

ECOLE  
NATIONALE  
SUPERIEURE  
D'ARCHITECTURE  
DE

PARIS LA VILLETTE



# SCIENCES ET TECHNIQUES POUR L'ARCHITECTURE

licence

3eme année Unité d'enseignement UEL5 14

## **MAITRISE DES AMBIANCES 3 THERMIQUES**

**COURS n°8**

**21dec 2012**

MARIA LOPEZ DIAZ

# sommaire

- Continuation : Rafraîchissement, techniques, exemples
- Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

# Rappel : rafraîchissement passif

**Techniques efficaces si elles sont mises en place conjointement avec les techniques de ventilation**

## **1. Par évaporation**

- Parcs et jardins
- Induction de l'air par des masses d'eau

## **2. Par radiation**

- 2.1 Toits froids
- 2.2 Toitures terrasses humides
- 2.3 Patios
- 2.4 Façades radiantes

## **3. Par conduction**

- 3.1 Surfaces froides
- 3.2 Tuyaux enterrés
- 3.3 Constructions enterrées

## **4. Par convection**

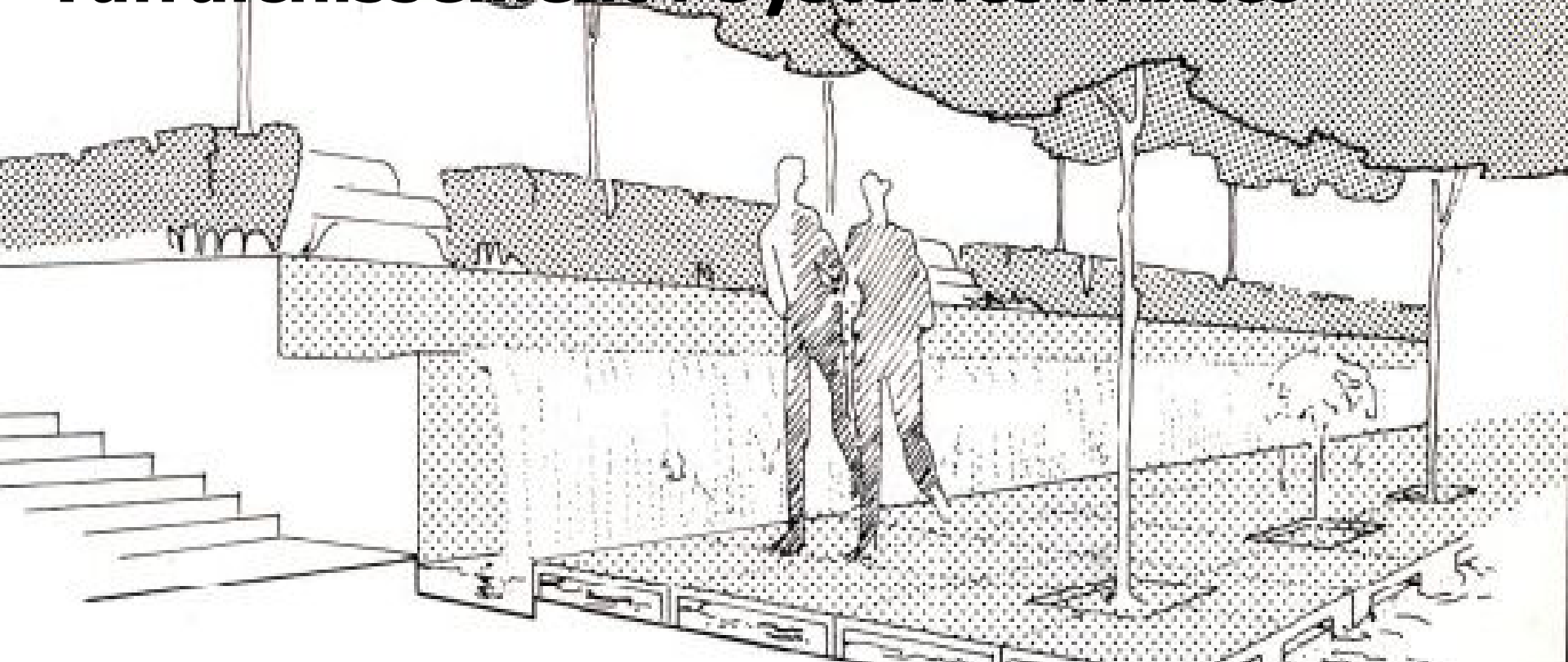
- 4.1 Ventilation nocturne

## **RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF**

**deux actions conjointes :**

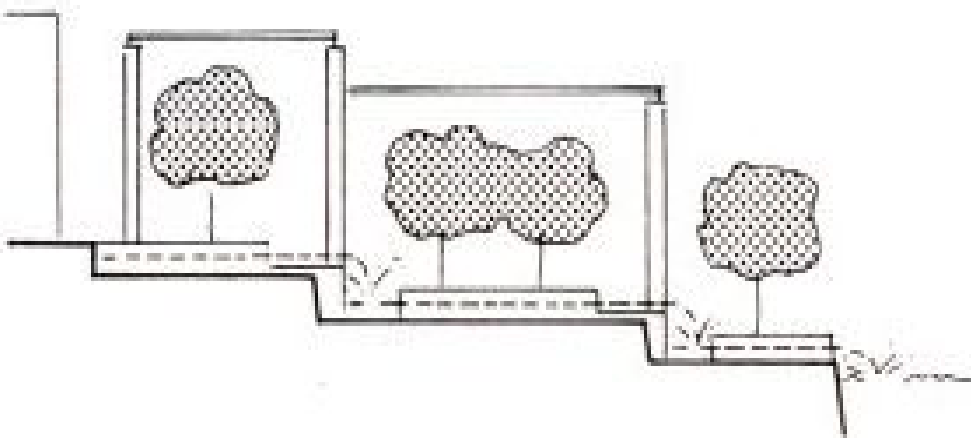
- **Limiter les apports thermiques : apports solaires, apports internes...**
- **Évacuer les apports thermiques vers d'autres milieux : eau, air extérieur, sol...**

# Conception des espaces extérieurs rafraîchissement : Systèmes mixtes



**Systèmes mixtes exemple:**

- Utilisent les températures plus basses en profondeur
- végétation
- ombre
- Ventilation
- Eau
- Conduits enterrés



## rafraîchissement passif

### L'ombrage à l'échelle urbaine

- La forme architecturale optimale dans un climat **chaud et aride** est celle qui stocke un minimum de chaleur en été et un maximum en hiver. Les tissus urbains se caractérisent par le concept de compacité verticale ou horizontale qui expose une surface minimale au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. Les ruelles longues et sinueuses, sont ombrées durant presque toute la journée
- Les maisons à patio, caractéristiques de ce climat, sont agglomérées densément et **leurs murs mitoyens limitent leurs surfaces d'exposition.**
- **Parfois, les pièces de l'étage sont en encorbellement au-dessus des ruelles**, offrant ainsi de l'ombre. Ces encorbellements permettent de régulariser le plan des pièces, ou les agrandir aux dépens de la rue, qui se trouve, de fait plus ombragée. Parfois, c'est une pièce entière qui est bâtie au-dessus de la rue qui devient plus profonde, **réduit le temps d'ensoleillement des façades et empêche le vent de chasser l'air frais nocturne.**

# Conception des espaces rafraîchissement par radiation

– Pour réussir des systèmes de re irradiation ou de radiation nocturne effectifs il faut disposer de conditions environnementales adéquates:

- Milieu propre pas contaminés,
  - secs,
- sans humidité excessive,
  - sans nuages ....

(Ses éléments absorbent et rendent à la terre l'énergie)

=

## Climats désertiques

## Conception des espaces

# Rafrâichissement par radiation :

## Toitures froides

- surfaces plus adéquates pour irradier vers la voûte céleste: **toitures terrasses**
- Les surfaces **plus émissives** en ce qui concerne les infrarouges seront les plus adéquates
- Les **émissivités plus hautes**, de l'ordre du 0.90 à 0.98 peuvent s'obtenir avec presque tout genre de finitions à l'exception des surfaces argentées, des surfaces « miroir » qui peuvent être de l'ordre du 0.05, métaux polis 0.25
- La **surface extérieur de la toiture terrasse va irradier ver la voûte céleste, principalement la nuit en se refroidissant**
- Si on fait circuler de l'air a travers cette TT il pourra être employé postérieurement pour rafraîchir
- pour plus de rendement on peut faire **circuler de l'eau (système similaire à un collecteur solaire ) en cumulant l'eau froide dans un réservoir...**L'eau peut passer par le sol ou le plafond radiant ou par une batterie ventilo-covecteur



# Conception des espaces rafraîchissement par radiation : Toitures froides

Puissance de refroidissement:

$$\text{puissance de re irradiation} \\ = \\ \text{radiation} + \text{convection} - \text{récupération}$$

Récupération = énergie qui est absorbé par les particules de l'atmosphère qui radient vers la terre

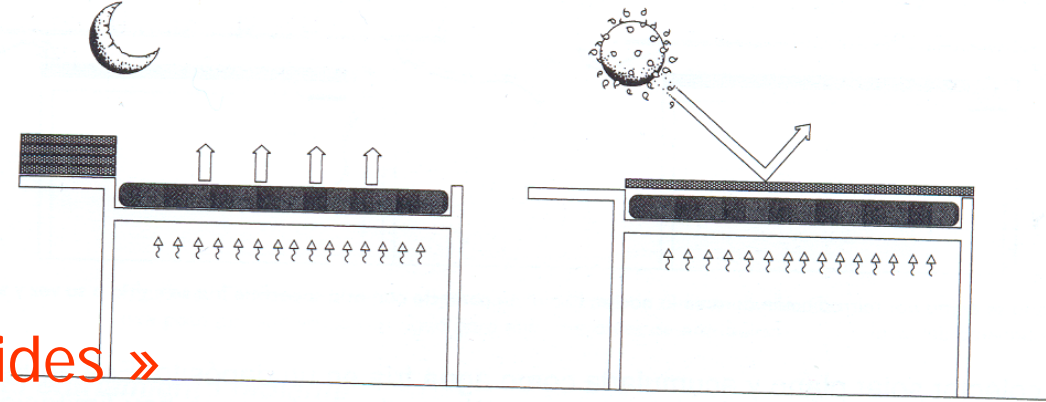
On peut évaluer 50% l'énergie émise par la surface d'origine (comme s'il s'agit d'un corps noir parfait)

# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement passif

### 2.Par radiation

#### 2.2.Toitures terrasses « humides »



- Pour profiter de la **radiation nocturne** pendant la journée il nous faut une matière qui puisse cumuler le froid qu'on a obtenu

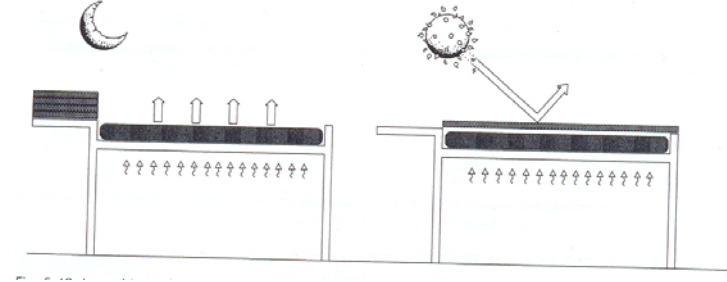
Technique simple: les sacs noir remplis d'eau sur la toiture....

puissance de rafraîchissement (conditions optimales)  $85 \text{ W/m}^2$   
utilisables pendant les 8 heures nocturnes... le jour on couvre les sacs pour qu'ils ne se réchauffent pas

En 8 heures on peut obtenir une puissance de rafraîchissement de :  
 $8 * 85 = 680 \text{ Wh/m}^2$  qu'il faut utiliser pour rafraîchir légèrement un volume d'eau important

# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement passif



- Par radiation tt « humides »

Si 20 cm d'épaisseur

Inertie thermique de cette eau:

Vol.r.c

$$200\text{l/m}^2 * 1\text{kg/l} * 4180\text{J/kg}^\circ\text{C} = 836000\text{J/m}^2 \quad (232,22\text{Wh/m}^2)$$

$$\text{Différence de température} = \frac{\text{puissance de rafraîchissement}}{\text{Inertie thermique}} = \frac{680}{232.22} = 2.9^\circ\text{C}$$

Cela permet que les sacs se refroidissent la nuit ( on peut améliorer le processus en le mouillants ... + rafraîchissement par évaporation .)

$$\frac{680 \text{ Wh/m}^2}{16} = 42.5\text{W/m}^2$$

16 heures

puissance réduite qui est intéressante si le bâtiment est bien isolé et protégé des surchauffes

# Conception des espaces intérieurs et extérieurs

## rafraîchissement passif

### 2.3. Patios

- *Un grand nombre des maisons qui bordent le bassin méditerranéen sont organisées autour d'un patio. Cela est vrai pour l'Andalousie, la Grèce, le sud de l'Italie, les pays de la méditerranée, et particulièrement pour l'Afrique du Nord.*
- *Les origines de cette organisation spatiale sont très anciennes. A la suite de la maison grecque, la maison romaine disposait généralement de deux cours intérieures. Mais c'est avec l'arrivée de la civilisation arabo-musulmane en Afrique du nord, que la maison à patio a connu son apogée, répondant à la fois à des exigences sociologiques, culturelles, **et thermiques***



## rafraîchissement passif

### • 2.3. Patios

- *Les valeurs d'intimité président à cette conception de l'habitat.*
- *Il s'agit de privilégier l'être, et non le paraître.*
- *Sur le plan thermique, la maison à patio est particulièrement bien adaptée au climat chaud et semi-aride.*
- *Le patio jouit d'un microclimat plus tempéré que le climat extérieur, et joue ainsi le rôle d'un espace tampon entre l'intérieur de l'habitation et l'ambiance extérieur.*
- *Particulièrement en saison chaude, il propose des solutions thermiques sans contradiction avec la vie des gens, leurs traditions, et leur système de croyance*
- *Les schémas de la modernité constituent une menace pour ce type de maison. En Égypte par exemple, elles n'existent pratiquement plus que sous forme de vestige d'une époque révolue*
- *Ref bibliog. Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012) 399 – 405 399 Performance énergétique d'une maison à patio dans le contexte maghrébin (Algérie, Maroc, Tunisie et Libye)*



# Conception des espaces intérieurs et extérieurs

## rafraîchissement passif

### 2.3. Patios

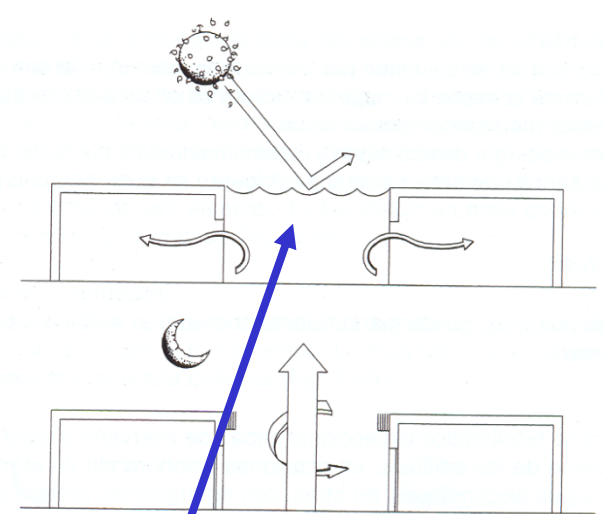
Outil bioclimatique exceptionnel

Qui est susceptible d'intervenir direct ou indirectement dans le confort des bâtiments en améliorant certaines stratégies bioclimatiques ou en créant certaines

Patio andaluz : végétation, eau et radiation nocturne + conservation de l'air frais...

L'air ne produit pas de radiation: pour qu'il se refroidisse il faut le mettre en contact avec une surface froide...

Après il faut pouvoir le conserver...ou le vent du matin ne l'emporte pas: Patio fermés qui rafraîchissent les chambres connexes



# Conception des espaces intérieurs et extérieurs

## rafraîchissement passif

### 2.3. Patios

- Les habitants du bassin méditerranéen savent que la température des patios en été est inférieure de celle de la rue...alors pourquoi mettre en place des climatiseurs qui chauffent les espaces extérieurs au delà des consommations énergétiques et d'une utilisation d'énergie non renouvelable..ref bibliog Universidad de Sevilla Juan Manuel Rojas a développé un outil mathématique qui pour la première fois quantifie le comportement complexe des patios (voir revue Energies)
- « dans ces espaces se produisent un mélange de phénomènes
  - **stratification** (l'air chaud , plus léger monte, l'air froid descend)
  - **Convection** : les murs réchauffés pendant le jour envoient l'air chaud vers le haut
  - En **fonction de la géométrie** des mouvements d'air
  - On étudie le climat local, température, vents, humidité, géométrie du patio, matériaux constitutifs (tous n'absorbent pas la même radiation..)
  - L'outil transforme ces données en permettant de visualiser le comportement au fil des heures
- Cet outil permet de quantifier les avantages thermiques des patios
- L'inefficacité des résultats de certains atrium aurait, d'après ces chercheurs, son origine dans le fait qu'on les calcule selon l'hypothèse que la température de l'air extérieur est la même que celle de l'air intérieur... ce qui est faux!

L'outil a été testé dans un hôtel à Malaga , qui prend en compte des stratégies thermodynamiques. **Pour climatiser l'hôtel on prend de l'air du patio qui serait 9°C plus frais que l'air extérieur!**

# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement passif

### 2.4.Façades radiantes

Façades = moins efficaces en ce qui concerne le rafraîchissement par radiation du moment qu'elles ne sont pas face à la voûte céleste.

Malgré ceci elles sont utilisées découvertes la nuit

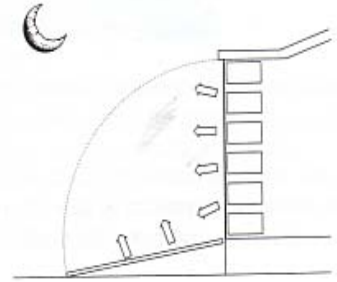
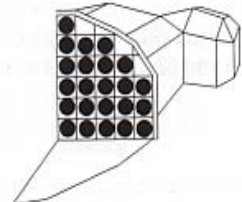
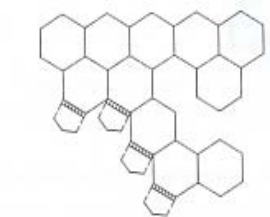
Un des premiers bâtiments avec rafraîchissement nocturne passif :  
Maison de Steve Baer

Substitution des façades conventionnelles par des grandes étagères ou on place des bidons d'huile pleins d'eau. Pour faciliter la radiation, des couvercles de ces façades composés de surfaces réfléchissantes, s'ouvraient jusqu'au sol, pour par réflexion, envoyer la radiation des bidons au ciel

L'eau des bidons se refroidissait la nuit et le matin on levait les couvercles en les isolant et en rafraîchissant les pièces...



**Maison de Steve Baer, Corrales, Nouveau Mexique, 1972**  
**maison innovatrice visant l'atteinte de l'indépendance énergétique par rapport aux réseaux de distribution travail avant-gardiste dans la mesure où forme et fonction y étaient subordonnées à une conception inédite de la production et de l'utilisation de l'énergie**



maria lopez di:





**Maison Baer à Corrales, Nouveau Mexique 1972**

Des bidons d'eau derrière des baies vitrées en façade Sud servent de stockage thermique  
Des panneaux devant les vitrages servent de réflecteurs afin d'augmenter les apports solaires pendant la journée et d'isolant thermique quand ils sont fermés la nuit.

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement passif

**principes de l'architecture solaire passive établis dans le Nouveau Mexique pendant les années 70.**

**L'objectif était de concevoir un bâtiment qui pouvait capter et stocker l'énergie solaire et ensuite la distribuer quand il y avait le plus besoin en soirée et pendant la nuit.**

L'énergie solaire devait couvrir la quasi-totalité des besoins de chauffage, sans créer des problèmes de surchauffe pendant les heures de fort ensoleillement en hiver et pendant les mois chauds de l'été. Il a fallu introduire une masse thermique suffisante pour emmagasiner la chaleur le jour et trouver des systèmes d'isolation thermique adéquats pour les parois opaques et aussi pour les grandes parois vitrées.

Les équipements mis en oeuvre dans la maison Baer, semblent excessifs, mais il a fallu expérimenter différentes solutions avant de proposer des systèmes facilement reproductibles.

On peut mentionner une difficulté supplémentaire posée par le manque de masse thermique dans les maisons conventionnelles américaines qui sont construites avec une ossature en bois, revêtue des panneaux de plâtre ou de bois.

Donc, il a fallu trouver un moyen pour apporter la masse thermique nécessaire. L'utilisation des bidons d'eau exposés au soleil était une bonne solution adaptée d'une technique expérimentée déjà en France (voir le mur Trombe au chapitre suivant). Dans la pratique, les bidons en acier avaient tendance à fuir et la surface circulaire de la base exposée au soleil était insuffisante par rapport au volume d'eau. ... les méthodes de simulation thermique adaptées à de tels systèmes sont venues plus tard.

# rafraîchissement passif

## **3. Par conduction**

3.1. Surfaces froides

3.2. Tuyaux enterrés

3.3. Constructions enterrées

# rafraîchissement par conduction

La conduction est la transmission de chaleur entre deux solides en contact.

**Le rafraîchissement par conduction** Se produit lorsque les corps perdent de la chaleur par conduction. Pour cela il faut pouvoir avoir des surfaces froides en contact avec un des parements

plus on enterre les constructions plus la température du sol est constante

couches superficielles: variations journalières

couches profondes variations annuelles

***Stratégie : avoir un ou plusieurs murs à une profondeur donné pour rafraîchir par conduction***

## Conception des espaces intérieurs

# rafraîchissement par conduction

Madrid

juillet

1 m de profondeur température entre 21.3 et 27.3°C

6°C de variation pour des températures extérieures de 31.1]

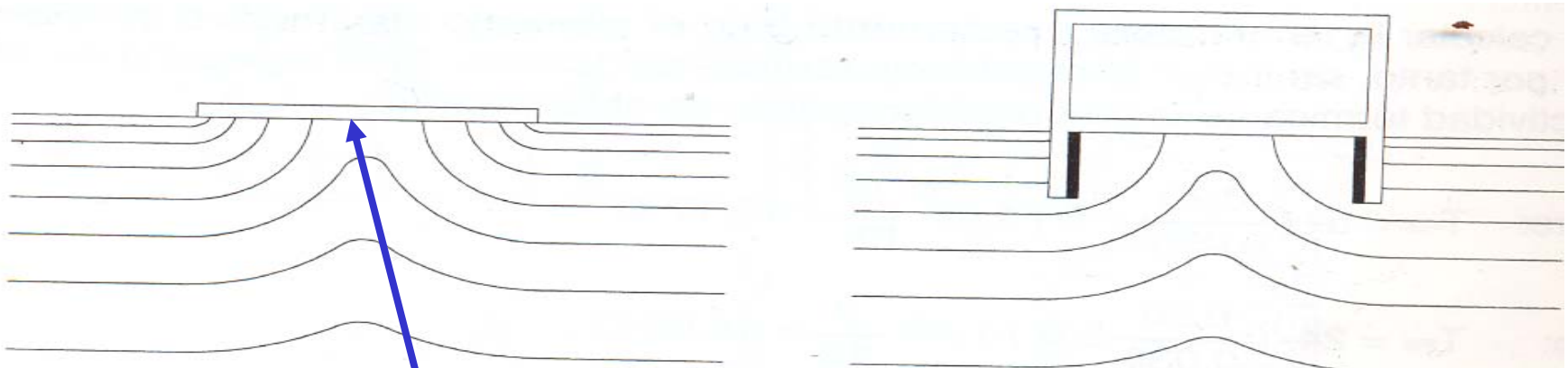
à 5 m de profondeur variation journalière de 1°C

cette même stabilité mais toute l'année: 9 mètres de profondeur: 3eme sous-sol température stable de 13.9°C

les parois en contact avec ce sol prennent par conduction des températures plus fraîches en été ...en plus elles sont protégées des radiations solaires

## Conception des espaces intérieurs

# rafraîchissement par conduction : surfaces froides



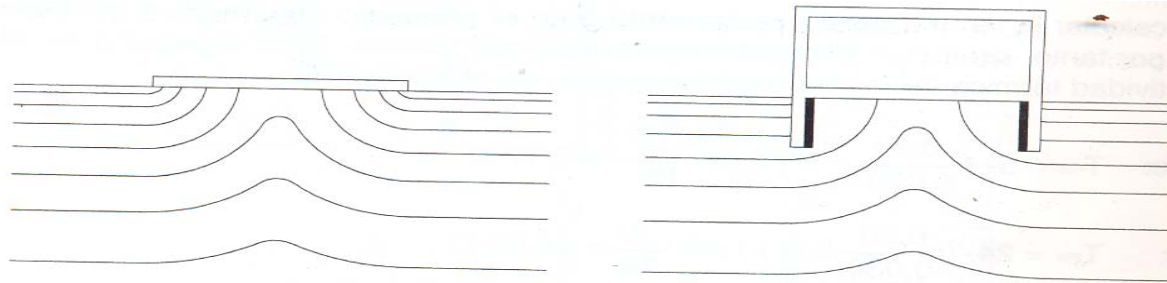
*Surfaces refroidies par le sol. Effet des surfaces isolées sur le « gradient terre »*

- Effet de couverture isolante horizontale qui produit une différence horizontale de température des bords jusqu'au centre
- La profondeur détermine la réduction de la température

*Obtention d'un point froid semblable a celui qu'on peut obtenir avec un parement vertical enterre à grande profondeur*

*Pour obtenir une température presque uniforme sur toute la surface ,équivalente presque à celle du centre il faut isoler thermiquement le périmètre avec des éléments verticaux qui réduisent l'effet de bords*

# rafraîchissement par conduction : surfaces froides



**Pour des éléments constructifs d'au moins 10m de diamètre on peut faire des calculs analytiques qui permettent de calculer la température du point moyen pour chaque jour de l'année**

$$T_{pm} = T + \Delta T$$

**Il s'agit d'une valeur , mesurée a une certaine profondeur I, qui correspond a la température moyenne du jour + un  $\Delta T$  qui est en relation avec:**

- la Résistance thermique total qu'on trouve sur le point ou on veut connaître la température.
- la Résistance thermique jusqu'à la profondeur a laquelle on peut considérer la température stable
- Et la différence de température entre la moyenne de l'année et la moyenne journalière

# rafraîchissement par conduction : surfaces froides

On peut aussi inclure dans un murs des tuyaux par lesquels on fait circuler de l'eau froide...

Sols radiants ...Si la température de l'eau est trop froide : risques de condensations superficielles + inconfort

Par contre moins de risques dans le cas de toitures froides... plus cher et plus compliqué



## rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface

On profite de la stabilité de la température du sol.  
Si on fait passer de l'air pendant un certain temps  
ce fluide va avoir la température du sol.  
Tuyaux d'un diamètre qui favorisent les échanges  
On peut imaginer un système tels que l'air frais  
introduit a travers le puit canadien soit le moteur  
d'une ventilation traversante...

# Conception des espaces intérieurs

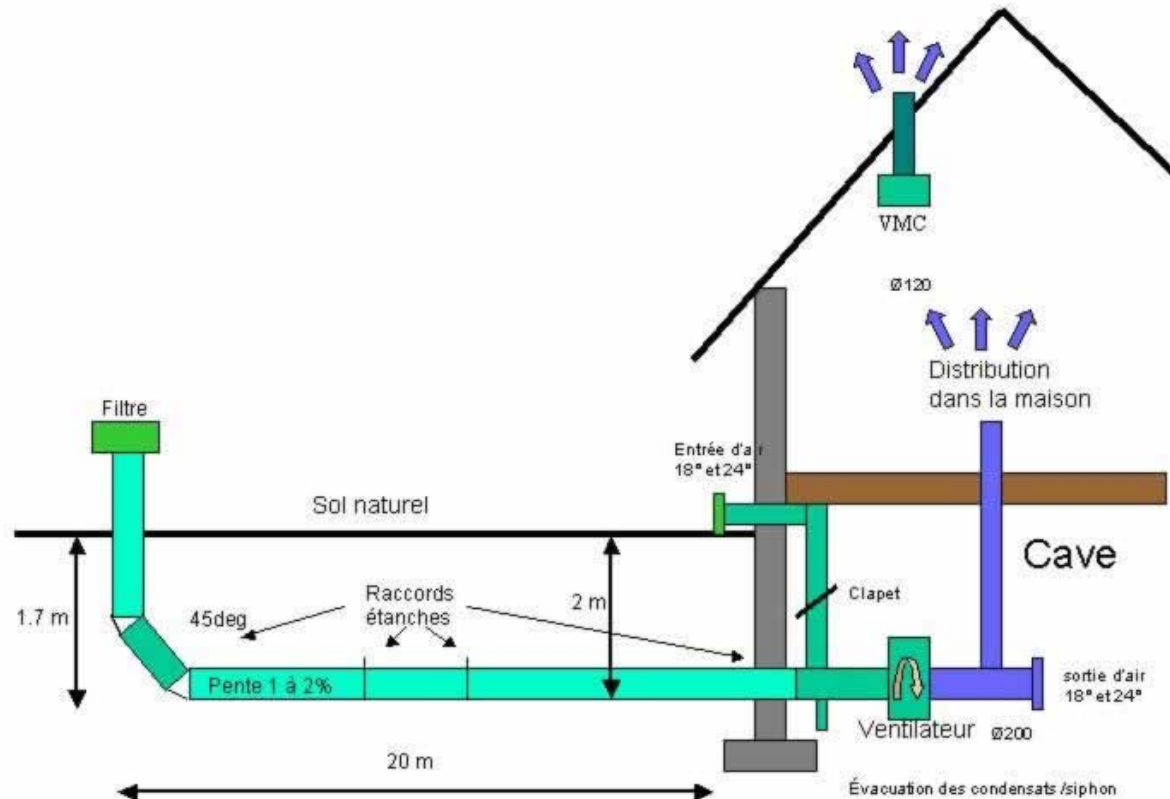
## rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

systeme géothermique de surface conduits enterrés

systeme qui préchauffe ou rafraîchit l'air. Il diminue la consommation de chauffage l'hiver ... Évite des climatiseurs en été  
Principe: utilisation de l'inertie thermique du sol  
Consommation électrique très faible.

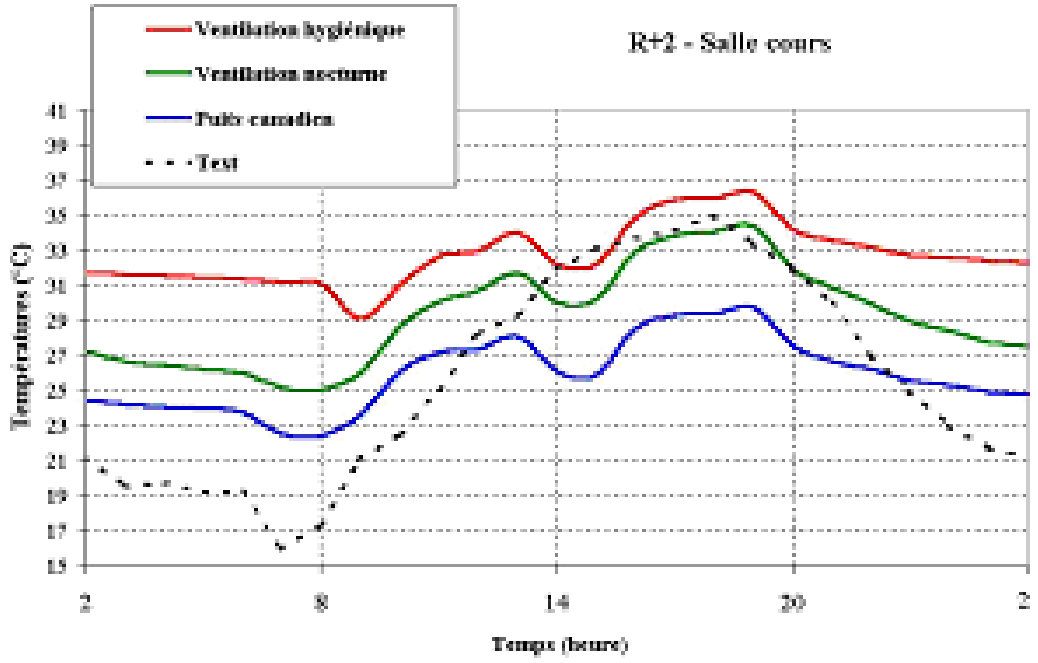
- L'être humain se sent bien entre 18 et 25°.
- Le puits canadien est un systeme qui se sert de l'inertie thermique du sol pour égaliser ces variations thermiques.
- La législation impose une VMC (ventilation motorisée) pour éviter l'humidité dans votre maison, qualité de l'air...
- La température du sol à 2 m de profondeur est d'environ 17° en été et 4° l'hiver
- [http://www.cetiat.fr/docs/newsdocs/136/doc/guide\\_puits\\_canadiens.pdf](http://www.cetiat.fr/docs/newsdocs/136/doc/guide_puits_canadiens.pdf)



# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface



emple où la climatisation n'a pas été tenue grâce aux dispositifs climatiques mis en place:

protections solaires efficaces, sur ventilation nocturne mise en œuvre d'un puits canadien. (f. internet ADEME)

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface

la température de l'air extérieur dans la plupart des pays européens peut varier de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$  tout au long de l'année alors que la température du sol à quelques mètres de profondeur reste plus stable, entre  $5$  et  $15^{\circ}\text{C}$  en moyenne suivant les saisons.

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface

#### Éléments pour la conception d'un puits canadien/provençal

- ❑ **Nature du sol** : Les performances du puits sont directement liées à la capacité calorifique et à la conductivité thermique du sol.
- ❑ **Localisation géographique** le recours à un puits est particulièrement intéressant dans les régions ayant un différentiel de température important entre l'été et l'hiver ( $>20$  °C). (Régions continentales par exemple)

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

ystème géothermique de surface

#### Éléments pour la conception d'un puits canadien/provençal

- ❑ Place disponible pour l'enfouissement du conduit et coût le coût d'installation d'un puits canadien/provençal dépend fortement du coût de terrassement.
- ❑ Type de bâtiment et ventilation hygiénique le puits doit permettre au système de ventilation de l'habitation d'assurer un débit d'air respectant l'arrêté du 24 mars 1982 pour les bâtiments résidentiels et le règlement sanitaire départemental et/ou le code du travail pour les locaux tertiaires. Ce débit dépend de la configuration de chaque bâtiment.
- ❑ Besoins en chauffage et refroidissement Certains logiciels de simulation tels que GAEA1 ou "PLEAIDE + COMFIE"<sup>2</sup> permettent d'intégrer cette étude thermique dans le dimensionnement global d'un puits canadien/provençal.

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

## La conductivité thermique du sol dépend:

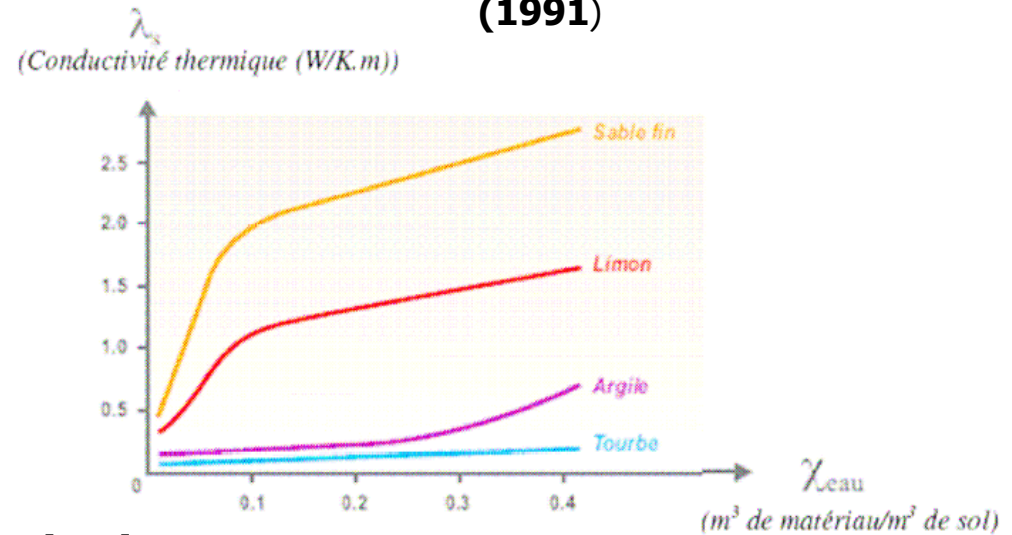
- de sa composition
- disposition
- de la forme de ses particules constitutives,
- des liaisons entre ces particules
- sa teneur en eau.

**Le sol sera d'autant plus conducteur qu'il sera humide.**

**La conductivité thermique d'un sol peut donc varier dans le temps, notamment en fonction des évolutions de sa teneur en eau dues aux variations climatiques et au changement de saison.**

La figure montre la conductivité thermique de différents types de sols en fonction de leur teneur en eau :

Source : Mussy et Soutter (1991)



**Conception des espaces intérieurs**

**rafraîchissement par conduction : conduits enterrés**

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

Capacité calorifique du sol

La capacité calorifique d'un sol (Cs) s'exprime par la moyenne pondérée des capacités calorifiques de ses constituants minéraux, matière organique, eau, air :

$$C_s = \sum_i \chi_i \rho_i C_i$$

Où  $\chi_i$ ,  $\rho_i$ ,  $C_i$

représentent respectivement la teneur du matériau (m3 de matériau/m3 de sol), sa masse volumique et sa capacité calorifique. Comme l'eau et la matière organique ont une capacité calorifique supérieure à celle des éléments minéraux, un sol humide et riche en matière organique stockera mieux la chaleur qu'un sol sec, riche en minéraux.

propriétés thermiques

des principaux constituants d'un sol :

maria l

Matière	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité calorifique $C$ (kJ/K.kg)	Conductivité thermique $\lambda$ (W/K.m)
Minéraux (moy.)	2650	0,80	2,90
Sable et Gravier	1700 à 2200	0,91 à 1,18	2,00
Argile et Limon	1200 à 1800	1,67 à 2,50	1,50
Matière organique	1300	1,90	0,25
<b>Eau</b>	<b>1000</b>	<b>4,20</b>	<b>0,585</b>
Glace	920	2,10	2,20
Air	1250	1,00	0,023

Propriétés thermiques des principaux constituants d'un sol  
(Source : Mussy et Soutter et RT2000)



## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

**La conductivité thermique du conduit doit se calculer avec des formules pour éléments cylindriques...**

**Nous savons que le coefficient superficiel de transmission de chaleur à l'intérieur du conduit va dépendre de la vitesse de l'air ainsi que de la forme et taille du conduit**

**au contraire de ce qui se produit avec un mur ou une toiture on à intérêt d'obtenir un indice de transmission élevé de ce fait un épaisseur minimal et un matériau bon conducteur dans le but de faciliter les échanges entre la température de la terre et l'air a l'intérieur du conduit**

**On calcule la surface d'échange nécessaire en fonction du vol d'air à traiter et des caractéristiques de conductivité du conduit**

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

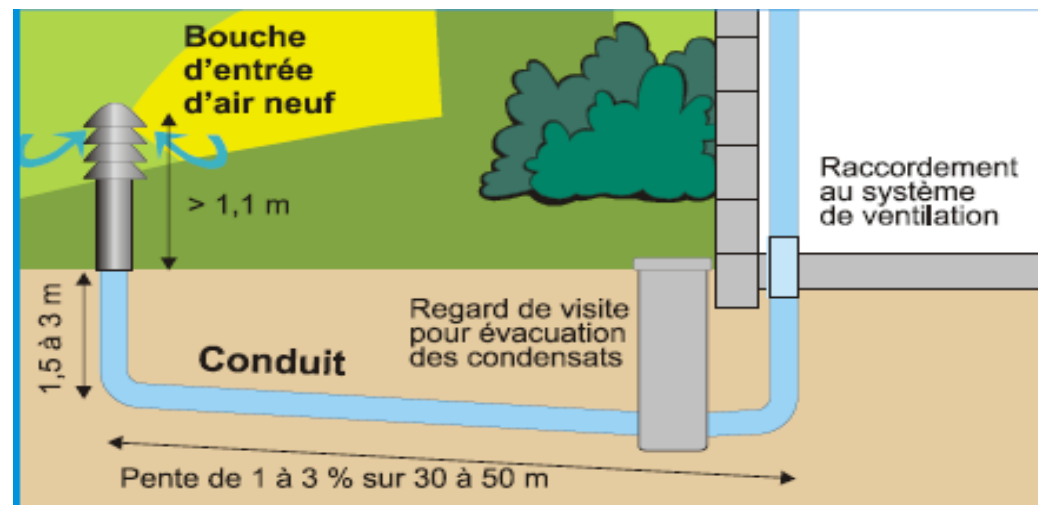
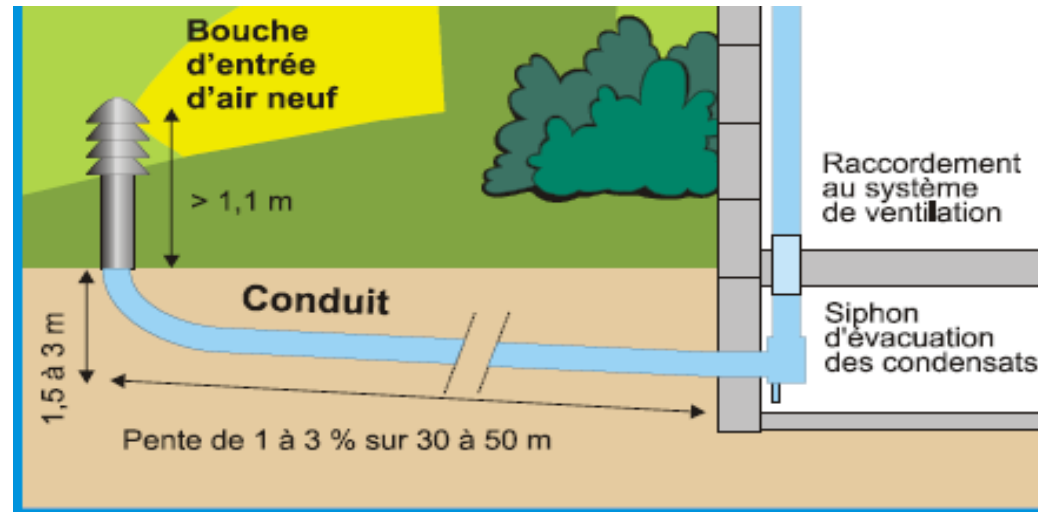
Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface

En **hiver**, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le **maintien hors gel du bâtiment peut être assuré.**

**Le puits est alors dit puits canadien.**

En **été**, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à la température extérieure.

**Le puits est alors dit puits provençal.**

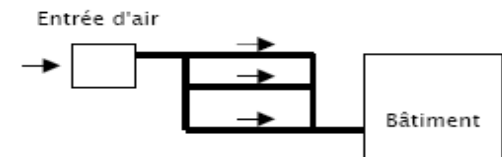
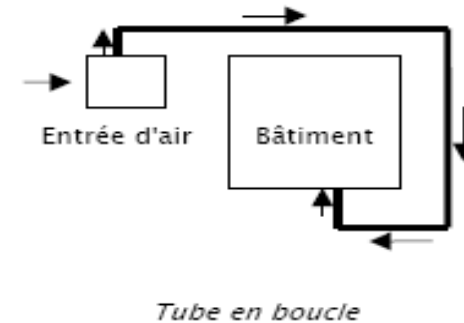
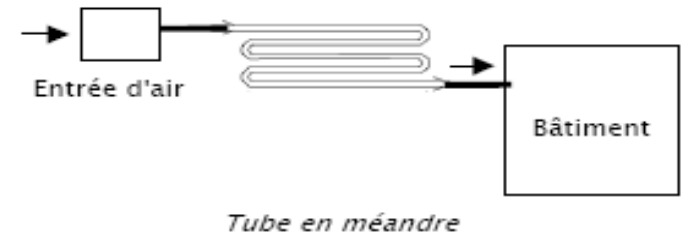


## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)  
système géothermique de surface

- **Nombre de tubes** : le conduit du puits peut être constitué d'un seul tube posé en méandre ou en boucle autour du bâtiment ou être organisé sous la forme d'un réseau de tubes parallèles installés entre des collecteurs afin d'augmenter le débit d'air circulant dans le puits
- **Longueur de chaque tube** : elle est habituellement de l'ordre de 30 à 50 m afin de limiter les pertes de charge. La longueur totale du conduit est calculée en fonction du débit d'air souhaité, de la nature du sol, de la zone géographique (température extérieure tout au long de l'année) et du type d'installation choisie.
- **Diamètre des tubes** : pour optimiser les transferts thermiques sol/air, la vitesse de l'air au sein du puits doit être comprise entre 1 et 3 m/s. En fonction des débits d'air requis, le diamètre du conduit du puits est alors calculé pour respecter ces conditions de vitesse d'air.
- **Disposition des tubes** : afin de minimiser les pertes de charge au sein du conduit et de faciliter son entretien, il est conseillé de limiter le nombre de coudes.



## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

**Profondeur d'enfouissement des tubes** : la profondeur préconisée est souvent comprise entre 1,5 et 3 m. A ces profondeurs, la température du sol varie bien moins que la température de l'air extérieur entre l'été et l'hiver (entre 5 et 15 °C en moyenne en France). Il est cependant possible d'enfouir les tubes plus profondément mais cela augmente les contraintes de terrassement et de pose du conduit.

**Espacement entre les tubes** : il est préférable qu'il soit supérieur à 3 fois le diamètre des tubes afin de garantir un bon échange thermique de chaque tube avec le sol.

**Pente du conduit** : elle doit être comprise entre 1 et 3% pour favoriser l'évacuation des condensats qui peuvent se former dans le conduit lorsque l'air extérieur chaud est en contact avec les parois plus froides du puits.

**Matériau constitutif des tubes** : le choix du matériau est important car il impacte directement sur les échanges thermiques sol/puits. L'utilisation de parois compactes à conductivité thermique élevée doit être favorisée car elle permet d'augmenter les échanges et ainsi de réduire la longueur du puits. Les matériaux utilisés doivent également avoir une bonne tenue à l'enfouissement (une classe de rigidité minimale de 8 kN/m<sup>2</sup> est conseillée). Les tubes entrant dans la composition des puits canadiens/provençaux actuellement en fonctionnement sont généralement en PVC, en polyéthylène ou en polypropylène souple ou rigide. Certains tubes sont constitués de matières plastiques (PVC structurés ou gaines type TPC) emprisonnant des bulles d'air, ce qui diminue l'échange thermique sol/conduit. Le recours à ce type de tube est donc déconseillé.

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

**Étanchéité du réseau (tubes et raccords) :** elle est indispensable pour empêcher la pénétration de racines ainsi que les phénomènes d'infiltration d'eau et de radon au sein du conduit. Une étanchéité des jonctions conforme aux exigences de la norme NF EN 1277 est recommandée.

**Zone à risque radon :** le radon peut être introduit dans la maison par l'intermédiaire du puits si le conduit apportant l'air extérieur n'est pas étanche. Dans les zones à risque radon, il convient donc de veiller à l'étanchéité du puits et de porter une attention particulière à l'enrobage du conduit avec de la terre afin d'éviter la formation de cavités où le radon pourrait se loger

**Traitement anti-microbien :** les tubes du conduit peuvent avoir subi un traitement permettant de freiner la prolifération microbienne, source de mauvaise odeur dans les bâtiments et de dégradation de la qualité de l'air intérieur. L'emploi de sel d'argent est par exemple un excellent traitement antimicrobien.

**Entretien du puits :** il doit être régulier (1 à 2 fois par an) et doit comporter le remplacement des filtres de la bouche d'entrée d'air neuf, l'inspection de l'intérieur du conduit pour vérifier le bon écoulement des condensats et le contrôle de l'état général du puits.

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

système géothermique de surface

- Puits connectés à des caissons de ventilation double flux coïncide avec celui du puits.
- Un système de by-pass choisit de manière automatique entre l'air extérieur et l'air du puits en fonction de la température de l'air extérieur. En mi saison la prise d'air directe est privilégiée

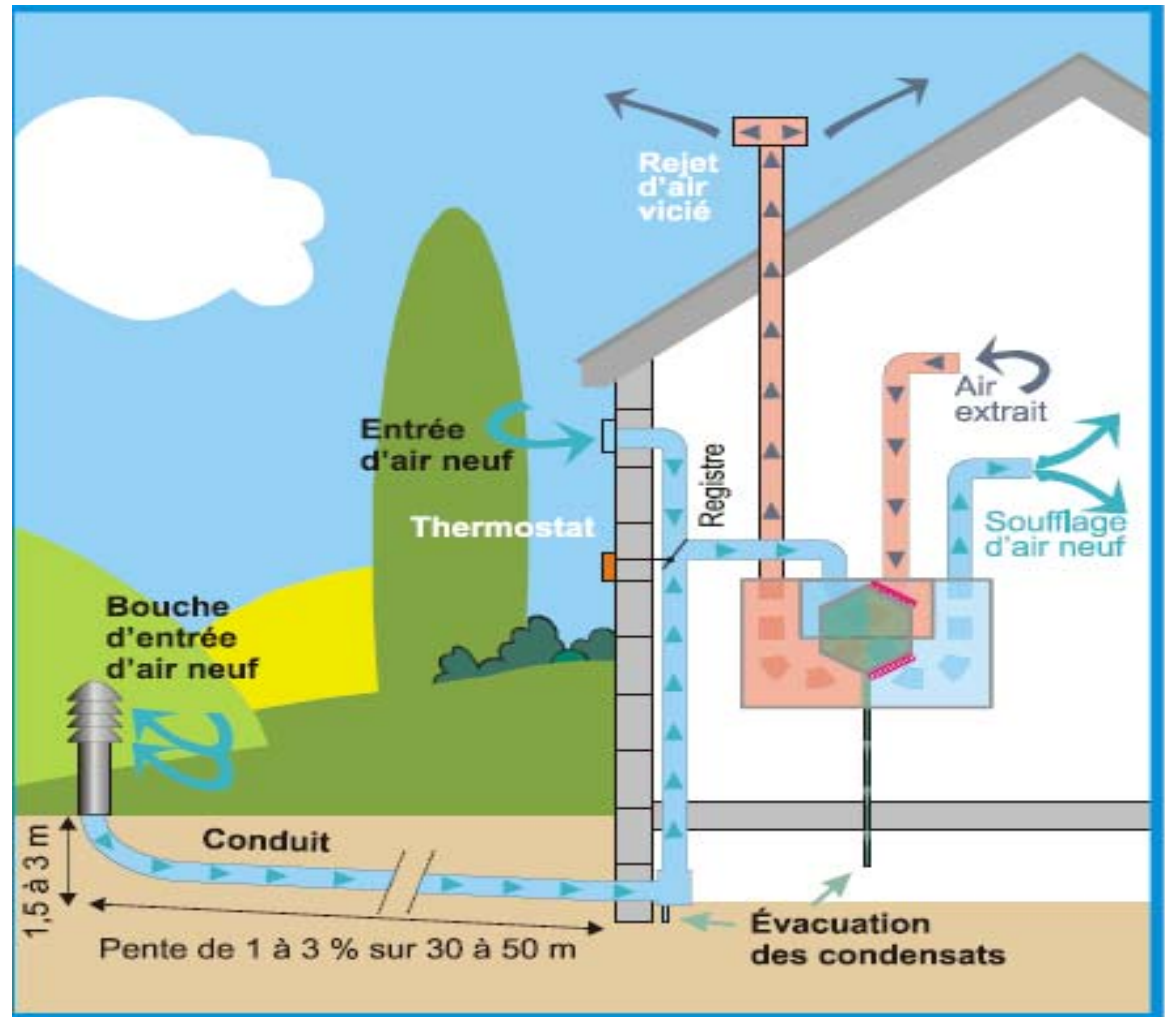
## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : conduits enterrés

Le puits canadien (ou puits provençal)

ystème géothermique de surface

- Exemple de puits raccordé à un dispositif de ventilation mécanique double-flux centralisée



# Le puits canadien (ou puits provençal)

## Fonctionnement

- En enfouissant une gaine d'aspiration d'air d'une longueur et d'un diamètre suffisant à cette profondeur, quelque soit la température extérieure, au bout de la gaine elle avoisinera les 12° en été et environ 6° en hiver.
- En hiver l'air froid extérieur, se réchauffant devient donc relativement plus sec. Il arrive dans la maison à 6° et vous ne dépensez de l'énergie que pour le réchauffer à 20°.
- En été, lorsqu'il fait chaud et humide à l'extérieur, l'air chaud saturé en humidité condensera dans la gaine pour venir ensuite rafraîchir la maison.
- VMC.... Elle sert à rejeter de l'air chaud (et toute l'énergie contenue) à l'extérieur.
- Tout rejet d'air vicié à l'extérieur implique le remplacement de cet air par de l'air venant de l'extérieur. A cette fin, on ménage des ouvertures artificielles (les ouies d'aspiration dans les cadres de fenêtres) qui permette l'aspiration d'air frais. Toutes ces ouvertures sont autant de ponts thermiques.
- En été on réchauffe ainsi la maison artificiellement. En hiver on chauffe inutilement le quartier, puisque l'air venant de l'extérieur doit être chauffé de -5° à 20°. Le puits canadien économise de l'énergie en hiver et rafraîchit la maison en été.



## **3. Par conduction**

### 3.3.Constructions enterrées

## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : bâtiments enterrés ou creuses

- Bâtiments bioclimatiques par excellence
- Protection des éléments climatiques des variations de températures, consommation énergétique minimale
- l'inertie qui les entourent assure une température stable
- Faible impact visuel et environnementale
- Parfois associées à la pauvreté...pas toujours
- Manque de visibilité...
- **Mais on peut aussi avoir intérêt d'améliorer son « fonctionnement » afin de mieux satisfaire les besoins de confort.**



## Conception des espaces intérieurs

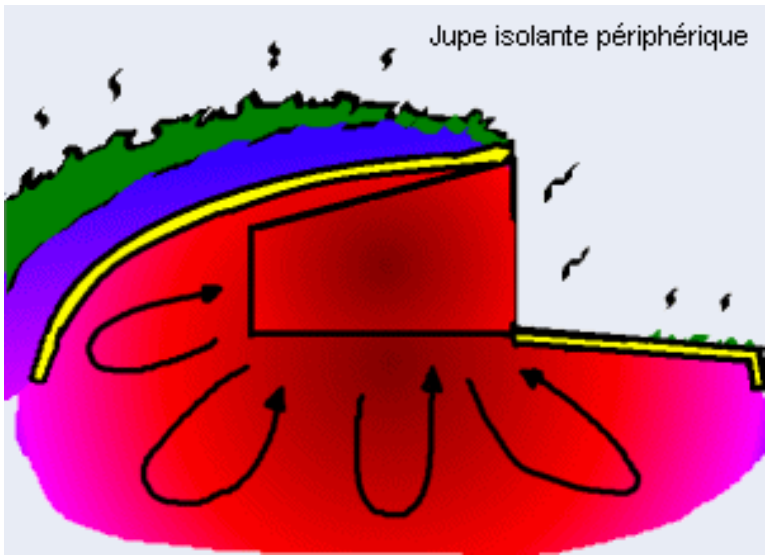
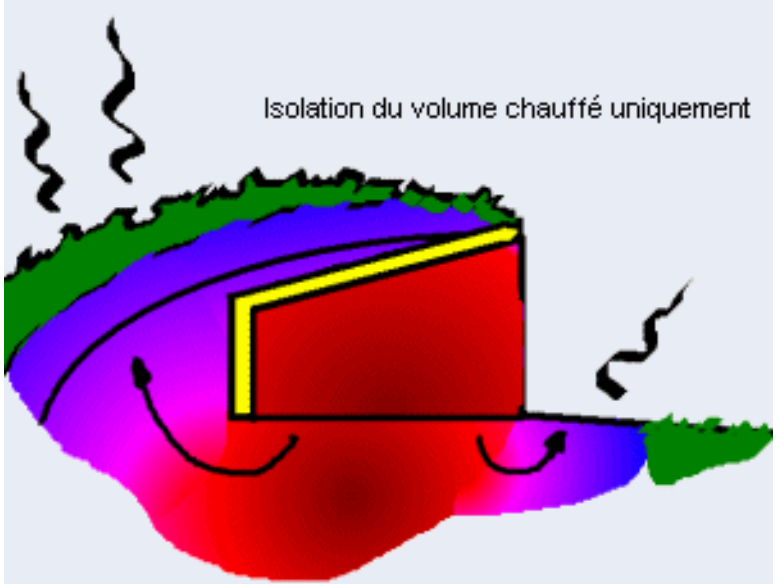
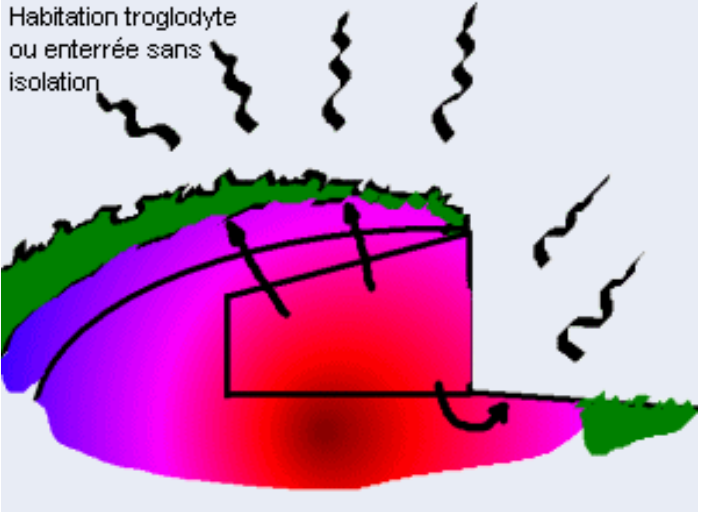
### rafraîchissement par conduction : bâtiments enterrés ou creuses

- « améliorer son fonctionnement afin de mieux satisfaire les besoins de confort » ce qui varie en fonction des personnes du climat...
- **Ex semi-continental tempéré**
  - Dans ce climat, la moyenne annuelle de la température de l'air est d'environ 15°C.
  - La température du sol, à partir de 6 mètres de profondeur environ, est elle aussi de 15°C et relativement stable pendant toute l'année (entre 14 et 16°C)
  - Mais si 15°C c'est déjà bien mieux que 0 ou -5°C pendant l'hiver, ça reste un peu faiblard en été, et surtout globalement en deçà de notre température de confort (19°C ressentis, ce qui dans le cas d'une cave correspond effectivement à la température des parois, celle de l'air pouvant être négligée).
  - trouver un moyen d'augmenter la température moyenne dans cette cave de 4°C, pour la maintenir aux 19°C
  - utiliser deux éléments qui ne sont pas naturellement présents: le verre et l'effet de serre, et les isolants.
  - ajouter à la grotte troglodyte des baies vitrées ou une serre en partie sud, et une couverture isolante pour ralentir le déplacement des calories et les retenir pendant 6 mois. Nous cherchons à modifier le milieu pour en faire un micro-climat correspondant à l'espace que nous comptons habiter.



# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement par conduction : bâtiments enterrés ou creuses



## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : bâtiments enterrés

#### France : le Loir maisons troglodytes

la lumière naturelle peut éclairer sur 5 à 6 mètres de profondeur. Autres solutions : puits de lumière qui permettent d'acheminer la lumière du soleil à travers un tube souple et ultra-réfléchissant.

les conduits de lumière permettent d'éclairer naturellement un espace obscur sur 10 à 15 mètres de profondeur, verticalement ou horizontalement

#### *murs en pierre végétalisés*

*la végétation peut réduire le réchauffement d'une paroi opaque : pergola et murs végétalisés de là l'intérêt d'utiliser des plantes à feuilles caduques qui permettent réchauffer les murs l'hivers et le protègent l'été*

*Selon la végétation qui recouvre la roche, des fissures ponctuelles peuvent entraîner des risques d'infiltration d'eau. Il faut surveiller l'hydrométrie et évacuer l'humidité ambiante grâce à un système de ventilation adapté.*

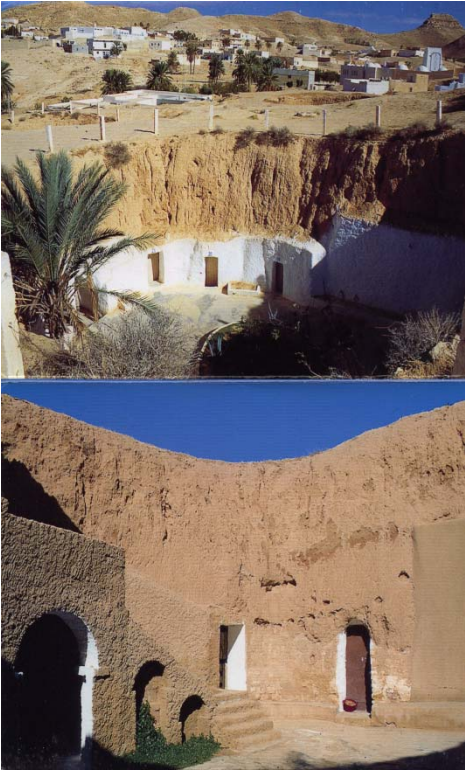
*l'air doit toujours circuler*

maria lopez



## Conception des espaces intérieurs

### rafraîchissement par conduction : bâtiments enterrés ou creuses



## Inertie

Deux typologies

avantage thermique, ce type d'habitat offre une température constante, entre 9 et 13°C.

Peu de chauffage est nécessaire

maria lopez diaz

## Conception des espaces intérieurs

### bâtiments enterrés

### Bioclimatique par excellence?

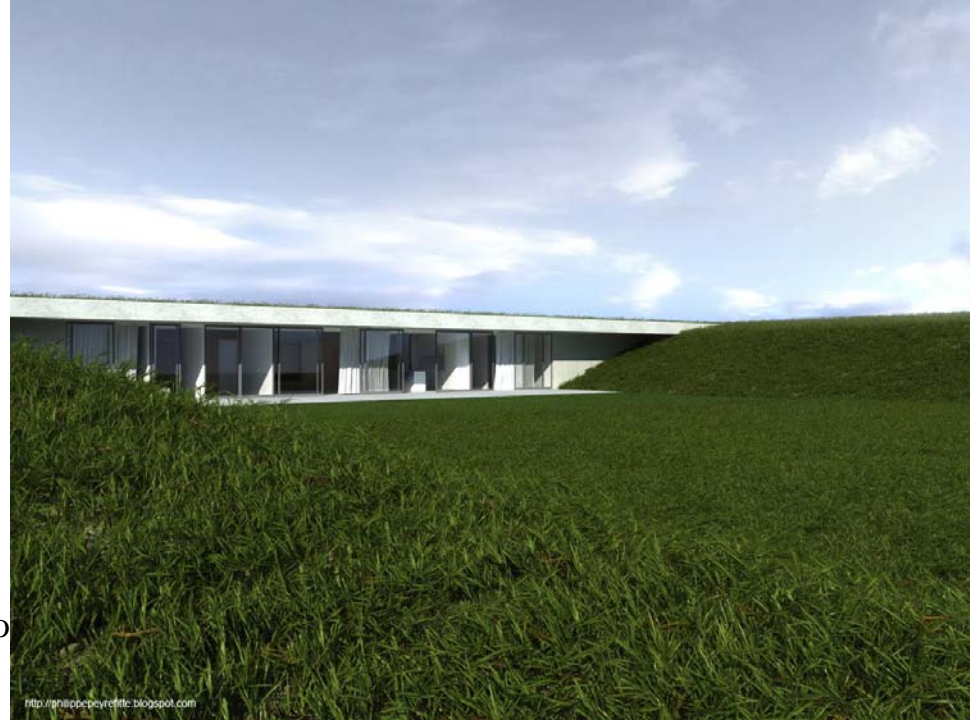
#### **INERTIE qui stabilise les températures**

Protection des intempéries du climat  
Protection des grandes fluctuations de température...

réduction des consommations énergétiques

HQE...? Impact visuel ...

La masse de terre amortit considérablement les variations journalières de température (l'habitat bioclimatique Roger Camous et Donald Watson pag.65) à une profondeur de 45 cm on estime qu'on ne ressent que 30% des fluctuations



la lo

## Conception des espaces intérieurs

### bâtiments enterrés

### Bioclimatique par excellence?

## Mais aussi des problèmes à résoudre...

- D'image associées à la pauvreté!
- Bonne vérification de solidité structurelle
- Éclairage naturel
- Relation avec l'extérieur
- Ventilation... humidité

• on crée un système d'arrivée d'air en fond de cave et on ventile en permanence ; en fait on retrouve le système ancien des gens qui laissaient la porte ouverte», **L'humidité est un problème plus délicat à résoudre car il faut déshumidifier l'air sans assécher les parois, d'où l'idée d'un chauffage par le sol puisque, en tout état de cause, il n'y a que peu de degrés à gagner en hiver. A ce sujet, le plus gros ennemi de l'habitat troglodyte est la forêt. Il faut en effet constamment déboiser au dessus de l'habitation car les racines des arbres deviennent des vecteurs d'humidité. Quant à la lumière, elle est obtenue par des façades largement vitrées ou des verrières.**



maison enterrée, la "tellytubby house" à St. Bride's Bay dans le Pembrokeshire étonnante maison enterrée de 150 mètres carrés a été implantée dans une falaise de 25 mètres d'où elle bénéficie de superbes vues sur St. Bride's Bay dans l'ouest du Pays de Galles.

le cabinet d'architectes Future Systems l'a conçue en 1994 et construite en 1996 à peine visible sous son monticule couvert d'herbe et elle s'intègre parfaitement dans le paysage environnant. l'objectif de Future Systems a été de minimiser l'impact visuel du bâtiment sur le site Future Systems a donc imaginé un bâtiment avec une forme organique et douce qui est conçu pour se fondre dans ce paysage de prairies et d'ajoncs: **ATTENTION**: c'est pourquoi le toit et les côtés de la maison sont recouverts de cette végétation locale! Ainsi, vous n'apercevez qu'un monticule recouvert d'herbe et des parois de verre transparent qui sont soulignées seulement par une mince garniture en acier inoxydable.



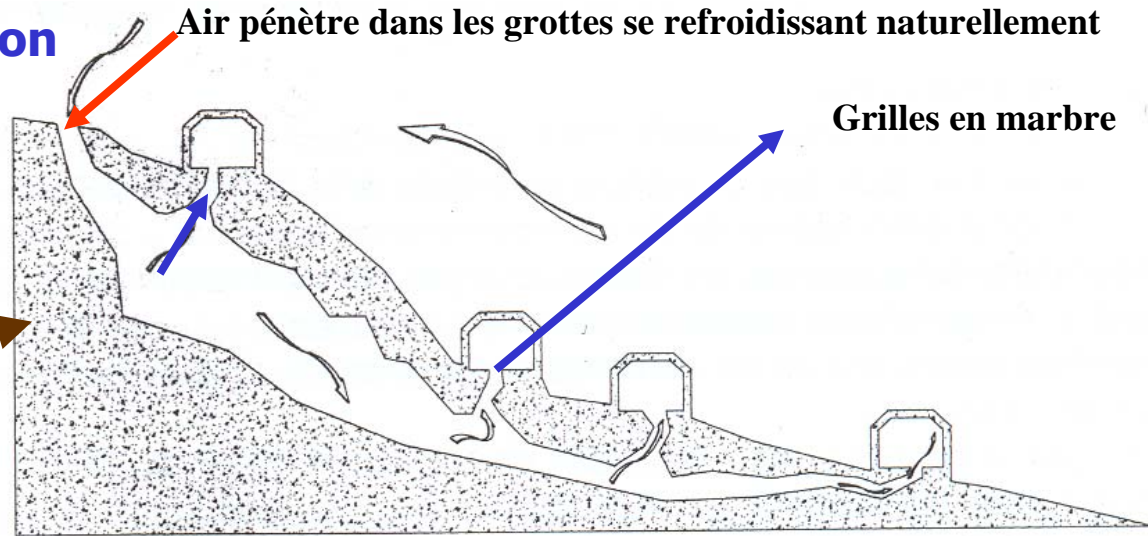
## **4. Rafraîchissement par convection**

### 4.1. Ventilation nocturne

## Conception des espaces intérieurs rafraîchissement par convection

On peut l'obtenir en  
utilisant des volumes  
d'air froid

Exemple Villas  
Costozza Italie  
Palladio utilisa ce  
système dans la villa  
Rotonda (en utilisant la  
cave au lieu des grottes)



*La quête de fraîcheur, remède précieux à la canicule de l'été vénitien, conduisit un ingénieux abbé du XVII<sup>e</sup> siècle à faire creuser une partie de sa résidence champêtre dans la roche d'une colline. Pour parfaire l'illusion, il la peupla de statues de divinités aériennes et en recouvrit les murs de peintures de ruines noyées dans la verdure.*

*" J amais je n'oublierai Costoggia, qui, sise en Orient plutôt qu'en Italie, serait à mes yeux un Paradis terrestre, Costoggia dont le souvenir demeurera pour toujours au plus profond de mon coeur."*

maria lopez diaz

( Luigi Grotto, Lettere famigliari, Venise, 1616, p. 411



## Conception des espaces intérieurs rafraîchissement par convection

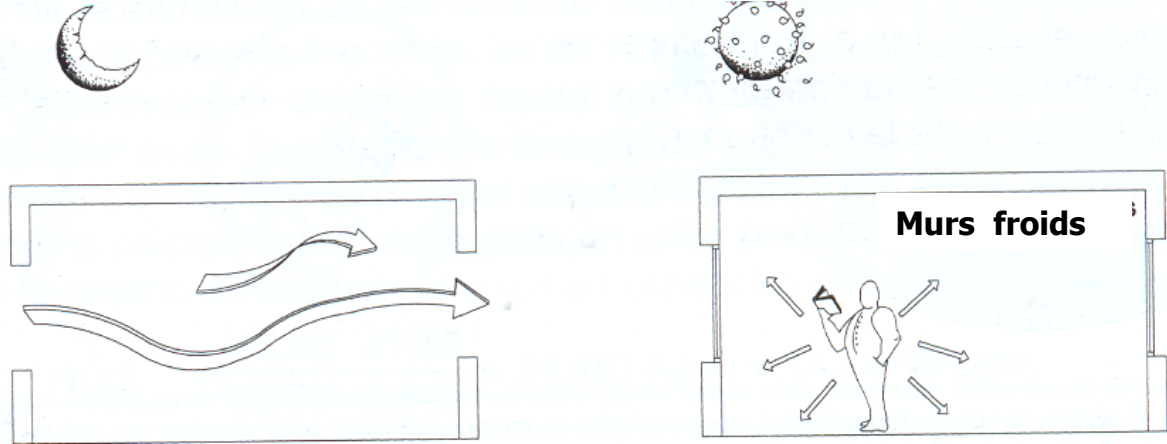
*Le roi Eole impose son pouvoir aux vents en lutte et aux tempêtes sonores; chaînes, cachots refrènent leur fureur'' (Virgile, **Enéide**, v. 52-54, trad.fr. J. Perret, Paris, 1991).*

Les vers de Virgile que le visiteur peut encore lire aujourd'hui se réfèrent probablement à la fraîcheur et à la température constante de l'air amené par les conduites souterraines dans les étages supérieurs: dans la salle principale, des ouvertures dotées d'une grille sont pratiquées dans les parois, qui permettaient à l'air de circuler



# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement par ventilation nocturne



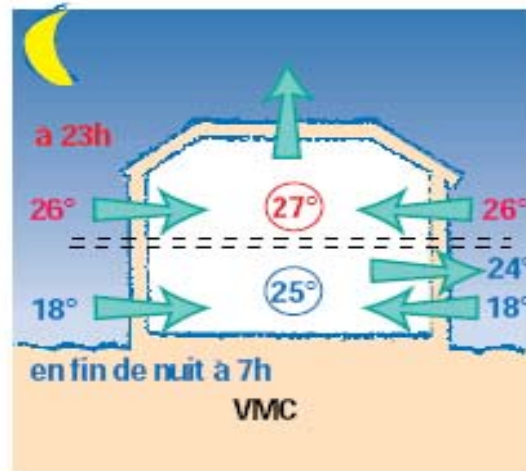
**Été ... température de l'air moins chaude : la nuit (sauf canicule)**

**Utilisation de la ventilation nocturne**

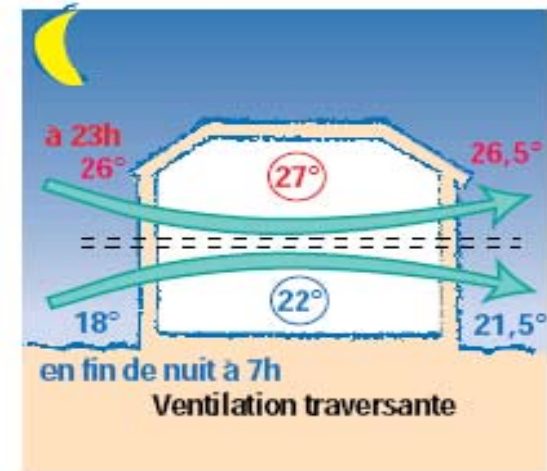
- **Climat chaud sec plus intéressant : la température descend d'avantage**
- **Climat chaud humide différence moins importante**
- **Besoins d'inertie... sans ça on ne peut pas stocker la fraîcheur**
- **Réduction de la température et aussi de la sensation thermique: effet de paroi froide**

# Conception des espaces intérieurs

## rafraîchissement par ventilation nocturne



L'abaissement de la température du local est faible.



L'abaissement de la température du local est fort.

NOTA : valeurs données à titre indicatif

L'air frais de la nuit, permet d'évacuer la chaleur emmagasinée le jour, en se réchauffant au cours de la traversée du local.

Cette ventilation peut se faire par des moyens mécaniques (extracteur, VMC) ou par des procédés architecturaux (ventilation traversante, verticale ou horizontale). Elle devra être adaptée à la quantité de chaleur à évacuer.

### **VMC de logement**

Une bouche classique de 30 m<sup>3</sup>/h évacuera environ 0,4 kWh dans la nuit, ce qui s'avère donc très insuffisant pour compenser la chaleur transmise par 1 m<sup>2</sup> (\*) de vitrage non protégé, mais utile pour limiter l'échauffement d'un bâtiment bien protégé.

### **Ventilation naturelle traversante**

L'ouverture des fenêtres permet un renouvellement d'air de 10 volumes ou plus par heure. Elle assure un véritable rafraîchissement.

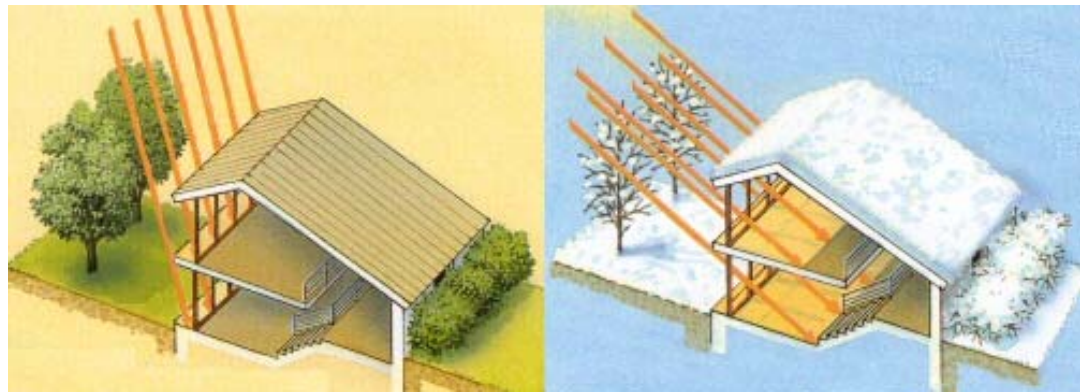
Ainsi, un bâtiment moyennement inerte, bien protégé du soleil, gardera des températures confortables toute la journée.

[http://www.regionpaca.fr/uploads/media/fiche5\\_01.pdf](http://www.regionpaca.fr/uploads/media/fiche5_01.pdf)

# Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- Choisir les matériaux et techniques de construction qui répondent au cahier de charges établi
  - Besoins
  - Climats
  - choix stratégiques



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- murs, doivent permettre de **conserver la température interne** le plus longtemps possible (quelque soit la saison), tout en étant étanche à la pluie et au vent, mais pas à la vapeur d'eau.
- **volume de la maison détermine ses déperditions thermiques.** La forme la plus efficace serait un demi-sphère...
- Plus le **volume est compact** et moins il y aura de surfaces exposées aux intempéries, et donc aux déperditions.



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

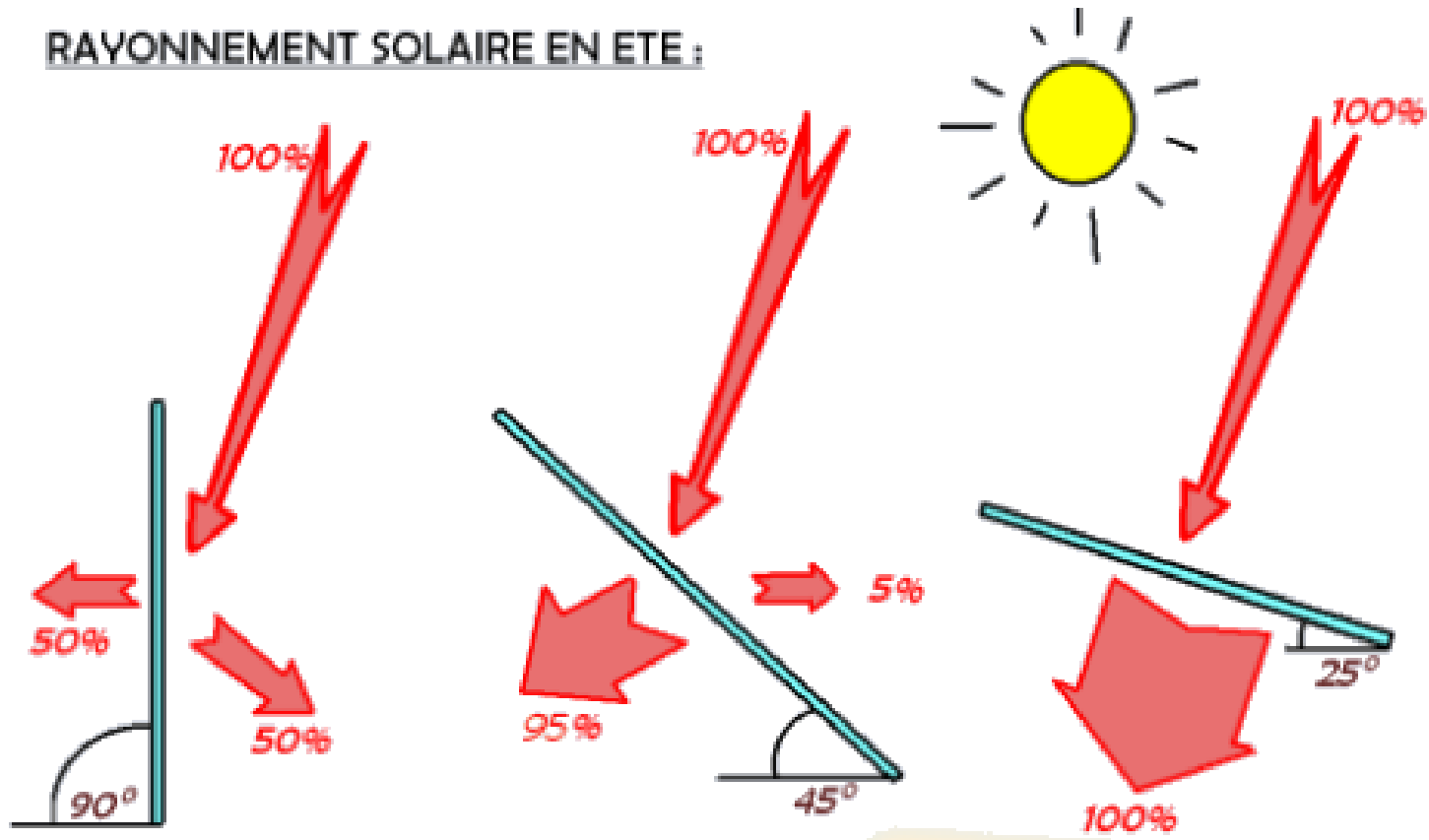
- Plus la **forme est simple et moins il y aura de turbulences créées par le vent** qui génèrent elles aussi des **déperditions de chaleur importantes.**

# Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- le verre

- a la particularité d'être transparent à l'énergie solaire sous forme lumière visible, mais d'être opaque à l'énergie sous forme de d'infra-rouges thermiques.
- pièce maîtresse de notre stratégie de récupération des calories solaires : on laisse passer la lumière, celle-ci finit par buter sur un matériau opaque, l'énergie lumineuse se transforme alors en énergie thermique en chauffant ce matériau, et celui-ci devient finalement un émetteur de chaleur en diffusant cette énergie sous-forme d'infrarouges.
- Ces infrarouges buttent sur la vitre qui les absorbe, s'échauffe, et les réemet, dans toutes les directions : vers l'extérieur, bien sûr, mais vers l'intérieur aussi. C'est ainsi qu'on peut capturer à l'intérieur de notre pièce une partie de la chaleur.
- Plus la pièce sera chaude et plus il y aura de chaleur qui sera dissipée vers l'extérieur, mais tant que de l'énergie lumineuse entrera, l'intérieur de la pièce continuera de s'échauffer, même si le milieu extérieur est froid: on appelle ce phénomène l'effet de serre.

# RAYONNEMENT SOLAIRE EN ETE :



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- A part le verre, les autres matériaux se jugent les uns par rapports aux autres sur l'échelle de la
  - capacité thermique, sur leur
  - résistance mécanique, et sur leur
  - Perméabilité
- Nous avons vu que l'énergie calorifique se déplace de trois manières différentes
  - la conduction,
  - la convection et
  - le rayonnement.

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

### capacité thermique :

#### résultat de plusieurs paramètres.

- Le premier est la **quantité de chaleur** qu'il faut pour échauffer le matériau de 1°C.
- Le second c'est la **vitesse à laquelle la chaleur se déplace** dans le matériau.
- Le troisième c'est la **vitesse à laquelle la surface du matériau devient à la température de ce qu'elle touche.**
  
- ces paramètres définissent les propriétés thermiques d'un matériau,
- trois grandes familles :
  - les isolants,
  - les accumulateurs, et
  - les métaux.
  - Certains matériaux se trouvent à la limite entre ces catégories, mais la plupart se classent facilement.

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **Les isolants** absorbent peu de chaleur, leur température surfacique s'élève rapidement, la chaleur se déplace très lentement en eux.
  - De ce fait ils peuvent empêcher la chaleur de rentrer ou de sortir, dans un milieu qu'ils clôturent.
  - Ils apparaissent toujours « chauds » au toucher.
  - Par contre, ils sont incapables de stocker de l'énergie en eux-même (certains faiblement)
  - Ils sont également généralement très légers.
  -

## **Les accumulateurs** (pierres lourdes, briques terre cuite..)

- à l'inverse des isolants, ils absorbent beaucoup de chaleur.
- Leur température de surface s'élève très lentement,
- et la chaleur se déplace moyennement vite en eux.
- En conséquence, ils ne peuvent pas empêcher la chaleur de les traverser, mais ils ralentissent son déplacement. Ils apparaissent toujours « froids » au toucher. Ils sont capables de stocker une grande quantité d'énergie.
- Ils sont en général très lourds.

- cas particulier : **Les métaux**
  - Ils absorbent beaucoup de chaleur,
  - leur température de surface s'élève rapidement
  - la chaleur se déplace très vite en eux.

En conséquence, ils n'empêchent pas la chaleur de passer, et accélèrent son déplacement.

- Ils apparaissent toujours « très froids » au toucher. Ils sont capables de stocker beaucoup d'énergie en eux-mêmes.
- Leur poids est très variable.



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

### seulement de l'isolant :

- ambiance intérieure condamnée à « l'instant présent ».
- soleil brillera: pièce trop chaude
- nuage : trop froide



La nuit : dépendante des apports internes instantanés, oscillants entre le trop chaud ou le trop froid dès que les conditions changent : 1 personne dans la pièce, trop froid, 2 personnes, correct mais une des deux personnes fait un effort physique... trop chaud. Etc.

En été: surchauffes . l'environnement extérieur la nuit est à la bonne température, donc la nuit tout va bien, mais dès que le jour se lève, la température extérieure devient trop élevée, la maison surchauffera donc dès que cette chaleur pourra entrer (porte ouverte par ex), et la surchauffe ne pourra que continuer jusqu'à la nuit (ou jusqu'à ce qu'un apport de froid soit produit).

Une maison d'isolant présente donc un confort très mauvais, avec un comportement moyen en hiver, et catastrophique en été.

une maison isolée par l'intérieur présente en pratique un comportement similaire à une maison entièrement constituée d'isolant (c'est tout particulièrement vrai dans ses combles s'ils sont aménagés

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

### **Seulement du métal**

danger pour ses occupants.

Le jour car le métal serait brûlant au moindre rayon de soleil, la nuit parce que la maison **absorberait la chaleur de ses occupants**

jusqu'à la dernière goutte.

l'intérêt de l'abris en métal est de protéger de la pluie...



*une maison de métal est inhabitable en toute saison.*

*une expérience simple :*

*plus confortable de dormir dehors en plein hiver s'il n'y a ni vent ni pluie que dans une voiture.*

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **Seulement de l'inertie** accumulateur génère une ambiance moins frénétique
- changements de températures lents et doux.
- perpétuel déphasage entre les conditions extérieures et intérieures : lorsque le soleil brille, l'intérieur reste frais, il ne deviendra chaud qu'à la nuit tombée, et le restera pendant une bonne partie de la nuit.
- La température intérieure ne varie pas lorsque le nuage est voilé par rapport au soleil en direct.



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort et les économies d'énergie

**Hiver:** la maison restera tempérée pendant le début de l'hiver, et deviendra ensuite de plus en plus froide, consommant pour maintenir une température interne convenable une quantité énorme d'énergie.

**printemps,** l'atmosphère interne restera froide longtemps après que les beaux jours soient revenus.



**été,** la maison restera fraîche tout le temps, sauf s'il se produit une canicule de plusieurs semaines, dans ce cas, c'est la catastrophe : l'intérieur de la maison devient anormalement chaud, de jour comme de nuit, pendant la même durée que la canicule mais après la fin de celle-ci...

**Une maison d'accumulateur présente donc un confort mauvais,** avec un bon comportement en milieu et fin d'été et automne, et un comportement mauvais en fin d'hiver et printemps.

Ce comportement se retrouve dans les maisons paysannes traditionnelles, elles présentent le meilleur compromis confort été/confort hiver.

## **pas de matériau idéal**

Pas de « listes noires »

Pas de « matériaux miracle »

- Bonne solution : mélanger des isolants et des accumulateurs en répartissant judicieusement leur position et quantité.
- La "maison accumulateur" traditionnelle possède de nombreux défauts que l'usage des isolants et du verre doivent permettre de résoudre, contrairement à nos ancêtres qui devaient s'en passer

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

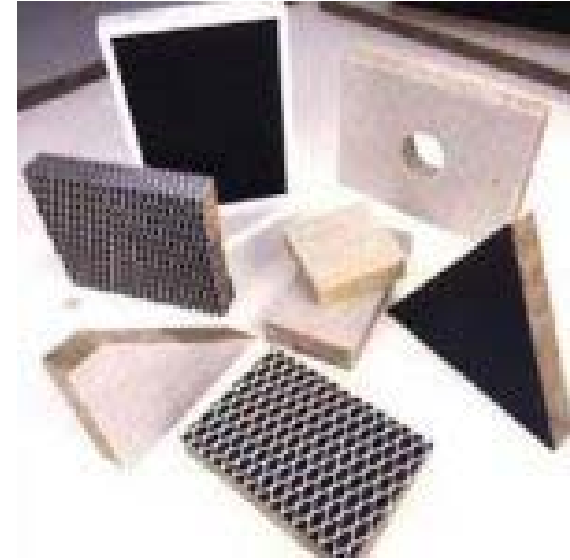
- **Les fibres végétales ou animales :**

- Thermique > isolant.
- Résistance mécanique > faible à résistant et élastique.
- Perméabilité > perméable à la vapeur d'eau. Généralement perméable à l'eau, sauf si les fibres sont très serrées et/ou enduite d'une matière hydrofuge. Généralement perméable à l'air, sauf si les fibres sont très serrées.
- Il existe de très nombreuses fibres dont on peu tirer des produits isolants de toutes natures. S'ils sont naturels, ces produits sont biodégradables et peuvent être détruits par des créatures qui les consomment, ou détruits par des champignons si le taux d'humidité est élevé et constant. Ces fibres ont toutes la capacité de ne pas perdre leur pouvoir isolant même si le taux d'humidité est élevé.



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **Les fibres synthétiques :**
  - Thermique > isolant
  - Résistance mécanique > faible à résistant et élastique.
  - Perméabilité > Généralement perméable à l'air et à l'eau, sauf tissage spécifique. Perméable ou imperméable à la vapeur d'eau, dépend du processus de fabrication.
- Les isolants à base de fibres synthétiques, pour ceux qui ne sont pas d'office complètement étanches à la vapeur d'eau, présentent l'inconvénient de perdre leur pouvoir isolant en présence d'eau (ils prennent alors les propriétés accumulatrices/conductrices de l'eau). La mise en oeuvre les rend alors imperméable à la vapeur d'eau en les protégeant avec un pare-vapeur étanche, ce qui les rend de fait impropres à l'utilisation en tant qu'isolant dans une habitation.



Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

# **Choix multicritères**



# Choix des matériaux

## Recyclage? réutilisation?

### Quel intérêt et possibilités pour le recyclage de matériaux dans la construction (neuf et réhabilitation)

Le choix des techniques produits et matériaux fait appel à des critères

- architecturaux,
- techniques
- esthétiques
- de durabilité et de
- coût.



L'approche environnementale fait de plus intervenir des:

- **critères environnementaux**, portant sur toute la durée du cycle de vie des produits:
  - du berceau (extraction des matières premières)
  - à la tombe (recyclage et mise en décharge des déchets ultimes)

# Critères de choix

## Techniques classiques:

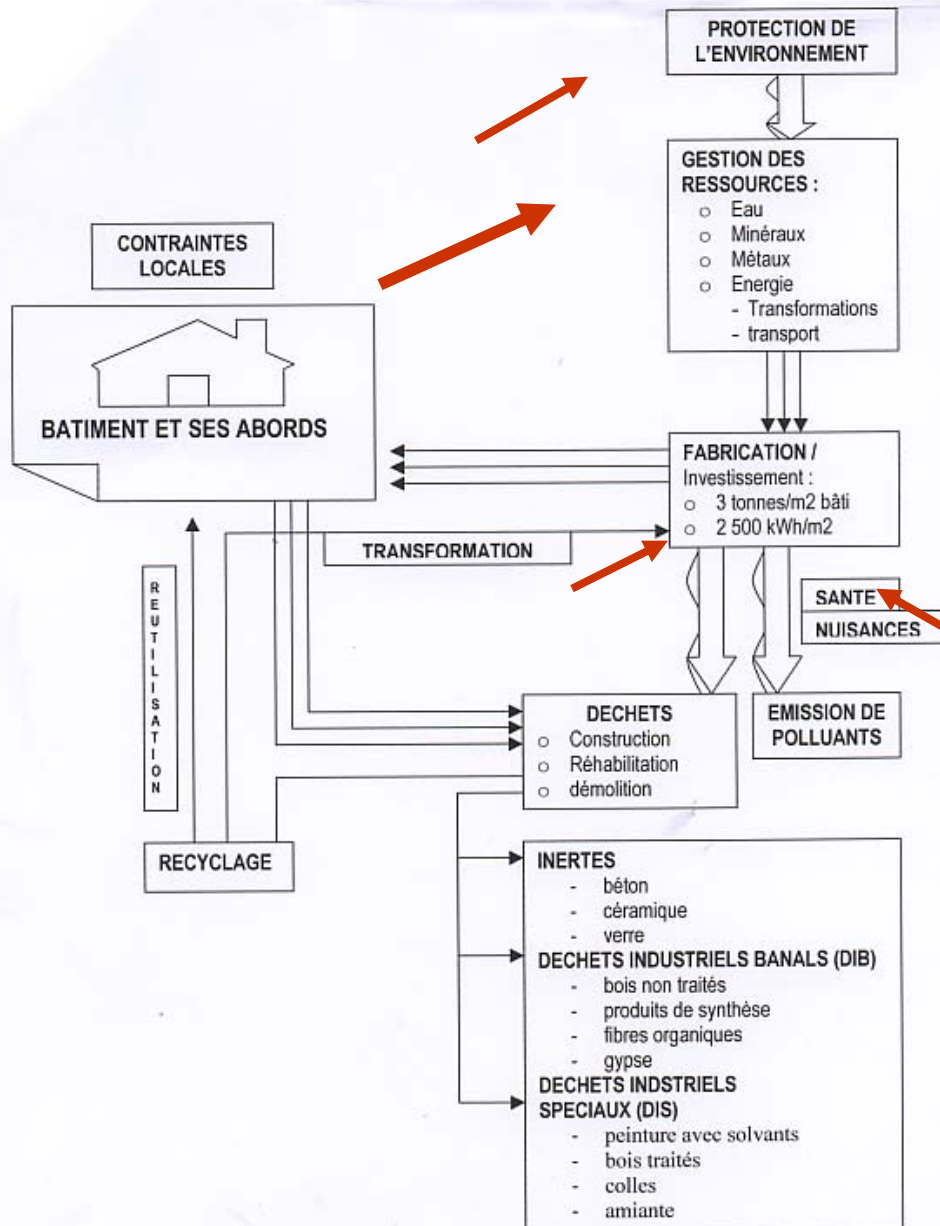
- Performances techniques
- Performances fonctionnelles
- Qualité architecturale
- Durabilité et facilité d'entretien

## Critères de coût:

- Coût d'investissement
- Coût différés (d'entretien et de renouvellement)

## Critères environnementaux :

- Économie de ressources
- Risques sur l'environnement
- Risques sur la santé



# Démarche de choix environnemental multicritères

## Démarche de choix environnemental multicritères

### Économie de ressources

- Contenue énergétique
- Durée de vie
- Matériaux renouvelables?
- Ressources rares ?
- Matériaux recyclés ?
- Matériaux locaux?

### Maîtrise des risques sur l'environnement

- Fabrication « propre » ?
- Effet de serre ?
- Couche d'ozone ?
- Élimination « propre » ?

### Maîtrise des risques sur la santé

- Nature du risque ?
- Niveau de certitude du risque ?
- Occurrence du risque ?
- Principe de précaution ?

# Économie des ressources

**critères de choix:** qui prennent en compte la consommation des ressources plus ou moins **rare** (*matières premières, énergie eau..*)

•**Énergie** : quantité d'énergie nécessaire pour fabriquer, transporter mettre en oeuvre entretenir et renouveler un matériau

•**Durée de vie optimisé** : pour rentabiliser les prélèvements de ressources initiaux

•**Matériaux renouvelables** : quantité de matériaux renouvelables dans le produit

•**Ressources rares** : quantité de ressources rares prélevée

•**Matériaux recyclés** : part de matériaux recyclés, utilisés pour la fabrication du produit

# Maîtrise des risques sur la santé

limiter les **risques sur la santé des personnes**:

- en **fabrication**
- sur le **chantier, et parfois**
- **des utilisateurs au cours de la vie du bâtiment.**

Certains risques sont particulièrement à surveiller :

- Risque cancérogène (amiante, formaldéhyde, benzène, COV)
- Risque toxique (COV, produits toxiques)
- Risque allergène (micro-organismes, COV)
- Risques mutagènes, risques pour la reproduction(COV)

## Opération permettant une réduction des consommations de solvants à la source

La société ABELIA DECORS (80) est **spécialisée dans la fabrication de papier peint vinyle**. La production annuelle se situe entre 7,5 et 10 millions de rouleaux.

Jusqu'à présent la fabrication du papier peint nécessitait l'emploi d'encre à haute teneur en solvant (85 %) responsables des émissions de COV sur le site.

ABELIA a décidé de remplacer cette gamme d'encre par des **encres à base aqueuse ne contenant que 5 % de solvants**. Cette substitution a permis de réduire les rejets de COV de 540 tonnes par an.



Machine d'impression héliogravure  
*ABELIA DECORS*

[Pour en savoir plus](#)

Source :  
ADEME internet

# éviter les listes noires

- **Il s'agit d'éviter les listes noires et de faire un choix multicritères en s'appuyant sur une grille hiérarchisée de critères**
  - Ce choix ne peut se faire qu'en tenant compte de l'ensemble des critères qu'ils soient techniques, économiques ou environnementaux.

## CVM

- L'analyse multicritères des matériaux doit se faire sur l'ensemble du cycle de vie du matériau, à savoir la phase de fabrication ( jusqu' à la phase de démolition.)
- Les diverses phases du CVM n'ont pas la même influence sur les différents critères de choix
- Parfois il s'agit d'un choix multicritères avec des évaluations parfois contradictoires entre critères qu'il faut par conséquent pondérer

# économie d'énergie et de ressources.

## Rappel

Les sources d'énergie, combustibles ou non, les matières premières disponibles ne constituent malheureusement pas des ressources inépuisables.

Certaines d'entre elles sont d'ores et déjà des ressources rares ou peuvent le devenir à l'échelle d'une ou deux générations

## Réserves:

Pétrole brut entre 36 et 60 fois la consommation annuelle

Uranium: 60 années?

Certains Bois tropicaux: surface réduite à la moitié (France premier importateur de bois tropicaux: 1,3 millions de m<sup>3</sup> par an)

La fabrication de plastiques consomme 4% de la production pétrolière.



# économie d'énergie et de ressources.

## Matières les plus présentes:

- Oxygène : 46%
- Silicium: 27%
- Aluminium
- Fer
- Sodium
- Potassium
- Magnésium

## Consommations

- Le béton est la deuxième matière consommé après l'eau : 900kg par an par personne
- France : 400 millions de tonnes de granulats
- Et 20 millions de tonnes de ciment

# Réduction des consommations:

## Allègement des composants?

- Béton
- PVC
- Épaisseur structures

## Recyclage peut atteindre:

- 60% pour le cuivre
- 50% pour l'acier
- 30 à 50% pour l'aluminium, le plomb et le zinc
- En 1992, 2000 tonnes de plastique ont été recyclées dans le bâtiment( dalles, tubes, chemins de câbles)

*Ref. bibliog. Eco-conception des bâtiments batir en préservant l'environnement Bruno Peuportier*

# Consommation de matériaux dans la construction de logements

- La consommation de matériaux dans la construction de logements suppose aujourd'hui un investissement de près de **3 tonnes par m<sup>2</sup> bâti**. Même s'ils sont produits localement à moins de 400 km de distance, l'énergie nécessaire pour les fabriquer, généralement d'origine fossile, **atteint les 2.500 kWh par m<sup>2</sup> ce qui équivaut à l'utilisation du logement pendant une période de vingt ans !!**
- A eux seuls, la fabrication des matériaux en **céramique** ainsi que l'**acier** nécessaires pour produire tout ce qui compose un bâtiment représente plus du **50% de la consommation d'énergie**.

# Dommmages environnementaux

**Les territoires et les écosystèmes subissent d'importants dommages environnementaux dus à l'extraction de matériaux majoritairement minéraux.**

## Dégradation des écosystèmes

- **Extraction de sables et graviers:**
  - 1950: 17 millions de tonnes
  - 1980: 230 millions de tonnes
  - 1990: 400 millions de tonnes

**En Espagne, l'utilisation des graviers représente 54% du poids d'un bâtiment, ce qui, avec les autres matériaux minéraux utilisés fait un total de 85%.**

- **Labels + autres critères de sélection pour aider les architectes à orienter leur choix:**
  - Favoriser l'utilisation de matériaux contenant des **matières renouvelables recyclables ou recyclées**
  - Préférer les matériaux issus de **production locales** pour réduire la part générée par les **transports**
  - Privilégier des produits de construction dont le contenu **énergétique est le plus faible possible**

- **Labels + autres critères de sélection pour aider les architectes à orienter leur choix (cont)**
  - appliquer le principe de précaution pour les produits dont on ne connaît pas encore l'impact sur la santé
  - Utiliser des matériaux qui apportent une plus-value en terme de confort d'usage et permettant de réduire les besoins énergétique
  - Vérifier que les opérations d'entretien ou de maintenance soient compatibles avec les moyens

# Choix des matériaux: choix des critères



## CHOIX DES MATERIAUX

Légende des caractéristique : --- très négative - négative • moyenne ou neutre + positive ++ très positive

	Matériaux	Eco bilan (construction)	Eco bilan (démolition)	Valeur isolante	Confort d'été	Prix
Laine minérale	Laine de verre	-	-	+	•	+
	Laine de roche	-	-	+	•	+
	Vermiculite	-	•	-	•	-
	Perlite	-	•	•	•	-
Synthétique	Polystyrène	-	---	+	•	•
	Polyuréthane (1)	---	---	++	•	-
	Isolant mince	---	---	---	---	---
Isolants sains	Laine de cellulose	•	•	+	+	-
	Laine de bois	+	+	+	+++	-
	Liège expansé	•	+	+	+++	-
	Laine de mouton	•	+	+	+	-
	Laine de chanvre	•	+	•	•	-
	Plume de canard	•	+	+	•	-
Isolation répartie	Brique terre cuite	-	+	+	+++	-
	Béton cellulaire	•	•	+	+++	-
	Botte de Paille (2)	+	+	+	+++	+

(1) le polyuréthane, bien que très cher ne possède qu'une appréciation négative et non pas très négative sur le prix car il offre des propriétés isolantes intéressantes avec peu d'épaisseur, ce qui peut présenter un intérêt dans certains cas, comme l'isolation du plancher par exemple.

(2) la botte de paille possède les meilleures appréciations globales, mais son approvisionnement est limité à des filières locales encore peu généralisées.

## Dans la pratique...

- *Spécification d'équipements et de finitions demandant peu d'entretien.*
- *Spécification de matériaux de construction non polluants*
- *Réduction ou élimination des destructeurs d'ozone*
- *Réduire la quantité de déchets à éliminer*
- *Faciliter la réduction des déchets de construction, de rénovation et de démolition*
- *Concevoir des installations adéquates pour promouvoir les programmes de recyclage*
- *Utiliser des matériaux durables, pouvant s'entretenir et contenant des matières renouvelables et recyclées*



- ***Planification de la conception et de la construction de façon à minimiser les déchets de construction et de démolition***
- ***Conception des bâtiments qui minimise les besoins énergétiques : immeubles à meilleur rendement énergétique***
- ***Utilisation de sources d'énergie écologiques et efficaces pour chauffer, refroidir, ventiler, éclairer et alimenter en électricité les installations***
- ***Recours à des sources d'énergie renouvelables et non polluantes***
- ***Aménagement du terrain de façon à traiter les eaux d'orage***

## Dans la pratique...

- ***Spécification de matériaux de construction à faible énergie intrinsèque***
- ***Stratégies paysagistes efficaces sur le plan de l'eau***
- ***Utilisation efficace de l'eau***
- ***Réduire les émissions des gaz à effet de serre***
- ***Connaissance des effets sur le site de la construction et de l'exploitation d'un immeuble***
- ***Stratégies paysagistes qui rehaussent les qualités écologiques du site***
- ***Méthodes de construction qui réduisent les effets sur l'environnement et les déchets de construction***
- ***Nous devons comprendre l'agenda environnemental qui se dessine***

## Dans la pratique...

- *Développer les compétences et connaissances voulues pour réaliser l'agenda environnemental dans tous les travaux de conception*
- ***Examiner de façon critique les normes actuelles de conception et réévaluer chaque projet de conception selon ses mérites***
- *Se montrer ouvert et réceptif aux nouvelles idées en matière d'environnement et être prêts à réévaluer les meilleurs méthodes*
- *Appliquer une démarche concertée selon laquelle chaque membre de l'équipe de conception connaît à un certain niveau toutes les questions importantes d'un projet et peut faire des contributions opportunes*

## Dans la pratique...

- *Envisager avec imagination de réutiliser matériaux, éléments et immeubles en les combinant avec une foule de nouveaux matériaux qui apparaissent sur le marché sous la poussée de l'industrie du bâtiment à la recherche de moyens novateurs de transformer les déchets en ressources*
- *Acquérir des compétences, des connaissances et des attitudes nouvelles au service de la rénovation et apprendre à devenir des conservateurs de l'environnement bâti*
- *Examiner le rapport coût-efficacité des stratégies d'environnement dans le contexte global des coût de rénovation et non simplement des avantages relatifs de ces stratégies*
- *combattre le cloisonnement professionnel entre architectes, les ingénieur et les autres participants à la production des immeubles*

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **La Perméabilité à la vapeur d'eau** dépend de la structure interne du matériau.
- Il n'y a pas vraiment de grande famille dans ce domaine.
- Certains matériaux sont très hydrophiles, et absorbent l'eau mais ne laissent pas passer la vapeur d'eau, d'autres sont imperméables à l'eau liquide mais pas à la vapeur d'eau.
- Certains encore sont imperméables à tout échange de fluide qu'il soit gazeux ou liquide.
- Il est important de connaître le comportement des matériaux à ce sujet pour ne pas les utiliser à un endroit inapproprié, c'est à dire, un endroit où ils ne répondraient pas au cahier des charge de notre ouvrage (étanchéité air et eau, mais perméabilité à la vapeur d'eau).

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

### Les bois :

- Thermique > le bois est un matériau composite qui n'est ni un isolant, ni un accumulateur.
- Les bois les plus légers sont presque des isolants,
- les bois les plus lourds sont presque des accumulateurs.
- Toutefois, ils ne peuvent être utilisés pour ces rôles qu'avec circonspection puisque **les propriétés du matériau changent en fonction du sens dans lequel il est posé.**
- Résistance mécanique > généralement très résistant et élastique perpendiculairement à la fibre, faible et cassant dans l'autre sens.
- Perméabilité > variable suivant les essences, le fil du bois et sa section, la perméabilité reste souvent idéale.  
Étanche à l'air et à l'eau, mais perméable à la vapeur.



- Le bois est un matériau tout indiqué pour la construction, mais il ne convient pas si l'on n'utilise que lui.
- Il faut le marier avec de vrais isolants et de vrais accumulateurs (cette conclusion n'est valable que pour la région centre). C'est un matériau qui se marie presque à la perfection avec le fonctionnement de notre organisme, juste après l'argile

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

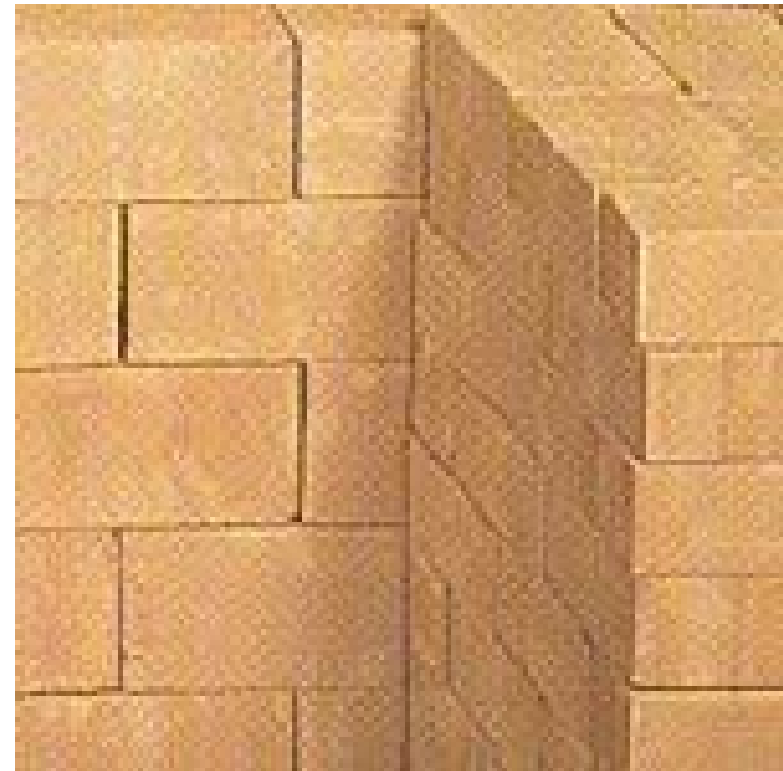
- **Les pierres :**
  - Thermique > généralement accumulateur. Quelques pierres volcaniques sont isolantes.
  - Résistance mécanique > résistant et cassant. Présente parfois des résistances différentes selon le sens du matériaux.
  - Perméabilité > toujours étanche à l'air, pas forcément étanche à l'eau, de faiblement perméable à la vapeur à imperméable à la vapeur d'eau.
- La pierre est un bon choix d'accumulateur. Généralement on peut également lui confier une fonction porteuse, par contre, il est toujours nécessaire de lier les différents blocs de pierres ce qui mélange les propriétés de la pierre elle-même avec celle du matériau qui lie les blocs. Cela peut grandement modifier le résultat final, notamment au niveau de la perméabilité.



## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

### La terre crue (l'argile) :

- Thermique > **accumulateur**. Il est possible de le rendre isolant en le mélangeant avec des fibres végétales.
- Résistance mécanique > faible et plastique ou dur et cassant en fonction du taux d'humidité.
- Perméabilité > Étanche à l'eau et à l'air, perméable à la vapeur d'eau.
- L'argile **est l'accumulateur idéal**. Sa mise en oeuvre permet de l'utiliser en fonction porteuse ou en combinaison avec du bois. C'est le matériau le plus adapté à notre organisme. Il est possible de construire une habitation idéale pour l'être humain juste avec de la terre crue, c'est le seul matériau qui le permette.





## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **La terre cuite :**

- Thermique > accumulateur. Il est possible de le rendre isolant en le mélangeant avec de l'air pendant ou après la cuisson (alvéoles).
- Résistance mécanique > résistant et cassant.
- Perméabilité > étanche à l'air et à l'eau (sauf défaut de cuisson), peu perméable à la vapeur d'eau. La perméabilité de la terre cuite (à tout) augmente au fil du temps jusqu'à ce que le matériau devienne complètement poreux.
- La terre cuite pleine est un bon accumulateur, mais peut également être un isolant correct en grande épaisseur (et avec beaucoup d'air). Ce matériau est très semblable à la pierre, mais est plus facile à utiliser du fait qu'on peut lui donner avant de le cuire la forme désirée.



# École *Spéciale* d'Architecture

## la Terre un matériau contemporain

Développement durable et architecture  
l'Argentine

26 septembre 2008

*Maria López Díaz*

*Architecte*

*[purylopezdiaz@hotmail.com](mailto:purylopezdiaz@hotmail.com)*

Architecture **S** en terres **s**

=

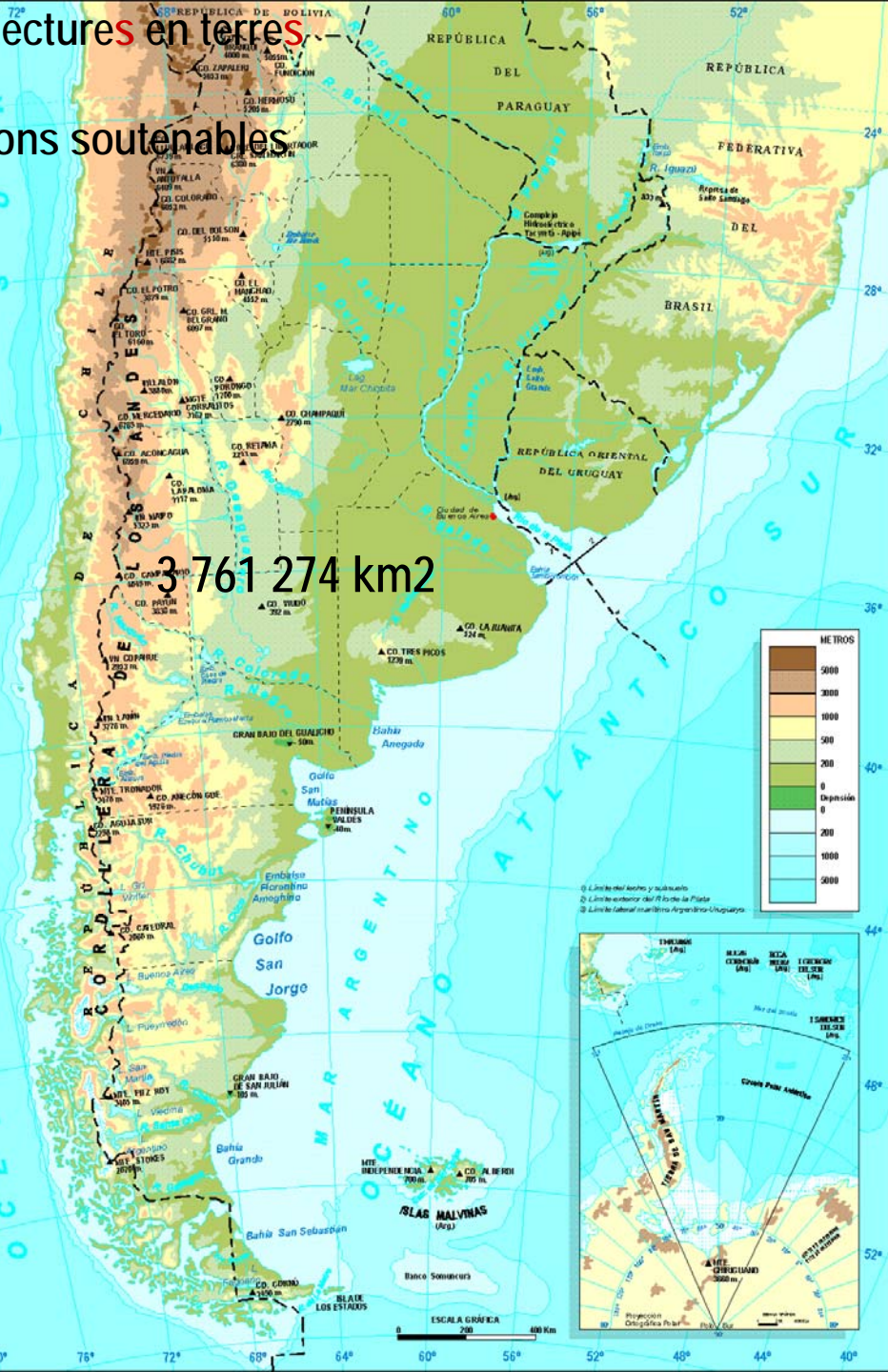
solutions soutenables

Hier - aujourd'hui - demain

Architectures en terres  
=  
solutions soutenables



Pucara de quitor



=

solutions soutenables

## plan

- Matériau : terre matériau d'avenir
- La terre et les principes du développement durable
- La **modernité** laquelle?
- L'histoire et la recherche sur **les techniques constructives** et « **les matériaux terres...** » en Argentine

# Architectures en terres

=

solutions soutenables

- Penser, concevoir, réhabiliter en tenant compte du DD: Qualité...besoins...
- *Quels matériaux, combien de matériaux pour un urbanisme durable?*

## architectures durables

aspects :

**Ecologiques,  
environnementaux**

Ex : épuisement des  
ressources, dégradation  
des écosystèmes et des  
paysages

**matériaux**

**Sociaux**

Ex : santé

**matériaux**

**Culturels :**

Ex : protection du patrimoine  
Identité d'une ville, d'une typologie de  
batiments....

**matériaux**

**Economiques**

Ex : durabilité  
Energie  
charges

**matériaux**

# Architectures en terres

=

solutions soutenables

à l'heure d'une:

- **Conscience et acceptation d' une urgence pour mettre en place:**
  - des actions concretes pour un développement soutenable, qui feraient face aux:
    - » défis environnementaux,
    - » urgences sociales
    - » **Protection du patrimoine** “culturel”, “rural”, “agricole”, “forestier”, “urbain” ... “ressources”,
    - » ...
- **Naissance de:**
  - Quartiers écologiques
  - Villes durables
  - Grattes-ciels écologiques



# Architectures en terres

=  
solutions soutenables



**VESTERBRO -  
COPENHAGUE**



**HAMMARBY  
SJÖSTAD -  
STOCKHOLM**



**BO01 - MALMÖ**



**BEDZED - BEDDINGTON**

**NSBERG -  
OVRE**

**CITÉ MANIFESTE MULHOUSE**



**VAUBAN -  
FRIBOURG**



**Dongtan**

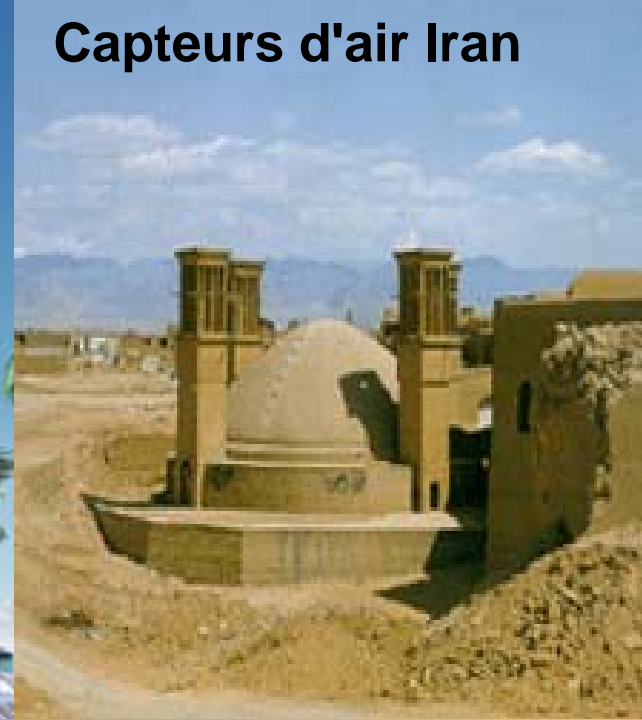
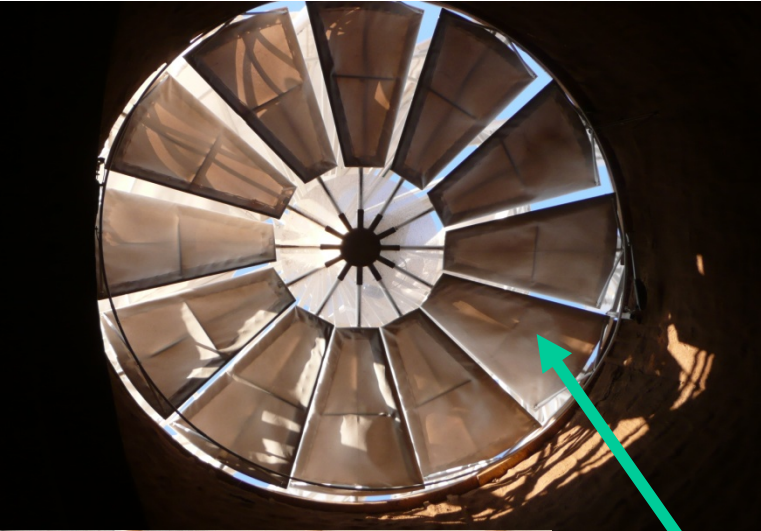
Architectures en terres

=

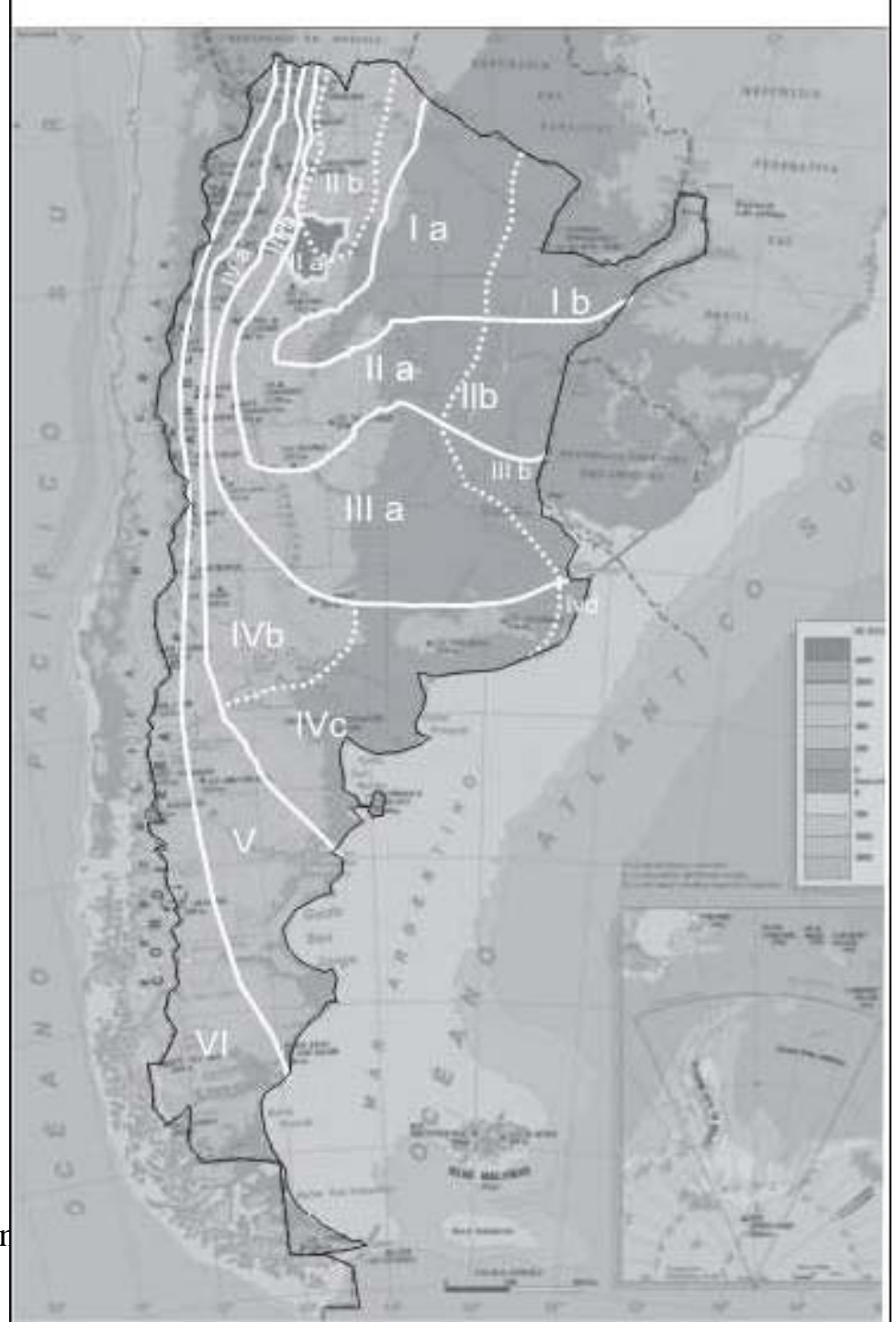
solutions soutenables

Burj al-Taqa

Capteurs d'air Iran



Architectures en terres  
=  
solutions soutenables



Architectures en terres  
=  
solutions soutenables

Industrie du  
tourisme



Capilla de la Gracitud  
Salentein-Bórmida&Yanzón

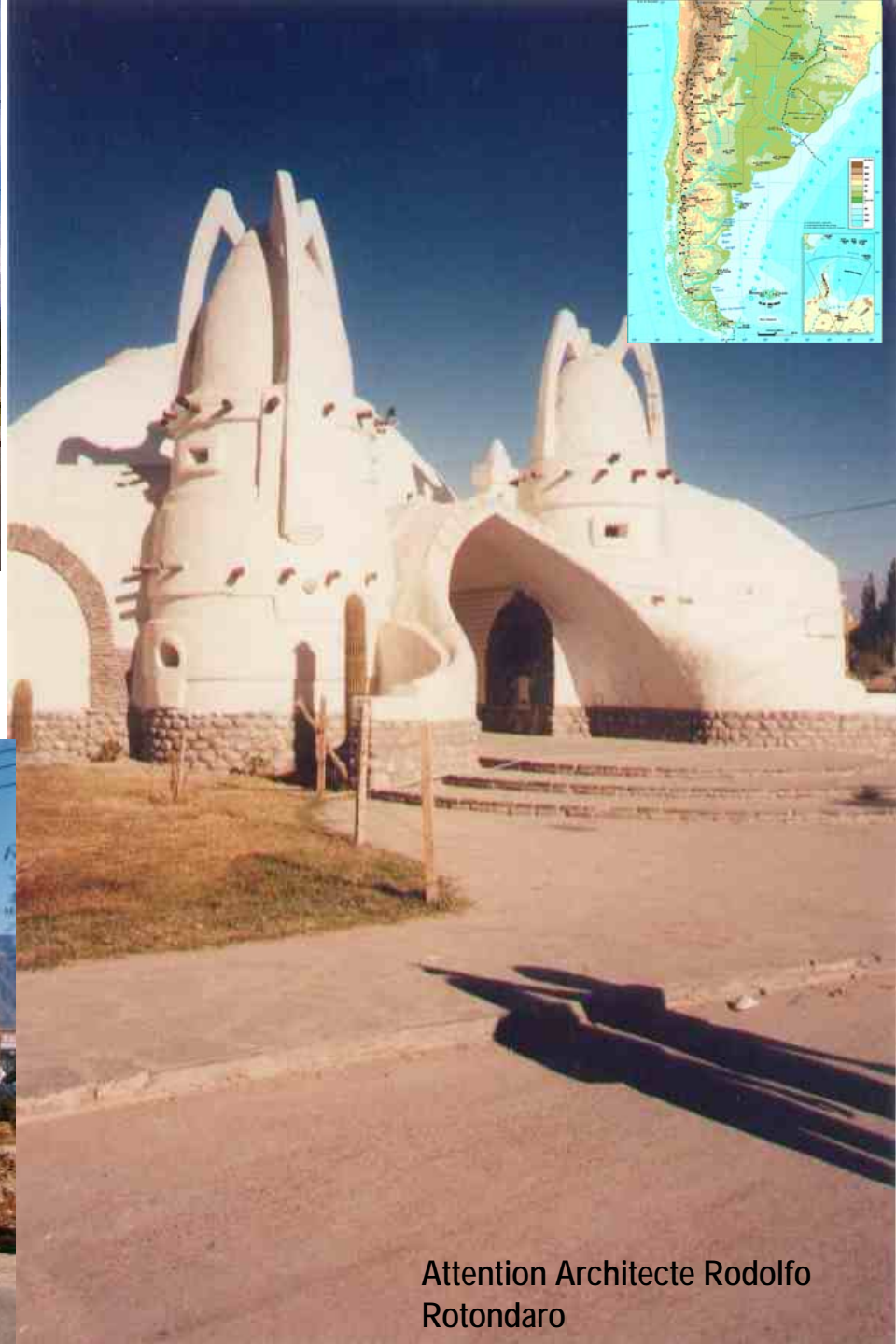
Architectures en terres

=

solutions soutenables



**Centre touristique y culturel  
K-Sama (Catamarca)**



Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

Architectures en terres

=

solutions soutenables

Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro



Hotel Susques,  
Jujuy



Architectures en terres  
=  
solutions soutenables

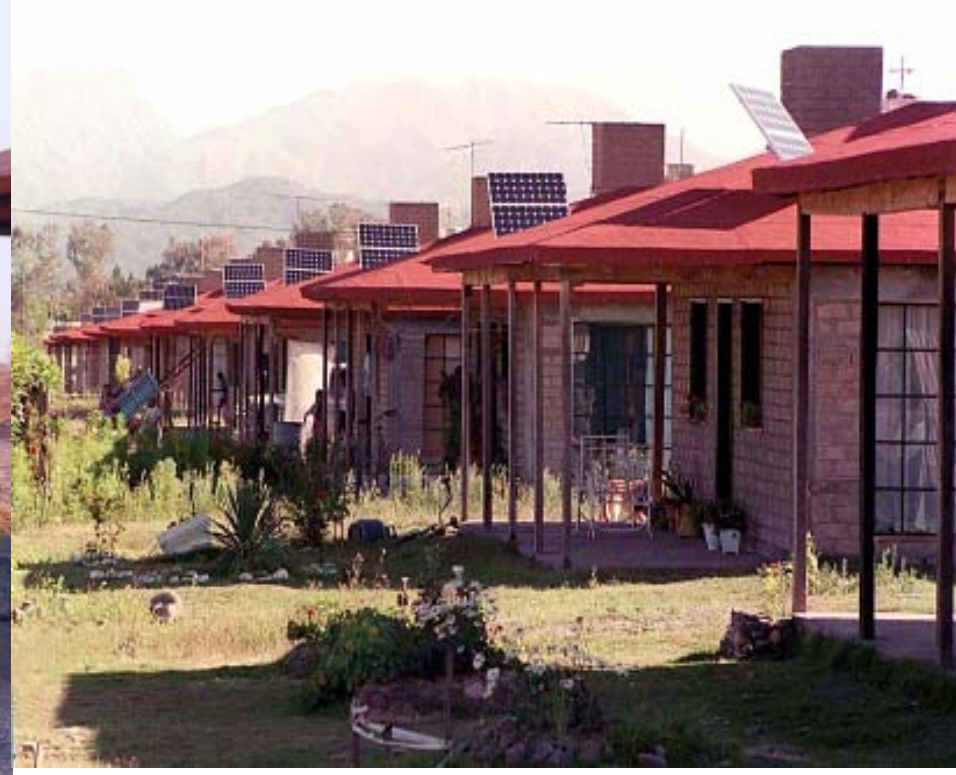


Viviendas y cabañas  
en  
Purmamarca, Jujuy

Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

Architectures en terres  
=  
solutions soutenables

# Barrio ECOSOL, Salta



maria lopez diaz

Attention Architecte Rodolfo  
11 Rotondaro



Architectures en terres  
=  
solutions soutenables

Vivienda del Estado,  
Jujuy



18/02/2005

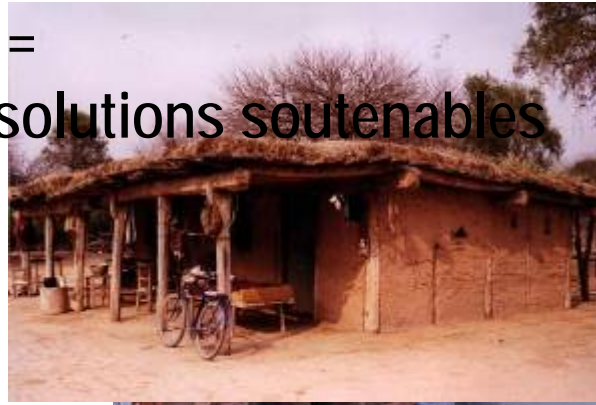
maria lopez diaz

Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

# Architectures en terres

=  
solutions soutenables

# Mejoramientos para la Vivienda de zonas con el Mal de Chagas, Sgo del Estero



Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

# Architectures en terres

=  
solutions soutenables



Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

maria lopez diaz

Alternativas tecnológicas en  
Zonas urbanas pobres,  
Gran Buenos Aires

# Architectures en terres = solutions soutenables



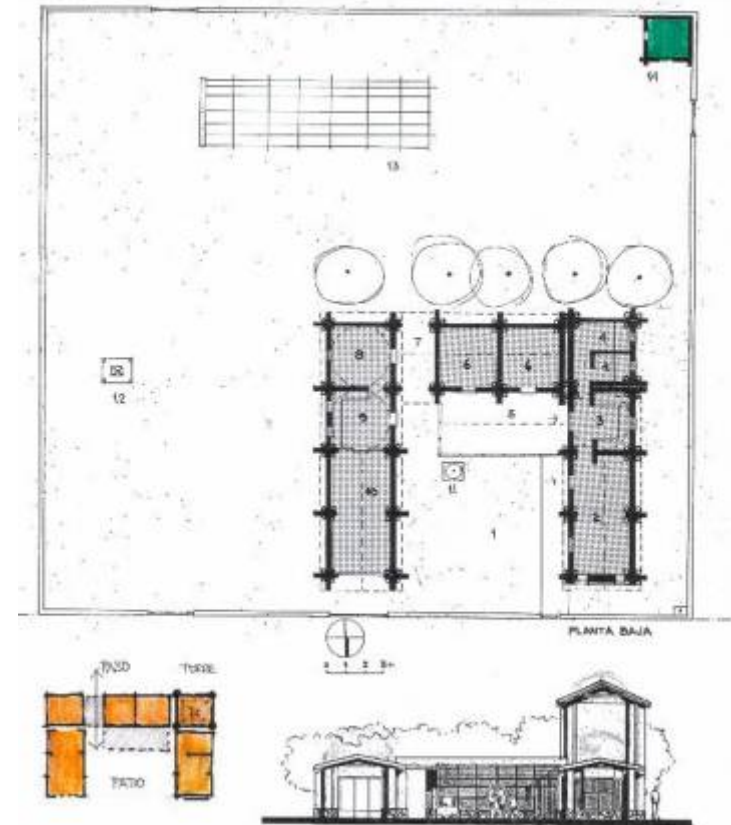
**CRIATIC, Centro Regional de Investigación en Arquitectura de Tierra Cruda, Univesidad Nacional de Tucumán**



Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

# Architectures en terres

=  
solutions soutenables



Attention Architecte Rodolfo Rotondaro

Estación Científica Pozuelos,  
Jujuy

Architectures en terres  
=  
solutions soutenables

capacitación



maria\_lopez\_diaz  
Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro

Cursos y transferencia  
De tecnología constructiva  
(terrabaies)

# Architectures en terres

=

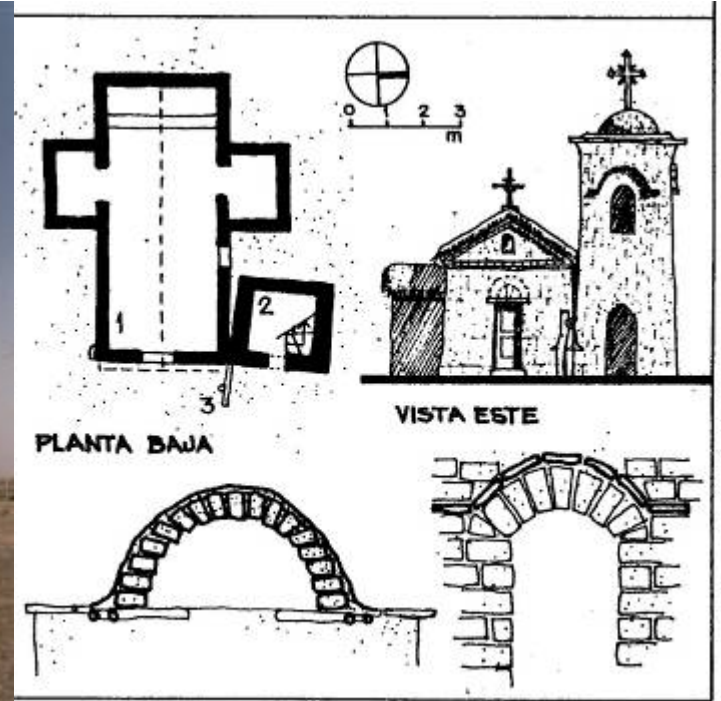
solutions soutenables

Fabricación de adobes tradicionales (altiplano)  
Ritual de la Pachamama (altiplano)  
Horno de barro para cocer pan (altiplano)



Attention Architecte Rodolfo Rotondaro

Architectures en terres  
=  
solutions soutenables



Capilla de adobe en área rural de Jujuy

Templo guaraní en Misiones



maria

Attention Architecte Rodolfo  
Rotondaro



# Architectures en terres

## solutions soutenables



Vivienda rural vernácula (Jujuy, Sgo. del Estero y San Juan)

Attention Architecte Rodolfo Rotondaro

# Architectures en terres

=

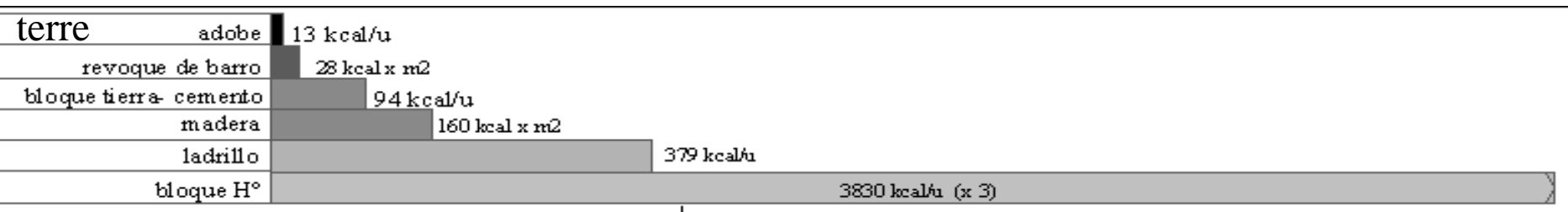
## solutions soutenables

### 3. *Análisis de Consumos Energéticos*

Por otro lado, se considera el gasto energético para la producción de los materiales comúnmente empleados en la producción de las viviendas rurales de la zona en consideración. (Figura 15). Los usuarios-constructores de este caso de vivienda analizado, utilizaron en primer lugar el ladrillo cerámico macizo para la materialización del volumen principal de la misma. En la figura, se advierte que la energía insumida para la generación este material es importante. Por lo tanto, para evitar impactos nocivos al ambiente, es conveniente utilizar otros materiales con menor gasto energético o incorporar innovaciones al proceso de fabricación del ladrillo para que la leña usada como combustible en su cocción sea empleada en forma racional.

Figura 15: *Energía necesaria para la producción de materiales*

### *Énergie nécessaire pour la fabrication des matériaux*



# Architectures en terres

=

solutions soutenables

## BESOIN D'UNE DEFINITION DE PATRIMOINE

- NON PAS « INDIVIDUELLE » DES PARENTS AUX ENFANTS SINON
- PLUS UNIVERSELLE : DE L'HUMANITE A L'HUMANITE

- VISION QUI SE CORRESPOND MIEUX AUX CONCEPTS QUI STRUCTURENT UNE DEMARCHE INSCRITE DANS LE DEVELOPPEMENT DURABLE
  - GAZ EFFET DE SERRE ENDOMMAGENT LA PLANETE
- APPROPRIATION DU CONCEPT DE PROTECTION DU PATRIMOINE A L'ECHELLE MONDIALE:
  - L'HISTOIRE?
  - L'ESTHETIQUE?
  - ETC
- OUI
  - BESOIN DE TEMPS

=

solutions soutenables

- **CHOIX PAR PRIX = DEVALORISATION**
  - INTERVENTIONS POUR RENDRE HABITABLE ET POUR UNE LEGITIME « APPROPRIATION »
    - CONCEPTS DE VALORISATION QUI SE CORRESPONDENT A UNE MODERNISATION
    - MODERNISATION A L' IMAGE DES VILLES, DES QUARTIERS MODERNES CONNUS
- **DESTRUCTION MATERIELLE ET CONCEPTUELLE**
- **LOIS DE PROTECTION . CONTRAINTES**
- **MODERNITE?**

# Architectures en terres

=  
solutions soutenables



- Efficacité énergétique: diminutions des besoins d'énergie
  - exemple **Bed ZED**
    - **Objectifs : écologiques + sociaux**
      - adéquation au climat
      - compacité des bâtiments
      - densité
    - Utilisation de matériaux de construction locaux : - de 60 km
- aria lopez diaz
- Confort au moindre prix pour l'environnement

# Architectures en terres = solutions soutenables



La vénération à la Pachamama constitue une des plus anciennes manifestations religieuses de l'Amérique du Sud.

Croyance: la terre es considéré comme un être divin à l'origine de tout ce qui existe.

Architectures en terres

=

solutions soutenables

*Je vous remercie de votre attention*

*maria lopez diaz*

## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **Les fibres végétales ou animales :**

- Thermique > isolant.
- Résistance mécanique > faible à résistant et élastique.
- Perméabilité > perméable à la vapeur d'eau. Généralement perméable à l'eau, sauf si les fibres sont très serrées et/ou enduite d'une matière hydrofuge. Généralement perméable à l'air, sauf si les fibres sont très serrées.
- Il existe de très nombreuses fibres dont on peu tirer des produits isolants de toutes natures. S'ils sont naturels, ces produits sont biodégradables et peuvent être détruits par des créatures qui les consomment, ou détruits par des champignons si le taux d'humidité est élevé et constant. Ces fibres ont toutes la capacité de ne pas perdre leur pouvoir isolant même si le taux d'humidité est élevé.





## Caractéristiques des matériaux en lien direct avec le confort

- **Les fibres synthétiques :**
  - Thermique > isolant
  - Résistance mécanique > faible à résistant et élastique.
  - Perméabilité > Généralement perméable à l'air et à l'eau, sauf tissage spécifique. Perméable ou imperméable à la vapeur d'eau, dépend du processus de fabrication.
- Les isolants à base de fibres synthétiques, pour ceux qui ne sont pas d'office complètement étanches à la vapeur d'eau, présentent l'inconvénient de perdre leur pouvoir isolant en présence d'eau (ils prennent alors les propriétés accumulatrices/conductrices de l'eau). La mise en oeuvre les rend alors imperméable à la vapeur d'eau en les protégeant avec un pare-vapeur étanche, ce qui les rend de fait impropres à l'utilisation en tant qu'isolant dans une habitation.

maria lopez diaz



- Confort des villes ? la minéralisation croissante synonyme d'augmentation de l'inertie thermique les villes subissent « **l'effet d'ilôt de chaleur** »



- On recherche recréer des espaces verts sur les toits : les toitures végétalisées ont un rôle important dans le confort des villes : évaporation d'eau, rétentions des poussières, confort thermique, acoustique qualité de l'air

