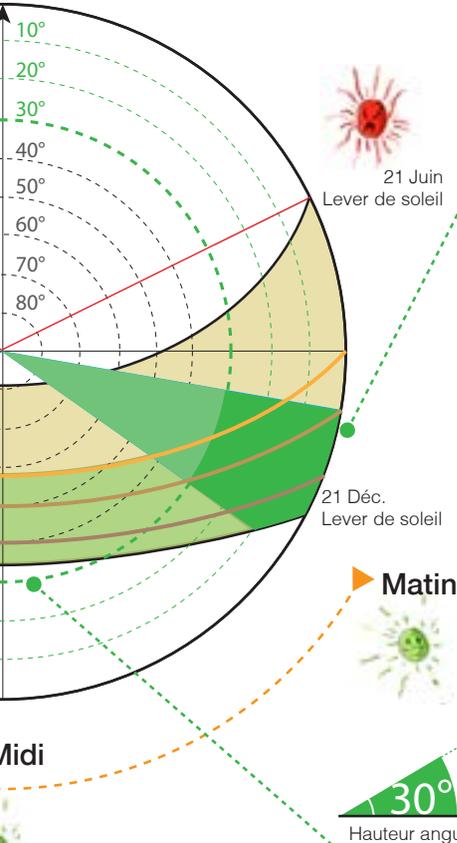
Du 1er Novembre au 21 Mars. A ces dates correspondent une course solaire et une date jumelle pour laquelle la course solaire est la même, mais pas les températures. Un jeu d'occultations amovibles permet de contrôler les apports du 21 Septembre au 1er Novembre.



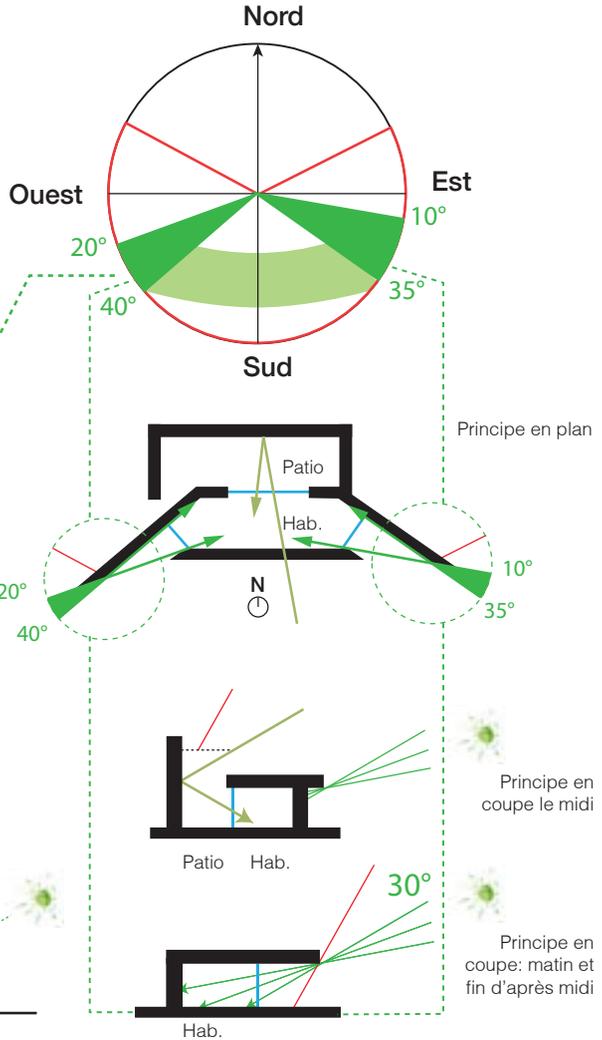
## Coordonnées solaires

Ce diagramme circulaire représente la course annuelle du soleil du 21 Juin au 21 Décembre. On y lit son orientation au fil de la journée et sa hauteur angulaire. Le choix des orientations a été fait de manière à avoir des apports matinaux sur une période plus longue que les apports de fin d'après midi.

Nord



## Définition géométrique



## Où ?

En direction du couchant pour stocker pour la nuit, en direction du levant pour se réchauffer le matin.

## Comment ?

La même logique est appliquée en plan et en coupe: s'exposer au soleil au moment voulu tout en s'en préservant le reste de l'année

# Apports solaires du 21 Décembre

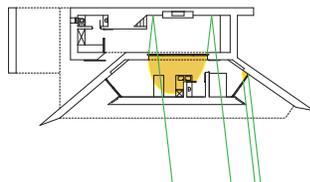
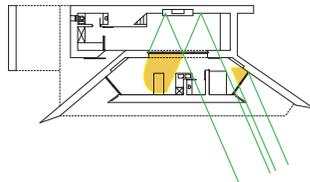
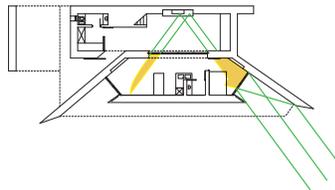
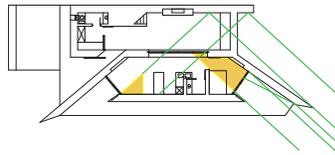
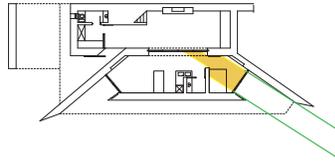
8h  
220 W

9h  
1700 W

10h  
1700 W

11h  
1700 W

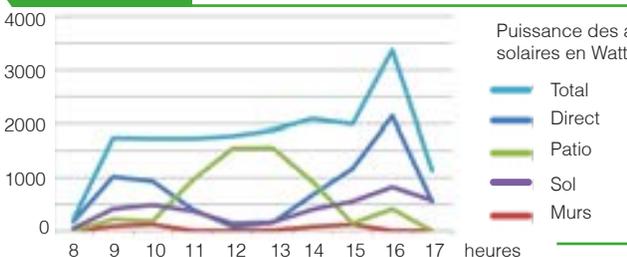
12h  
1800 W



Apports solaires heure par heure le 21 Décembre, considérant les apports par les baies (apports directs et reflection sur les murs et le sol) et les apports réfléchis sur le mur du patio.

L'inertie apportée par la construction en terre permet de stocker cette energie pour la redistribuer la nuit.

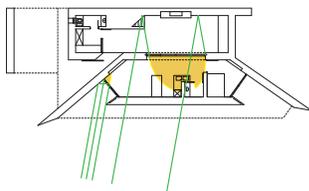
Rayonnement global horizontal: 4kWh/m<sup>2</sup>  
Facteur solaire des vitrages: 0,7  
Albédo de la terre:0,3



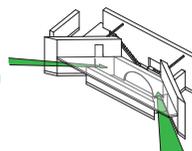
Les apports des baies et du patio se complètent tout au long de la journée et fournissent un flux d'energie relativement constant , avec un pic à 16h.

13h

1900 W

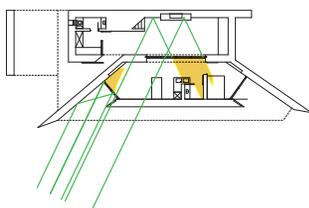


Apports directs

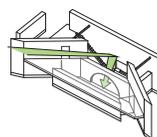


14h

2100 W

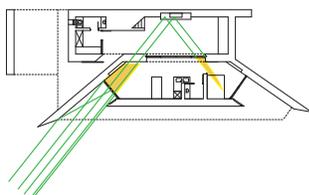


Apports patio

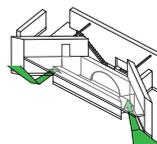


15h

2000 W

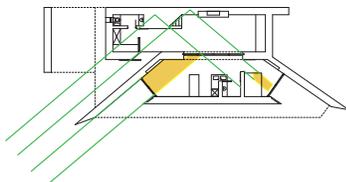


Réflexion sol

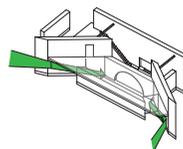


16h

3400 W

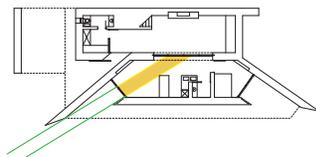


Réflexion murs



17h

1100 W



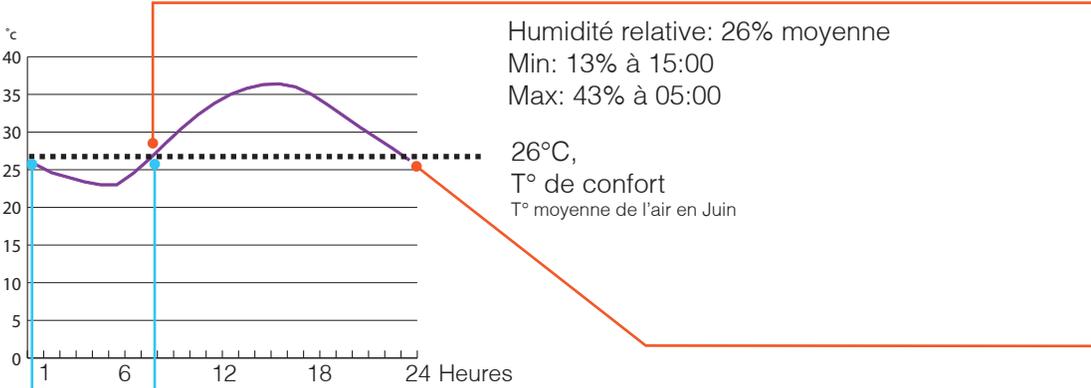
BILAN DU 21  
DÉCEMBRE



# Stratégie de confort d'été-ventilation

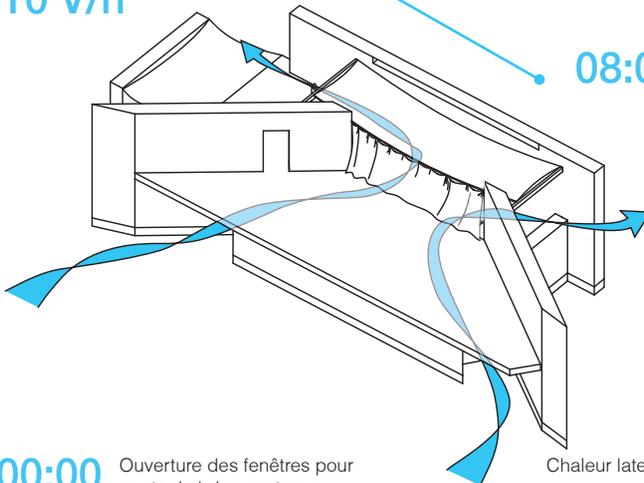
## Ventilation naturelle

Températures de l'air le 21 Juin



En période estivale, du fait de la forte inertie du bâtiment, les pics de chaleur sont déphasés entre le jour et la nuit. En ouvrant généreusement les fenêtres, l'air frais de la nuit permet d'évacuer en partie la chaleur emmagasinée la journée

ventilation:  
10 V/h



08:00

Bilan de la nuit



00:00

Ouverture des fenêtres pour capter la brise nocturne

Chaleur latente d'évaporation de l'eau à 30°C:  
2450kJ/Kg soit 680 Wh/Kg

Capacité calorifique de l'air:  
0,34 Wh/m³.K¹

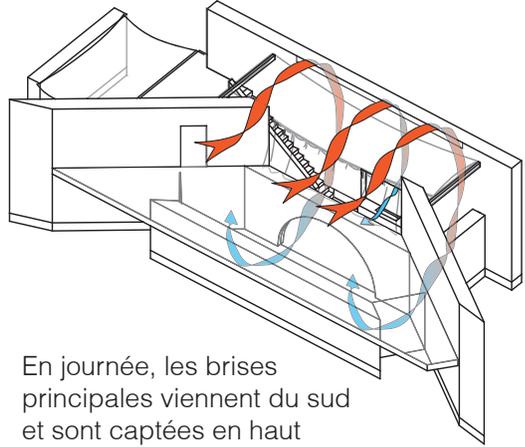
# Rafrâchissement adiabatique

08:00

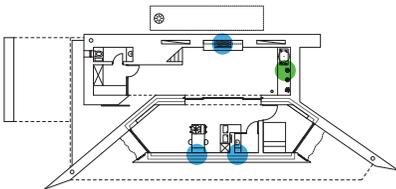
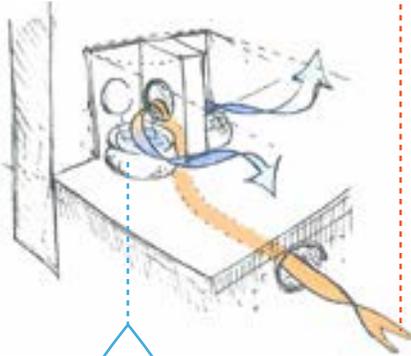
ventilation: 0,5 V/h



24:00



En journée, les brises principales viennent du sud et sont captées en haut du mur du patio pour être redirigées à l'intérieur. Cet air très chaud (36°C à 14h) est rafraîchi avant de parvenir aux occupants, en passant à la surface d'un bassin dans le patio et sur des jarres d'eau pour l'intérieur. Les végétaux du patio participent également au confort de ce dernier.



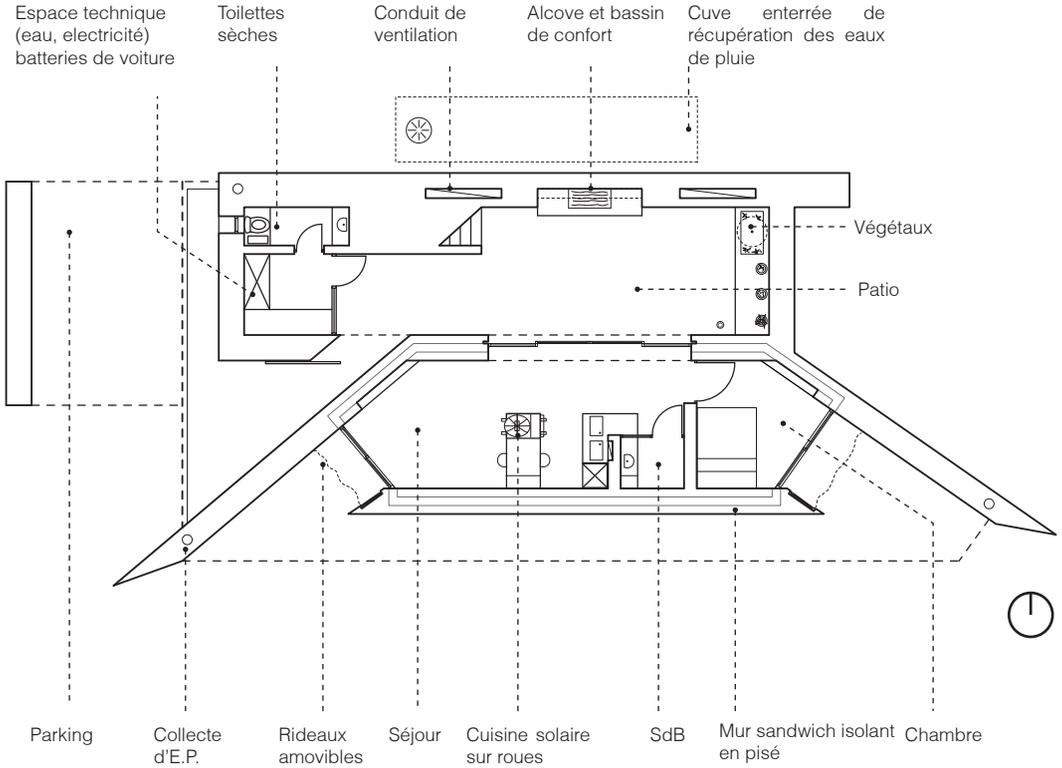
Dispositifs de rafraîchissement adiabatiques

- ventilation sur bassin de rafraîchissement
- végétaux



# Diogène

## Maison du gardien de la centrale solaire



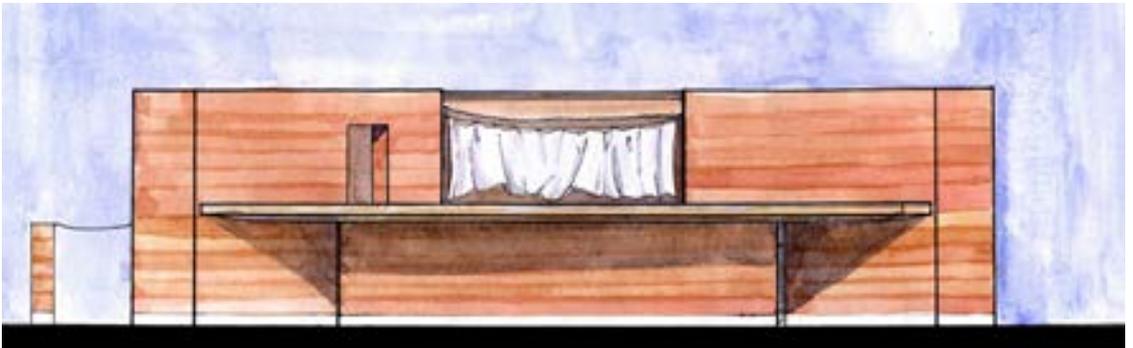
Période d'occupation: toute l'année

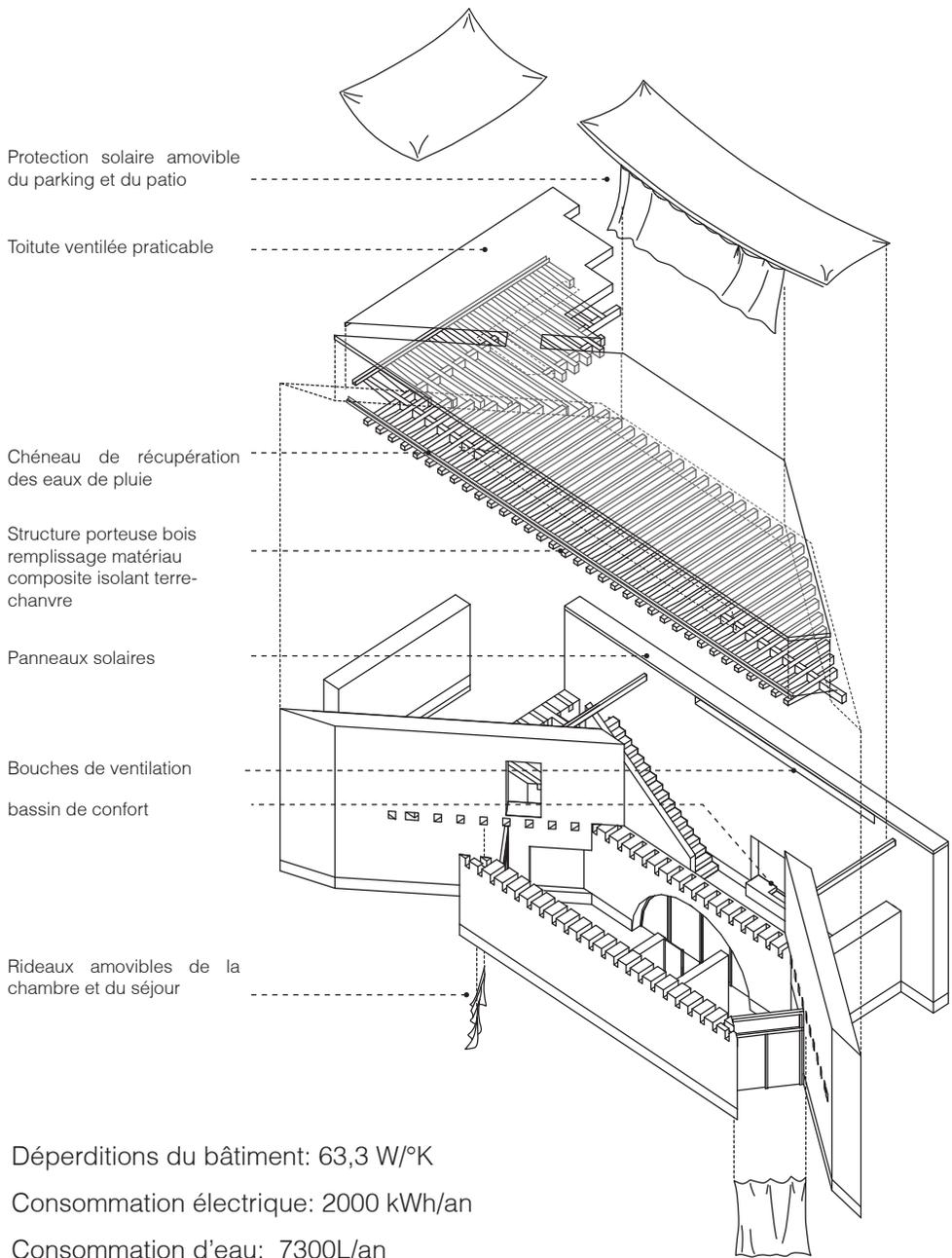
Occupants: couple, le gardien de la centrale solaire et sa femme

Surface habitable: 29 m<sup>2</sup>

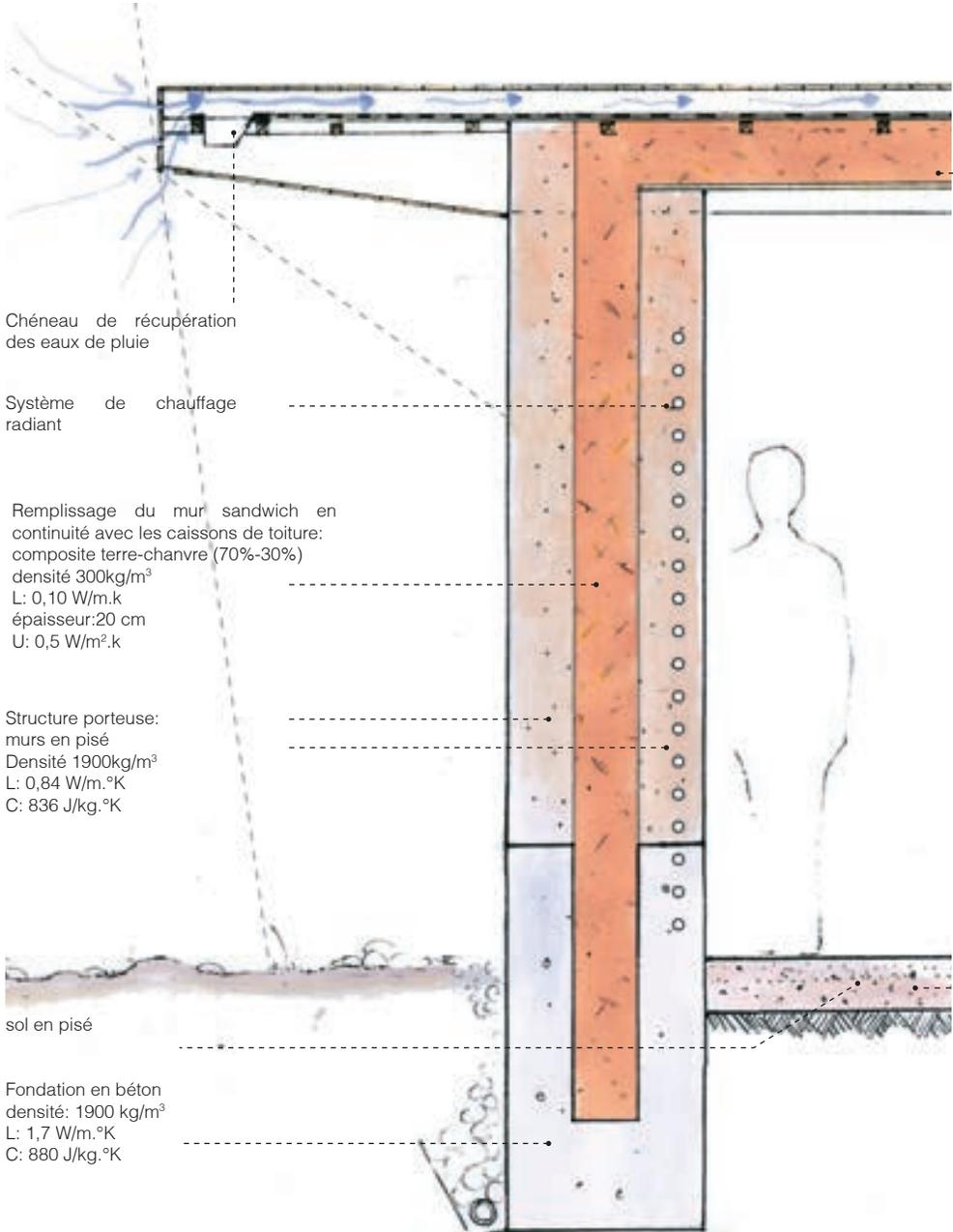
Surface patio: 26 m<sup>2</sup>

Surface toiture: 90 m<sup>2</sup>





# Construction en terre et bois



Chéneau de récupération des eaux de pluie

Système de chauffage radiant

Remplissage du mur sandwich en continuité avec les caissons de toiture: composite terre-chanvre (70%-30%) densité 300kg/m<sup>3</sup> L: 0,10 W/m.k épaisseur:20 cm U: 0,5 W/m<sup>2</sup>.k

Structure porteuse: murs en pisé Densité 1900kg/m<sup>3</sup> L: 0,84 W/m.°K C: 836 J/kg.°K

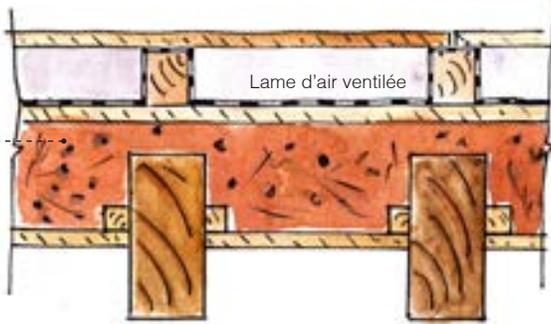
sol en pisé

Fondation en béton densité: 1900 kg/m<sup>3</sup> L: 1,7 W/m.°K C: 880 J/kg.°K

Mur Sandwich composite en pisé aux nus extérieurs, avec remplissage en composite terre-chanvre.

U mur sandwich: 0,4 W/m<sup>2</sup>.K

U Fondations: 0,43 W/m<sup>2</sup>.K



## Toiture lourde ventilée

Solives 16x28, entraxe 50 cm

remplissage du caisson:  
composite terre-chanvre (70%-30%)  
densité 300kg/m<sup>3</sup>

L: 0,10 W/m.k

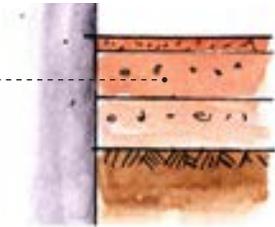
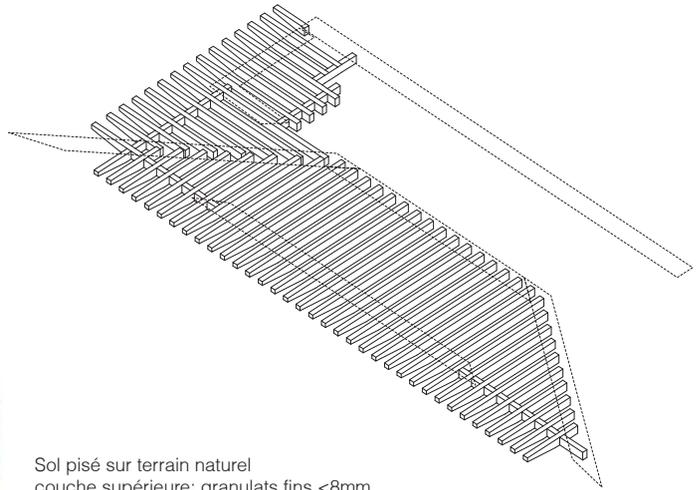
épaisseur:20 cm masse: 60kg/m<sup>2</sup>

U: 0,5 W/m<sup>2</sup>.k

Partie au droit des solives:

U: 0,4W/m<sup>2</sup>.k

U Toiture: 0,45 W/m<sup>2</sup>.°K



Sol pisé sur terrain naturel

couche supérieure: granulats fins <8mm

couches inférieures: gros granulats

Le pisé n'arrête pas les remontées capillaires du sol,  
il transporte son humidité qui se dissipe dans l'air et  
participe au confort d'été en rafraîchissant l'air





# **RÉPONSE ÉNERGÉTIQUE**

Eau

Électricité

Chauffage

Rafrâichissement

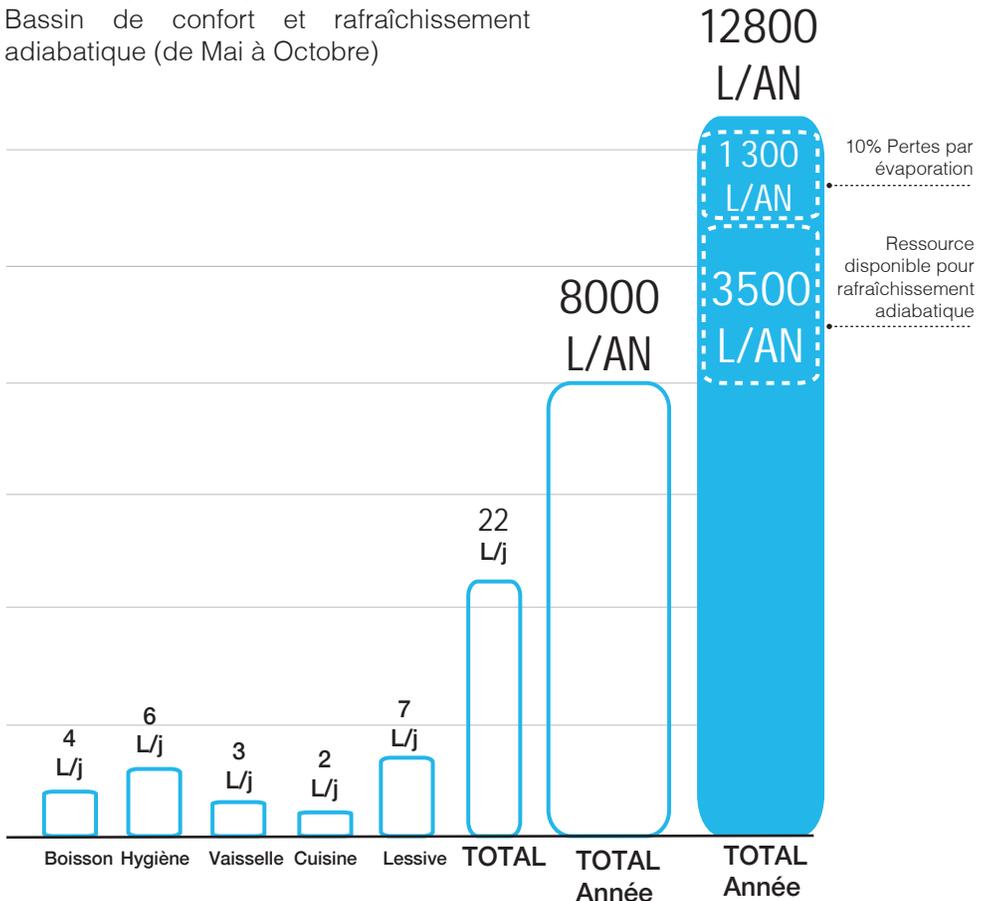
# Eau

## Besoins en eau:

Les précipitations sont faibles et la ressource en eau est précieuse. Les besoins sont donc évalués d'un point de vue d'utilisation très rationnée de l'eau. La source d'approvisionnement est l'eau de pluie.

Boire: 2L/ personne	4L/jour
Hygiène: 3L/Jour/pers	6L/jour
(douche 30L/pers, trop consommatrice)	
Vaisselle: à la main 3L/j	3L/jour
Cuisine: 2L/j	2L/jour
Lessive: 48 L/cycle; 1 cycle/ semaine	7L/Jour
	22L/jour
Arrosage des plantes: réutilisation des eaux de cuisine, vaisselle, lessive.	12L/j

Bassin de confort et rafraîchissement adiabatique (de Mai à Octobre)

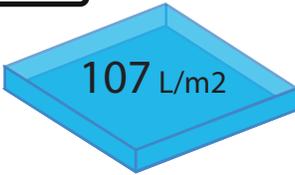


# Production annuelle

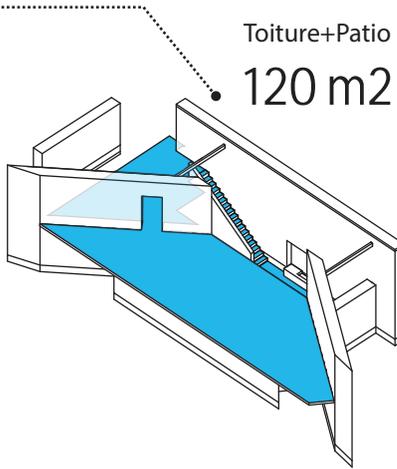
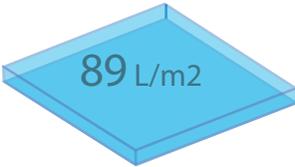
Récupération des eaux de pluie



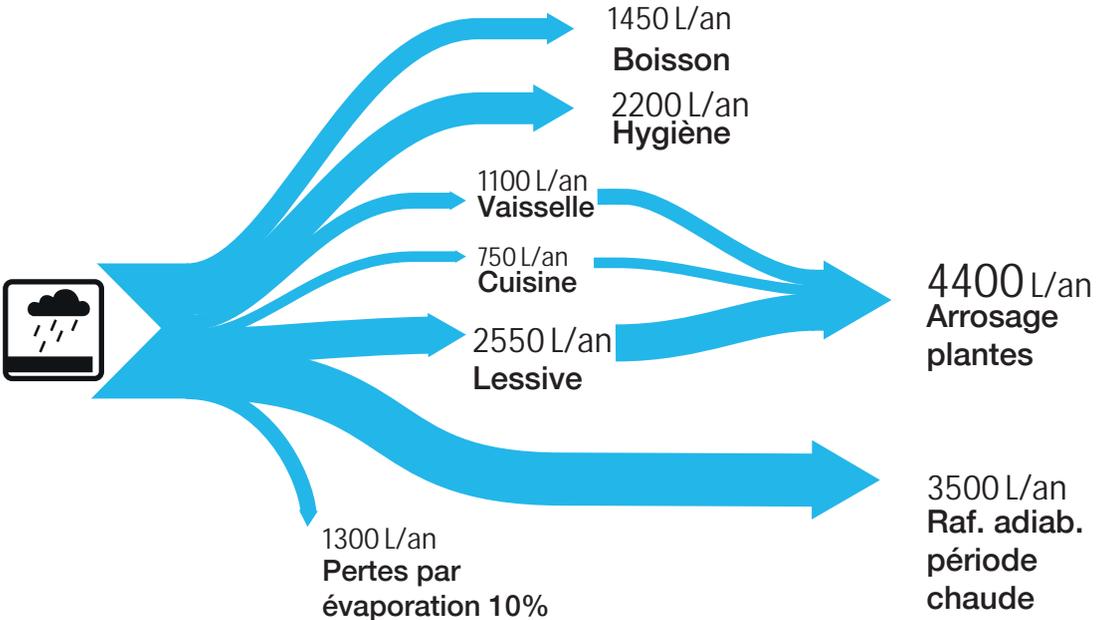
2010



2050



10 680 L/an 2050



# Electricité

## Besoins quotidiens

Gadgets	Puissance[W]	durée d'utilisation [h]	Energie [Wh]
Modem	9	12	108
Ordinateur portable	16	3	48
Ecran lcd	34	4	136
Lecteur DVD	7	2	14
Radio réveil	1	24	24
Chaîne stéréo	10	1,5	15
Téléphone	1,7	24	40,8
Recharge téléphone portable	4	2	8
Lampe projecteur LED	3	2	6
		Total	400 Wh

Déplacement (sur la semaine)	250 km d'autonomie	200Kg de batterie	24 kWh
Trajet	Distance [km]	Fréquence	Distance [km]
Travail	20	7	140
Courses-loisir	30	1	30
Total			170
Consommation quotidienne			16,3 kWh/semaine 2,3 kWh/j

Eclairage	Puissance[W]	durée d'utilisation [h]	Energie [Wh]
10 Led	8	5	40
		Total	400 Wh/j

Lessive			150 kWh/an
		Total	0,4 kWh/j

Cuisine	Puissance[W]	durée d'utilisation [h]	Energie [Wh]
Frigo combiné A+	20	24	480
bouilloire	3000	0,25	750
Cuisson plaques (1/jour)	3300	0,5	1650
Four solaire			
		Total	2880 Wh

Système d'eau	Puissance[W]	durée d'utilisation [h]	Energie [Wh]
Pompe/ gestion	660	0,15	99

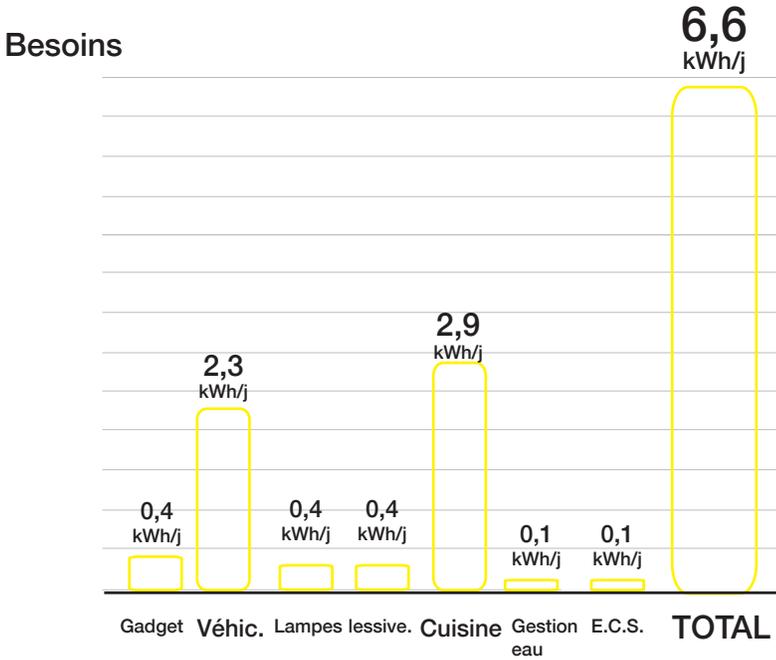
  

ECS	6 L	Cap. Thermique eau	4200 J/Kg.°k
Toilette		besoin	378 000 J
T° initiale	20°C		
T° sanitaire	35°C		
Delta	15°C		
		Total	105 Wh/j

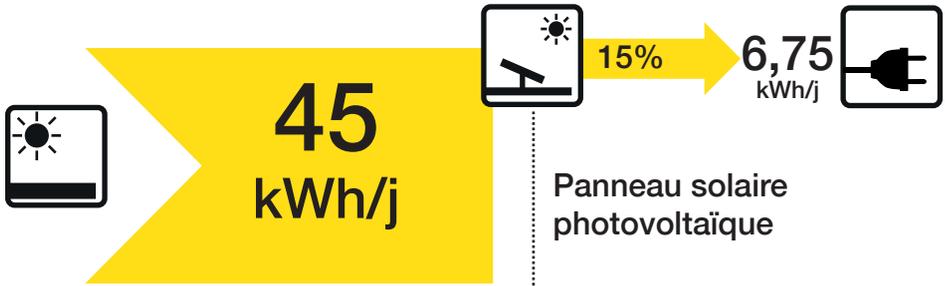
  

**TOTAL : 6,6 kWh/j Wh**

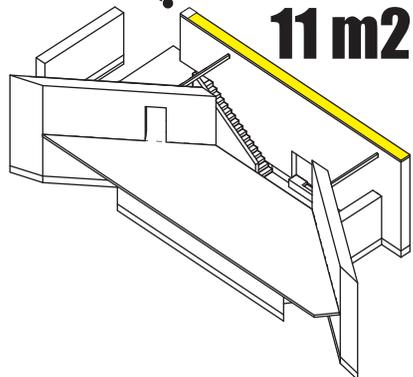
Source: David McKay-Without the hot air



### Production

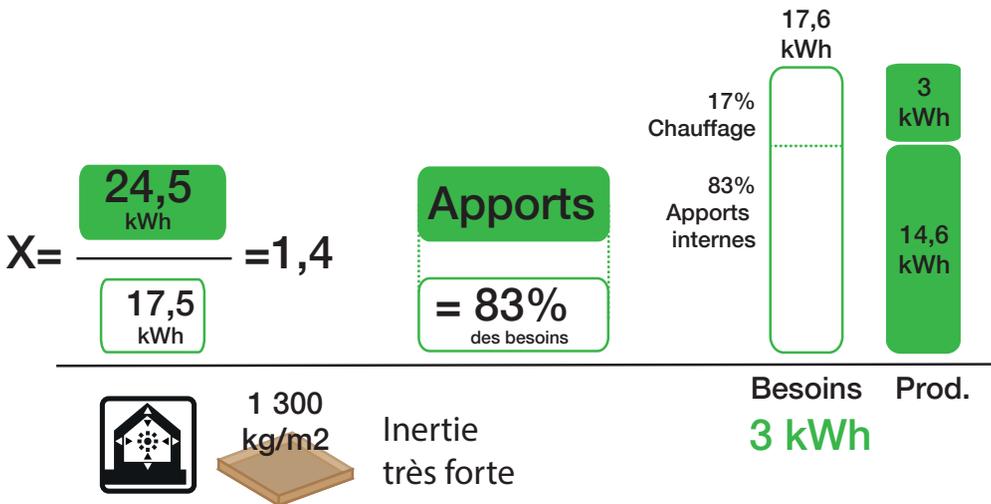
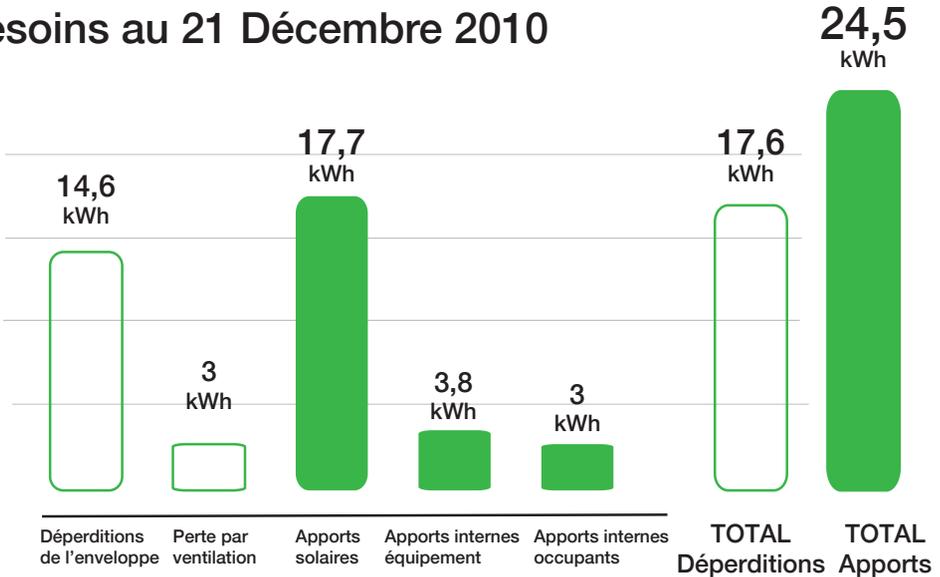


Dimensionnement au 21  
 Décembre  
 Rayonnement Horizontal cumulé:  
 4kWh/m<sup>2</sup>  
 Besoin: 6,8 kWh  
 Rendement: 15%  
 Dimension: 11 m<sup>2</sup>



# Chauffage

## Besoins au 21 Décembre 2010

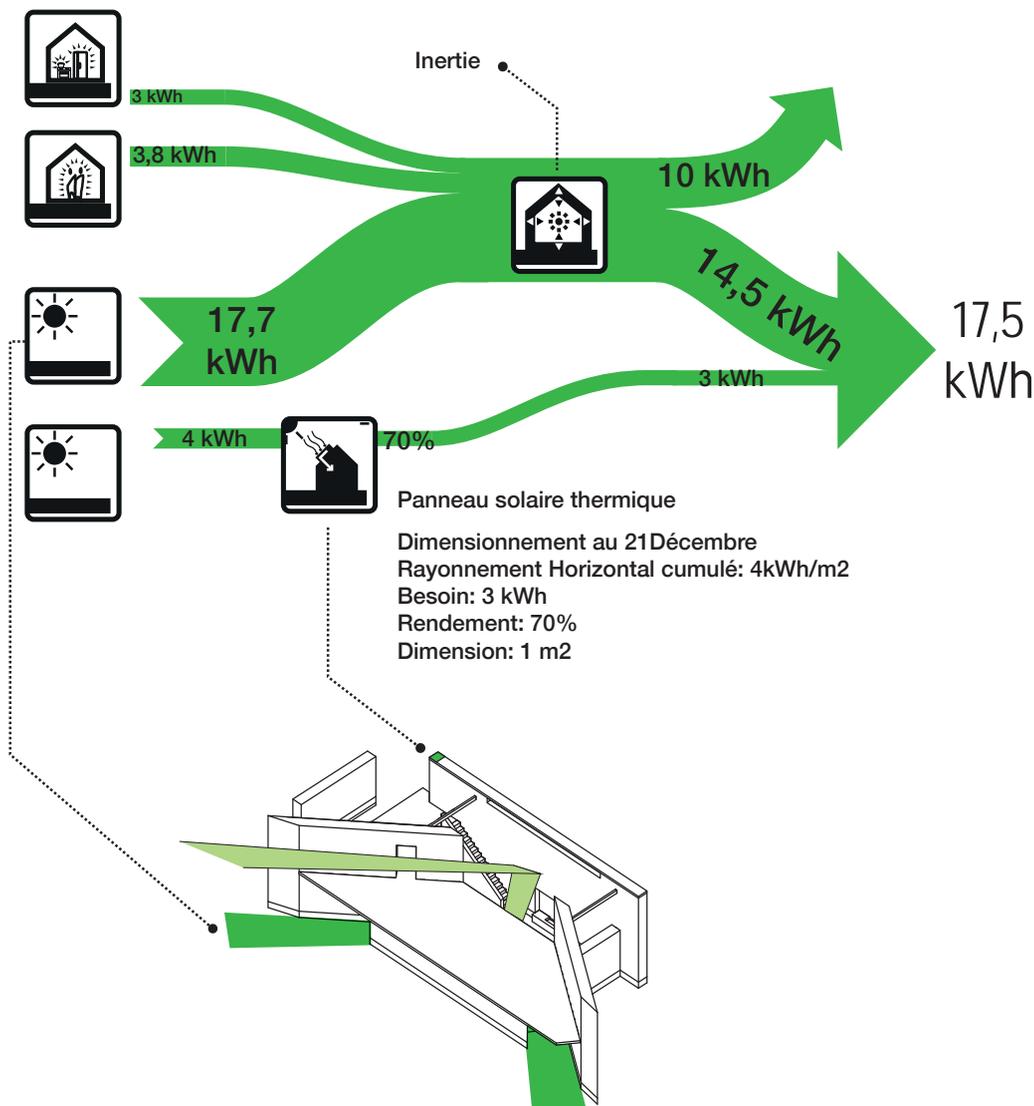


Prise en compte de l'inertie dans les calculs:

Méthode: établissement du rapport  $X = \text{apport} / \text{déperditions}$

Dans le cas d'une inertie forte  $> 400 \text{ kg/m}^2$ , le pourcentage de couverture des besoins est calculé par la formule  $F = (X + X^{3,6}) / (1 + X^{3,6})$

## Production au 21 Décembre 2010

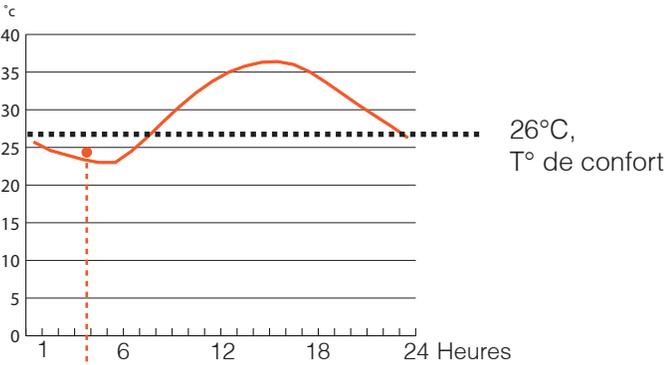


	U [W/m <sup>2</sup> .°k]	Surface [m <sup>2</sup> ]	U' [W/°k]
Mur partie béton	0,42	6,7	2,8
mur partie terre	0,4	49	19,6
toiture	0,45	30	13,5
Vitrage	1,4	20,4	28,6
Total		106,1	64,5

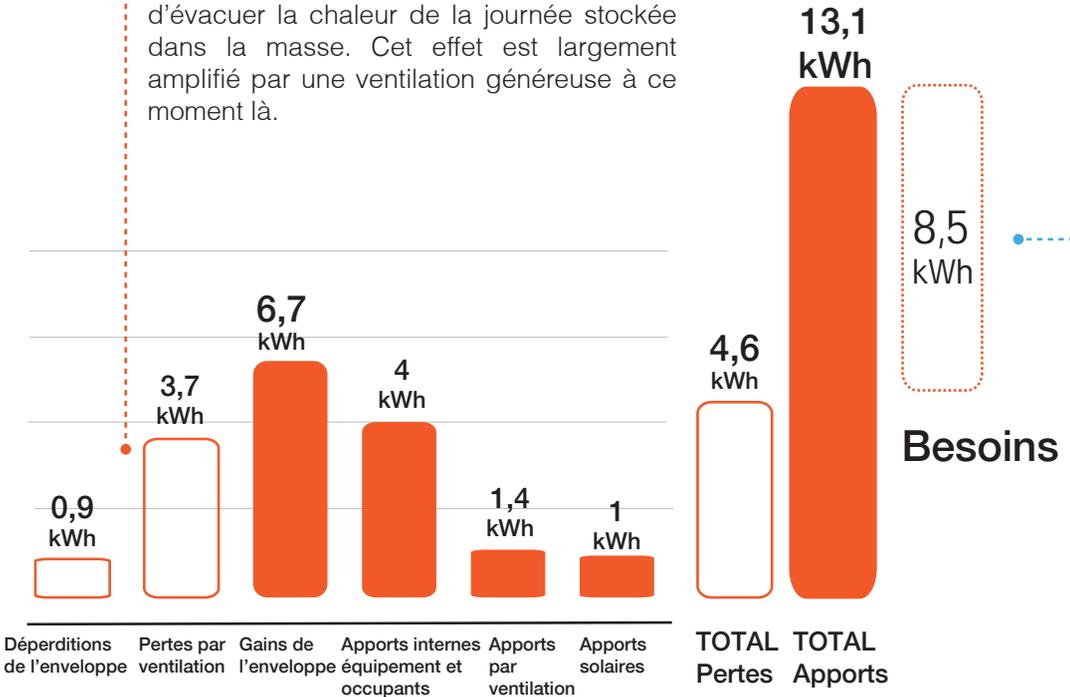
# Rafrâichissement

## Besoins au 21 Juin 2010

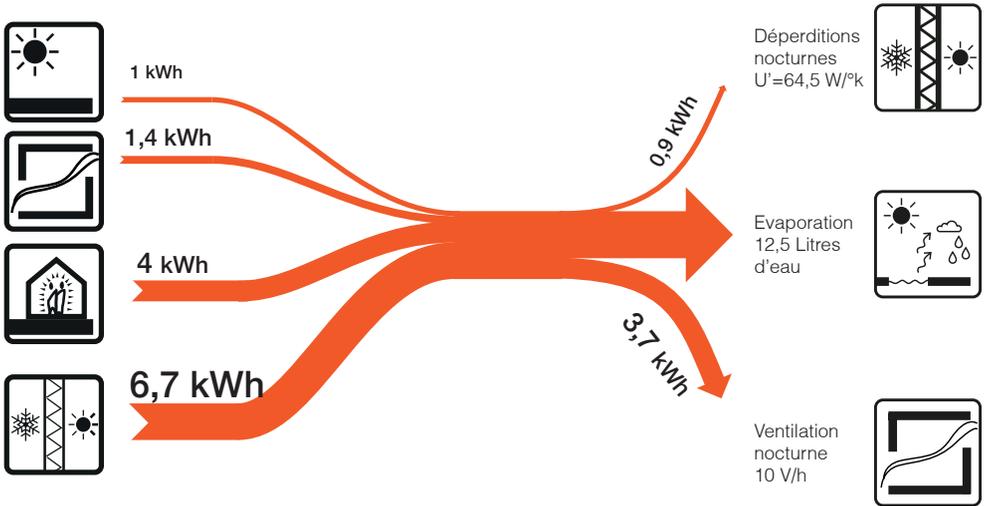
Températures de l'air le 21 Juin



La nuit, la température descend en dessous de la température de consigne, ce qui entraîne des déperditions et permet d'évacuer la chaleur de la journée stockée dans la masse. Cet effet est largement amplifié par une ventilation généreuse à ce moment là.

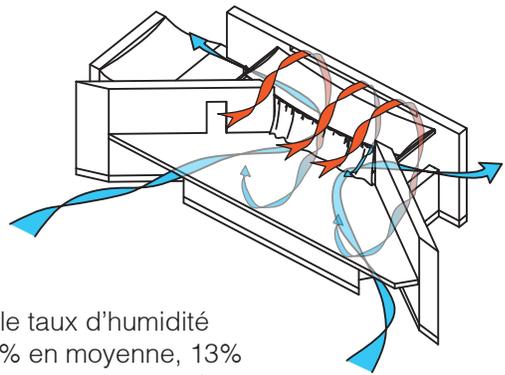


## Production au 21 Juin 2010



### évaporation d'eau

12,5 L



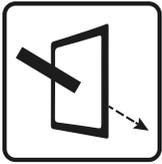
Le très faible taux d'humidité relative (26% en moyenne, 13% au plus chaud de la journée) oriente la stratégie de confort estival vers un dispositif évaporatif. La dissipation de 8,5 kWh d'énergie correspond à l'évaporation de 12,5 L. d'eau. Au vue du fort rayonnement solaire, une stratégie alternative plus technologique serait d'utiliser une partie de l'électricité produite pour faire fonctionner un système de rafraîchissement.

Chaleur latente d'évaporation de l'eau à 30°C:  
2450kJ/Kg soit 680 Wh/Kg

Capacité calorifique de l'air:  
0,34 Wh/m³.K'



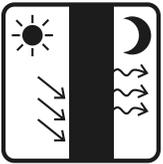
# **SYNTHÈSE**



Filtre solaire



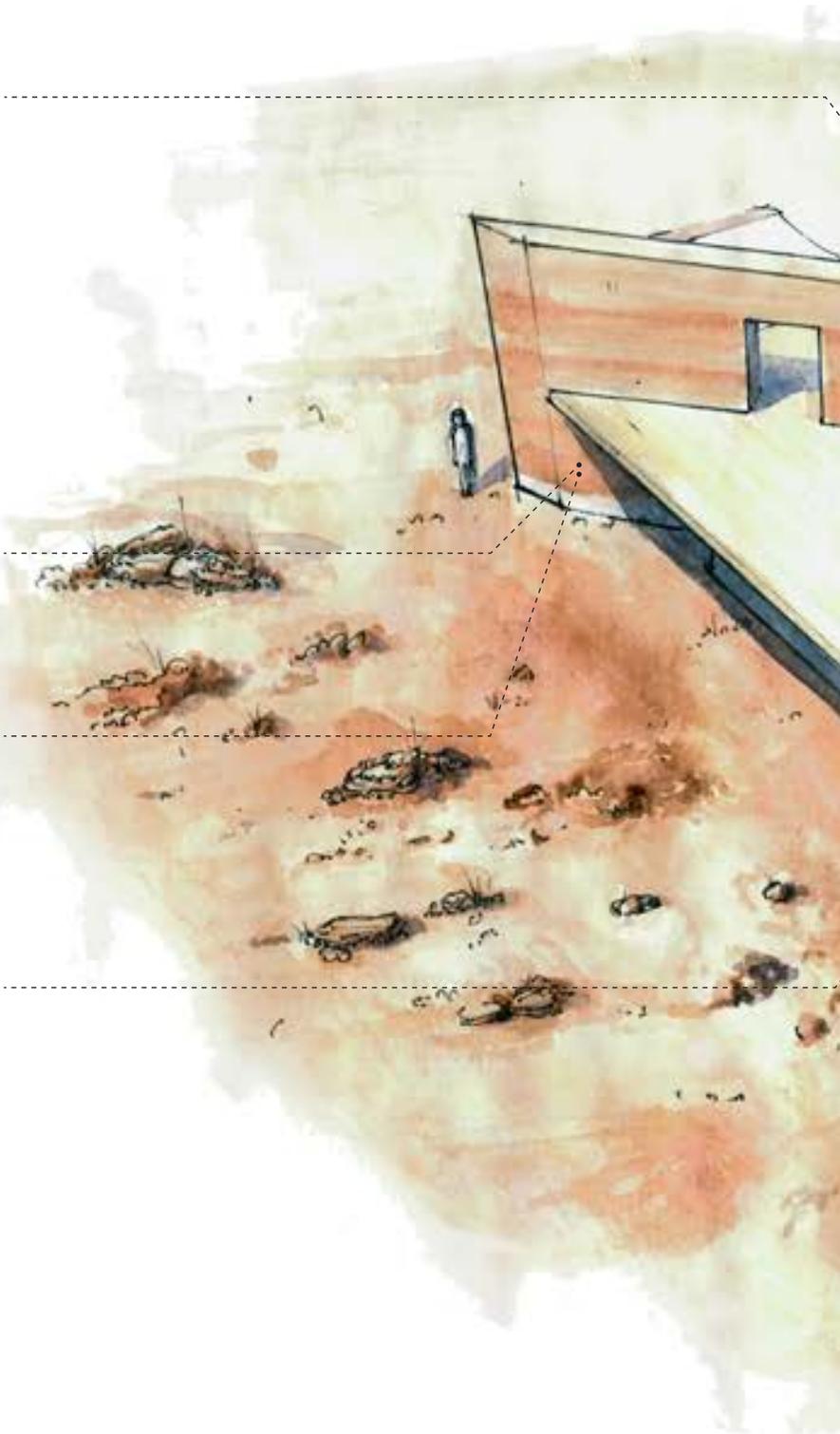
Inertie

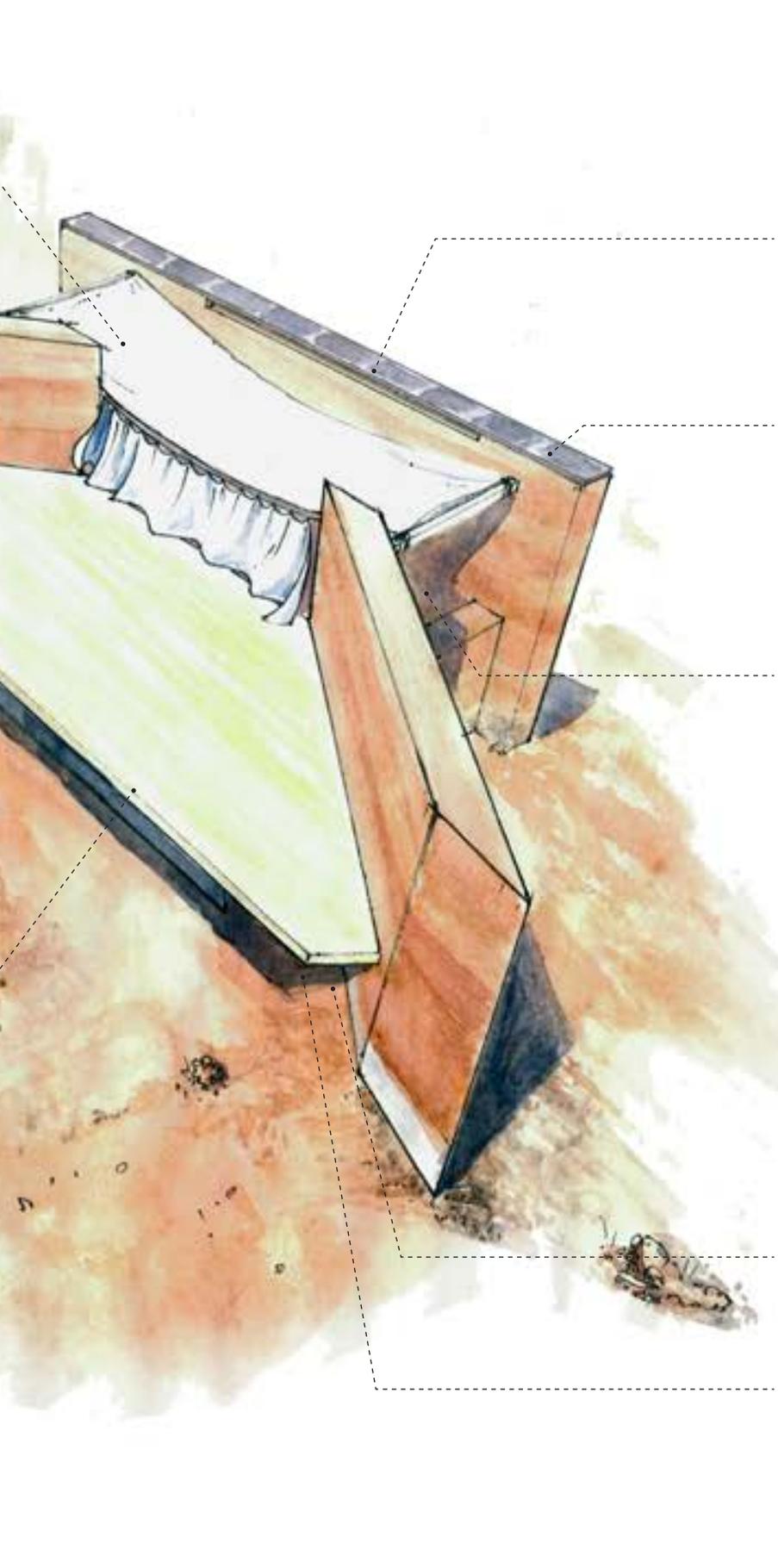


Déphasage

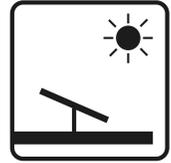


Collecte eaux pluviales

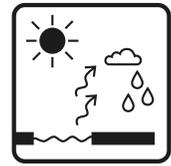




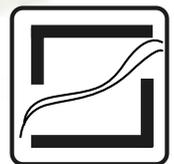
Ventilation naturelle



Capteur solaire Photovoltaïque



Rafraîchissement adiabatique



Ventilation naturelle



Chauffage passif



# **ANNEXES**

# Données climatiques

Source: Meteonorm

## 21 Décembre 2010

h	Ta [°c]	mx [ g/kg]	RH [%]	G_Gh [W]	G_Bh [W]	G_Dh [W]	G_Gk [W]	G_Dk [W]
1	7,9	4,3	57	0	0	0	0	0
2	6,8	4	58	0	0	0	0	0
3	5,6	3,9	61	0	0	0	0	0
4	5	4,2	68	0	0	0	0	0
5	4,4	4,3	72	0	0	0	0	0
6	3,9	4,1	71	0	0	0	0	0
7	3,5	4,3	77	0	0	0	0	0
8	3,6	4,4	79	7	0	7	2	2
9	5,8	4,2	65	182	83	99	378	139
10	8,2	4,4	57	371	316	54	701	108
11	10,4	3,9	44	522	463	59	845	125
12	12,2	3,6	36	615	551	65	924	138
13	13,4	3,8	35	644	577	67	948	143
14	14,2	3,6	32	603	540	63	913	136
15	14,3	3,6	31	497	442	55	820	118
16	13,8	3,8	34	339	288	50	666	101
17	12,5	3,7	36	151	114	37	452	81
18	10,8	3,5	39	3	0	3	0	0
19	10	3,8	43	0	0	0	0	0
20	9,3	3,9	47	0	0	0	0	0
21	8,5	4	51	0	0	0	0	0
22	7,8	3,8	51	0	0	0	0	0
23	7	3,7	53	0	0	0	0	0
24	6,2	4	60	0	0	0	0	0

21 Juin 2010

h	Ta [°c]	mx [g/kg]	RH [%]	G_Gh [W]	G_Bh [W]	G_Dh [W]	G_Gk [W]	G_Dk [W]
1	25,7	8,7	37	0	0	0	0	0
2	24,6	8,8	40	0	0	0	0	0
3	24	8,7	41	0	0	0	0	0
4	23,4	8,7	43	0	0	0	0	0
5	23	8,6	43	0	0	0	0	0
6	23	7,2	36	4	0	4	2	2
7	24,5	7,4	34	157	73	84	55	55
8	26,4	7,7	32	371	318	53	71	71
9	28,5	8,3	30	587	521	66	97	97
10	30,5	7,3	24	776	687	89	121	121
11	32,3	7,2	21	918	803	115	203	142
12	33,8	6,3	17	1005	866	139	255	152
13	35	6,2	16	1035	885	150	269	152
14	35,8	6	14	1003	866	137	254	151
15	36,3	5,7	13	915	802	113	201	141
16	36,4	5,6	13	772	685	87	120	120
17	36	6	14	582	516	66	96	96
18	35	6,2	16	365	313	52	70	70
19	33,6	6,1	17	154	71	83	54	54
20	32,1	6,6	20	4	0	4	2	2
21	30,6	7,5	24	0	0	0	0	0
22	29,2	7,9	27	0	0	0	0	0
23	27,8	7,8	29	0	0	0	0	0
24	26,3	7,8	32	0	0	0	0	0

# Calculs thermiques et apports internes

21 Décembre 2010

h	Ta [°c]	Delta T° [°c]	Perte enveloppe [W]	Pertes ren. Air [W]
1	7,9	-10,1	-651,45	-133,926
2	6,8	-11,2	-722,4	-148,512
3	5,6	-12,4	-799,8	-164,424
4	5	-13	-838,5	-172,38
5	4,4	-13,6	-877,2	-180,336
6	3,9	-14,1	-909,45	-186,966
7	3,5	-14,5	-935,25	-192,27
8	3,6	-14,4	-928,8	-190,944
9	5,8	-12,2	-786,9	-161,772
10	8,2	-9,8	-632,1	-129,948
11	10,4	-7,6	-490,2	-100,776
12	12,2	-5,8	-374,1	-76,908
13	13,4	-4,6	-296,7	-60,996
14	14,2	-3,8	-245,1	-50,388
15	14,3	-3,7	-238,65	-49,062
16	13,8	-4,2	-270,9	-55,692
17	12,5	-5,5	-354,75	-72,93
18	10,8	-7,2	-464,4	-95,472
19	10	-8	-516	-106,08
20	9,3	-8,7	-561,15	-115,362
21	8,5	-9,5	-612,75	-125,97
22	7,8	-10,2	-657,9	-135,252
23	7	-11	-709,5	-145,86
24	6,2	-11,8	-761,1	-156,468
	<b>Total</b>		<b>-14635,05</b>	<b>-3008,694</b>

T° consigne: 18°c

U'bat=64,5 W/°k

Pertes enveloppe=64,5\* (T°air ext.-T°air consigne)

Renouvellement d'air: 0,5 Volume/heure soit 39m³/h

Cap. Therm. air: 0,34Wh/°k.m³

Pertes par ventilation=0,34x39x(T°air ext.-T°air consigne)

h	Présence Mme [W]	Présence Mr. [W]
1	75	75
2	75	75
3	75	75
4	75	75
5	75	75
6	75	75
7	75	75
8	75	75
9	75	0
10	75	0
11	75	0
12	75	75
13	75	0
14	75	0
15	75	0
16	75	0
17	75	0
18	75	75
19	75	75
20	75	75
21	75	75
22	75	75
23	75	75
24	75	75
	1800	1200

Gadgets	0,4 kWh
Cuisine	2,9 kWh
lampes	0,4 kWh
E.C.S	0,1 kWh
total	3,8 kWh

scénario d'usage et de présence: la présence d'une personne dégage 75W dans la pièce où elle se trouve. Ici La femme reste à la maison, le mari va travailler, en repassant le midi pour déjeuner.

Apports internes équipement: Outre les gadgets électroniques, la principale source de dégagement de chaleur est la cuisine avec la bouilloire le frigo et les plaques de cuisson.

# Calculs thermiques et apports internes

21 Juin 2010

h	Ta [°c]	Delta T° [°c]	Perte enveloppe [W]	Pertes ren. Air [W]	Gains ren. Air [W]
1	25,7	-0,3	-19,35	-79,866	
2	24,6	-1,4	-90,3	-372,708	
3	24	-2	-129	-532,44	
4	23,4	-2,6	-167,7	-692,172	
5	23	-3	-193,5	-798,66	
6	23	-3	-193,5	-798,66	
7	24,5	-1,5	-96,75	-399,33	
8	26,4	0,4	25,8		5,304
9	28,5	2,5	161,25		33,15
10	30,5	4,5	290,25		59,67
11	32,3	6,3	406,35		83,538
12	33,8	7,8	503,1		103,428
13	35	9	580,5		119,34
14	35,8	9,8	632,1		129,948
15	36,3	10,3	664,35		136,578
16	36,4	10,4	670,8		137,904
17	36	10	645		132,6
18	35	9	580,5		119,34
19	33,6	7,6	490,2		100,776
20	32,1	6,1	393,45		80,886
21	30,6	4,6	296,7		60,996
22	29,2	3,2	206,4		42,432
23	27,8	1,8	116,1		23,868
24	26,3	0,3	19,35		3,978
Total			5792,1	-3673,836	1373,736

T° consigne: 26°C

U'bat=64,5 W/°k

Pertes/gains enveloppe=64,5\* (T°air ext.-T°air consigne)

Renouvellement d'air: 0,5 Volume/heure en journée soit 39m³/h

Cap. Therm. air: 0,34Wh/°k.m³

10 V/h la nuit pour rafraîchir un maximum ce qui correspond aux fenêtres grandes ouvertes.

h	Présence Mme [W]	Présence Mr. [W]
1	75	75
2	75	75
3	75	75
4	75	75
5	75	75
6	75	75
7	75	75
8	75	75
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	75	0
15	75	0
16	75	0
17	75	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	75	75
23	75	75
24	75	75
	1125	825

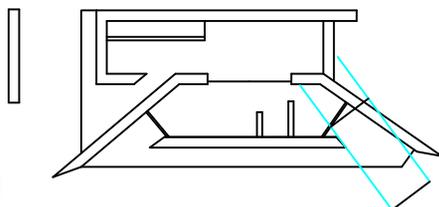
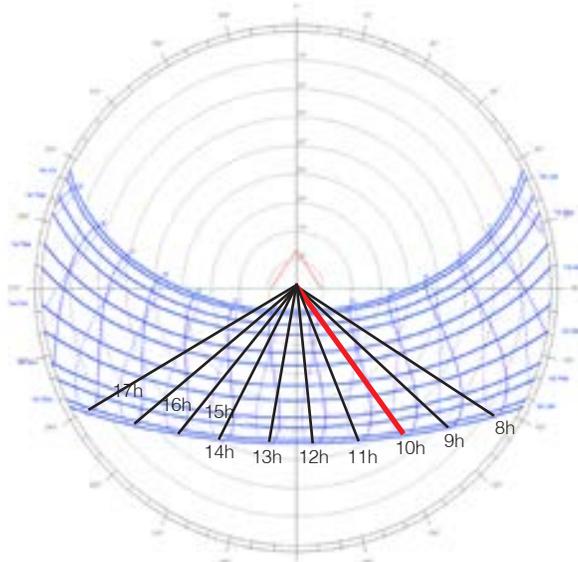
Gadgets	0,4 kWh
Cuisine	1,2 kWh
lampes	0,4 kWh
total	2 kWh

scénario d'usage et de présence: la présence d'une personne dégage 75W dans la pièce où elle se trouve. Ici La femme reste à la maison mais va dans le patio. Elle se réfugie à l'intérieur aux heures les plus chaudes. l'homme va travailler, en repassant le midi pour déjeuner mais ils déjeunes dans le patio. On considère qu'ils vont se coucher dans leur chambre, mais rien n'empêche d'imaginer qu'ils dorment sur la toiture ou dans la patio

Apports internes équipement: La cuisine se fait avec un four solaire. La bouilloire reste malgré tout utilisée, il n'y a pas d'heure pour boire du thé. L'eau utilisée pour les ablutions n'est pas chauffée.

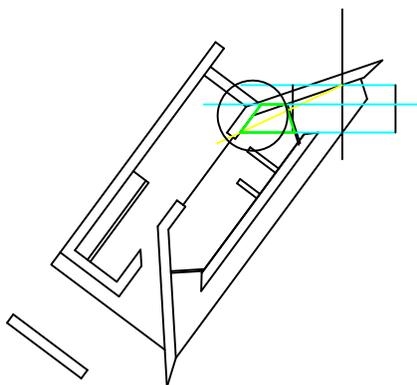
# Apports solaire au 21 Décembre

10h du matin (heure solaire)



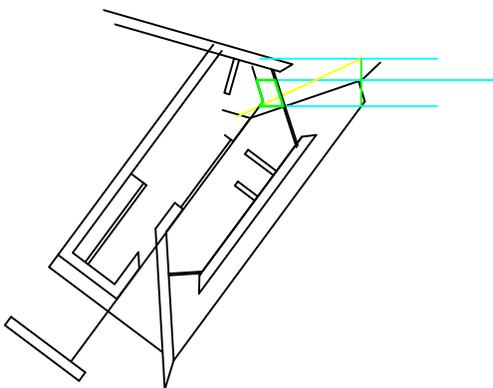
Rayonnement global solaire:  
horizontal: 371 W/m<sup>2</sup>  
Sud: 701 W/m<sup>2</sup>

Facteur solaire vitrage: 0,7  
albédo terre: 0,3



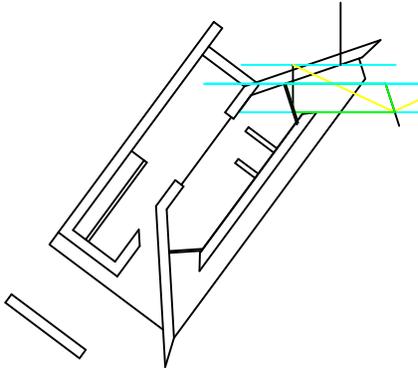
Apports directs vitrage  
Surface horizontale: 3,6m<sup>2</sup>  
Rayonnement: 930 W

calcul:  $3,6 \times 371 \times 0,7$



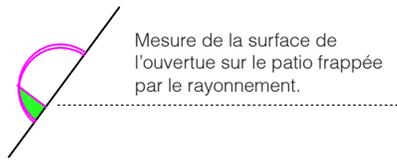
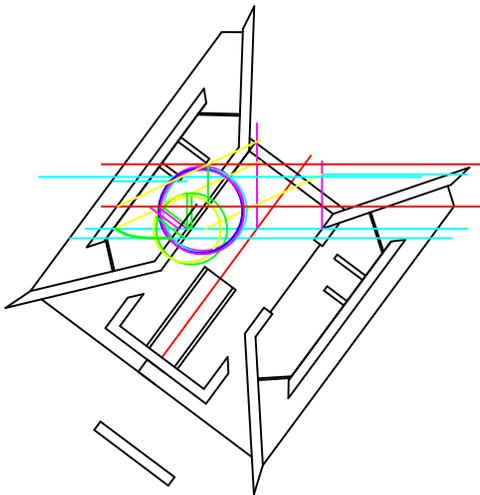
Apports réfléchis sur le mur  
Surface horizontale: 1,6m<sup>2</sup>  
Rayonnement: 125 W

calcul:  $1,6 \times 371 \times 0,7 \times 0,3$



Apports réfléchis sur le sol  
 Surface horizontale: 9,4m<sup>2</sup>  
 Rayonnement: 490 W

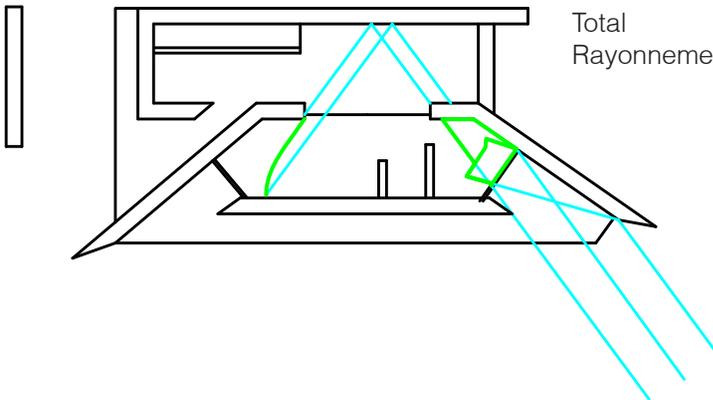
calcul:  $9,4 \times 371 \times 0,7 \times 0,3$



Mesure de la surface de l'ouverture sur le patio frappée par le rayonnement.

Apports réfléchis sur patio  
 Surface Sud: 1,3m<sup>2</sup>  
 Rayonnement: 180 W

calcul:  $1,3 \times 701 \times 0,7 \times 0,3$

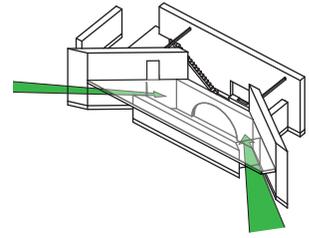


Total  
 Rayonnement: 1730 W

<b>G_Gh [W]</b>
7
182
371
522
615
644
603
497
339
151

Surface [m2]	Ray direct vitres	h
34,9	171,01	8
8	1019,2	9
3,6	934,92	10
1,1	401,94	11
0,17	73,185	12
0,34	153,272	13
1,6	675,36	14
3,35	1165,465	15
10,86	2140	16
5,25	554,925	17

Apport directs

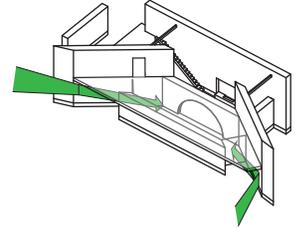


<b>Total [Wh]</b>	<b>7289,277</b>
-------------------	-----------------

<b>G_Gh [W]</b>
7
182
371
522
615
644
603
497
339
151

Surface [m2]	Ray reflechi murs	h
0	0	8
2,3	87,906	9
1,6	124,656	10
0	0	11
0	0	12
0,1	13,524	13
0,65	82,3095	14
1,17	122,1129	15
0	0	16
0	0	17

Apport réfléchis sur les murs

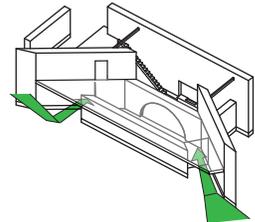


<b>Total [Wh]</b>	<b>430,5084</b>
-------------------	-----------------

<b>G_Gh [W]</b>
7
182
371
522
615
644
603
497
339
151

Surface [m2]	Ray reflechi sol	h
49,3	48,314	8
16,2	412,776	9
9,4	488,236	10
5	365,4	11
1,7	146,37	12
1,8	162,288	13
4,7	396,774	14
8	556,64	15
17,3	821,058	16
27,4	579,236	17

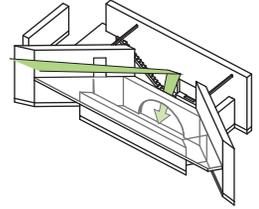
Apport réfléchis sur le sol



<b>Total [Wh]</b>	<b>3977,092</b>
-------------------	-----------------

<b>G Gk [W]</b>	Surface vitrée [m2]	Ray refléc. patio	<b>h</b>
2	0	0	8
378	2,9	219,24	9
701	1,3	182,26	10
845	5,7	963,3	11
924	8,4	1552,32	12
948	8,2	1554,72	13
913	5,1	931,26	14
820	0,9	147,6	15
666	3,1	412,92	16
452	0	0	17

Apport réfléchis sur le patio

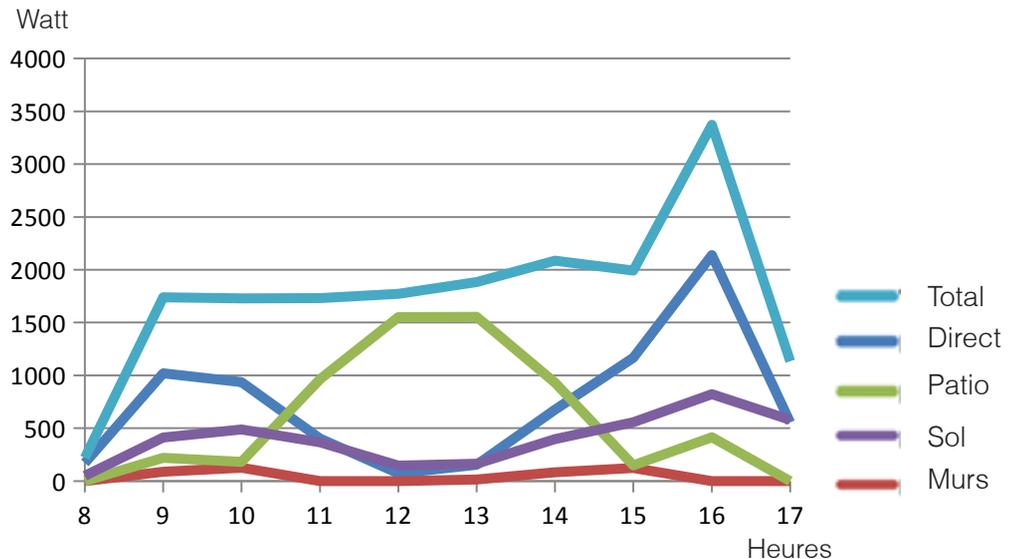


<b>Total [Wh]</b>	<b>5963,62</b>
-------------------	----------------

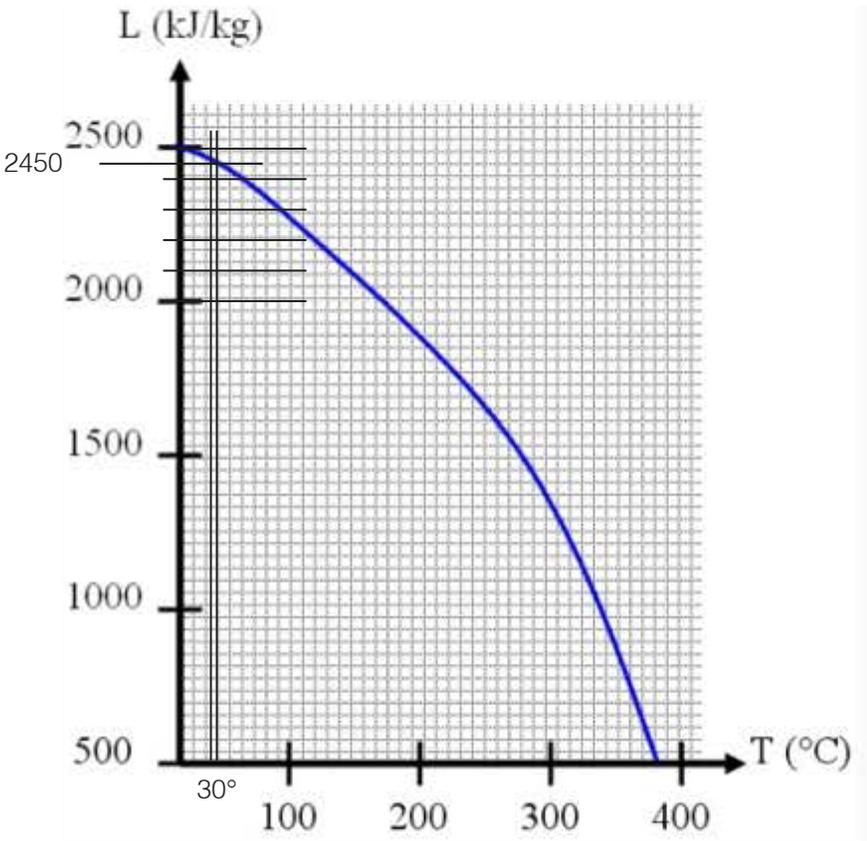
<b>h</b>	azimut	hauteur angulaire	Angle est ouest
8	123	6	33
9	133	18	43
10	143	25	53
11	156	32	66
12	173	36	83
13	191	36	101
14	206	30	116
15	219	25	129
16	231	15	141
17	239	6	149

<b>Total [W]</b>	<b>h</b>
219,324	8
1739,122	9
1730,072	10
1730,64	11
1771,875	12
1883,804	13
2085,7035	14
1991,8179	15
3373,978	16
1134,161	17

<b>Total [Wh]</b>	<b>17660,4974</b>
-------------------	-------------------



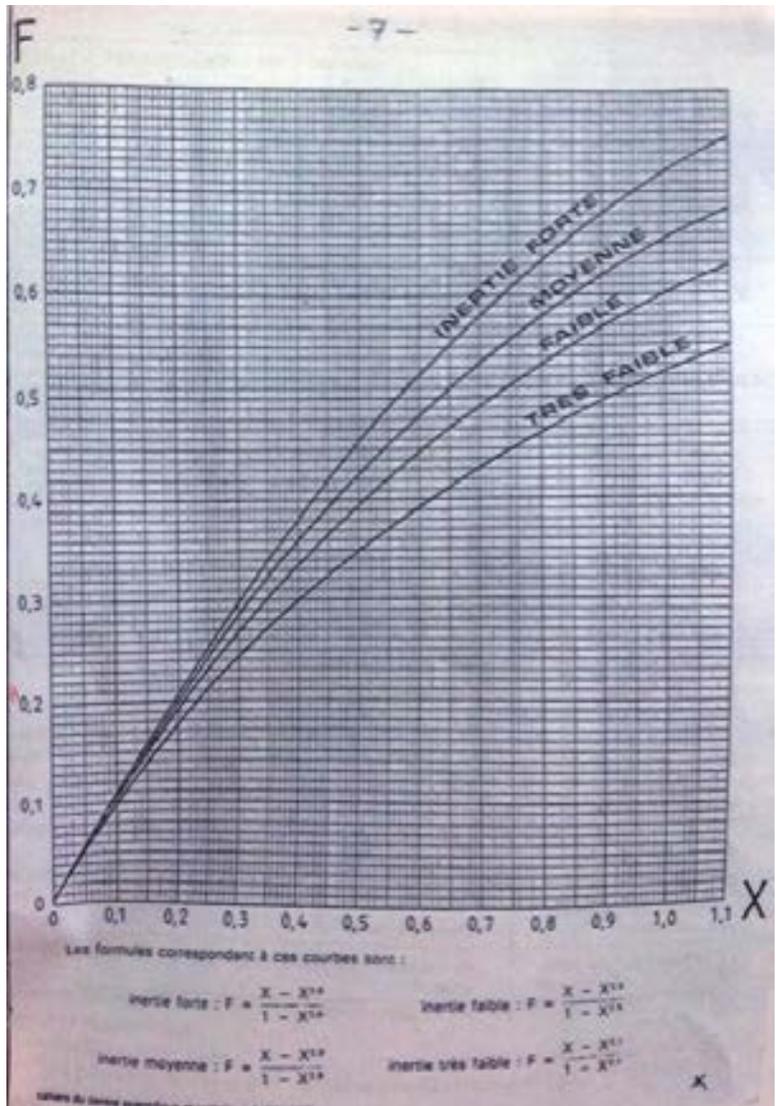
# Chaleur latente de vaporisation de l'eau



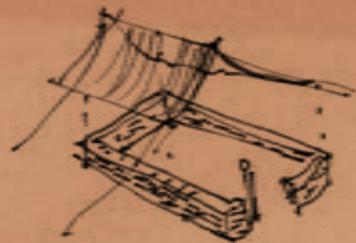
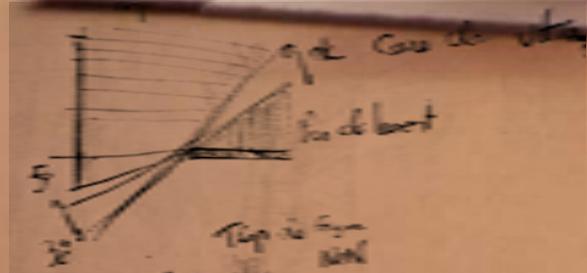
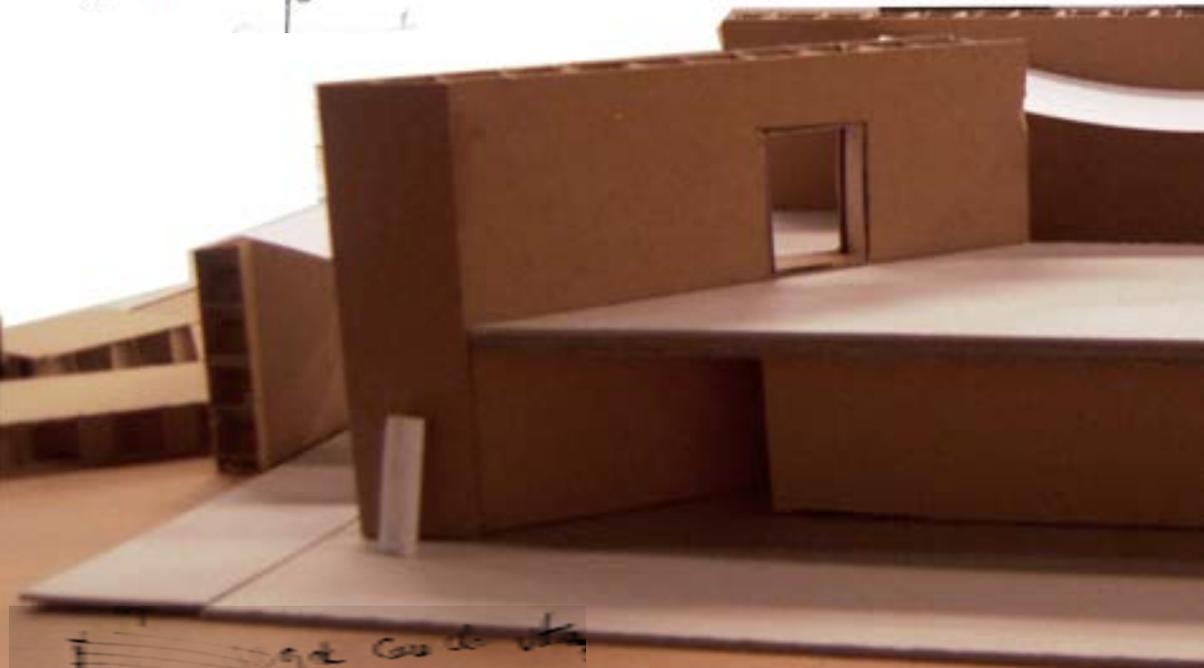
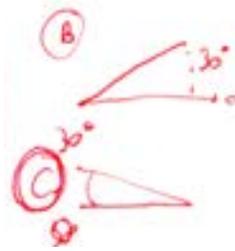
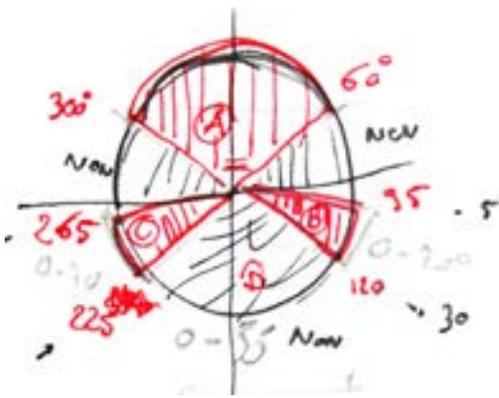
La chaleur latente de vaporisation est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kg d'eau (à pression et température constantes) pour obtenir 1 kg de vapeur saturée.

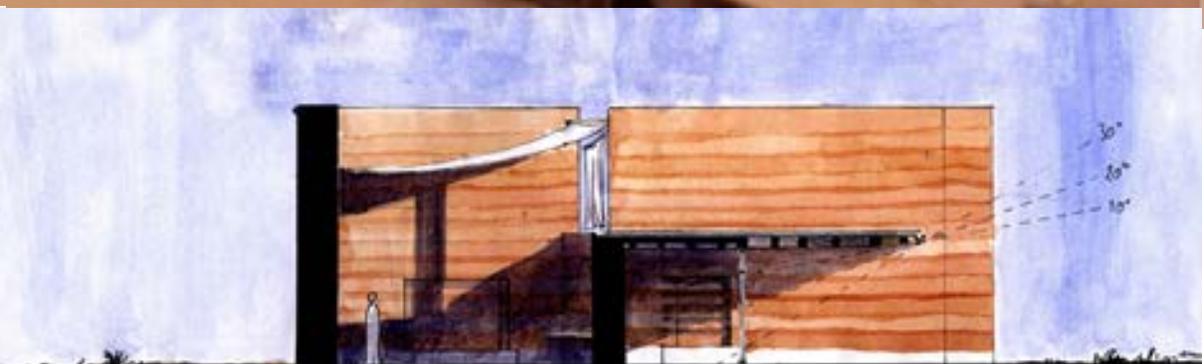
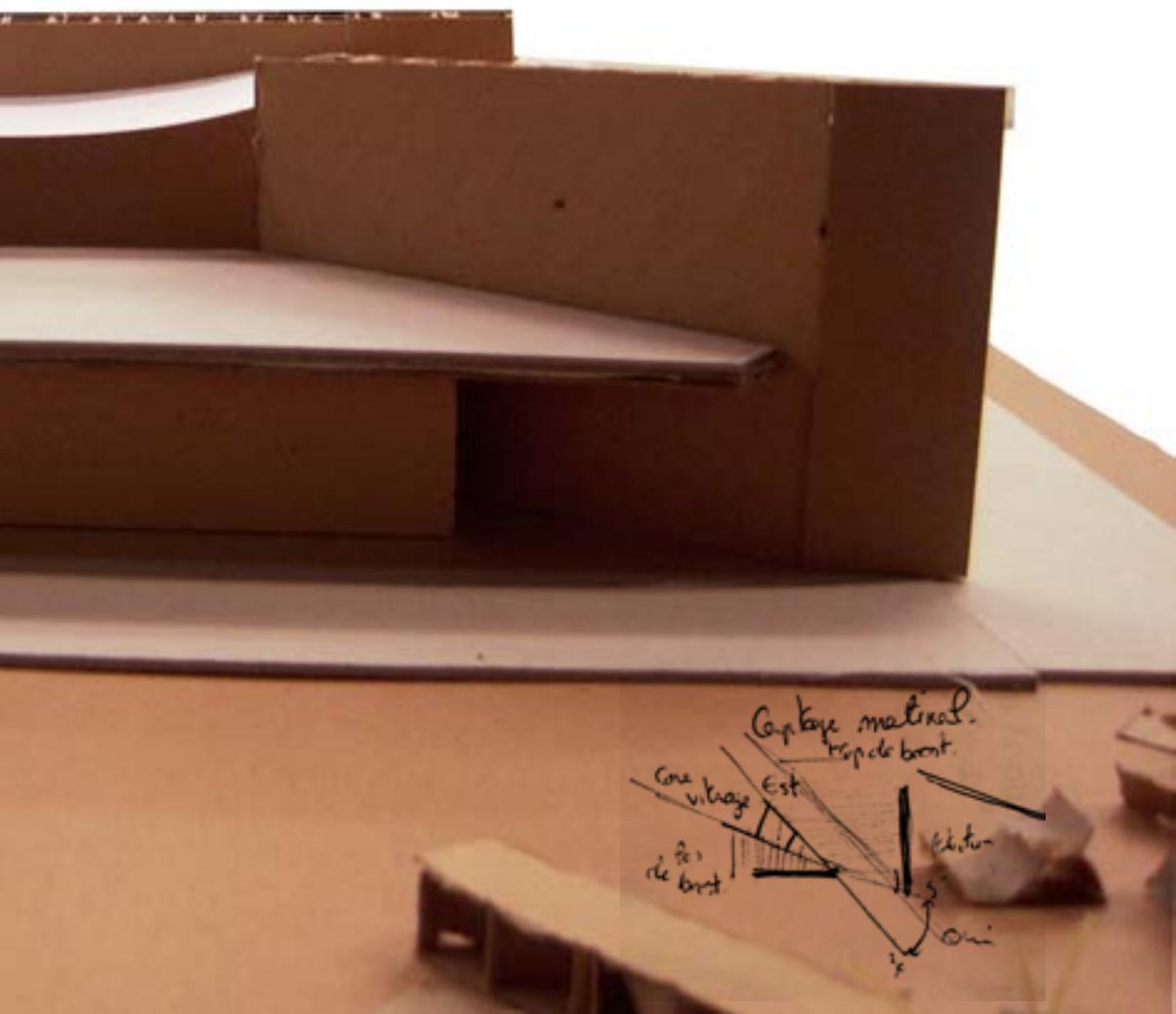
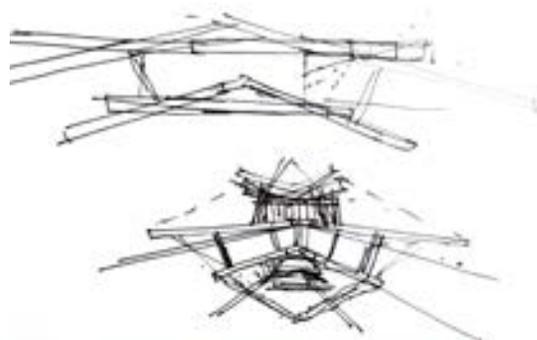
Source: [http://fr.wikiversity.org/wiki/Changements\\_d%27%C3%A9tats/Vaporisation\\_et\\_condensation](http://fr.wikiversity.org/wiki/Changements_d%27%C3%A9tats/Vaporisation_et_condensation)

# Inertie



Formules inertie forte:  $F = \frac{X + X^{3,6}}{1 - X^{3,6}}$







# B A N G K O K

Thaïlande



Latitude : 13°45' N  
Longitude : 100° 31' E  
Altitude : 1.5 m

**Florence Capoulade**



## **CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE**

Géographie / Histoire / Culture  
Contexte environnemental  
Données et analyses climatiques

## **STRATÉGIES DU PROJET**

Intentions  
Stratégies  
Concept bioclimatique  
Spatialité et usages  
Structure et matériaux

## **RÉPONSES ÉNERGÉTIQUES**

Besoins  
Productions  
Comparatifs

## **SYNTHÈSE**

Diagramme de Sankey  
Conclusions



# **CARACTÉRISTIQUES ET POTENTIELS DU SITE**

Géographie / Histoire / Culture

Contexte environnemental

Données et analyses climatiques





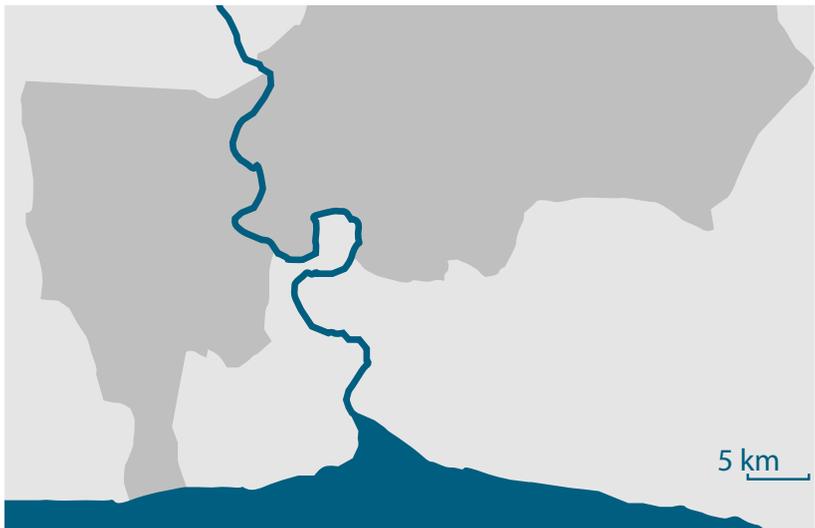
# BANGKOK

Géographie / Histoire / Culture

Le site de ce Diogène se situe en Thaïlande.

Bangkok, sa capitale, est une métropole qui compte plus 8,2 millions d'habitants ce qui représente environ 15% de la population du pays. Elle s'étend sur une superficie de 1568km<sup>2</sup>. Cette ville est 11 fois plus peuplée que chacune des trois autres plus grandes villes de province.

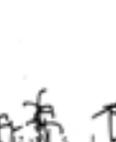
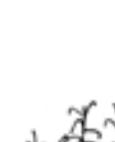
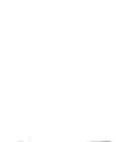
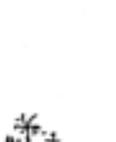
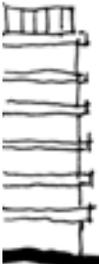
Anciennement construite sur un réseau de canaux, la ville était principalement composée d'habitats individuels. Dans les années 1950, l'image de la ville horizontale imbriquant deux modèles urbains prévalait encore. D'une part, la ville est composée de « villages urbains », centrée sur la citadelle et organisée par le réseau hydrographique (fleuve et canaux), le végétal y est très présent. D'autre part, on trouve la « ville consolidée » composée de compartiments mixtes sur une trame parcellaire étroite, le long du réseau viaire avec pour centres les quartiers commerçants.



A partir des années 1980, l'urbanisation massive se développe, superposant réseaux d'infrastructures aériennes, verticalisation des formes urbaines à l'ancien tissu traditionnel.

Les différents types d'urbanisation cohabitent de manière inattendue. L'apparente incohérence de leurs natures et de leurs échelles, est en réalité cousue et connectée par l'usager qui lie et harmonise. Le commerce notamment ambulant contribue beaucoup à favoriser ces connexions.

Trente-cinq ans après les fortes mutations urbaines transformant la ville, on trouve toujours un micro tissu traditionnel urbain et une forme de végétation spontanée en plein cœur de la mégapole.

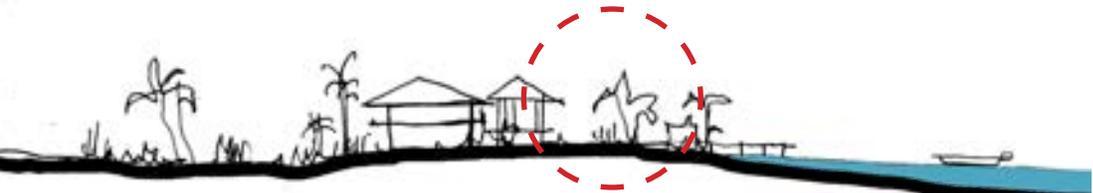


## Caractères majeurs du site

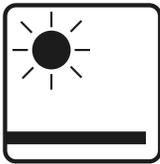


\* SITE : Etendue naturelle en coeur de ville.

De même que perdurent les tissus urbains anciens, les modes de vie traditionnels sont toujours présents. Le fleuve Chao Praya demeure un lieu de vie, de commerces et d'échanges. De nombreuses habitations flottantes ou sur pilotis longent le cours d'eau, les marchés flottants deviennent une curiosité touristique, mais les commerces ambulants sur bateaux sont toujours actifs. Ces dispositifs permettent à la fois l'exploitation du fleuve comme ressource territoriale mais également de s'adapter aux périodes de moussons.



Bangkok est une ville de climat chaud et humide. Les amplitudes de température au cours de l'année sont faibles, elles varient entre 19°C et 38°C. En revanche, les précipitations et leur saisonnalité amènent de forts contrastes climatiques dans cette région du globe et conditionnent les modes de vie et de construction.



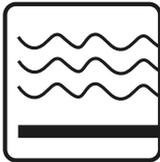
\* SOLEIL

L'impact du soleil est fort et constant au long de l'année, au zénith il oscille entre 50° et 85° environ par rapport à l'horizontale selon les saisons.



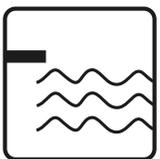
\* PRECIPITATIONS

Considérables, principalement entre mai et septembre. Elles conditionnent fortement les modes de vie et de construction.



\* VENT

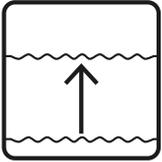
Forces faibles, entre 0 et 8 m.s selon les moments de l'année.



\* FLEUVE

La vie des habitants de Bangkok est fortement rythmée par la présence du fleuve Chao Phraya : marchés flottants, acheminement de matériaux et denrées alimentaires.

# Risques majeurs du site



## \* MONTEE DES EAUX

En raison de sa faible altitude et de sa situation à l'embouchure du fleuve Chao Phraya, Bangkok fait partie des villes du monde les plus exposées au risque de montée des eaux. A l'heure actuelle, la ville s'enfonce d'environ 3cm par an.

source : <http://www.thailande-fr.com/>



## \* SEISMES

Le risque de séisme induit des contraintes structurelles telles que la continuité verticale des éléments porteurs, le recours à des assemblages articulés.





\* BAMBOU

- Provenance: Thaïlande
- Matériau creux . Section cylindrique pouvant atteindre 22cm de diamètre et 40m de hauteur.
- Densité (parois) = 0.6
- Envisageable en toiture



\* FEUILLES DE PALMIERS

- Provenance: Thaïlande
- Couverture par recouvrements
- Biodégradable
- Contrainte de pente minimum



\* BOIS DE BANGKIRAI («Chan»)

- Provenance: Thaïlande
- Propriétés hydrofuges. Densité = 0.9
- Bois structurel



\* FIBRE DE COCO

- Provenance: Thaïlande
- Fibre longue, rigide



\* TOLE ONDULEE DE REEMPLOI

- Provenance: Thaïlande
- Étanchéité en toiture, modularité future recyclabilité

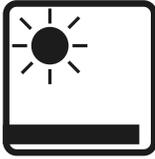


\* LATEX

- Provenance: Thaïlande
- Extrait de l'Hévéa, essence locale
- Transformations multiples : caoutchouc naturel, imperméabilisation de textiles
- Hydrofuge
- Biodégradable

# Contexte environnemental

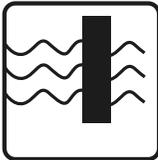
Matériaux et ressources



## \* SOLEIL

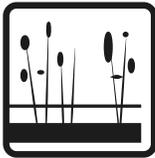
Un rayonnement global annuel de l'ordre de 1800 kWh/m<sup>2</sup>/an.

En comparaison, le rayonnement global annuel parisien est d'environ 1000 kWh/m<sup>2</sup>/an.



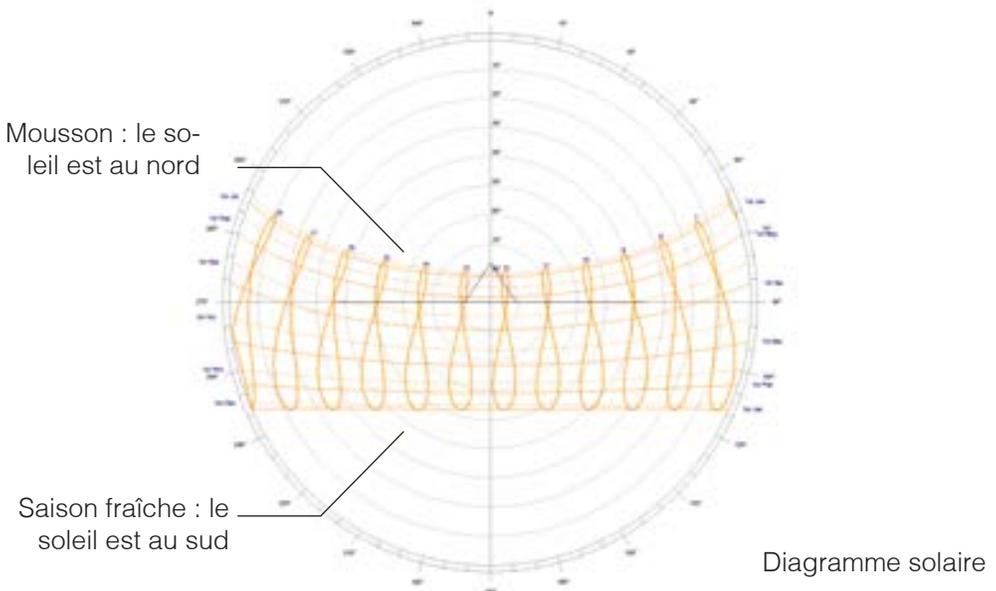
## \* ENERGIE HYDRAULIQUE

Le débit du fleuve Chao Phraya est de 883m<sup>3</sup>/s. Cependant, la navigation y est très dense, ce qui implique une attention particulière sur la manière d'en capter l'énergie.



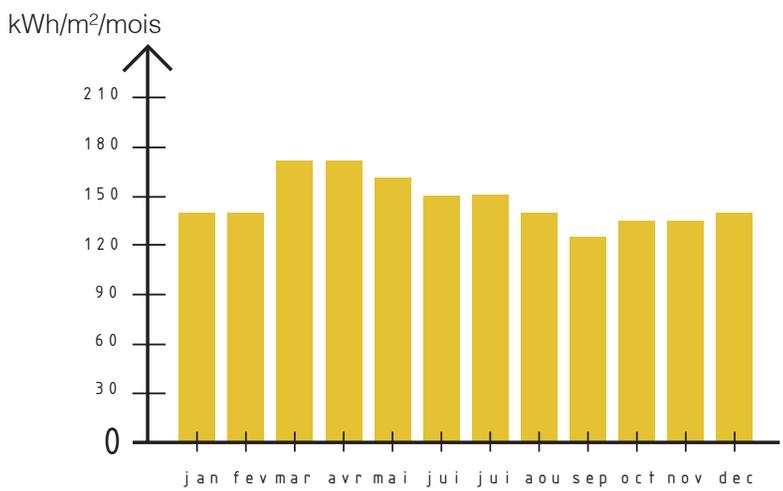
## \* BIOMASSE

Climat tropical : fort potentiel de culture, de phyto-épuration, possibilité de cultiver notamment en zone ombragée.



Le soleil est globalement haut tout au long de l'année. Au nord et au sud, il est relativement aisé de maîtriser les rayonnements très verticaux par protections horizontales de faible longueur, tandis qu'à l'est et à l'ouest, les parois verticales sont fortement soumises à la pénétration des rayons obliques durant la majeure partie de la journée.

Source : Ecotect analysis



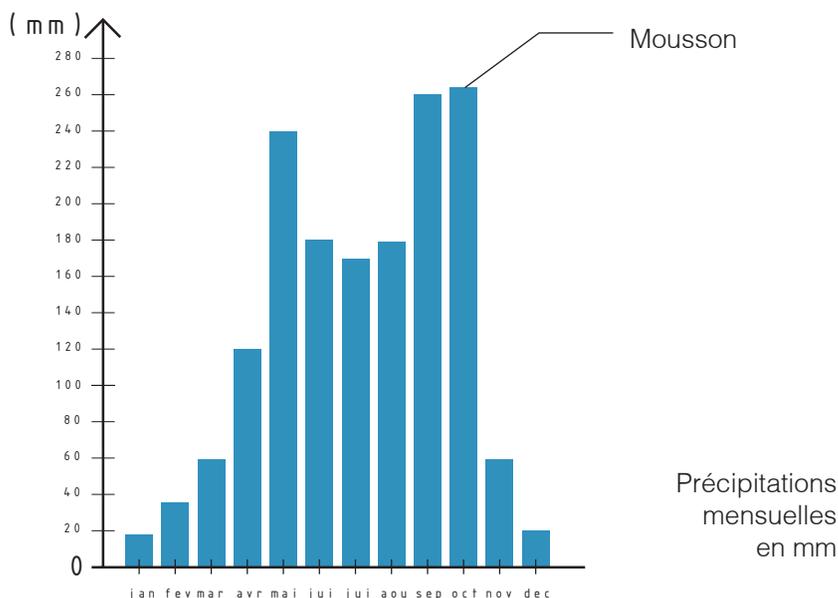
Rayonnement global mensuel.

L'intensité du rayonnement global au long de l'année est peu variable.

Source : Météonorm. Données 2005.

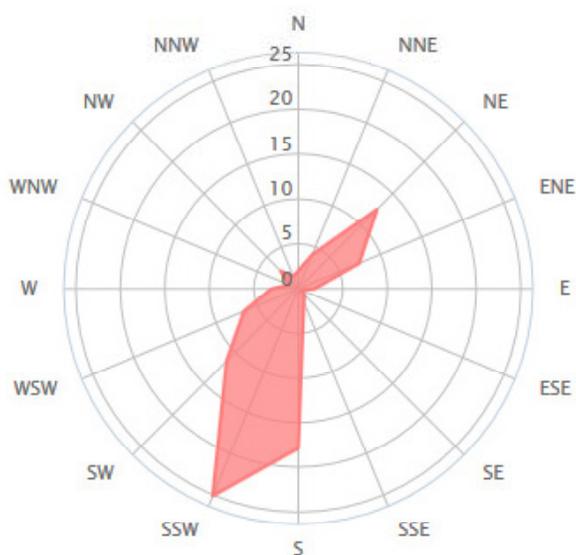
# Données et analyses climatiques

Soleil / Précipitations / Vents

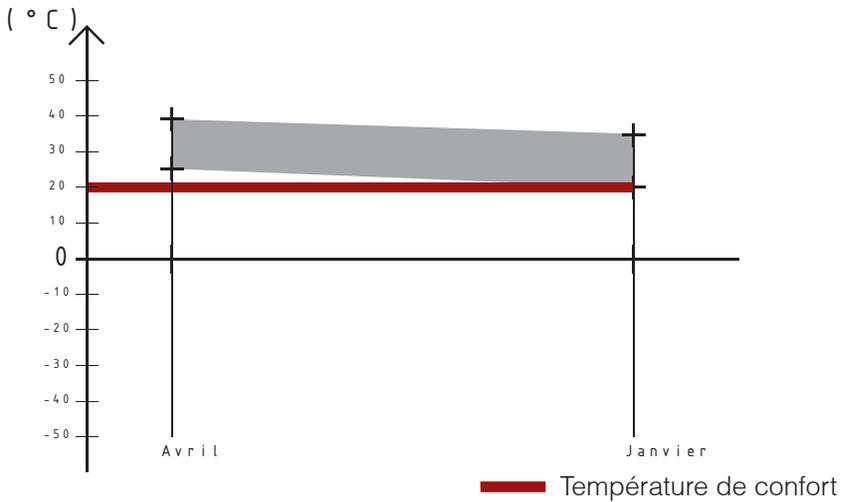


Le total annuel des précipitations est de 1600 mm, ce qui représente environ le double des précipitations parisiennes.

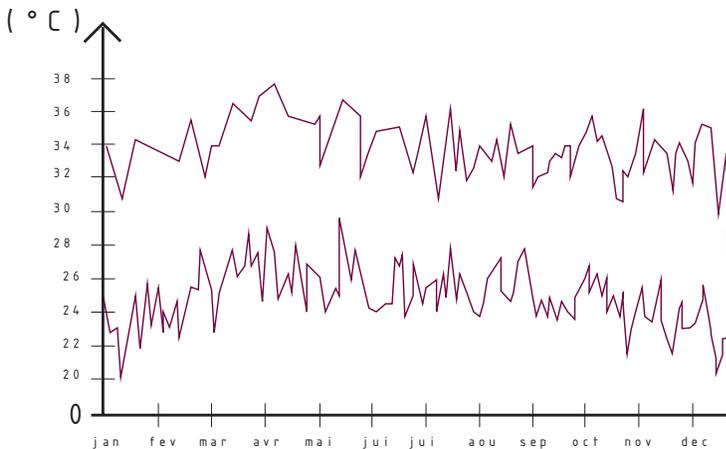
Source : Météonorm. Données 2005.



Source : Windfinder



Températures : Mois le plus chaud, mois le plus froid avec leurs températures minimum et maximum, et température de confort à 20°C.



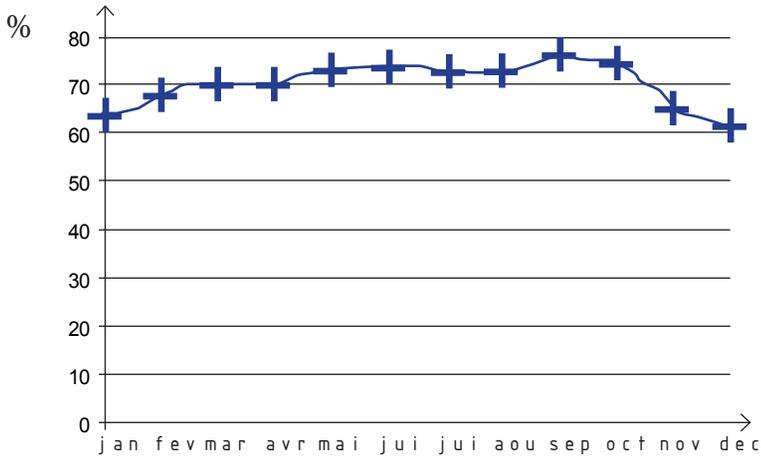
Températures journalières - minimales et maximales :

Faible différence en terme de températures au long de l'année. Celles-ci varient entre 19°C et 38°C.

Sources : Météonorm. Données 2005.

Par ailleurs, les écarts de température entre jour et nuit sont de l'ordre d'une dizaine de degrés au maximum.

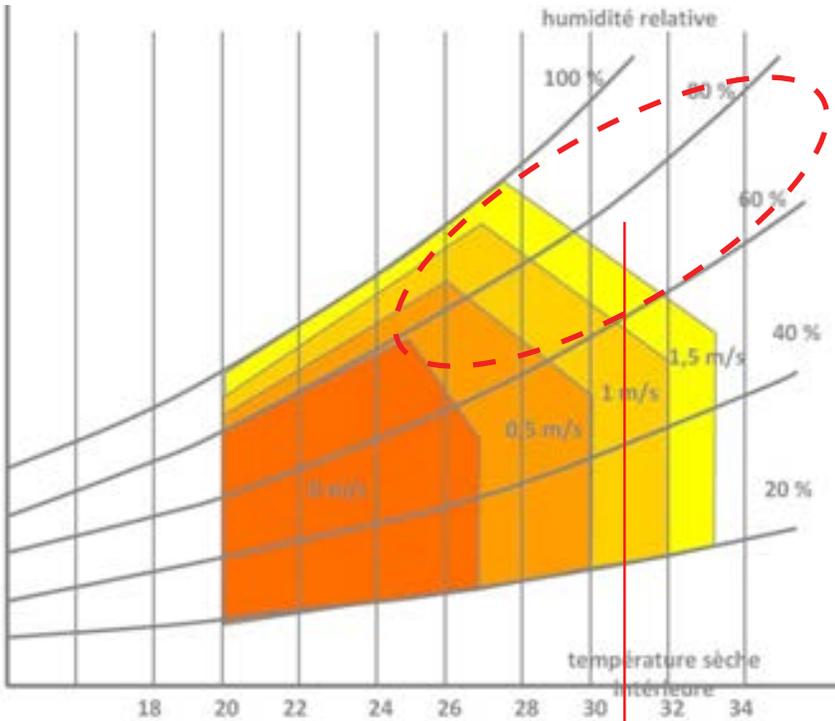
## Températures / Humidité de l'air



Humidité relative de l'air : moyennes mensuelles

Les taux d'humidité moyens oscillent, la plupart du temps, entre 60% et 75%, ce qui est supérieur à une situation confortable considérée entre 30% et 60%. Il est à noter également que l'humidité relative peut monter jusqu'à près de 100% la nuit lors de la mousson.

Sources : Météonorm. Données 2005.



Cas de Bangkok : besoin d'au moins 1,5 m.s de mouvement d'air lors de fortes chaleurs et de forts taux d'humidité.

Modèle de Givoni : Rapport entre humidité relative, température et besoin de mouvement d'air pour situation de confort thermique.

Un courant d'air est globalement perçu à partir d'une vitesse de 0,25 m.s en climat «d'été».

# Synthèse : vers une stratégie bioclimatique



L'ensemble des données climatiques permet de dégager des axes principaux vers une réponse architecturale :

Atténuation de l'inconfort lié à l'humidité et la chaleur, par maximisation de la ventilation naturelle, ainsi que protection contre les précipitations, le rayonnement solaire.

Au même titre qu'un vêtement adapté à un climat dit «lourd», la proposition architecturale répondant au climat de Bangkok considèrera l'air et l'eau comme éléments naturels fondamentaux de définition d'un habitat dans lequel il fait bon vivre, au coeur de la nature.



# **STRATÉGIES DU PROJET**

Intentions

Stratégies

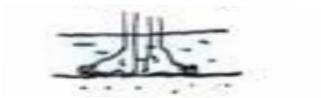
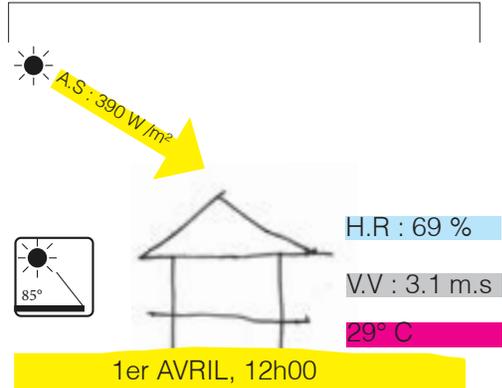
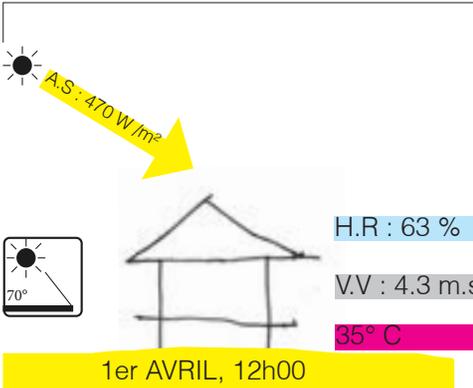
Concept bioclimatique

Spatialité et usages

Structure et matériaux

SAISON SECHE

MOUSSON



Précipitations  
avril : 120 mm.



Précipitations  
aout : 180 mm.

MARS --> MAI

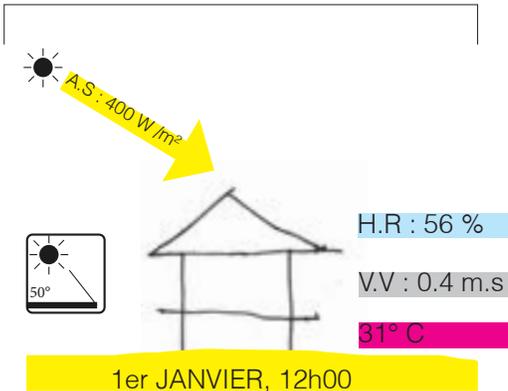
MAI --> OCTOBRE

# Storyboard climatique

Le climat de Bangkok est caractérisé par un découpage en trois saisons principales:

La mousson de mai à octobre, puis la saison «fraîche» de novembre à février et enfin la saison «sèche», de mars à mai.

## SAISON FRAICHE



Précipitations  
janvier :  
20 mm.

H.R :

Humidité  
relative

A.S

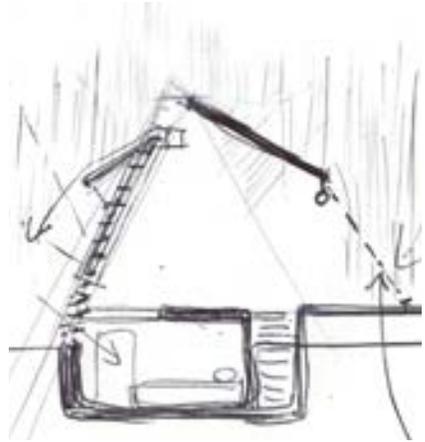
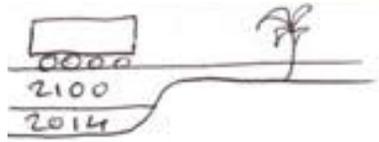
Apport solaire  
(rayonnement  
global)

V.V :

Vitesse  
du vent

NOVEMBRE --> MARS

\* PRINCIPE FLOTTANT

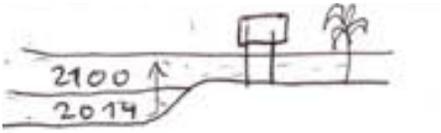


La «cale» d'une petite embarcation  
comme refuge de fraîcheur.

# Recherches

Une constante : la surtoiture ventilée

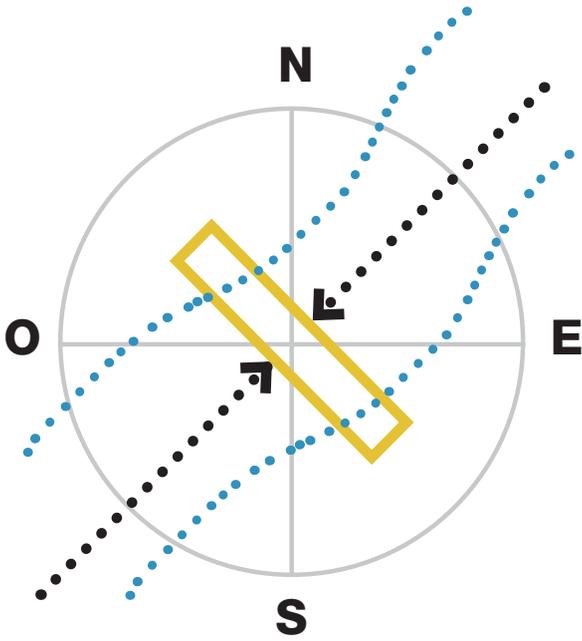
\* PRINCIPE HAUT SUR PATTES



Porosité des parois, rôle du textile,  
principe de voiles modulables  
d'occultation de la lumière et de  
l'intimité.

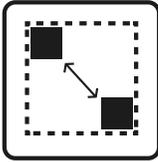
Intégration et mise en valeur de la  
collecte d'eaux pluviales dans la  
structure, inclinaison des parois  
extérieures pour capter l'énergie  
solaire à l'est et à l'ouest.

# Concept bioclimatique



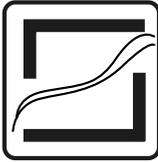
Orientation par rapport aux vents dominants : ventilation naturelle maximale.

# Stratégies



## \*ANTI COMPACITE

Eclatement des volumes : rapport volume intérieur / surfaces d'enveloppe dans lequel celles-ci sont maximisées afin de rendre l'habitat le plus poreux possible aux mouvements d'air.



## \* VENTILATION NATURELLE

Implantation Nord-est / Sud-ouest face aux vents dominants. Les vents sont suffisamment faibles pour favoriser une ventilation naturelle sans gêne excessive.



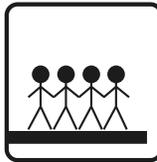
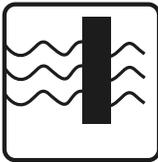
## \* RECUPERATION D'EAUX PLUVIALES

Volume élevé de précipitations mais une forte intermittence selon les saisons, à prévoir dans le système d'adduction des eaux.



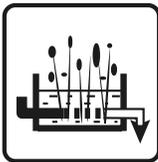
## \* PHOTOVOLTAIQUE

Le fort ensoleillement (1800 kWh/m<sup>2</sup>/an - donnée 2005), relativement constant au long de l'année, permet de capter le rayonnement solaire en toiture avec inclinaison des panneaux de l'ordre de 13°, latitude locale.



## \* HYDROELECTRICITE

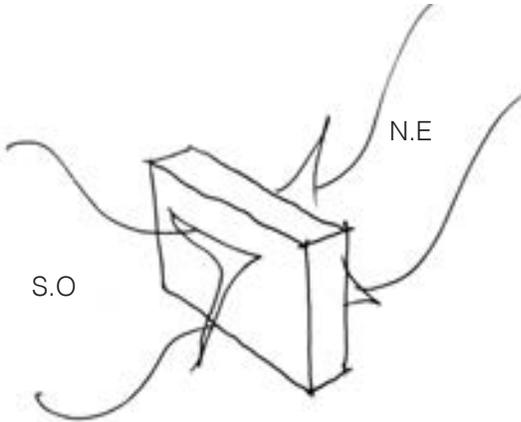
Fleuve Chao Phraya.  
Pico-centrale hydroélectrique «au cours de l'eau», d'une puissance installée de 20kW, partagée à l'échelle du quartier par une quarantaine de foyers.



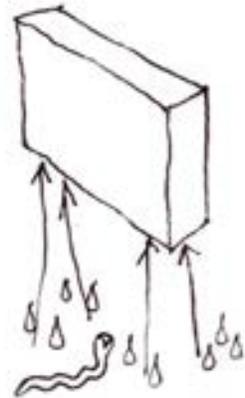
## \* PHYTO EPURATION

Bactéries, algues, phytoplancton, roseaux, massettes ou lentilles d'eau.

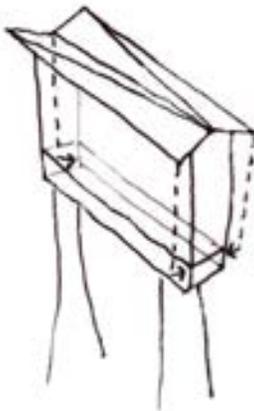
# Parti-pris architectural



*I. MAXIMISER L'APPORT  
DES VENTS DOMINANTS*



*II. S'ELEVER DU  
SOL*

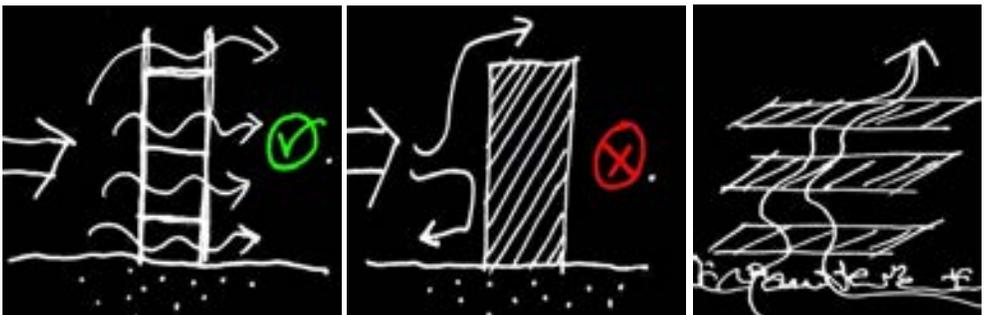


*III. SE PROTEGER ET  
COLLECTER LA PLUIE*

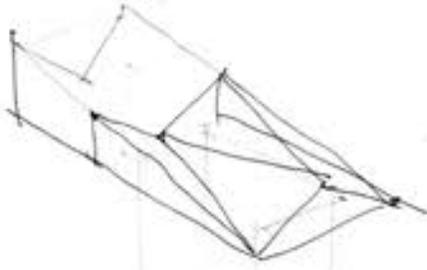
Une proportion étroite permet aux vents dominants de traverser le plus amplement l'habitation. Le dégagement par rapport au sol et l'importante toiture assurent une protection contre l'humidité et les intempéries. Les eaux pluviales sont acheminées depuis la toiture jusqu'au socle technique sous le premier plancher.



- Référence  
 Une cabane dans les airs.  
 « L'observatoire » (2007), © Tadashi Kawamata.

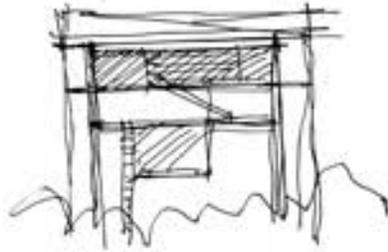
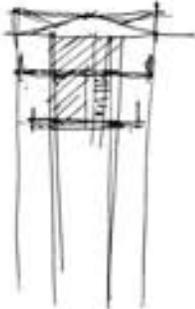


Principes de ventilation naturelle : ultra porosité des parois verticales et horizontales (planchers ajourés), éclatement des volumes (anti-compacité).



Prise au vent

Un pliage de toiture



Habiter la faible épaisseur?

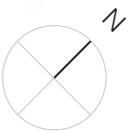
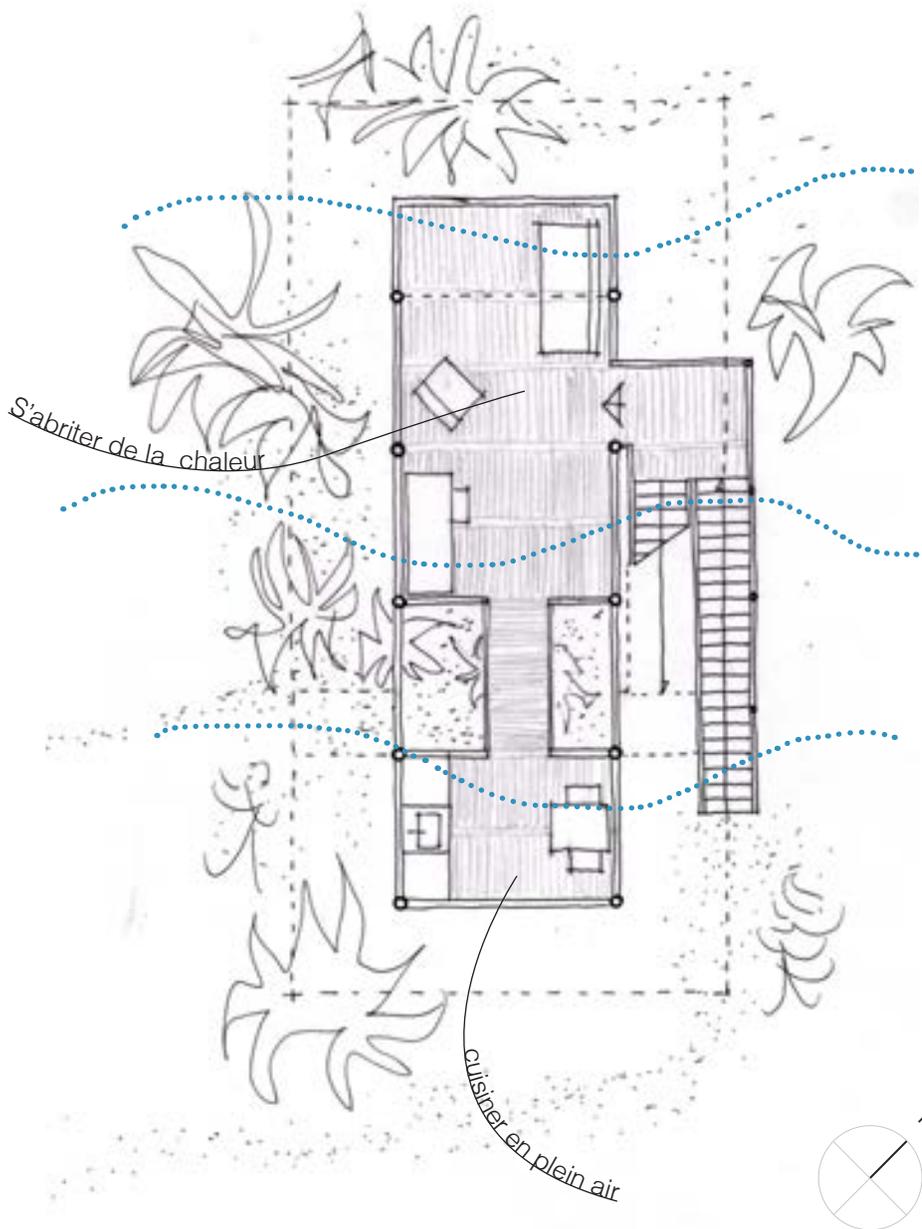


Vivre «à la verticale» ?

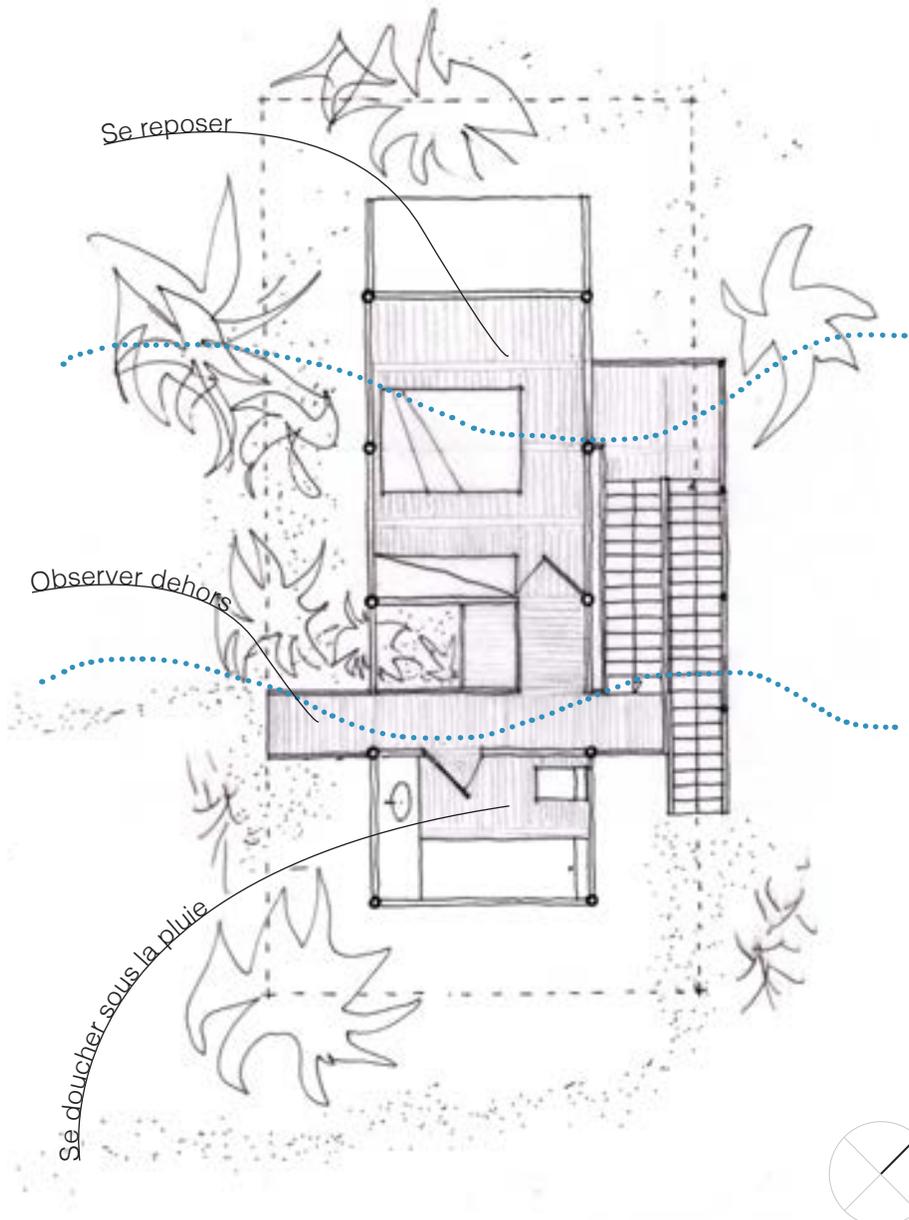
## Habiter la hauteur



Maquette d'étude : première mise au point structurelle.

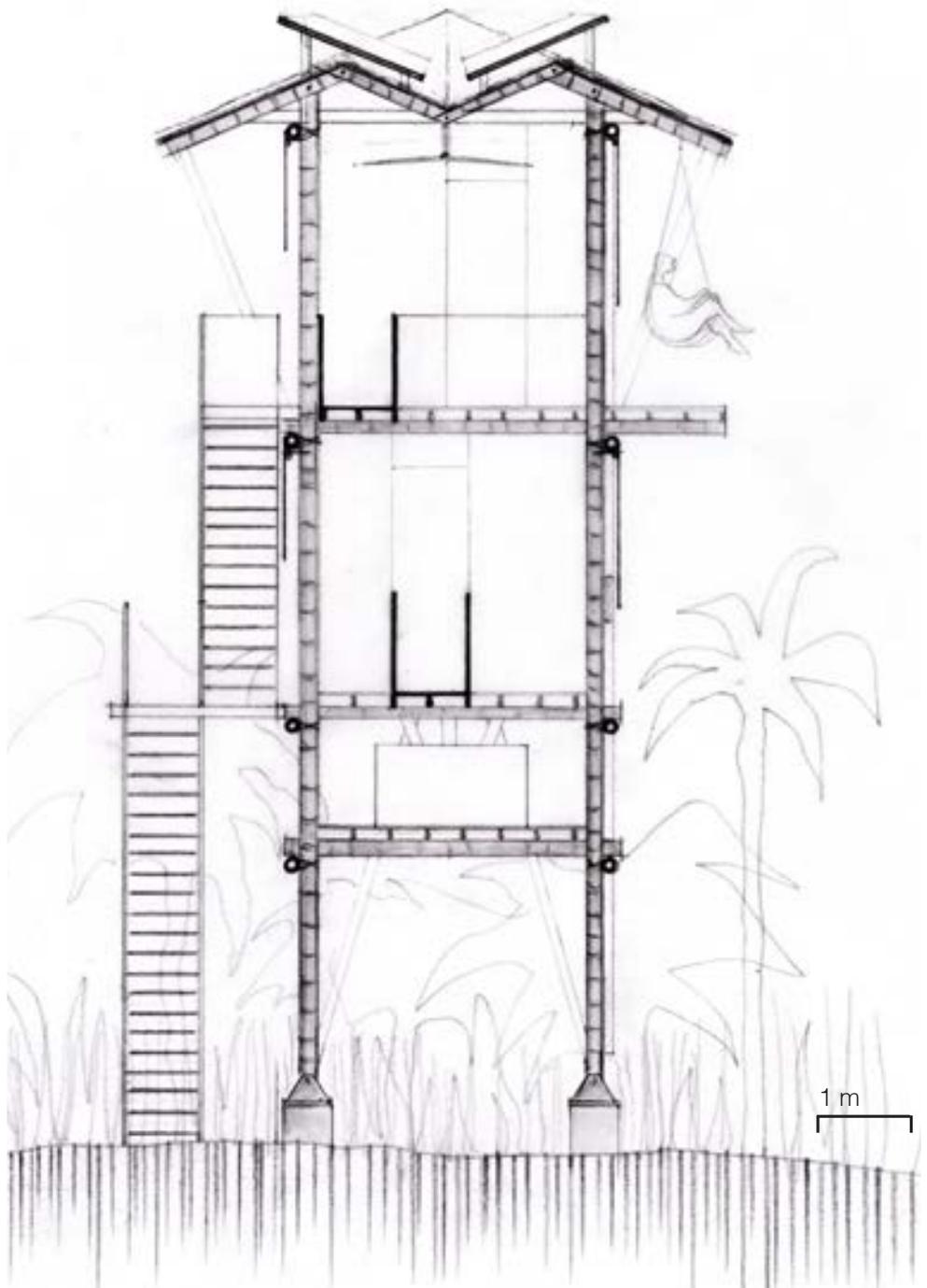


Plan niveau 1  
1 m



Plan niveau 2

1m



Coupe transversale S.O - N.E.

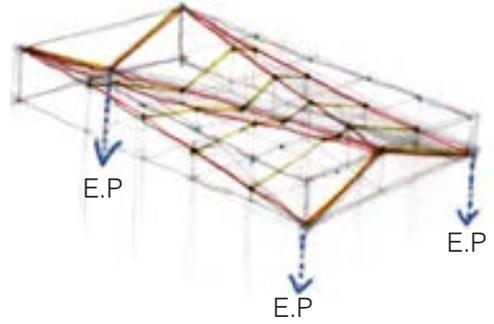
## Habiter la structure



Maquette finale, vue depuis l'ouest sur la double hauteur.

# Materiaux, construction, détail

Schéma structurel de la toiture et positionnement des descentes d'eaux pluviales.



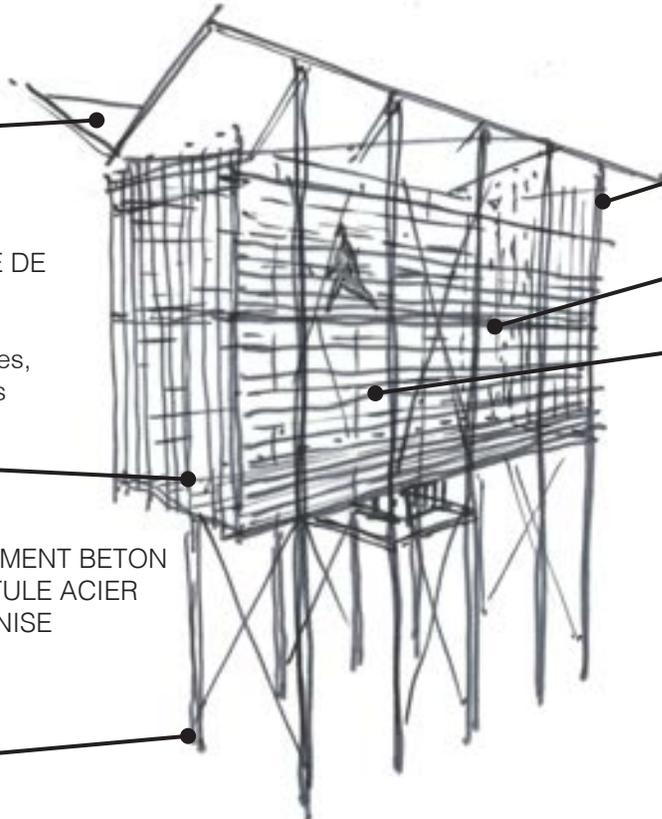
\* COUVERTURE BAMBOU



\* FIBRE DE COCO  
Nattes,  
carpettes,  
hamacs



\* PIETEMENT BETON  
ET ROTULE ACIER  
GALVANISE



Détail de façade toute hauteur à échelle 1:1  
vue partielle

0.5 m



\* OSSATURE BAMBOU

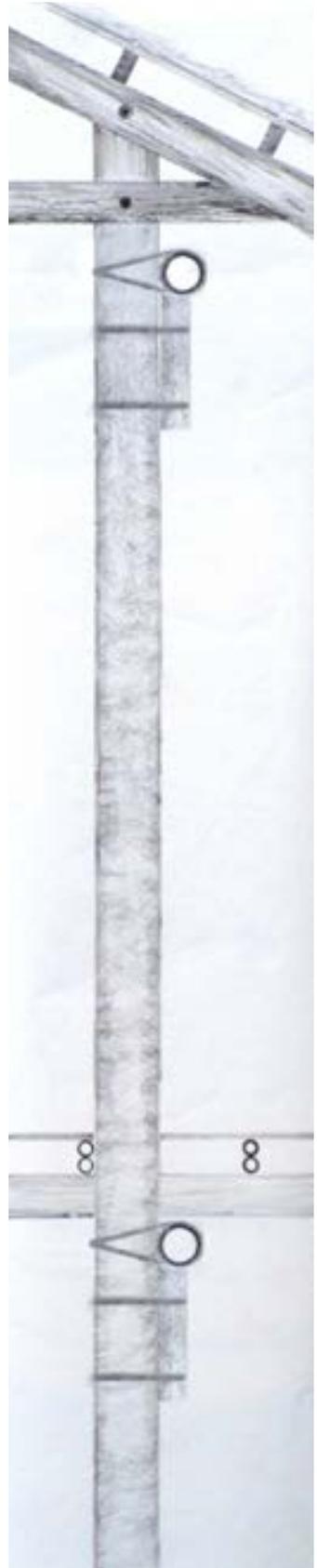
Poteaux  
Ø 200 mm.

Poutres, poutrelles  
Ø 130 mm.

Brise-soleils.  
Ø 30 mm.



La construction en bambou : un savoir-faire ancestral en Asie du sud-est.





# RÉPONSES ÉNERGÉTIQUES

Besoins  
Productions  
Comparatifs

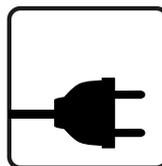
\*Un ventilateur plafonnier, à puissance maximale de 75W, peut générer un courant d'air allant jusqu'à 1,5 m.s, ce qui permet de créer une impression efficace de rafraîchissement, indispensable en climat chaud et humide.

---

BESOIN DE FROID



ECLAIRAGE,  
MATERIEL DIVERS



\*La douche semi-extérieure capte les rayonnements solaires au sud-est par un chauffe-eau placé en toiture.

BESOIN DE CHAUD



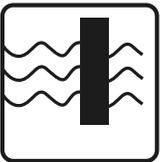
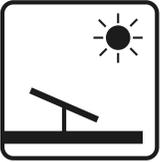
# Besoins énergétiques

Appareils	Quantité	Puissance unitaire (kW)	Temps d'utilisation/j pour 2 personnes(h)	Energie dégagée/jour (kWh/j)
Petit réfrigérateur	1	0,2kW	24h	4,8kWh/j
Grand ventilateur	1	0,07kW	12h	0,84kWh/j
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
Eclairage LED chambre	4	0,007kW	2h	0,056kWh/j
Eclairage LED séjour	15	0,007kW	3h	0,315kWh/j
Eclairage LED salle de bains	1	0,007kW	1h	0,007kWh/j
Eclairage LED cuisine	3	0,007kW	2h	0,042kWh/j
Eclairage LED circulations, passerelles	1	0,007kW	2h	0,014kWh/j
Téléphone	1	0,002kW	24h	0,048kWh/j
PC	1	0,015kW	3h	0,045kWh/j
PC	1	0,015kW	3h	0,045kWh/j
modem	1	0,009kW	24h	0,216kWh/j
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
plaques de cuisson	1	2kW	1h	2kWh/j
Douche solaire	1	2,8kW	0,5h	1,4kWh/j
<b>TOTAL</b>				9,8kWh/j
				<b>Soient 3587kWh/an</b>

Or la douche solaire consomme 510 kWh/an.

Les besoins en électricité représentent donc 3587-510 soient **3077 kWh/an**

# Production énergétique



Un mix énergétique, mêlant panneaux photovoltaïques sans stockage et raccord à une pico-centrale hydroélectrique permet d'éviter l'utilisation de photopiles au plomb ou au lithium, encombrantes et dont la fin de vie peut encore poser question en terme d'empreinte environnementale.

## **\*MIX PHOTOVOLTAIQUE-HYDROELECTRIQUE POUR COUVRIR 3077 kWh/an :**

TOTAL BESOIN P.V / jour à l'année = 2154 kWh/an

TOTAL BESOIN HYDRO / jour à l'année = 923 kWh/an

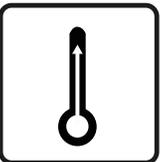
Par conséquent,  $2154 / 0,15 \times 1800 = 8 \text{ m}^2$

Avec un ensoleillement moyen de  $1800 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$  et un rendement de 15% des panneaux, **il faut 8 m<sup>2</sup> de panneaux**, ce qui représente moins d' 1/7 de la surface de la toiture.

(\*HYPOTHESE EN TOTAL PHOTOVOLTAIQUE POUR COUVRIR 3077kWh/an - non retenue

Avec un ensoleillement moyen de  $1800 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$  et un rendement de 15% des panneaux, il faudrait 11,5 m<sup>2</sup> de panneaux en toiture.

Par conséquent,  $3077 / 0,15 \times 1800 = 11,5 \text{ m}^2$  )

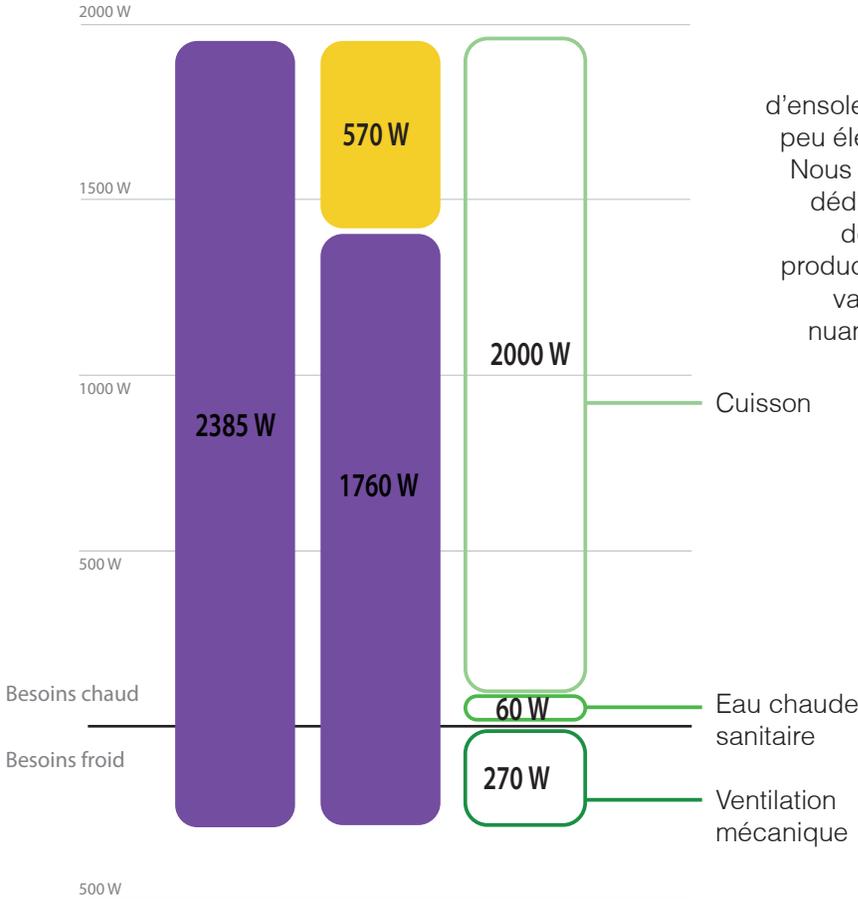


\*Enfin, un chauffe-eau solaire d'un rendement de 50% placé en toiture permettra d'assurer la production d'eau chaude sanitaire à 60°C sur une surface de captage de minimum 0,6 m<sup>2</sup>.

# Besoins et production d'électricité

Synthèse annuelle

TOTAL 2385 W



Les variations de température et d'ensoleillement sont très peu élevées à Bangkok. Nous pouvons donc en déduire une synthèse des besoins et des productions d'électricité valable, à quelques nuances près, tout au long de l'année.

Besoin froid, besoins chaud

Journée ensoleillée

Journée couverte

BESOINS



Besoins énergétiques

APPORTS / PRODUCTIONS



Hydroélectricité locale



Rayonnement solaire (valeur moyenne mensuelle)

# Besoins et production d'eau



		Quantité consommée/j pour 2 personnes
Boisson	1,7 l/p	3,4l
Cuisine	9 l/p	18l
Douche	30 l/p	60l
Ménage, lessive	15 l/p	30l
Vaisselle	12 l/p	24l
<b>TOTAL</b>		<b>135,4l</b>

Ces besoins sont estimés d'après le site [economiedenergie.fr](http://economiedenergie.fr) et le centre d'information sur l'eau [cieau.com](http://cieau.com).

Le besoin en eau est donc de 135 l par jour, soit environ 4m<sup>3</sup> par mois. Avec une toiture de 60m<sup>2</sup>, il est possible de récupérer en moyenne 8m<sup>3</sup> par mois.

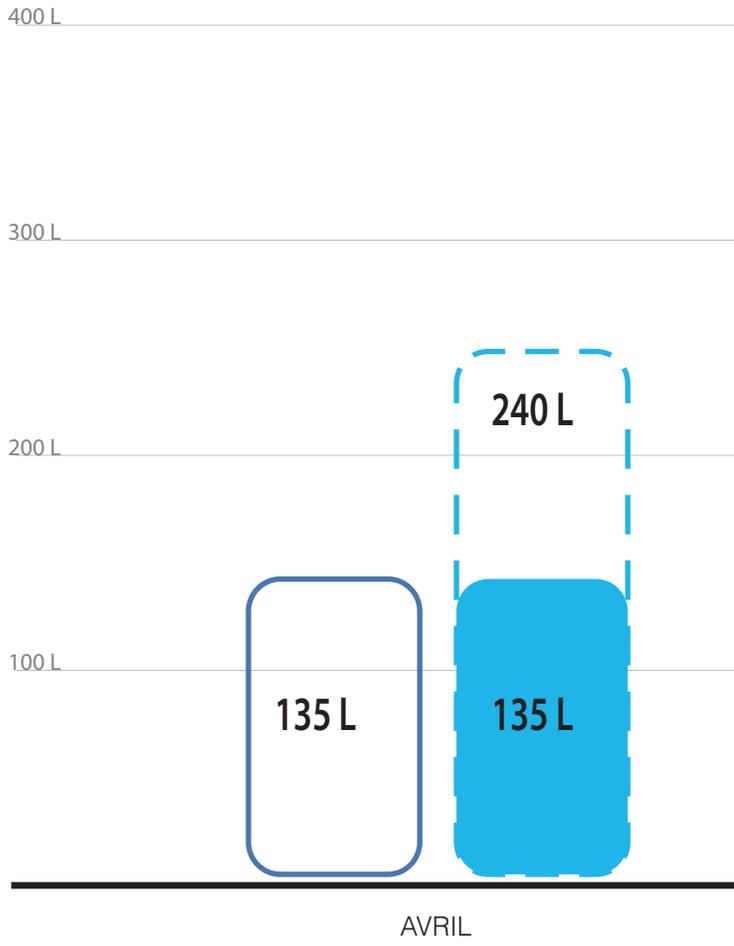
Mais il importe de considérer les forts contrastes de volumes de précipitations spécifiques au climat de Bangkok : en décembre par exemple, elles n'atteignent qu'une vingtaine de millimètres cumulés ce qui représente environ 40 l par jour.

Dans ce cas, il serait donc nécessaire de coupler l'installation d'eau sanitaire avec le réseau local.

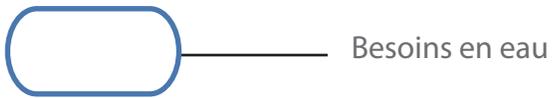
En revanche, aux jours les plus pluvieux, il est possible de récupérer jusqu'à 500 litres (ordre de grandeur. Base: septembre). Cet excédent pourra être réutilisé pour l'arrosage des cultures sous la structure.

Enfin, les toilettes sèches permettent d'économiser jusqu'à 80l par jour pour deux personnes.

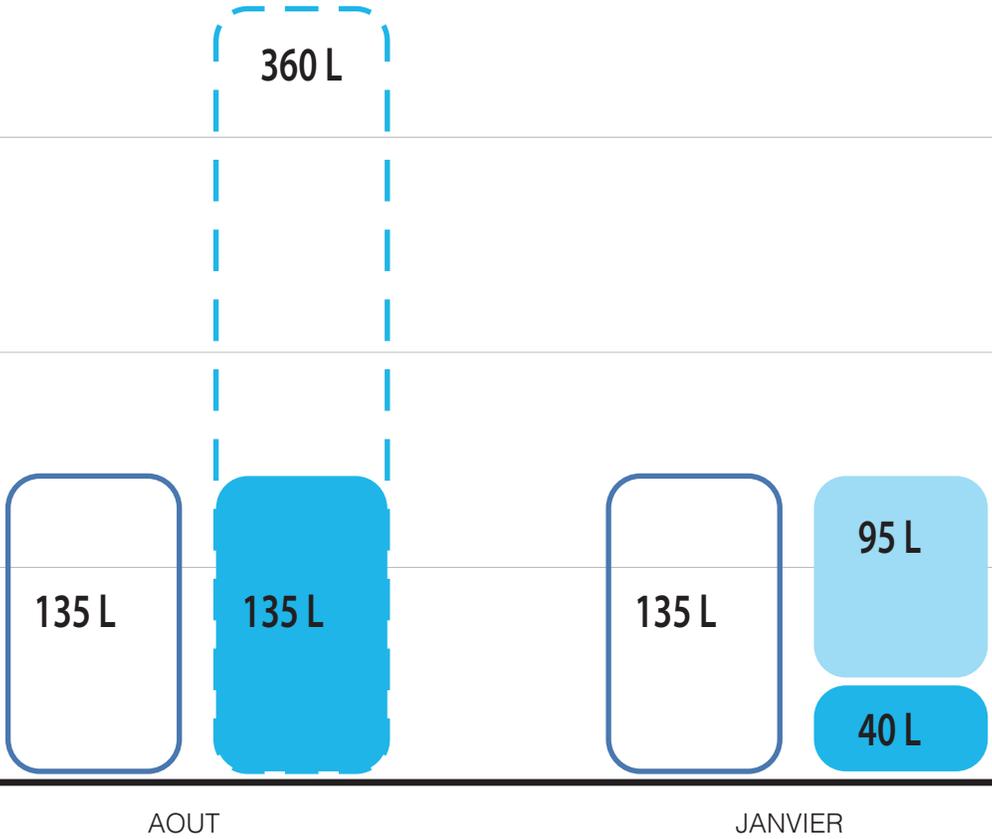




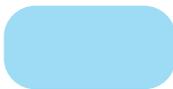
BESOINS



# Besoins et production d'eau par saisons



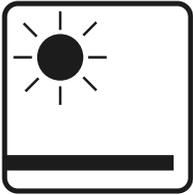
## RESSOURCES

-  Appoint sur réseau local
-  Eau récupérée des précipitations
-  Précipitations en excédent



# SYNTHÈSE

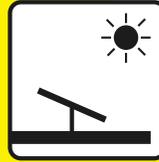
Diagramme de Sankey  
Conclusions



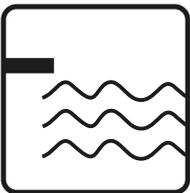
GISEMENT SOLAIRE  
ANNUEL  
1800 kWh/m<sup>2</sup>/an

1800x8 m<sup>2</sup> de panneaux  
=14400 kWh/an.

Panneaux  
photovoltaïques



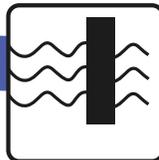
Pertes 85%



FLEUVE  
CHAO PHRAYA

Puissance estimée  
5300 MW

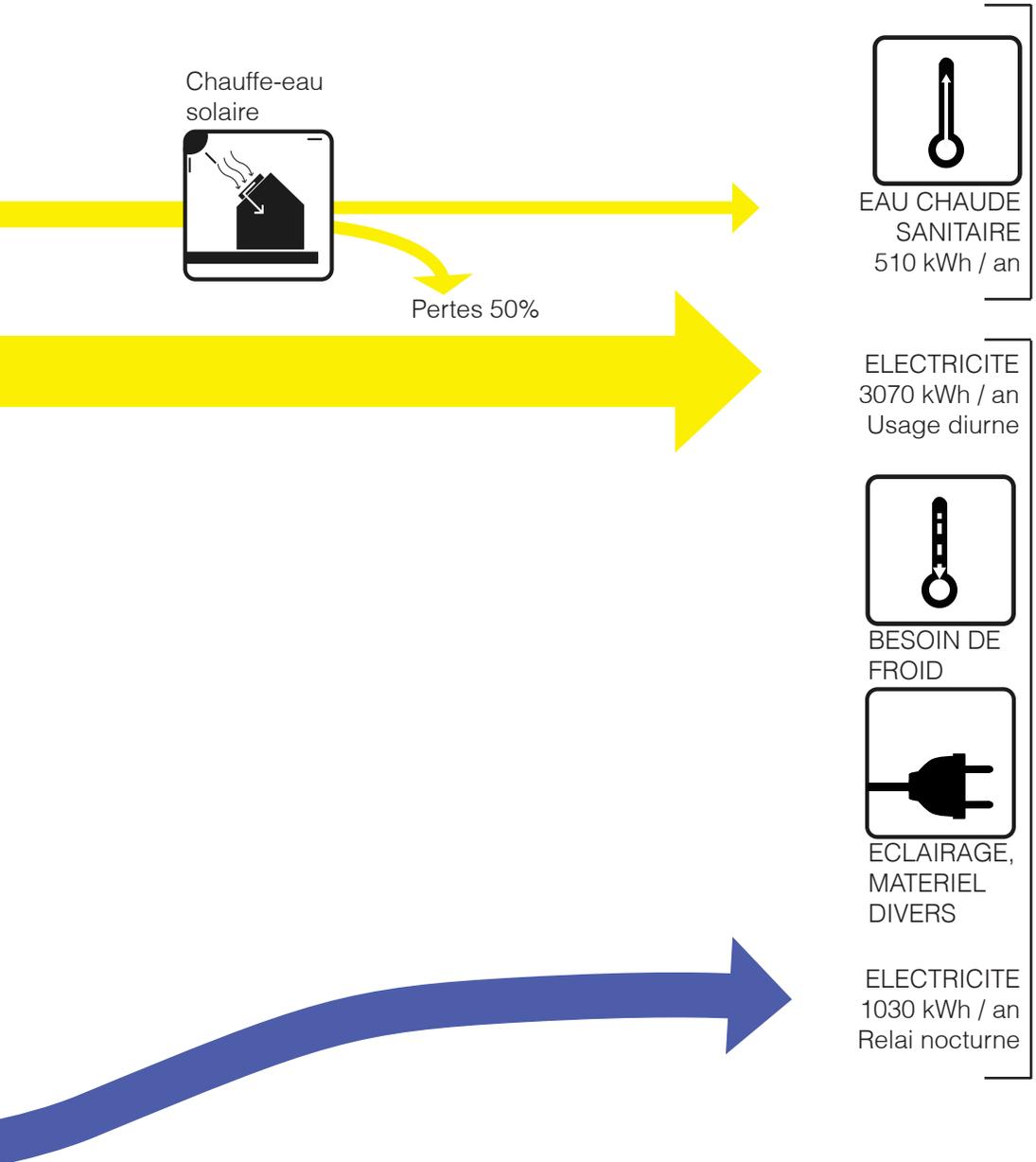
Pico-centrale hydroélectrique  
P<sub>max</sub> = 20kW = 175 200 kWh/an

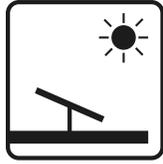


Pertes 20%

# Diagramme de Sankey

Production énergétique moyenne/jour : 500W



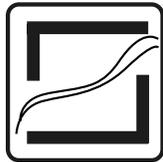


#### \* PHOTOVOLTAIQUE - 8m<sup>2</sup>

sans stockage.

Inclinaison optimale de 13°.

Possibilité d'augmenter cet angle afin de suivre la pente de la toiture (20°) à condition d'augmenter la surface de captage en conséquence.



#### \* VENTILATION NATURELLE

Ultra-porosité des parois verticales mais aussi horizontales, par le maillage ajouré des brise-soleils et des planchers.



#### \* RECUPERATION D'EAUX

##### PLUVIALES

Par trois descentes obliques reliant les points bas de la toiture et le socle de stockage sous l'habitat.

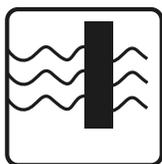
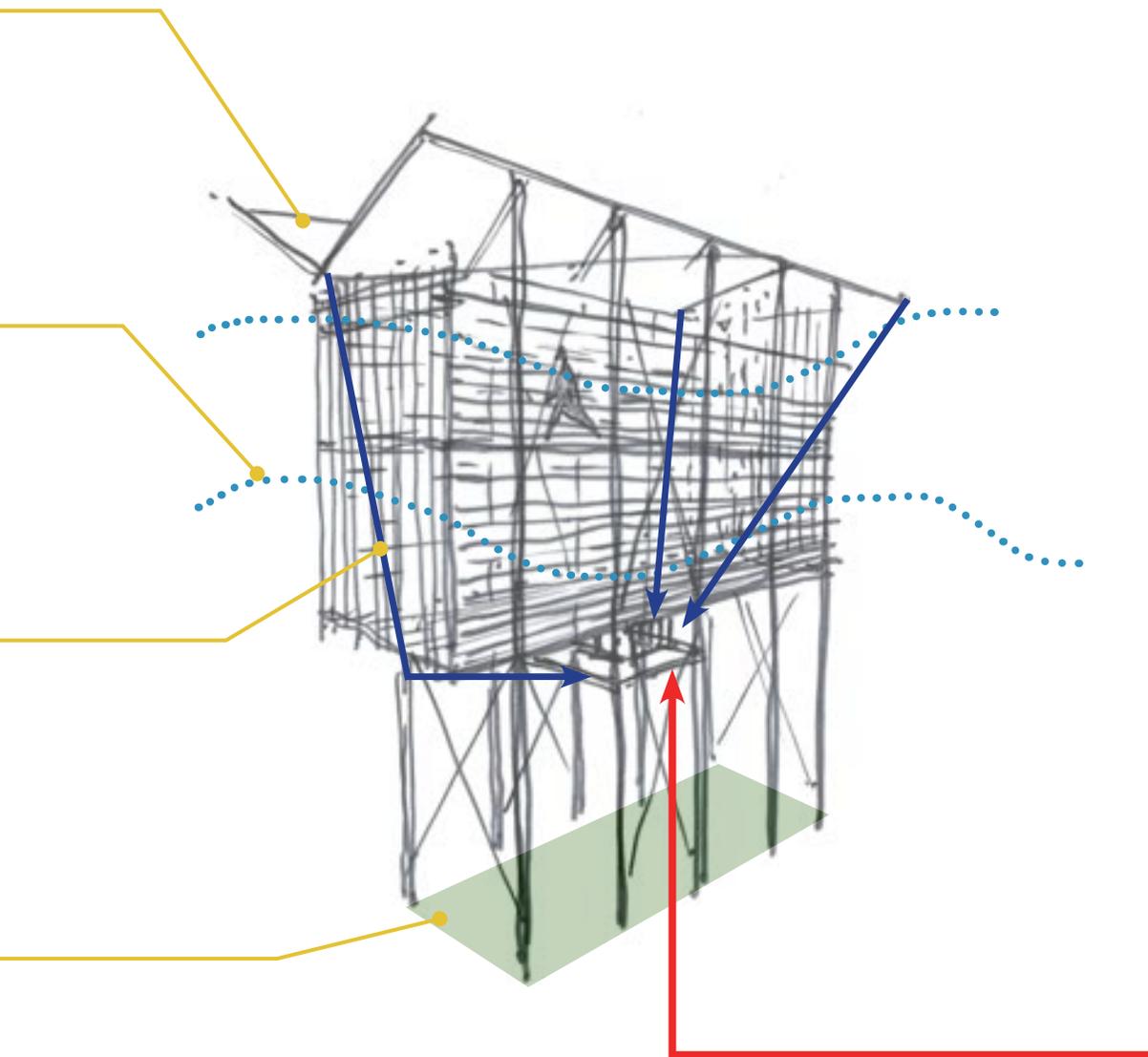


#### \* PHYTO EPURATION , CULTURES VIVRIERES. COMPOSTAGE.

Bactéries, algues, phytoplancton, roseaux, massettes ou lentilles d'eau.

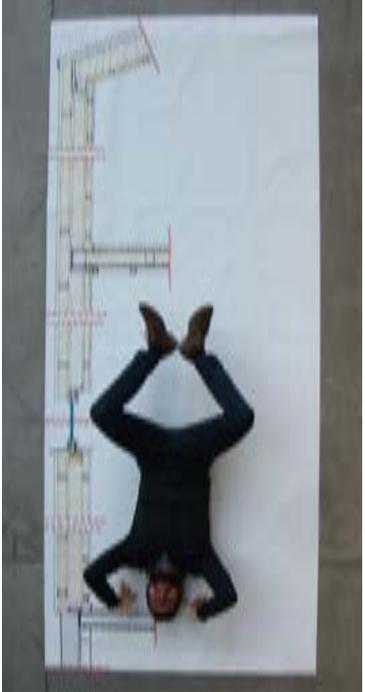
Bananiers, cacaoyers, poivriers.

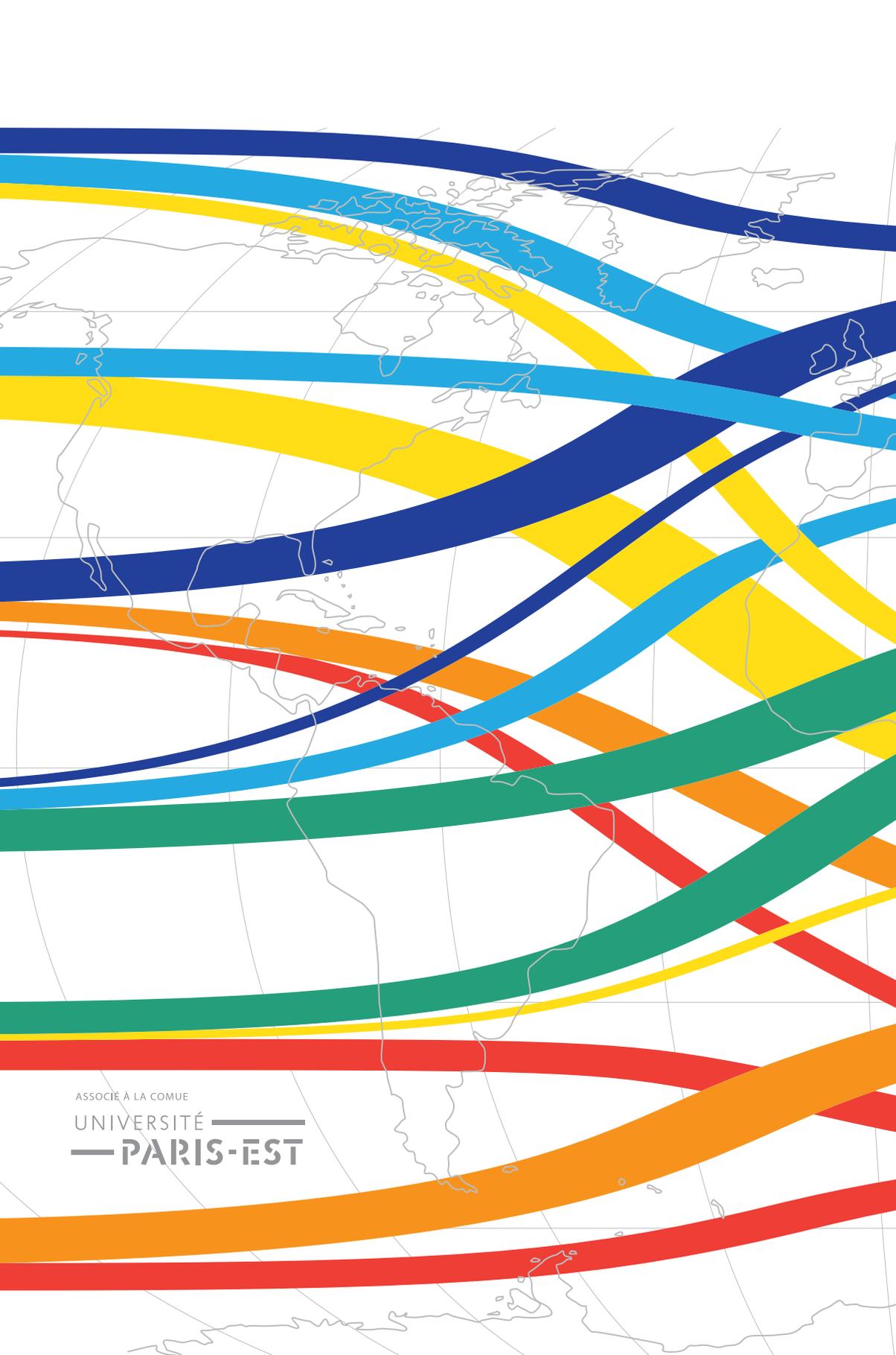
# Synthèse énergétique et bioclimatique



\* HYDROELECTRICITE  
Pico-centrale locale,  
puissance installée 20 kW.  
Alimentation nocturne







ASSOCIÉ À LA COMUE

UNIVERSITÉ —  
— PARIS-EST