



Ce projet est financé par l'Union Européenne



## Appui à l'administration tunisienne pour le développement de l'éco-construction

# Réduire la consommation énergétique du bâtiment – réduire le besoin de froid

**Myriam Humbert – CETE Ouest**

**Sabrina Lemaire – CETE Ouest**

Développement de l'éco-construction

DGBC

19 au 22 juin 2012



Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir



Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

وزارة التجهيز  
Ministère de l'équipement  
Ministry of equipment



# SOMMAIRE

	<i>Pages</i>
● <i>Enjeux énergétiques en bâtiment</i>	3
● <i>Réduction des besoins de froid</i>	15
● <i>Optimisation des équipements</i>	29
● <i>Réduction des besoins de chaud</i>	36
● <i>Conclusion</i>	41

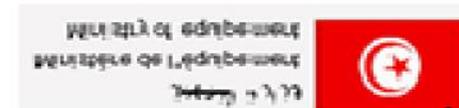


# Le réchauffement climatique

- ❖ « Le réchauffement du système climatique est sans équivoque car il est maintenant évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée de la neige et de la glace et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer. »\*
- ❖ + 1,1 à 6,4°C d'ici la fin du siècle\*

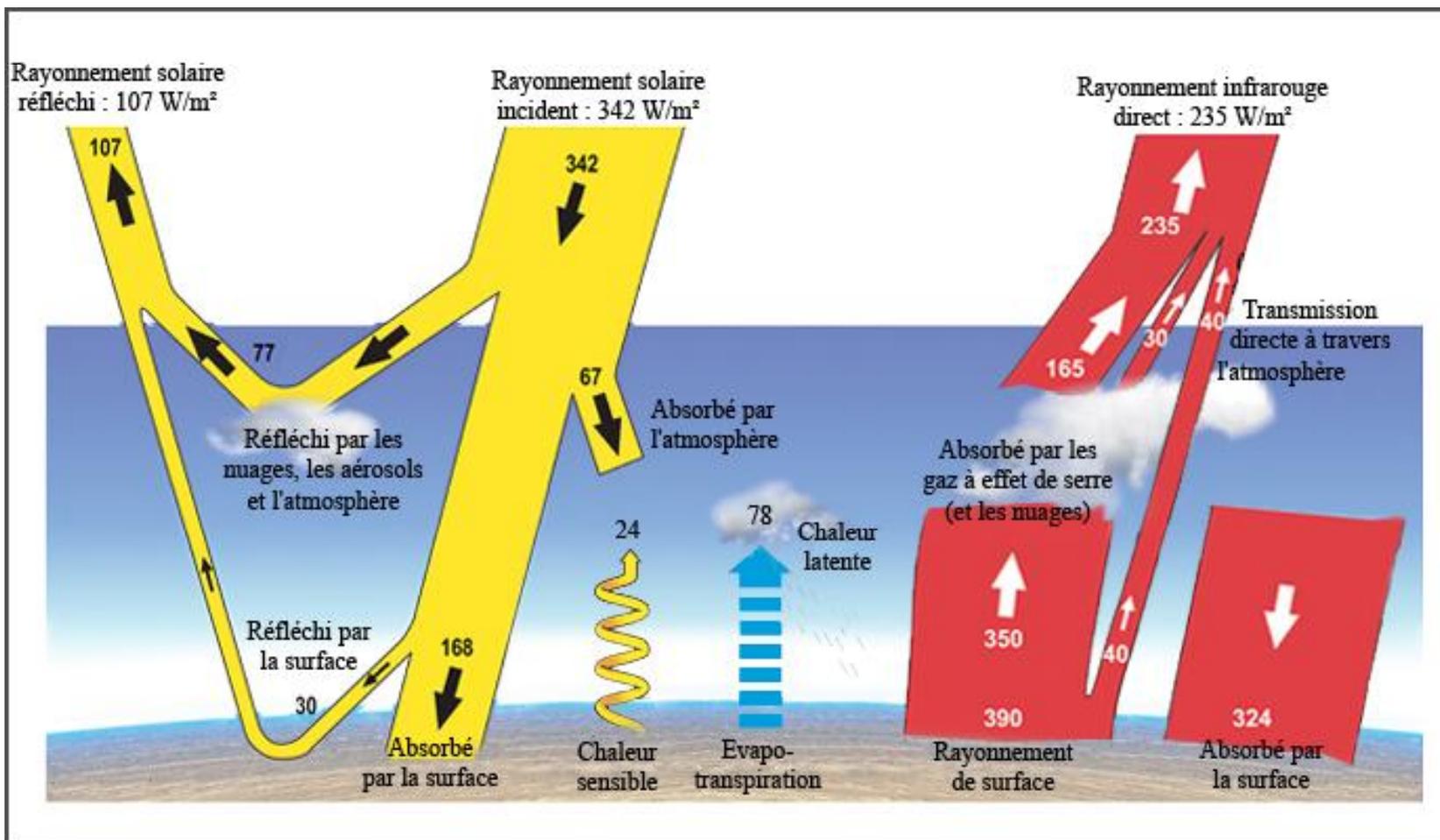


\* Source : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) – Février 2007



# Le réchauffement climatique

## ❖ Principe



[Source : d'après GIEC, 2001]



DE ENSEMBLYN CIVIL  
LABORATORIO INCIOMIVT

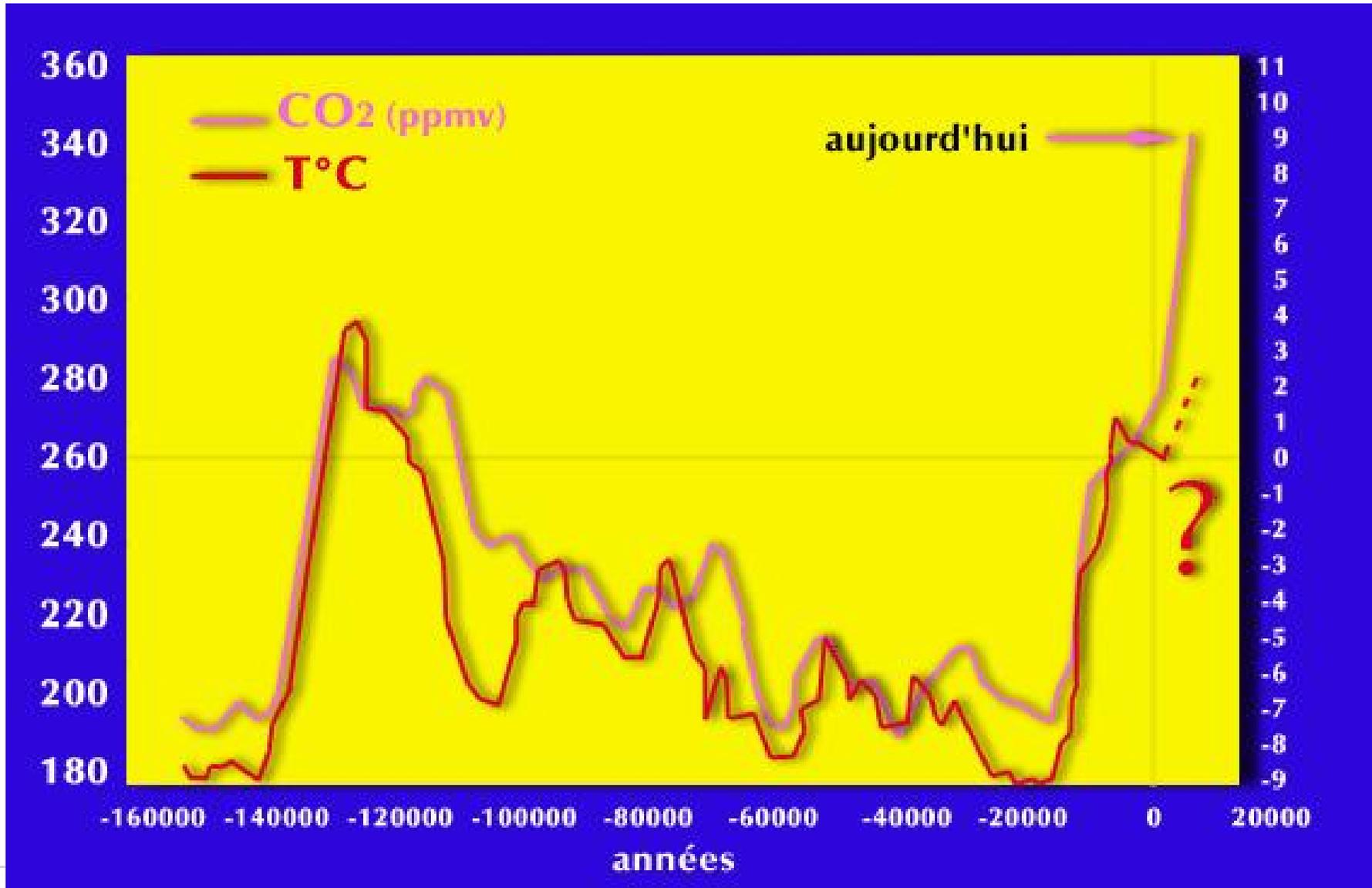


DE ENSEMBLYN CIVIL  
LABORATORIO INCIOMIVT

transparence de l'information  
transparence de l'information



# Évolution des concentrations de CO<sub>2</sub> et des températures au cours des temps géologiques



Source : C. Lorius, LGGG-CNRS



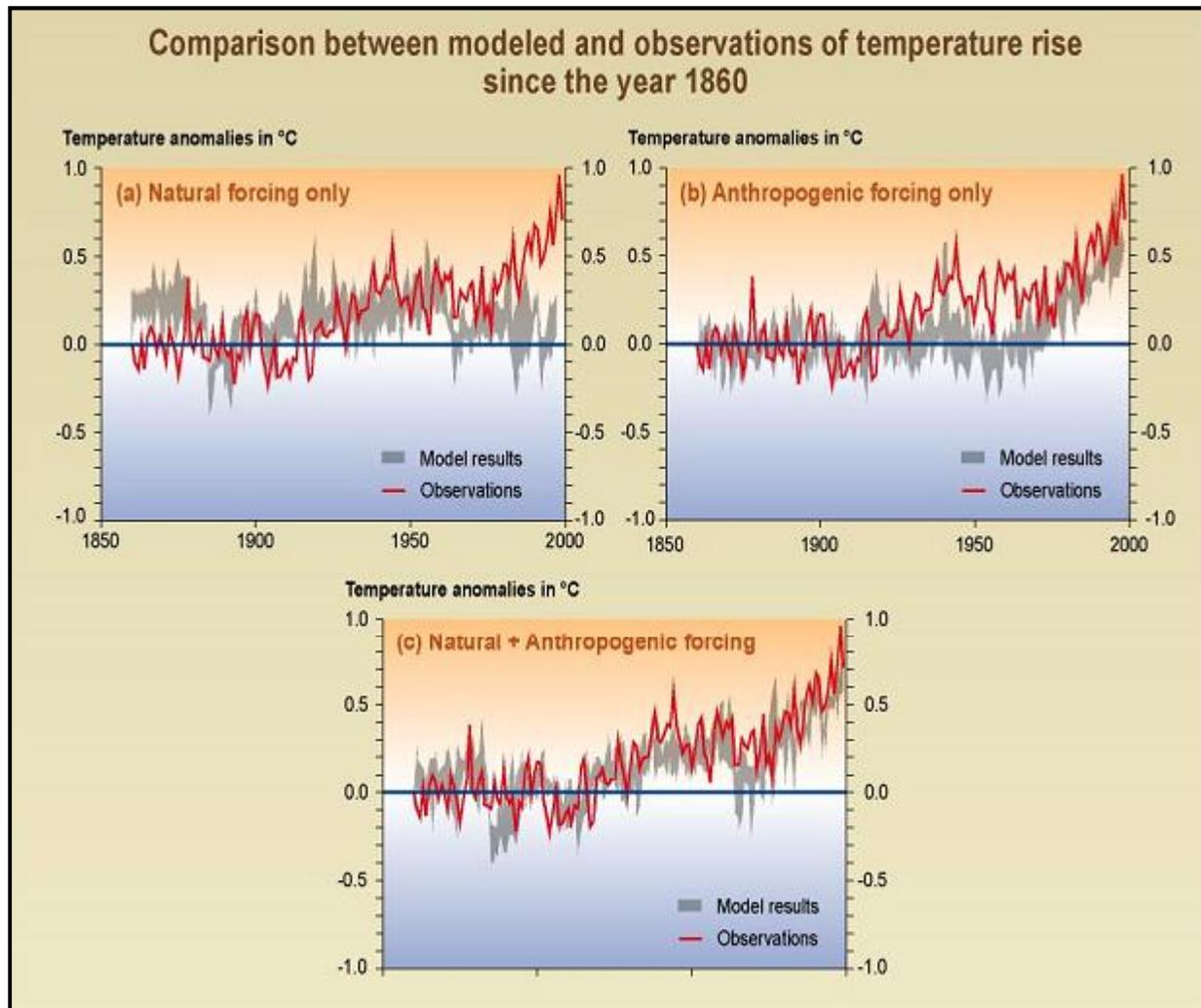
DE RECHERCHES EN  
LABORATOIRE

DE RECHERCHES EN  
LABORATOIRE

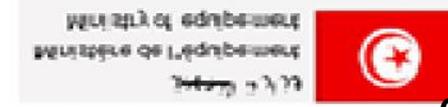
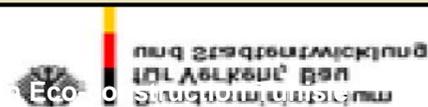


# Le réchauffement climatique

## ❖ Corrélation entre températures et activités humaines



[Source : IPCC, 2001]

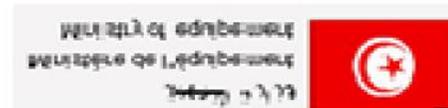


# Le réchauffement climatique

## ❖ Certitudes et variables actuelles

<i><b>Certitudes absolues</b></i>	<i><b>Impacts pouvant varier</b></i>	<i><b>Variables majeures</b></i>
Blocage par certains gaz du rayonnement émis par la terre	Hausse moyenne de la température d'ici 2100 : de 1,4° à 5,8°	Vitesse dans le temps du déclenchement de processus irréversibles
Mesure de l'augmentation des températures	Ampleur des événements extrêmes : cyclones, canicules,...	Adaptabilité des écosystèmes et dégradation de la biodiversité
Corrélation entre concentration de CO <sub>2</sub> et température	Adaptabilité des systèmes agricoles selon les régions	Capacité des océans à absorber le CO <sub>2</sub> à long terme
Accroissement des précipitations dans certaines régions	Accélération du réchauffement par dégel du permafrost et dégagement de méthane	Niveau d'émission compatible à long terme avec la stabilisation du climat
Hausse du niveau des mers	Modification des courants marins (Gulf stream)	Existence de mécanismes amplificateurs ou au contraire compensateurs

[Source : Formation IFORE, Pierre Radane, 2008]



# Le réchauffement climatique

## ❖ Origine des principaux gaz à l'effet de serre additionnel

**Les gaz à effet de serre principaux**

gaz à effet de serre	formule chimique	concentration pré-industriel	concentration en 1994	vie atmosphérique (année) <sup>***</sup>	sources anthropogéniques	potentiel de réchauffement climatique (GWP) <sup>*</sup>
dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	278 000 ppbv	358 000 ppbv	Variable	Combustion de combustibles fossiles Utilisation du sol Production de ciment	1
méthane	CH <sub>4</sub>	700 ppbv	1721 ppbv	12,2 +/- 3	Combustibles fossiles Riz paddy Terriil Bétail	21 **
oxyde nitreux	N <sub>2</sub> O	275 ppbv	311 ppbv	120	Fertilisants Processus industriel Combustion	310
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	0,503 ppbv	102	Liquides de refroidissement Mousses	6200-7100 ****
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	0	0,105 ppbv	12,1	Liquides de refroidissement	1300-1400 ****
perfluorométhane	CF <sub>4</sub>	0	0,070 ppbv	50 000	Production d'aluminium	6 500
soufre hexa-fluorure	SF <sub>6</sub>	0	0,032 ppbv	3 200	Fluide diélectrique	23 900

Note: pptv = 1 partie par trillion par volume; ppbv = 1 partie par billion par volume; ppmv = 1 partie par million par volume

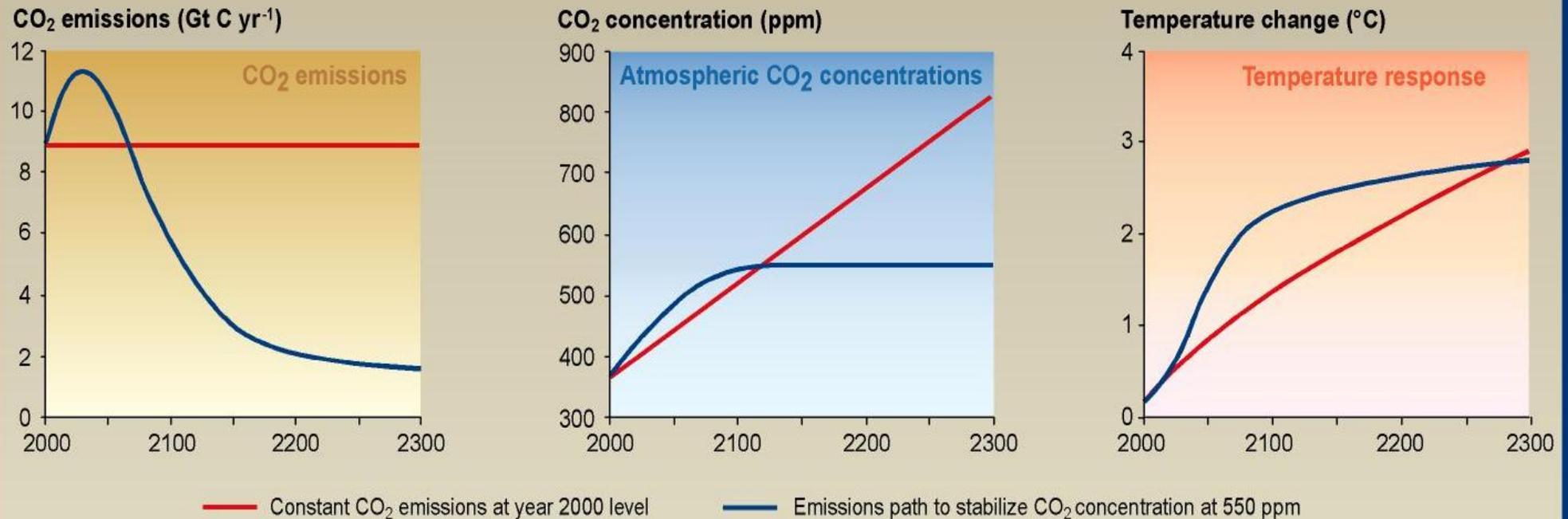
\* GWP for 100 year time horizon. \*\* Includes indirect effects of tropospheric ozone production and stratospheric water vapour production. \*\*\* On page 15 of the IPCC SAR. No single lifetime for CO<sub>2</sub> can be defined because of the different rates of uptake by different sink processes. \*\*\*\* Net global warming potential (i.e., including the indirect effect due to ozone depletion).

GRIID  
Aronal  
UNEP

Source: IPCC radiative forcing report. Climate change 1995. The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

# Le réchauffement climatique

## Impact of stabilizing emissions versus stabilizing concentrations of CO<sub>2</sub>

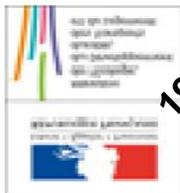
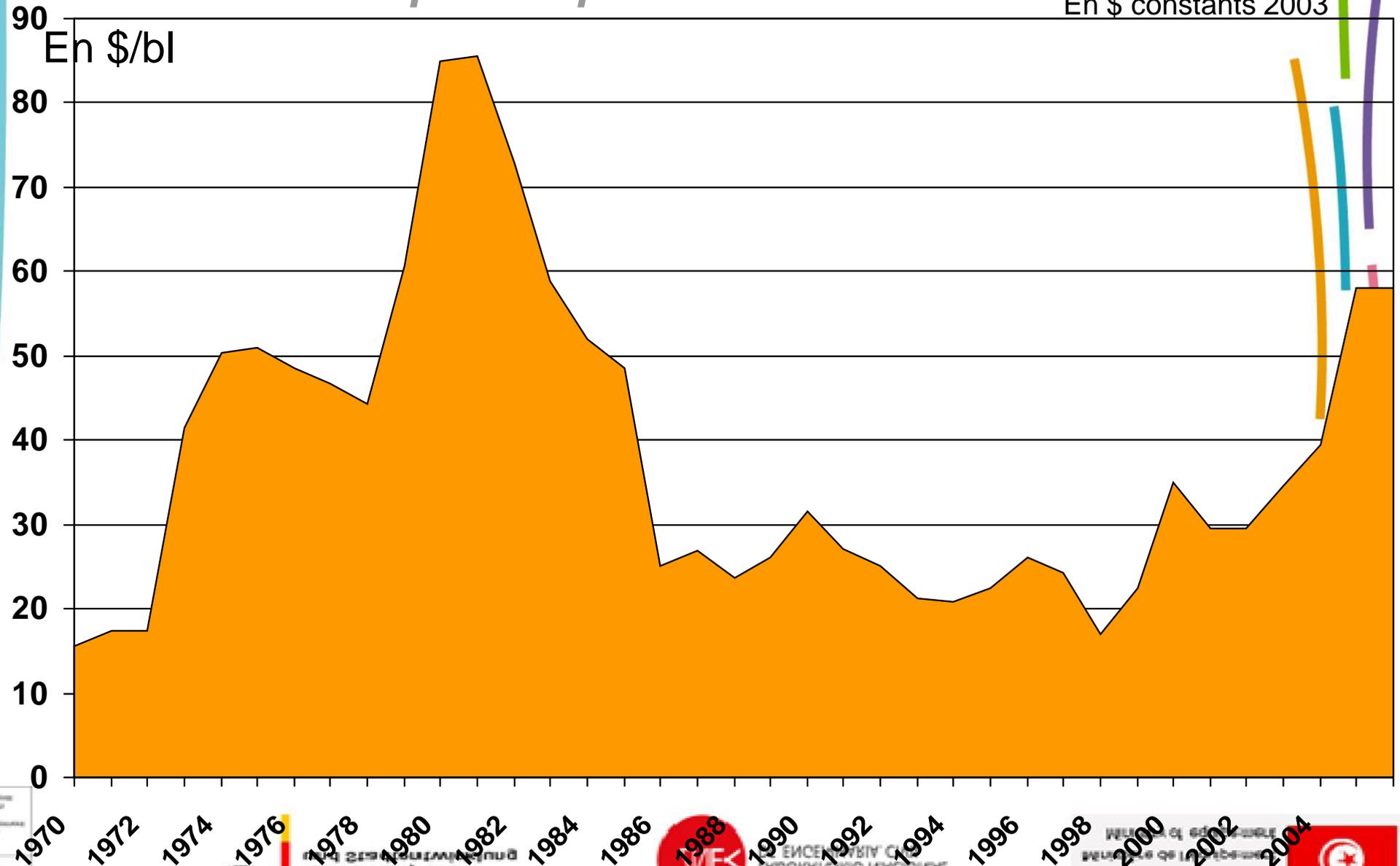


SYR - FIGURE 5-2

# L'épuisement des ressources

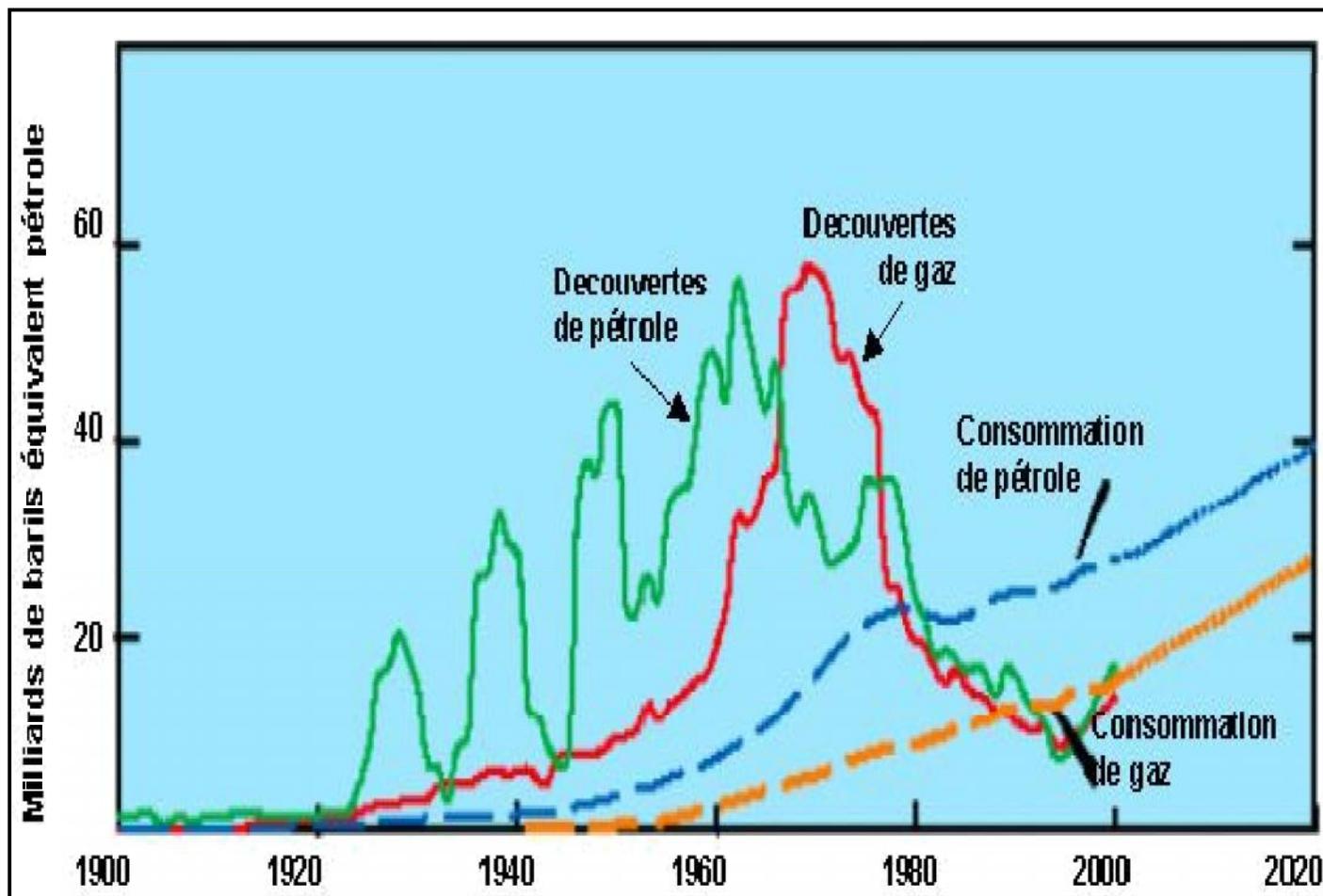
## Evolution du prix du pétrole brut

En \$ constants 2003

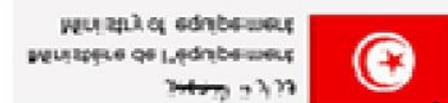
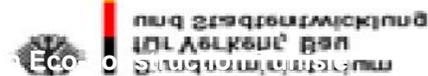


# L'épuisement des ressources

## ❖ Découvertes et consommations d'hydrocarbures

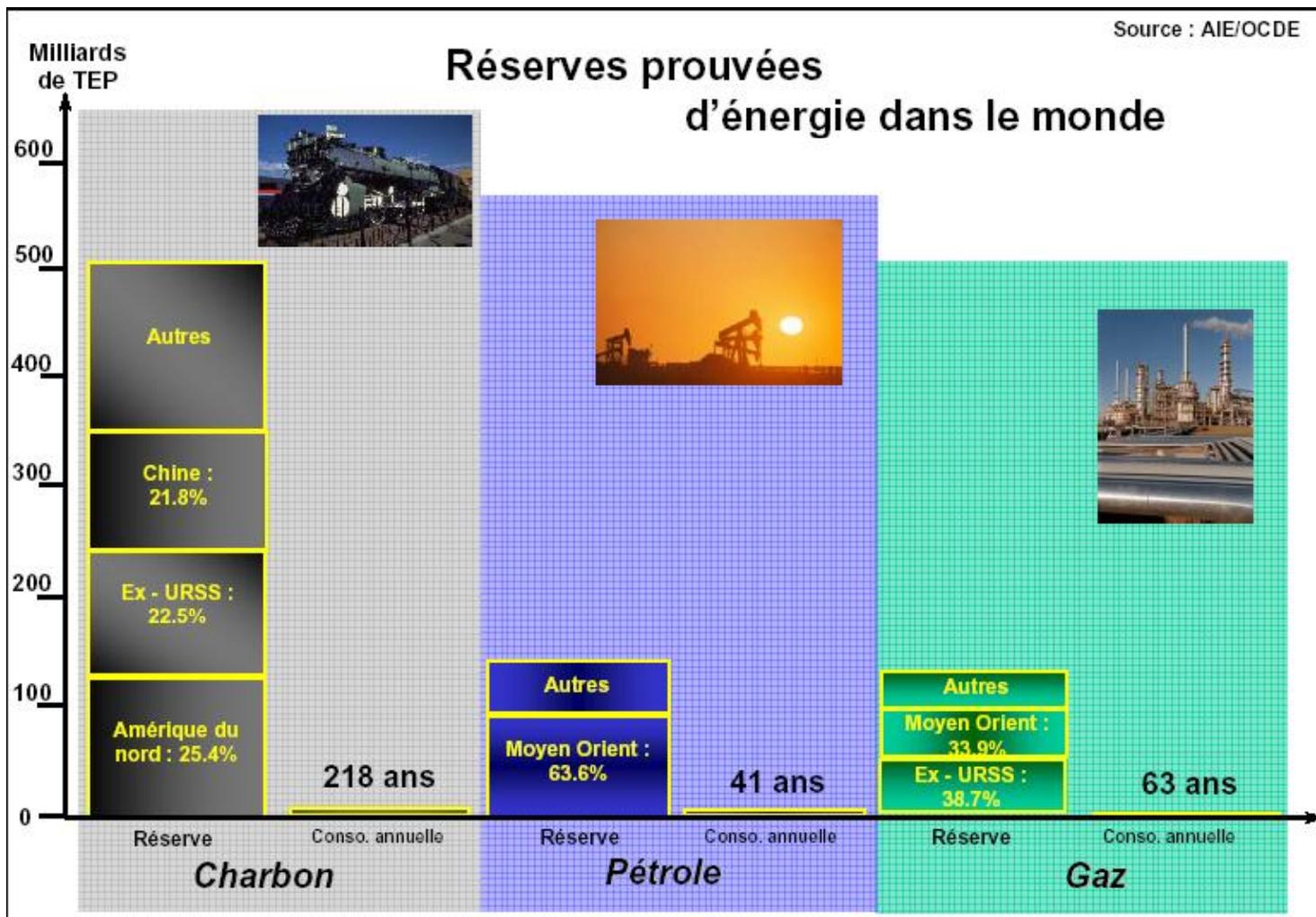


[Source : Exxon Mobil, 2002]



# L'épuisement des ressources

## ❖ Quelques données sur les réserves

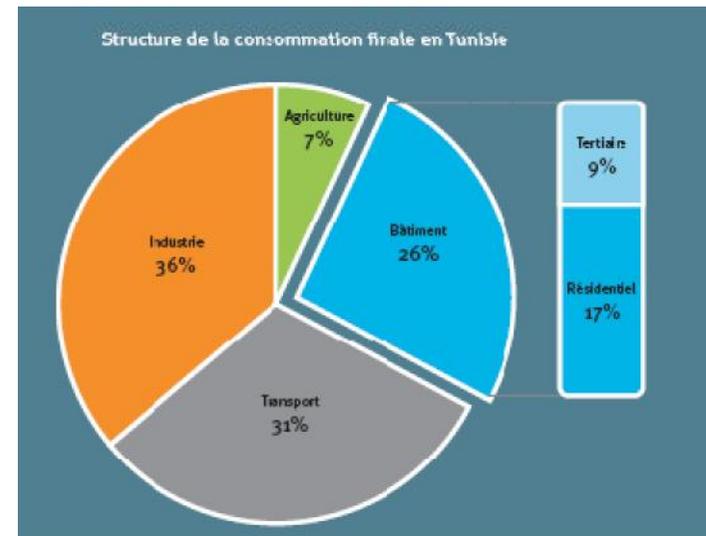


## ❖ En Tunisie, depuis 2000 balance énergétique en déficit



# Contexte et enjeux énergétiques

- ❖ Poids du secteur du bâtiment en Tunisie
- Le bâtiment, 27% de la consommation d'énergie finale



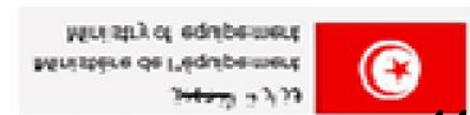
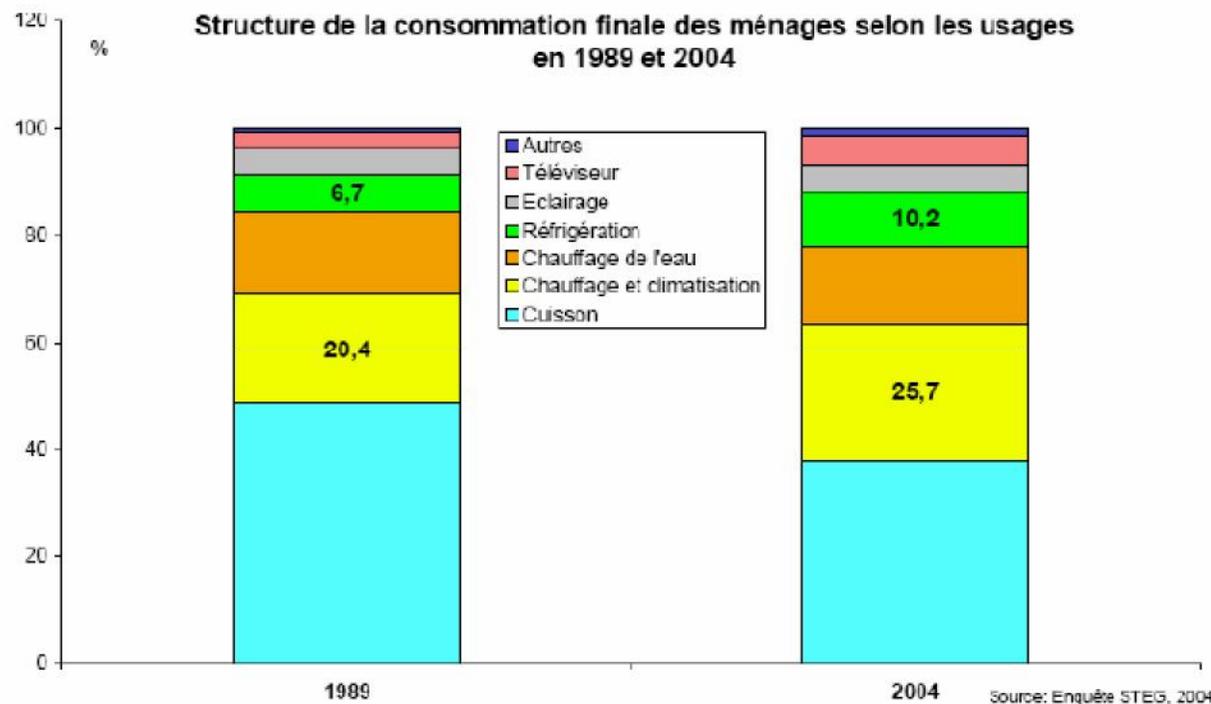
[Source : Plaquette Réglementaion thermique Tunisie, 2006]

- Emetteur de Gaz à effet de serre à hauteur de 20% au niveau mondial (en énergie finale hors électricité)

# Contexte et enjeux énergétiques

- ❖ Structure de la consommation du secteur du bâtiment
  - Parc existant résidentiel

La part de consommation de chaud et froid est passée de 20% en 1989 à 26% en 2004



# Réduction de la consommation énergétique

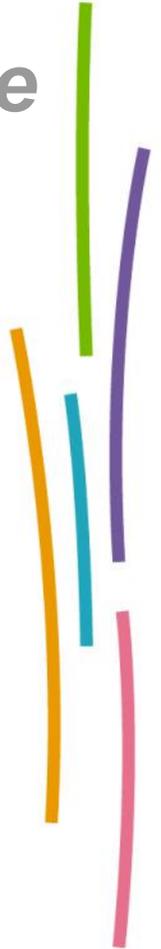
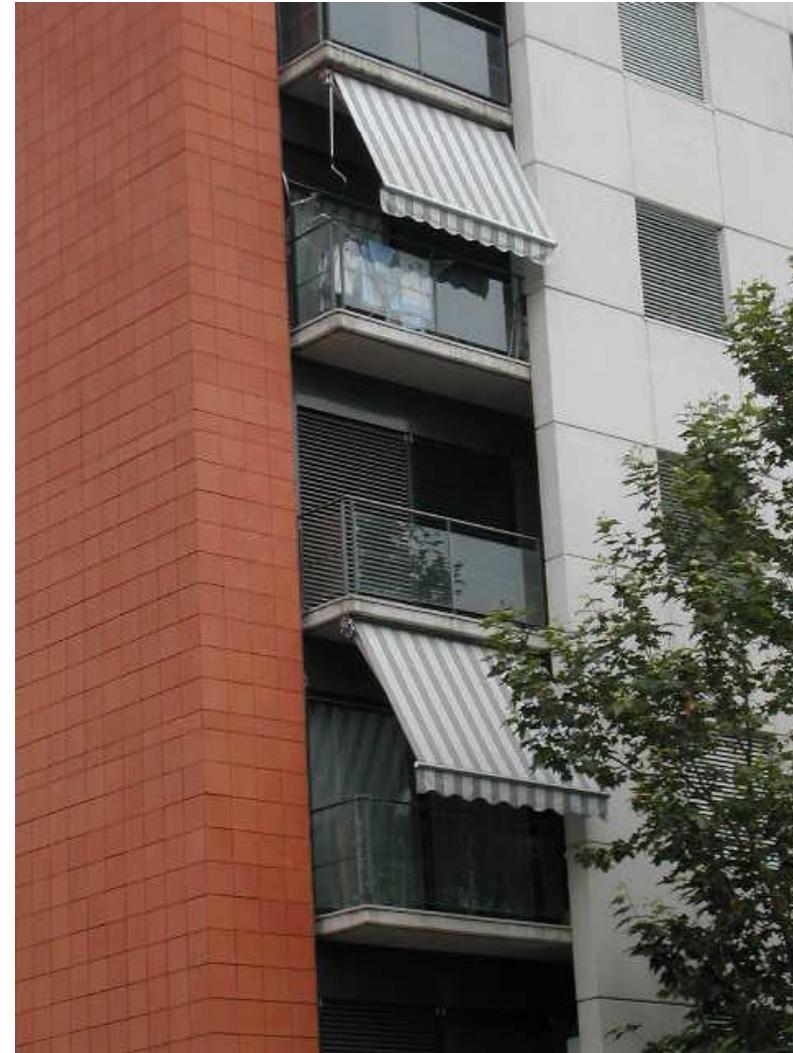
- ❖ Réduire les besoins de froid (ou de chaud)
- ❖ Choisir des équipements performants en chaud, froid, éclairage, auxiliaires, etc.



# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

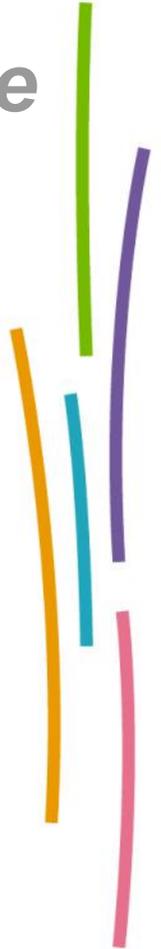
- ✓ Réduire les apports
- ✓ Stocker la chaleur
- ✓ Évacuer la chaleur



# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

- ✓ Réduire les apports
  - ✓ apports solaires
  - ✓ apports internes



# Réduction de la consommation énergétique

❖ Réduire les besoins de froid

✓ Réduire les apports solaires

**Les apports solaires sont fonction :**

✓ **Climat**

- Intensité du rayonnement solaire
- Nébulosité

✓ **Site : masques proches et lointains**

✓ **Fenêtres :**

- Surfaces vitrées et orientation
- Facteurs solaires des fenêtres
- Protections solaires

✓ **Masques architecturaux**



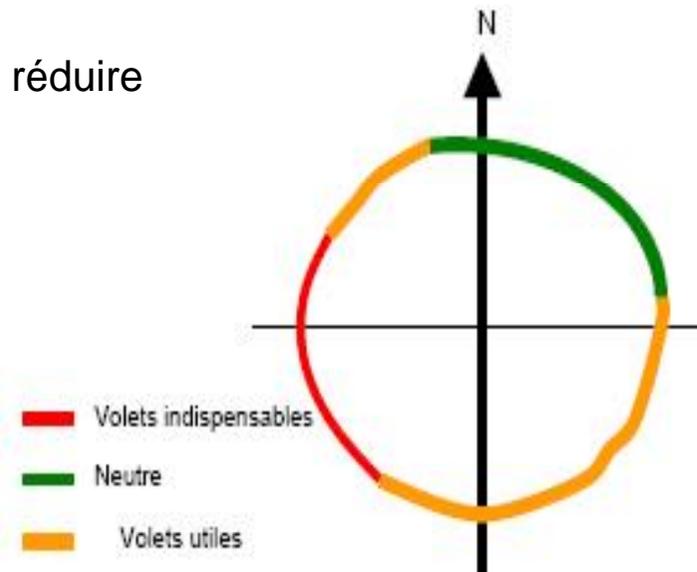
# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

### ✓ Réduire les apports solaires

#### Protections et masques solaires

- Conception bioclimatique : orientation du bâtiment par rapport au soleil, au vent
- Les masques architecturaux et végétaux pour capter la chaleur en hiver et s'en protéger en été
- Facteur solaire des vitrages à réduire
- Protections solaires à prévoir



# Réduction de la consommation énergétique

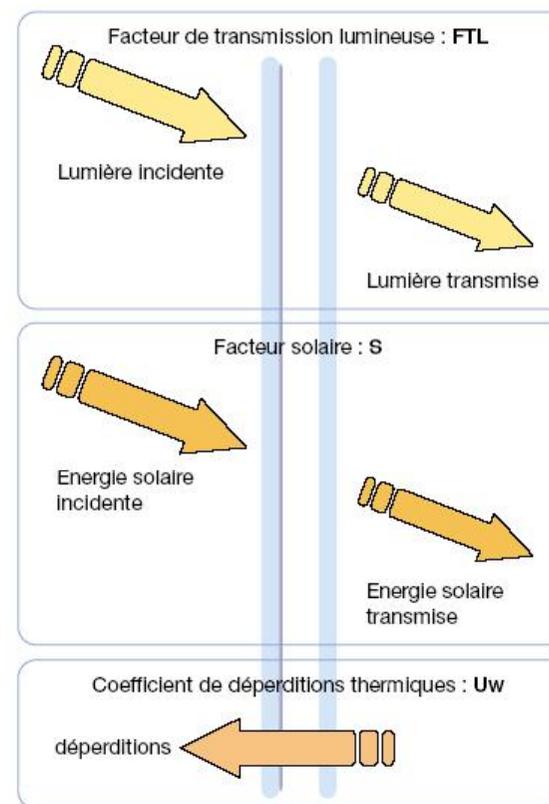
## ❖ Réduire les besoins de froid

### ✓ Réduire les apports solaires

Bien choisir les fenêtres pour optimiser le confort d'hiver, d'été et lumineux

### ➤ Une approche qui doit prendre en compte :

- ✓ Le coefficient  $U_w$  de la fenêtre
- ✓ Son facteur de transmission de lumière du jour
- ✓ Son facteur solaire
- ✓ Le type de protection
- ✓ La capacité à ouvrir pour surventiler en été

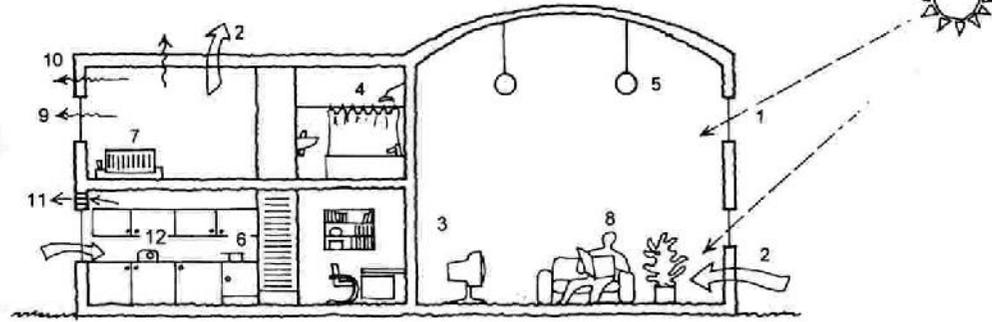


# Réduction de la consommation énergétique

❖ Réduire les besoins de froid

✓ Réduire les apports internes

*Les apports internes sont fonction des occupants et des équipements électriques*

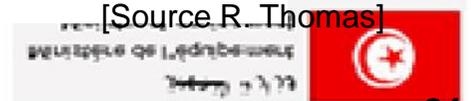


**Key**

1. Solar gain 200–600 W/m<sup>2</sup>
2. Fresh air 10 l/s 0°C to 21°C = 250 W
3. TV 100–400 W
4. Shower 1.5 l/s, ΔT = 30°C = 18900 W
5. Lighting: domestic lamps are 60–100 W, small fluorescents are 11–17 W
6. Cooker rings 500–1500 W. Most of the heat goes into turning water into steam  
Oven 1000–3000 W
7. Radiator 1000 mm long x 490 mm high (single panel): 670 W
8. People 80–300 W (higher value when exercising)
9. 1m<sup>2</sup> window heat loss  
110 W/m<sup>2</sup> single glazing  
50 W/m<sup>2</sup> double glazing  
40 W/m<sup>2</sup> double glazing low-emissivity coating  
Assuming a 20 K temperature difference between inside and out
10. Building fabric  
40 W/m<sup>2</sup> if solid brick  
10 W/m<sup>2</sup> wall with 100 mm of insulation  
5 W/m<sup>2</sup> wall with 150 mm of insulation  
Assuming a 20 K temperature difference between inside and out
11. Extract fan 60–120 W
12. Radio 4 W

**3.2** Approximate energy flows in a house (Sunday at home).

[Source R. Thomas]

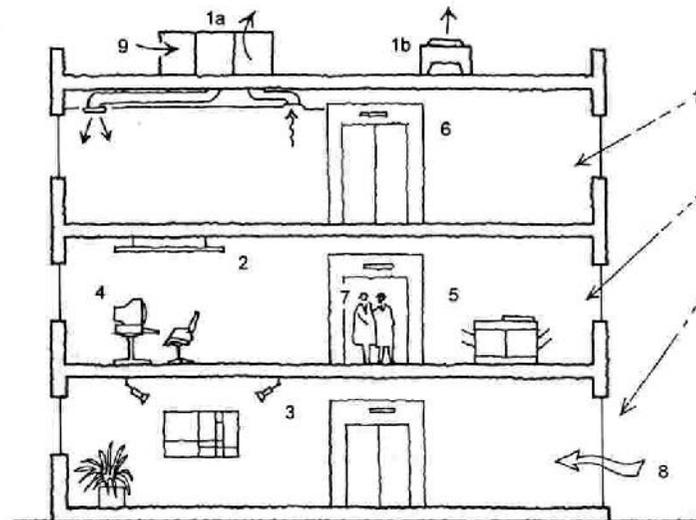


# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

### ✓ Réduire les apports internes

*Les apports internes sont fonction des occupants et des équipements électriques*



**Key**

- |  |  |
|--|--|
| 1. Air conditioning<br>(a) air-handling unit<br>(b) heat rejection equipment | 10–30 W/m <sup>2</sup> of office for total plant electrical load including chiller (not shown) |
| 2. Fluorescent lighting  | 10–20 W/m <sup>2</sup> of office to give 300–500 lux   |
| 3. Tungsten lighting   | 20–100 W/m <sup>2</sup> of office to give 100–300 lux  |
| 4. Computer  | 50–250 W   |
| 5. Photocopier   | 1000–5000 W  |
| 6. Lift  | 10 000 – 30 000 W  |
| 7. Person  | 100–140 W  |
| 8. Warm air entering in summer through open door                             | 2000 W (1 m <sup>3</sup> /s)   |
| 9. Fresh air   | 150 W per person at 10 l/s person  |
| 10. Solar gain   | 200–600 W/m <sup>2</sup> of window   |

[Source R. Thomas]

**3.3** Approximate energy flows in an air-conditioned office with summer cooling loads.

# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Réduire les besoins de froid
- ✓ Réduire les apports par transmission

*Protéger les parois du rayonnement solaire :*

- ✓ *Isolation et ventilation notamment de la toiture*



# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Réduire les besoins de froid
- ✓ Réduire les apports par renouvellement d'air

*Rafraîchir l'air entrant passivement :*

- ✓ *Puits provençal*

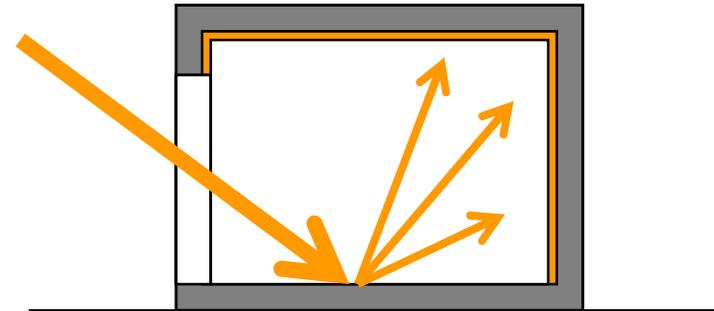


# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

### ✓ Stocker la chaleur

✓ **L'inertie par absorption** : elle correspond à la capacité du bâtiment ou de la pièce à accumuler puis à restituer des flux de chaleur



[Source : L'inertie thermique dans le bâtiment, Jean-Louis Izard]

# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de froid

✓ Stocker la chaleur : quelle inertie choisir ?

CLIMAT	INERTIE FORTE	INERTIE FAIBLE	APPOINT
Polaire	Non nécessaire	Souhaitable	Forte isolation
Continental	Souhaitable en été	Non nécessaire	Forte isolation
Océanique	Souhaitable	Non nécessaire	
Montagne	<u>Occupation permanente</u> indispensable	À éviter	Forte isolation
	<u>Occupation intermittente:</u> À éviter	indispensable	
Méditerranéen	<u>Occupation permanente</u> indispensable	À éviter	Ventilation nocturne
	<u>Occupation intermittente de jour:</u> indispensable	À éviter	
	<u>Occupation intermittente de nuit:</u> À éviter	indispensable	
Tropical sec	indispensable	À éviter	
Tropical humide	Non nécessaire	Souhaitable	Ventilation

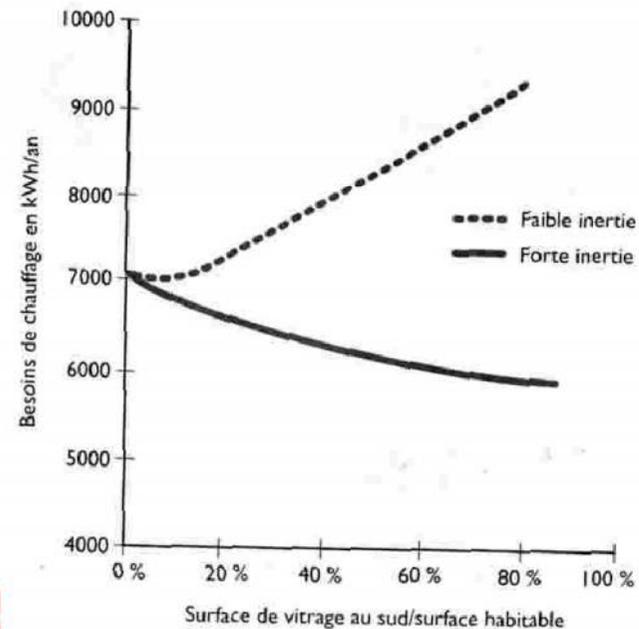
[Source : L'inertie thermique dans le bâtiment, Jean-Louis Izard]



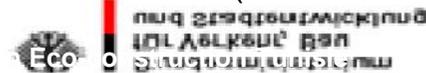
# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Réduire les besoins de froid
    - ✓ Stocker la chaleur : Inertie et apports solaires
- Impact sur la consommation de chauffage

Etude sur une maison de 100 m<sup>2</sup>, 250 m<sup>3</sup>, mur en isolation par l'intérieur (faible inertie) ou par l'extérieur (forte inertie), fenêtres alu double vitrage, chauffage 15°C la nuit, 19°C le jour.



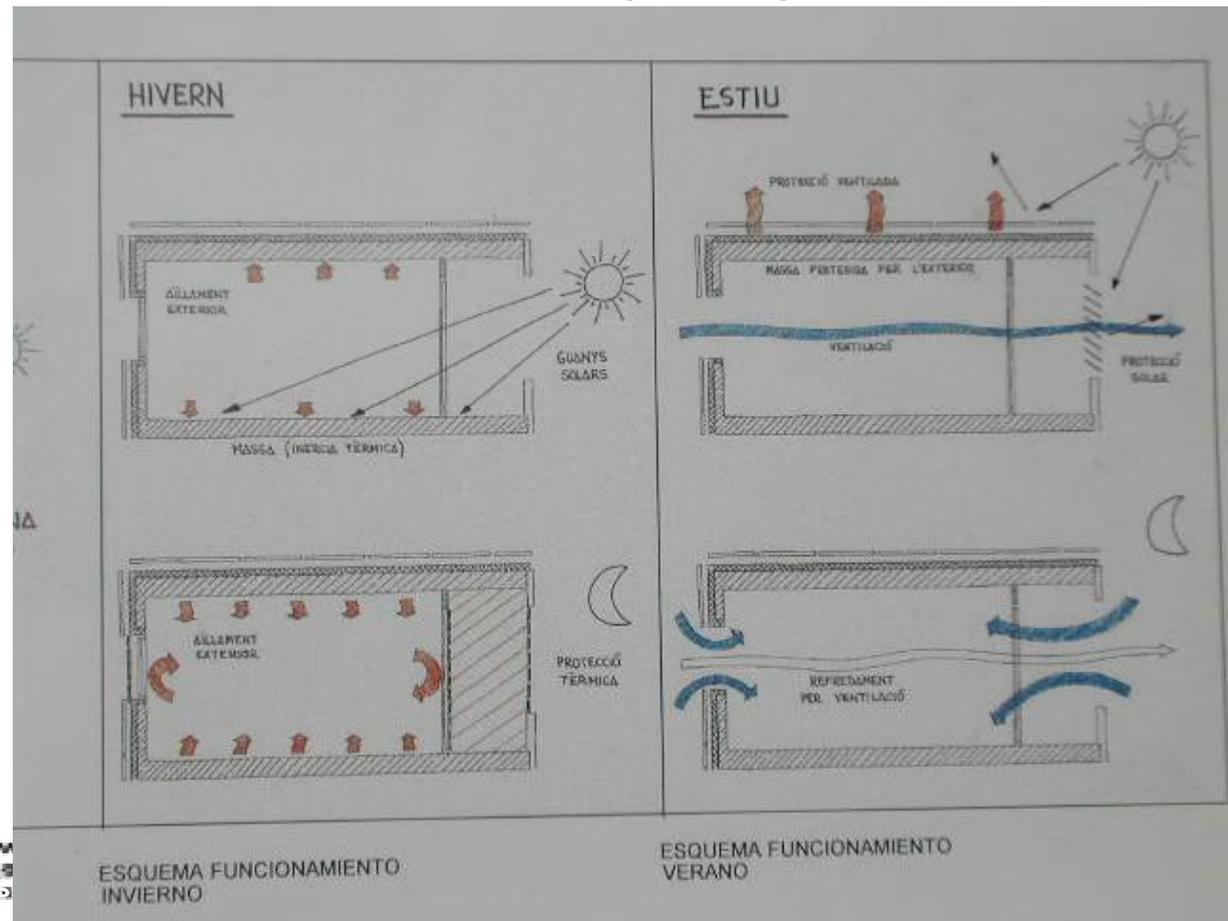
calculs GEFOSAT (PLEIADES+COMFIE)



# Réduction de la consommation énergétique

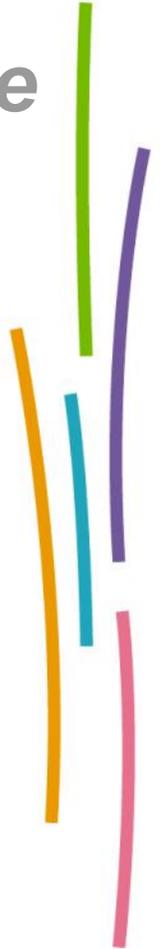
## ❖ Réduire les besoins de froid

- ✓ Évacuer la chaleur :
- ✓ Ventiler
- ✓ Inertie et Ventilation : rafraîchissement passif par ventilation nocturne



# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Réduire les besoins de froid (ou de chaud)
- ❖ Choisir des équipements performants en chaud, froid, éclairage, auxiliaires, etc.
  - ✓ Refroidissement
  - ✓ ECS
  - ✓ Chauffage
  - ✓ Éclairage
  - ✓ Électricité



# Réduction de la consommation énergétique

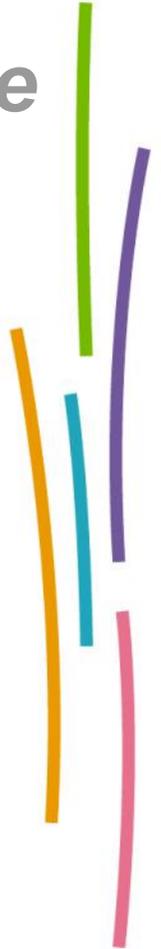
## ❖ Performance du système de production de froid

- Des générateurs performants
- Des pertes du réseau de distribution réduites
- Une émission adaptée
- Un système bien régulé

Et ...

A ne pas oublier :

- Un suivi des consommations pour le maintien des performances



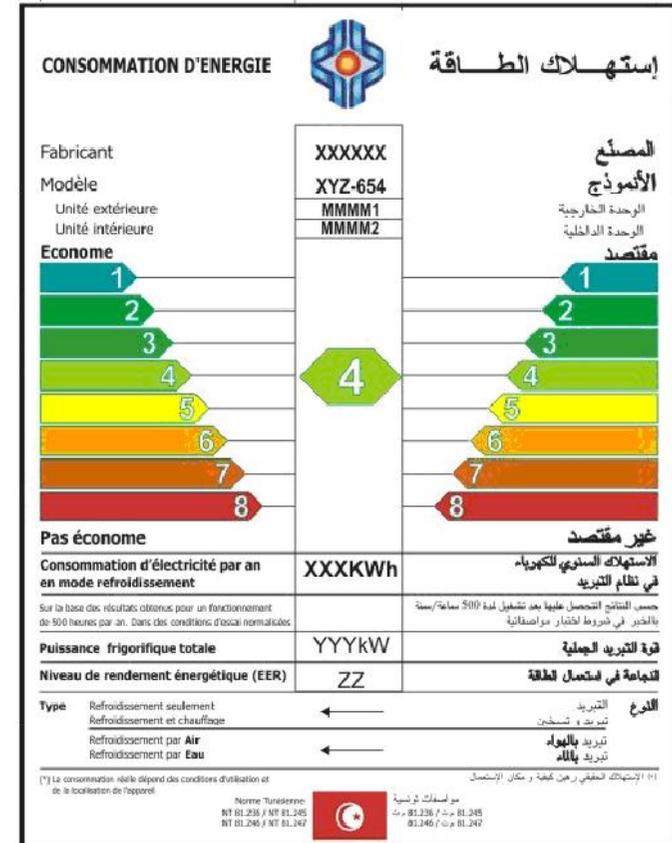
# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Des générateurs performants

- Coefficient d'efficacité énergétique EER (energy efficiency ratio), au sens de la norme NF EN 14511, de refroidissement

✓ Rapport entre le froid produit par le générateur de froid et l'électricité consommée

✓ Plus le EER est élevé, plus le matériel est efficace



# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Des pertes du réseau de distribution réduites
  - ✓ des réseaux de distribution courts, en volume refroidi, si possible, et isolés
  - ✓ une pompe de circulation asservie à l'utilisation
  - ✓ une vigilance sur la consommation de la pompe de circulation

*Économies d'énergie sur le chauffage\**

- ✓ *Calorifugeage des tuyauteries en sous sol : 2 à 4%*

\* Source : Manuel du génie climatique – Recknagel, Sprenger, Schramek

# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Un système bien régulé

- ✓ Thermostat ET programmation
- ✓ Les systèmes de régulation doivent être capables de réagir efficacement :

Choisir des systèmes à faible valeur de CA (Coefficient d'amplitude)

- ✓ Programmation à minima : modes « confort », « réduit », « arrêt » et « hors gel »

*Économie d'énergie sur le chauffage\**

*Installation de robinets thermostatiques : 5 à 10%*



# L'eau chaude sanitaire

- ❖ 2ème poste de consommation en résidentiel
  - Réduire les besoins : systèmes hydroéconomiques
  - Réduire les pertes de distribution
    - ✓ Boucles courtes et isolées
    - ✓ Production proche des points de puisage
  - Réduire les pertes de stockage
    - ✓ Coefficient de pertes :  $Q_{pr}$  (en kWh par 24h)
  - Utiliser des systèmes performants de production
    - ✓ En basse consommation, recours aux énergies renouvelables
      - Eau chaude solaire
      - Récupération sur air extrait
      - Chauffe eau thermodynamique



# Le système d'éclairage

## ❖ Efficacité globale de l'installation

Rapport entre la puissance installée (Watt) et le niveau d'éclairement constaté (lux)

L'efficacité du système d'éclairage dépend :

- ✓ De l'efficacité lumineuse de la lampe (lm/W)
- ✓ Du rendement du luminaire
- ✓ Du système d'allumage de la lampe
- ✓ Du système de gestion de l'éclairage



# Réduction de la consommation énergétique

❖ Et la réduction des besoins de chaud est-elle compatible avec la réduction des besoins de froid ?



# Réduction de la consommation énergétique

- ❖ Réduire les besoins de chaud
  - ✓ Conception bioclimatique : optimiser le chaud et le froid
  - ✓ Diminution des déperditions par une bonne isolation de l'enveloppe en évitant les ponts thermiques
  - ✓ Étanchéité à l'air du bâtiment
  - ✓ Maîtrise des débits de ventilation



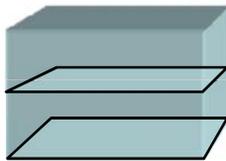
# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de chauffage

✓ Conception bioclimatique : Penser globalement

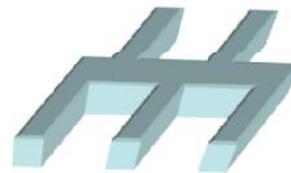
- La forme du bâtiment, la compacité
- La position des locaux techniques de façon à limiter les pertes de distribution

Bâtiment compact

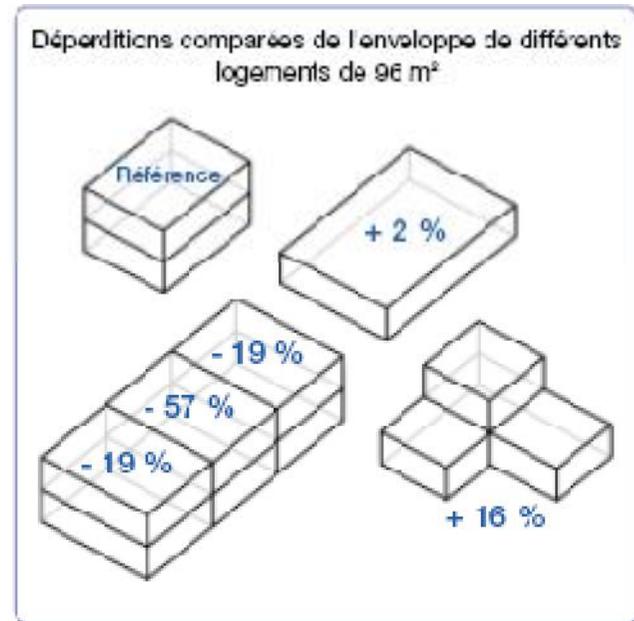


Cep1 = 100 kWhep/m<sup>2</sup>/an

Bâtiment peu compact



Cep2 = 120 kWhep/m<sup>2</sup>/an

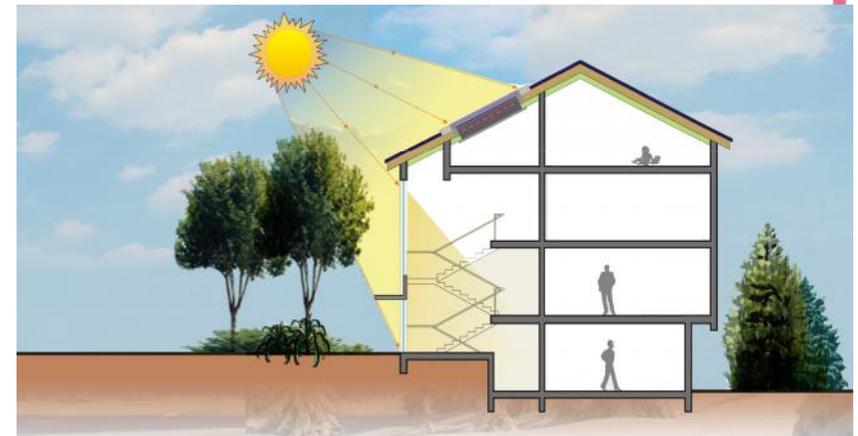
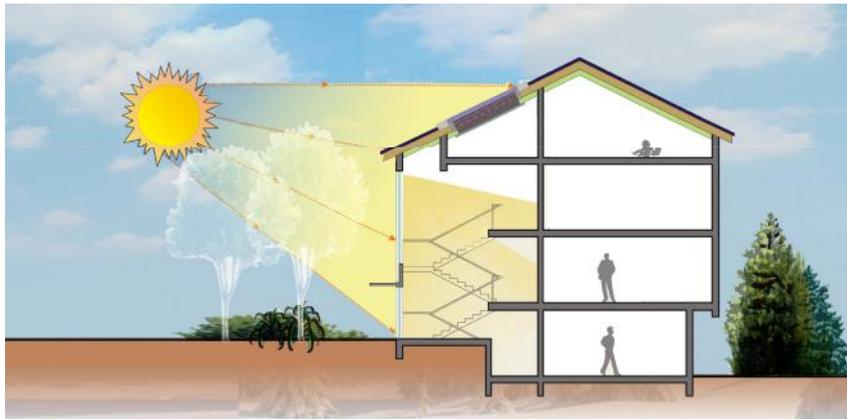


# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de chauffage

✓ Conception bioclimatique : Penser globalement

- L'orientation du bâtiment par rapport au soleil, au vent
- Les masques architecturaux et végétaux pour capter la chaleur en hiver et s'en protéger en été



# Réduction de la consommation énergétique

## ❖ Réduire les besoins de chauffage

✓ Le chauffage est le premier poste de consommation en résidentiel, enseignement et bureau

➤ Conception bioclimatique

➤ **Diminution des déperditions par une bonne isolation de l'enveloppe en évitant les ponts thermiques**

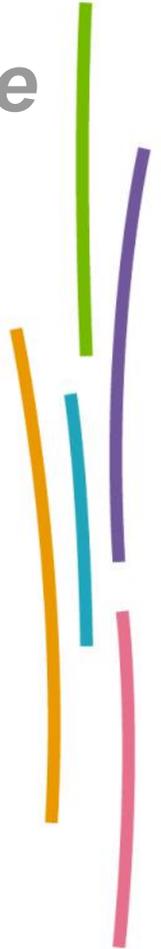
✓ Isolation thermique des parois

✓ Ponts thermiques à éviter/traiter

✓ **Bien choisir les fenêtres pour optimiser le confort d'hiver, d'été et lumineux**

➤ Étanchéité à l'air du bâtiment

➤ Maîtrise des débits de ventilation



## Conclusion

---

- ❖ Réduire la consommation électrique réduit les apports internes et donc la consommation de froid
- ❖ L'inertie est favorable à la fois à la réduction de la consommation de froid et de chaud
- ❖ L'isolation **extérieure** est favorable à la réduction de la consommation de chaud et froid
- ❖ Les protections solaires doivent être bien pensées si l'on veut réduire à la fois les consommations de froid et les consommations de chaud
- ❖ La ventilation doit être maîtrisée en débit et dans le temps en chaud et froid