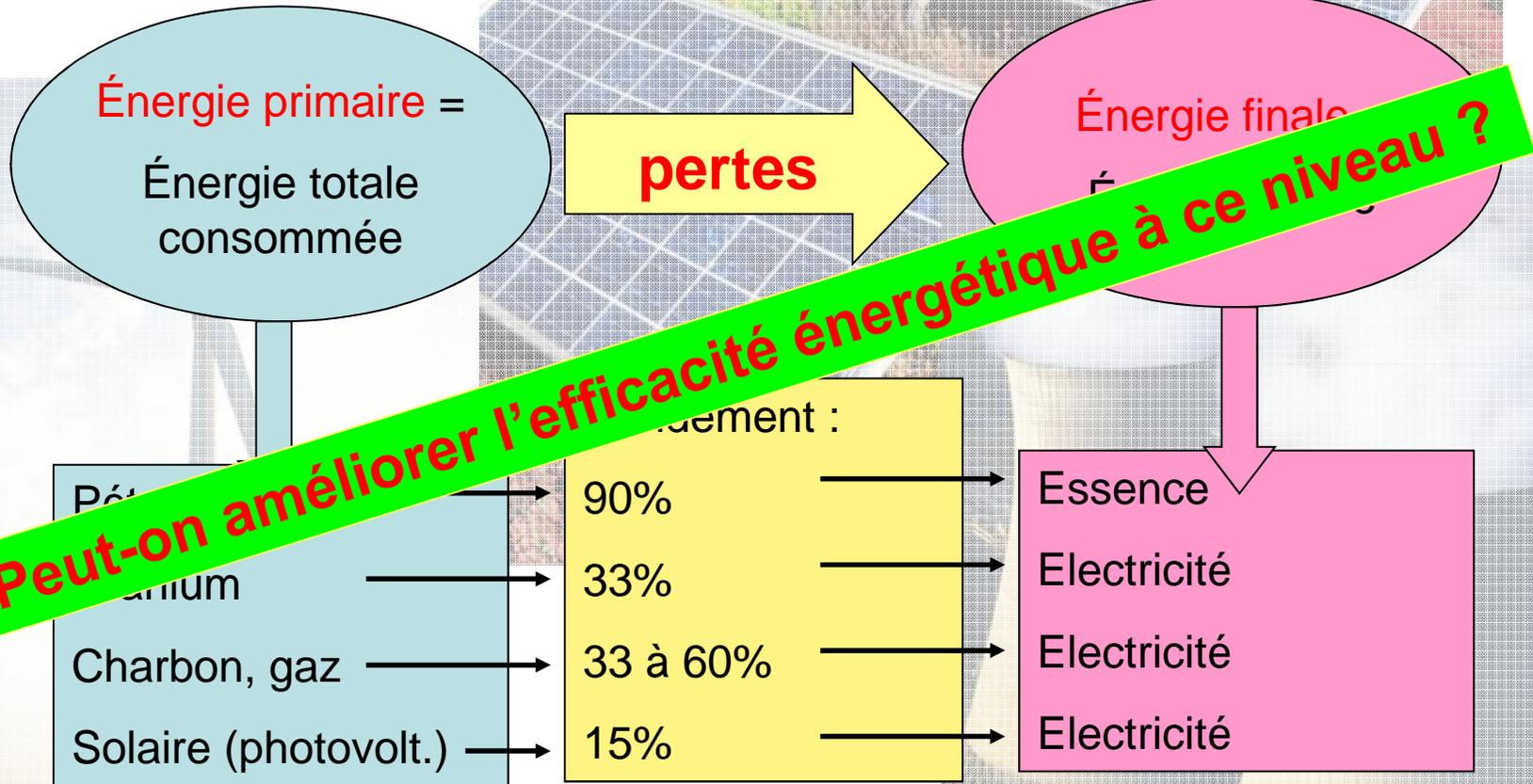


# L'énergie: critères pour une transition énergétique

- l'abondance
  - peut-on produire assez ?
    - réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...
    - abondance des renouvelables
  - peut-on consommer moins ?
    - en étant économes
    - en améliorant l'efficacité énergétique
- la sécurité d'approvisionnement
- la balance commerciale
- les conséquences environnementales
  - pollution
  - déchets
  - effet de serre
  - les risques
- les coûts
- le cas spécifique de l'électricité

- **Réflexions sur les scénarios**

# Définitions



# Puissance et Energie

**Il y a souvent confusion entre les deux**

La puissance est une caractéristique d'un appareil (par exemple un aspirateur) ou d'une installation (par exemple une éolienne ou une centrale nucléaire). Elle s'exprime en watt (W) ou kilowatt (kW) ou mégawatt (MW).

Un aspirateur éteint a toujours la même puissance mais il ne consomme pas d'énergie. Il ne consomme de l'énergie que s'il est allumé.

**Cette énergie se mesure en watt-heure (Wh) ou kilowatt-heure (kWh).**

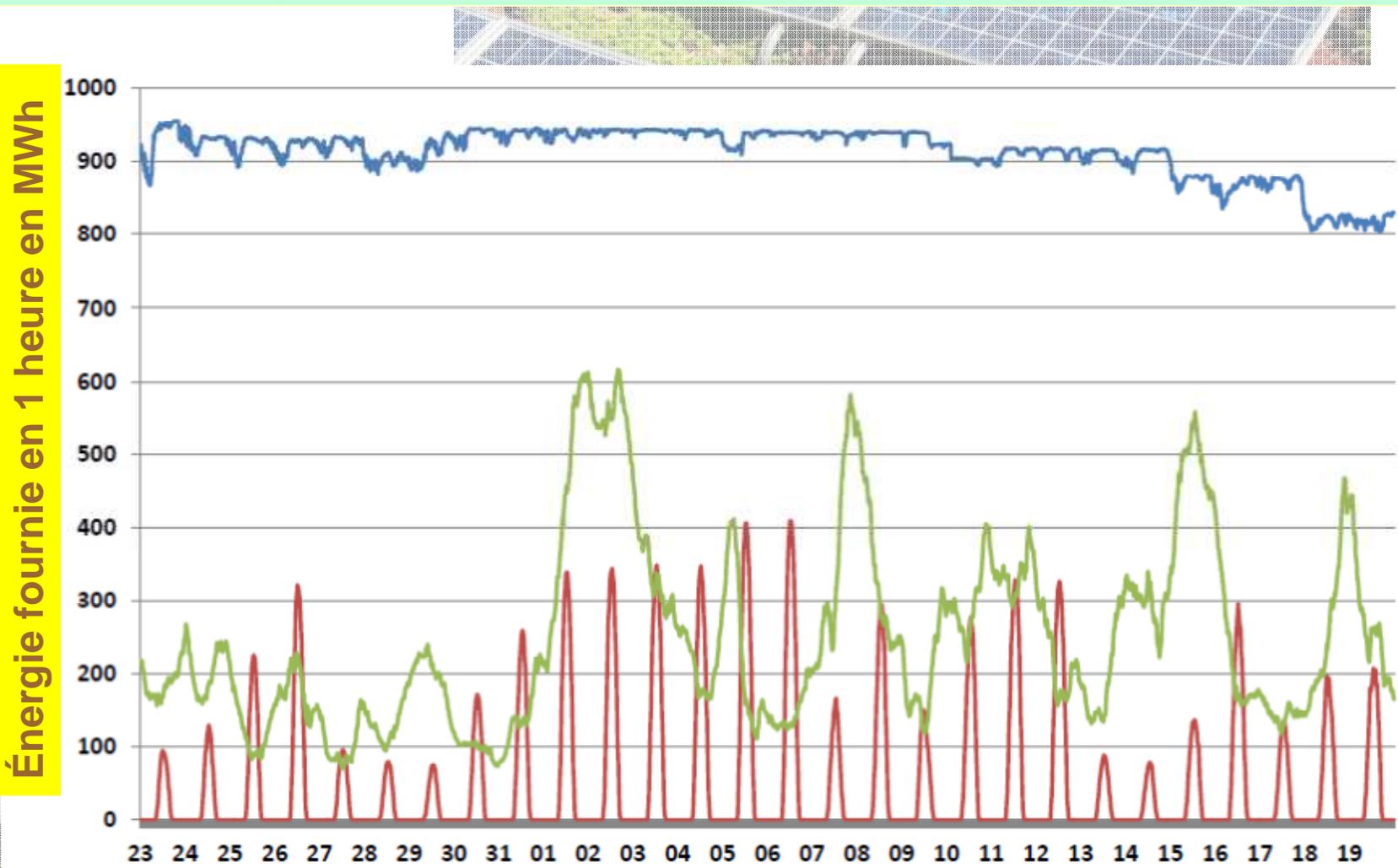
**Un aspirateur de 1kW allumé 1 heure consomme 1 kWh.**

Une éolienne ne fournit de l'énergie que si il y a du vent. Une centrale nucléaire ne fournit de l'énergie que si elle est allumée.

**Cette énergie se mesure en kilowatt-heure (kWh) ou mégawatt-heure (MWh).**

**En une heure, une éolienne de puissance 1 MW ne fournit 1 MWh que si le vent est fort (force 7). Elle fournit moins si le vent est plus faible ou trop fort.**

# Comparaison, à puissance installées égales (1000 MW) des énergies fournies chaque heure par le nucléaire, l'éolien et le solaire pendant la vague de froid de février 2012



# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...

- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes

- en améliorant l'efficacité énergétique

- la sécurité d'approvisionnement

- la balance commerciale

- les conséquences environnementales

- pollution

- déchets

- effet de serre

- les risques

- les coûts

- le cas spécifique de l'électricité

- Comparaison de scénarios



## La situation d'aujourd'hui (énergie primaire 2013):

**production (consommation) mondiale: 13 Gtep/an\***  
**(13 milliards de tonnes-équivalent-pétrole par an)**

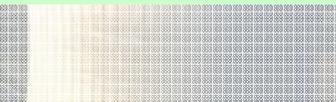
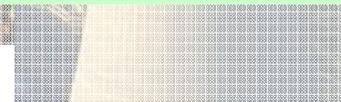
*soit 1,7 tep/habitant/an*

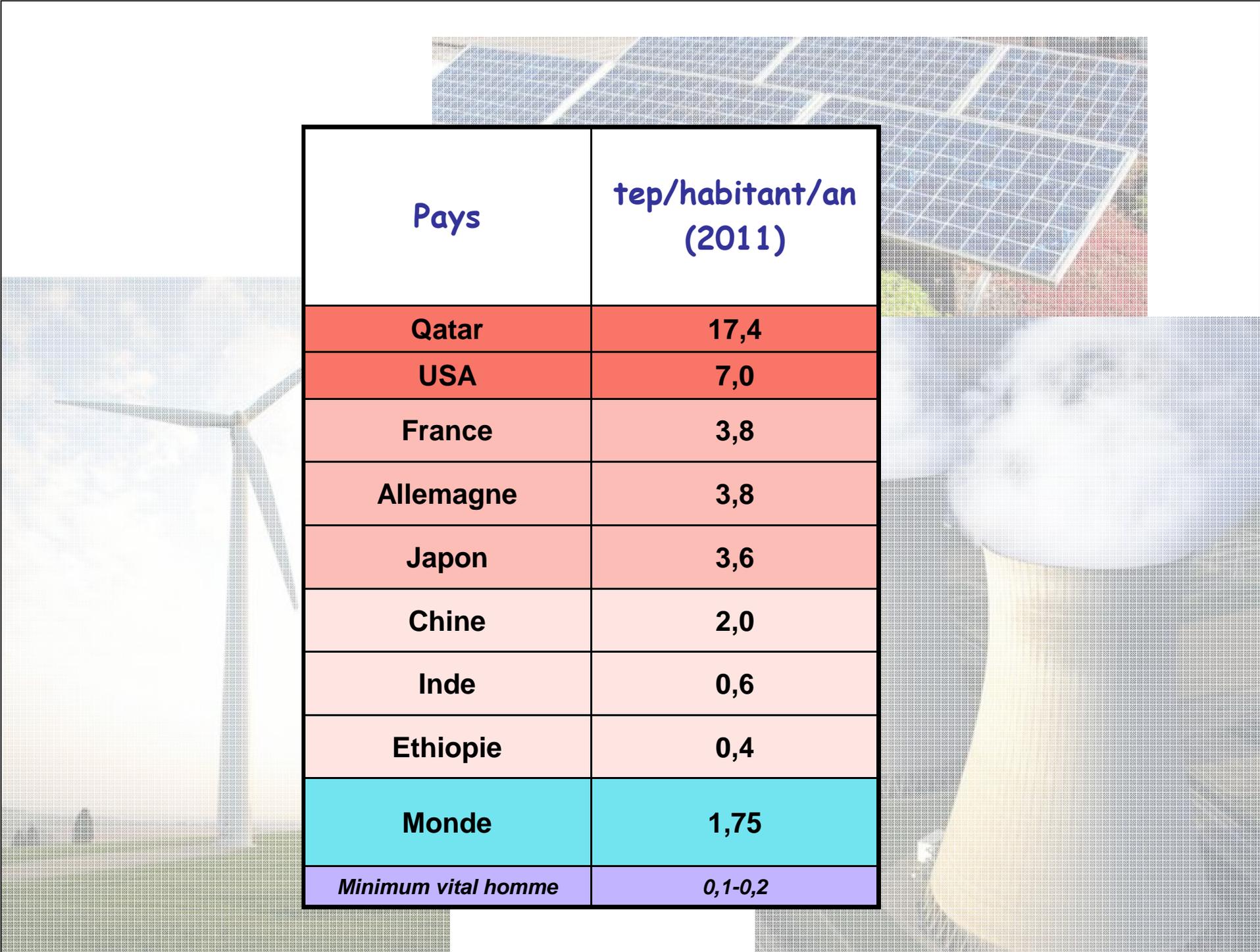
**La consommation continue de croître : +3,5% en 2013; +4,7% en Chine**

\* Source Enerdata

1tep = 12000 kWh

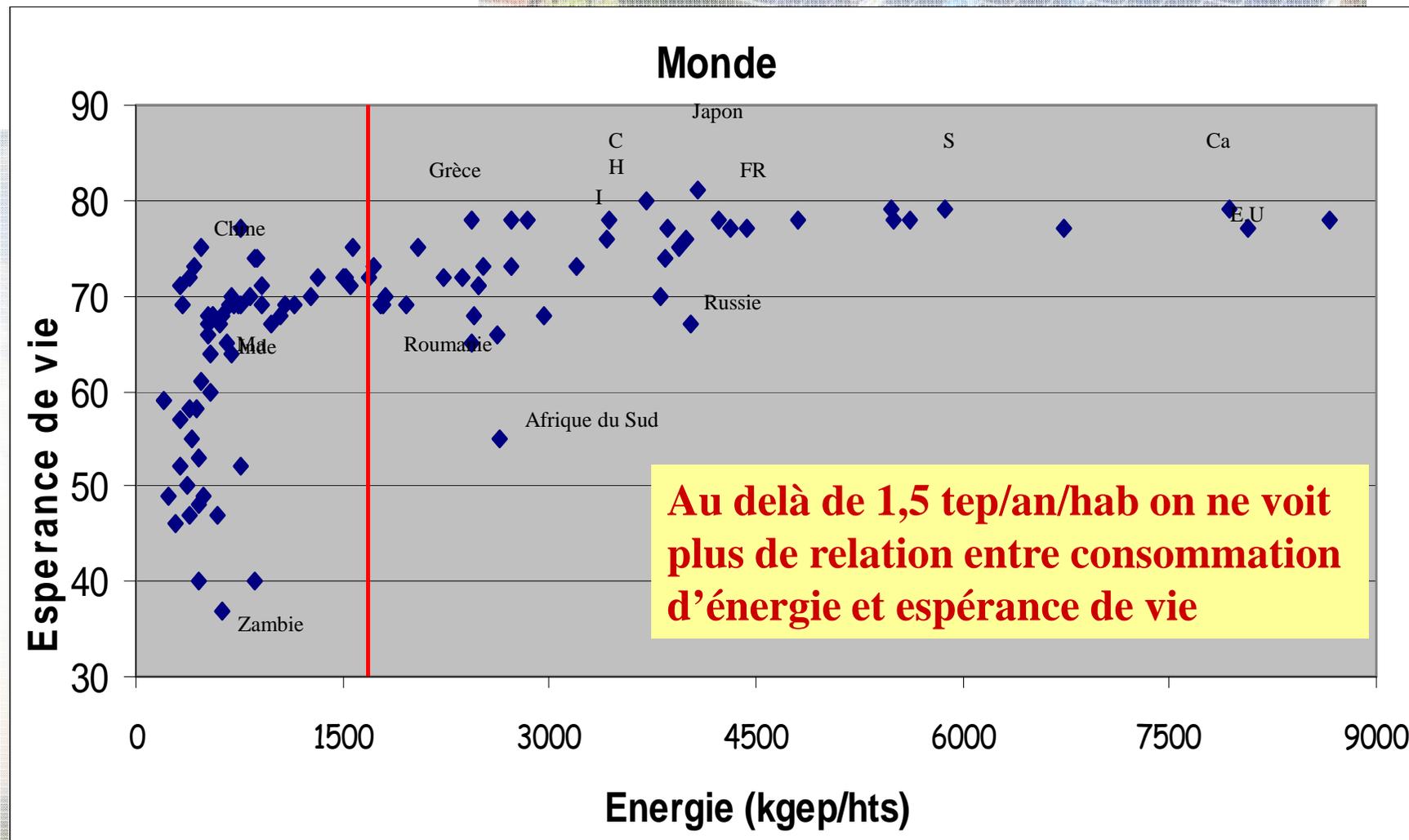
**La France consomme 3,9 tep/habitant/an**

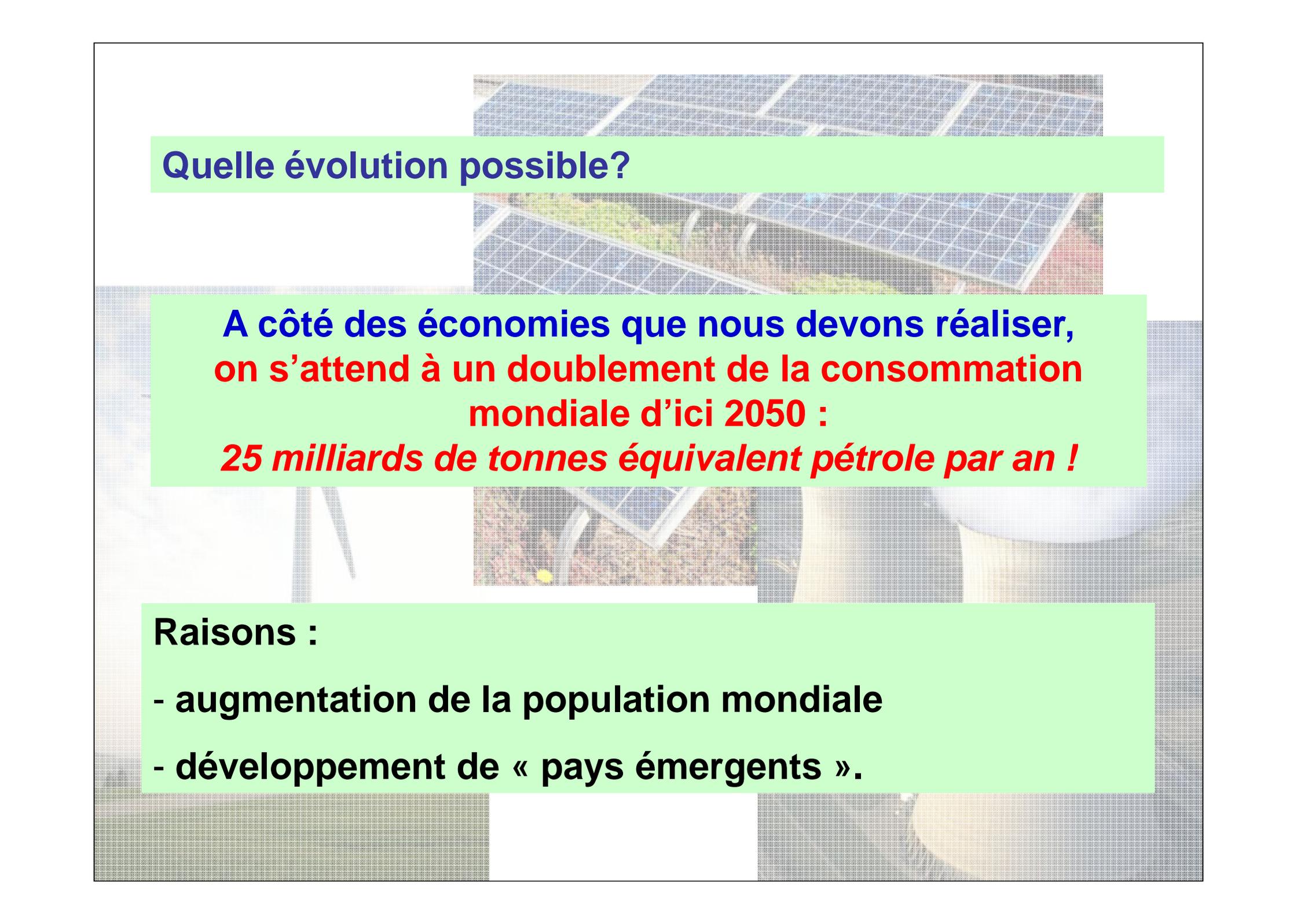




<b>Pays</b>	<b>tep/habitant/an (2011)</b>
<b>Qatar</b>	<b>17,4</b>
<b>USA</b>	<b>7,0</b>
<b>France</b>	<b>3,8</b>
<b>Allemagne</b>	<b>3,8</b>
<b>Japon</b>	<b>3,6</b>
<b>Chine</b>	<b>2,0</b>
<b>Inde</b>	<b>0,6</b>
<b>Ethiopie</b>	<b>0,4</b>
<b>Monde</b>	<b>1,75</b>
<i>Minimum vital homme</i>	<i>0,1-0,2</i>

# La corrélation consommation-espérance de vie





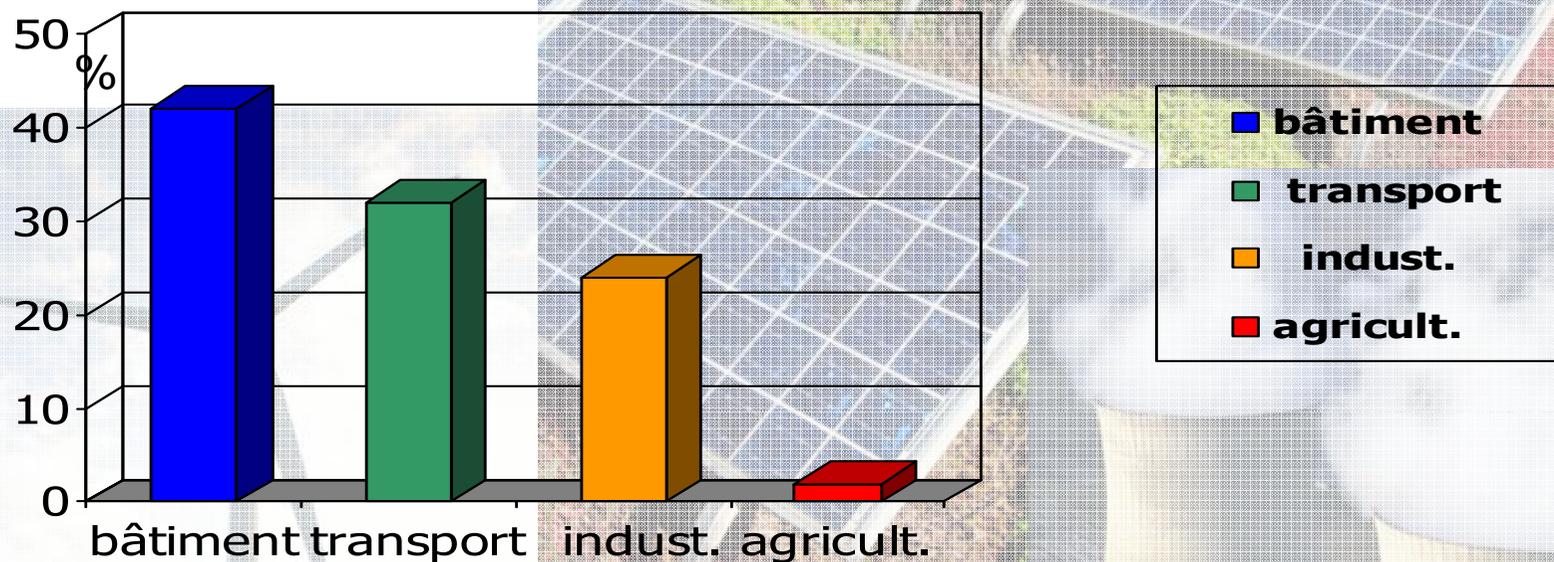
## Quelle évolution possible?

**A côté des économies que nous devons réaliser,  
on s'attend à un doublement de la consommation  
mondiale d'ici 2050 :  
*25 milliards de tonnes équivalent pétrole par an !***

### **Raisons :**

- augmentation de la population mondiale**
- développement de « pays émergents ».**

■ **Comment consomme-t-on l'énergie finale dans les pays développés?  
Cas de la France**



	<b>Totale primaire</b>	<b>Tertiaire Résident.</b>	<b>Transports</b>	<b>Industrie</b>
<b>Evolution France en 30 ans</b>	<b>+53%</b>	<b>+21%</b>	<b>+92%</b>	<b>-8%</b>

# Comment réduire la consommation en France ?

## un facteur 2 ?

### - chauffage et climatisation:

- isolation optimale des habitations : **ce sera long...** (coût: 1000 G€=3 budget état)
- utilisation raisonnable de la **climatisation...**

### - choix des équipements:

- lampes basse consommation
- optimisation des appareillages (classe des appareils, consommation en veille réduite...)
- **ne pas gaspiller (extinction des appareils et lampes non utilisés, ne pas se doucher à l'usure...)**

### - choix des moyens de transport et des lieux d'habitat:

- privilégier les transports en commun et **le ferroutage**
- **ne pas prendre sa voiture pour rien...**
- **proximité des lieux de vie et de travail**
- **ne pas privilégier les vacances lointaines...**

### ■ Réduire les besoins implique :

- un changement de mentalité (ne voit-on pas souvent l'inverse?)
- un changement dans les structures de l'habitat

- **Le facteur 2 ne viendra pas d'une réduction des besoins.**
- **L'essentiel ne peut venir que d'une amélioration de l'efficacité énergétique.**

Action	Effet sur la conso éner
Diminution de la consommation chauffage d'un facteur 3	- 17%
Amélioration des moteurs de	
réduction des transports maritimes par ferroutage	- 5%
	- 5%
<b>total</b>	<b>- 32%</b>

**Le facteur 2 implique des bouleversements socio-économiques**

**Plus concrètement, le scénario Négawatt qui vise ce facteur 2 implique une décroissance**

# Où peut-on trouver l'énergie dont on aura besoin ?

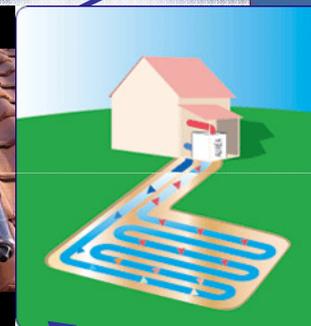
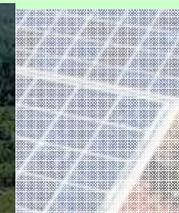
Deux familles possibles :

## – Énergies **non-renouvelables**

- **Pétrole**
- **Gaz**
- **Charbon**
- **Uranium-thorium**
- **Deutérium ???**

## – Énergies **renouvelables**

- **Hydraulique**
- **Éolien**
- **Solaire**
  - thermique
  - photovoltaïque
- **Biomasse**
- **Géothermique**
- **Mer**

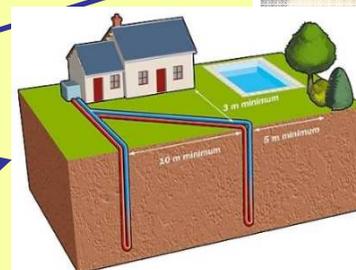


Éolien

Solaire

– thermique

– photovoltaïque



Si vous ne voyez pas l'animation, téléchargez le plug-in Flash [rubrique Aide]



# Où peut-on trouver l'énergie dont on aura besoin ?

Deux familles possibles :

– Énergies **non-renouvelables**

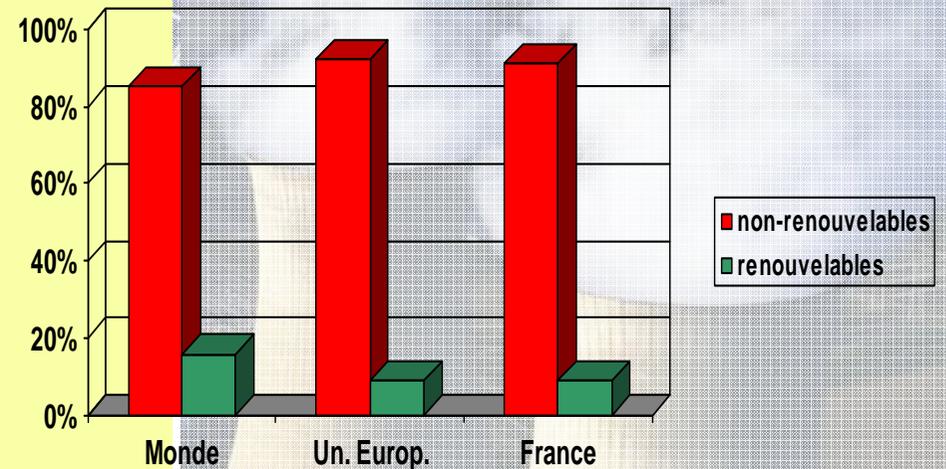
- Pétrole
- Gaz
- Charbon
- Uranium-thorium
- Deutérium ???

– Énergies **renouvelables**

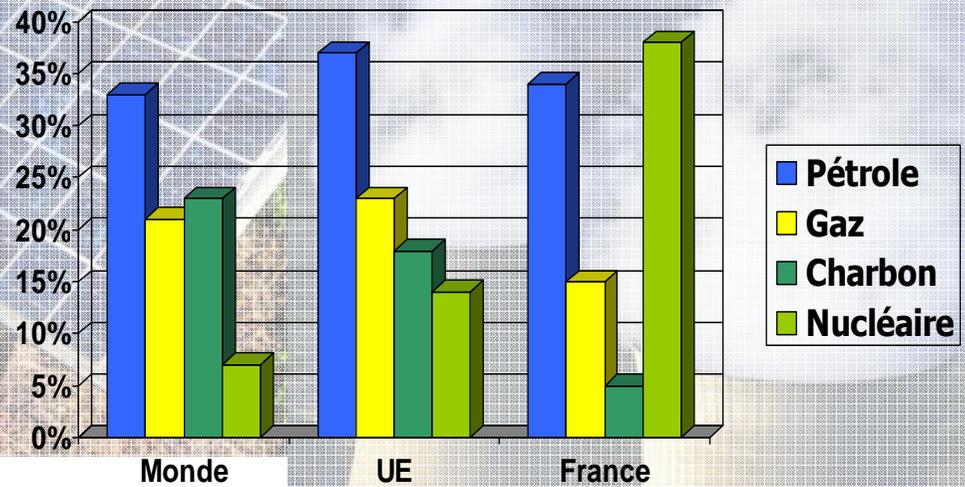
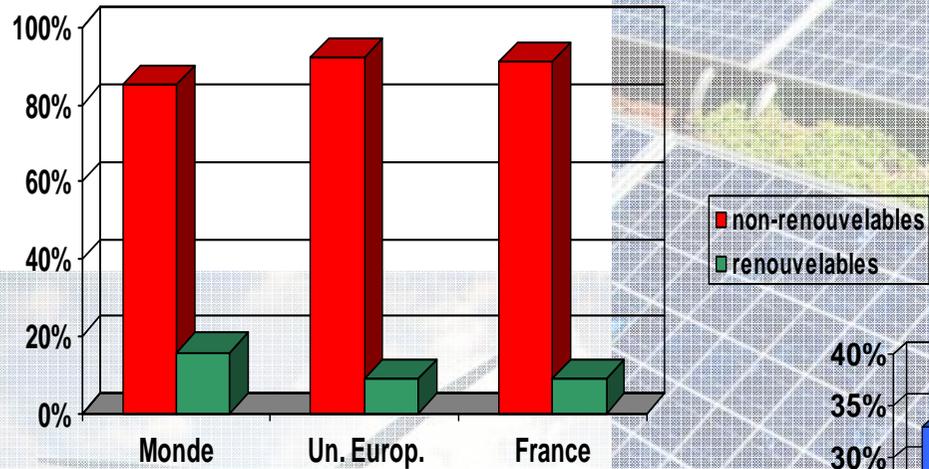
- Hydraulique
- Vent
- Solaire
  - thermique
  - photovoltaïque
- Biomasse
- Géothermique
- Marées



Aujourd'hui :

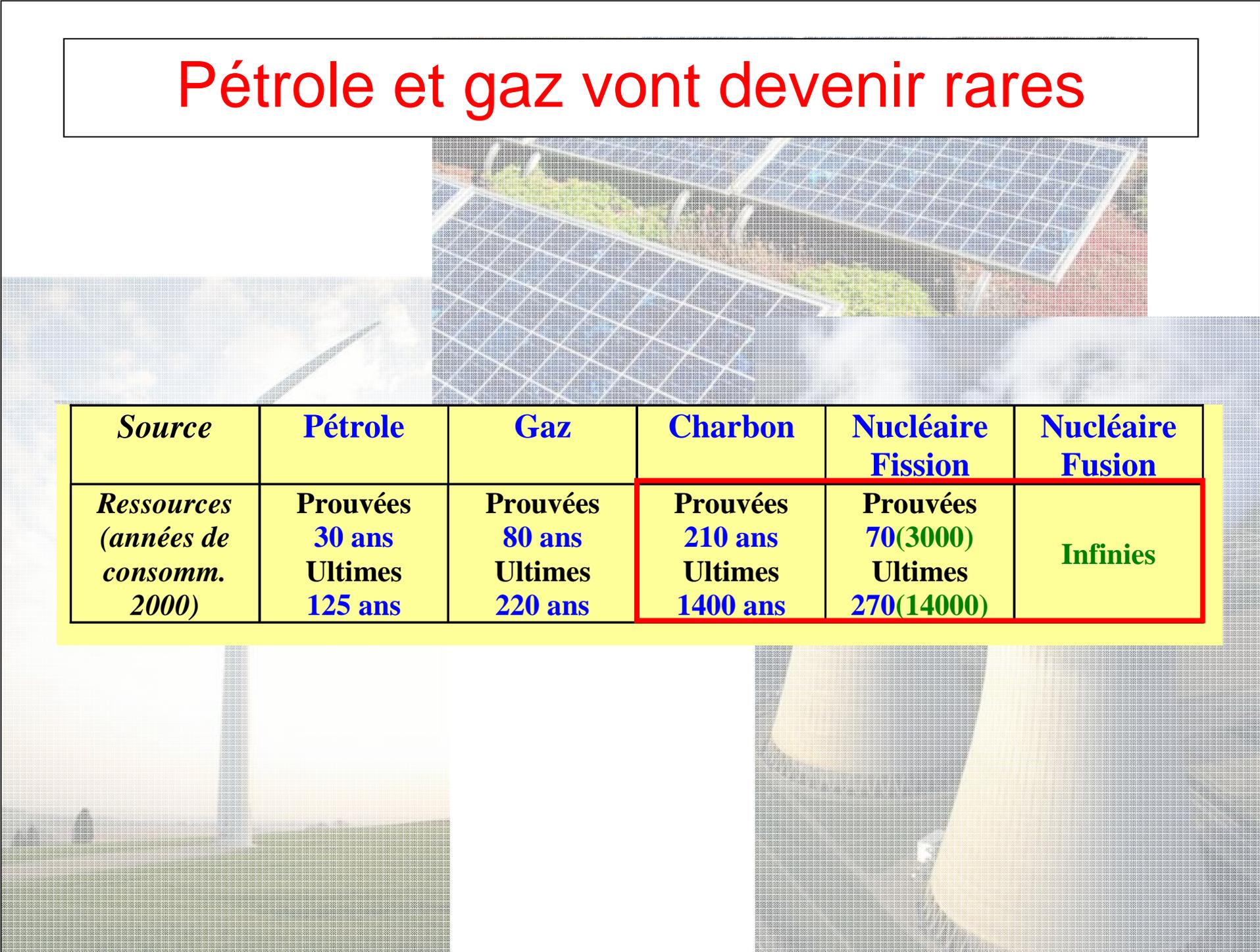


Aujourd'hui :



**Quid des évolutions possibles compte tenu des ressources?**

# Pétrole et gaz vont devenir rares



<i>Source</i>	<b>Pétrole</b>	<b>Gaz</b>	<b>Charbon</b>	<b>Nucléaire Fission</b>	<b>Nucléaire Fusion</b>
<i>Ressources (années de consomm. 2000)</i>	<b>Prouvées 30 ans Ultimes 125 ans</b>	<b>Prouvées 80 ans Ultimes 220 ans</b>	<b>Prouvées 210 ans Ultimes 1400 ans</b>	<b>Prouvées 70(3000) Ultimes 270(14000)</b>	<b>Infinies</b>



# Energies renouvelables

hydraulique

éolien

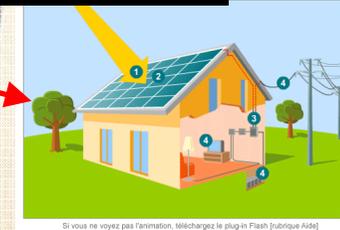
la biomasse

solaire thermique

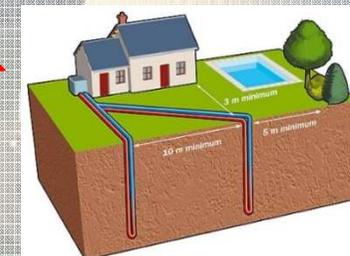
solaire photovoltaïque

géothermique

mer



Si vous ne voyez pas l'animation, téléchargez le plug-in Flash (gratuite Adobe)





# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...

- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes

- en améliorant l'efficacité énergétique

- la sécurité d'approvisionnement

- la balance commerciale

- les conséquences environnementales

- pollution

- déchets

- effet de serre

- les risques

- les coûts

- le cas spécifique de l'électricité

- Comparaison de scénarios

# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...
- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes
- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

### - la balance commerciale

### - les conséquences environnementales

- pollution
- déchets
- effet de serre
- les risques

### - les coûts

### -le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios



# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...

- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes

- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

## - la balance commerciale

## - les conséquences environnementales

- pollution

- déchets

- effet de serre

- les risques

## - les coûts

## - le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios



**Les importations de pétrole, gaz, charbon  
ont pesé 71,2 G€ en 2012**

**Le déficit commercial de la France a été  
de 61 G€ en 2013**



# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...

- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes

- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

## - la balance commerciale

## - les conséquences environnementales

- pollution

- déchets

- effet de serre

- les risques

## - les coûts

## - le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios





# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...

- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes

- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

## - la balance commerciale

## - les conséquences environnementales

- pollution

- déchets

- effet de serre

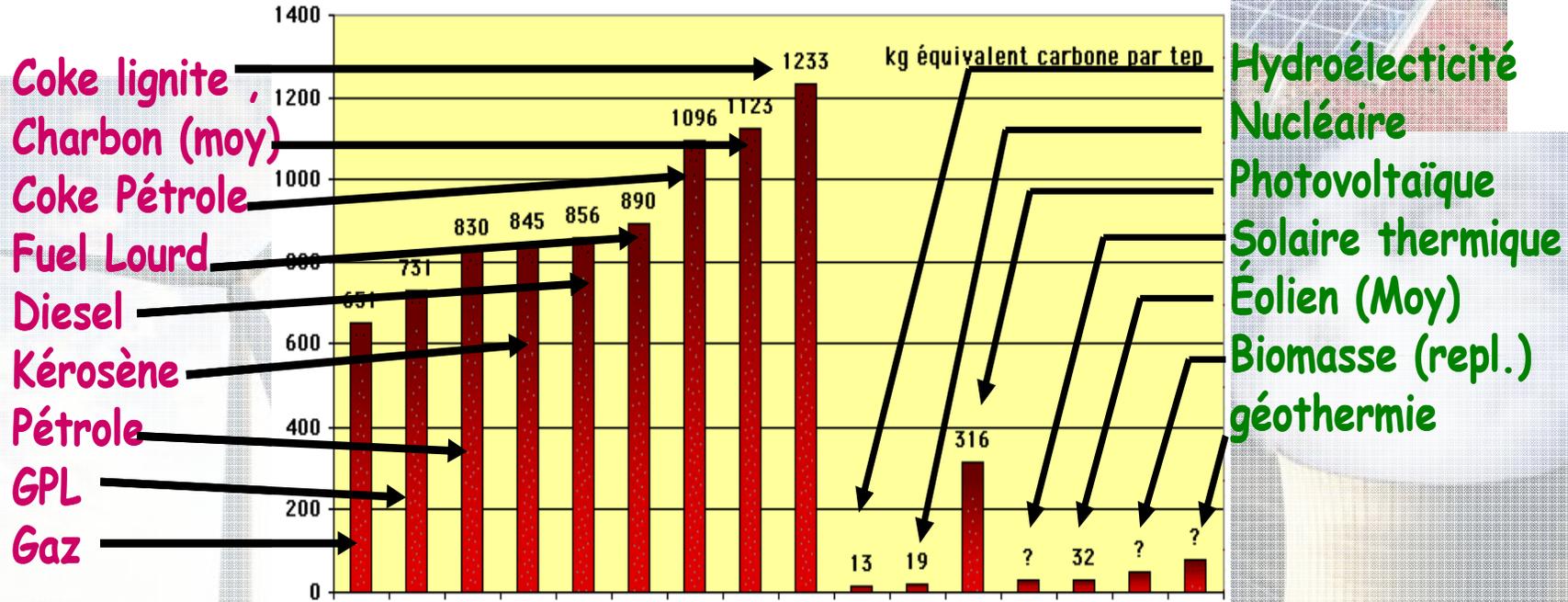
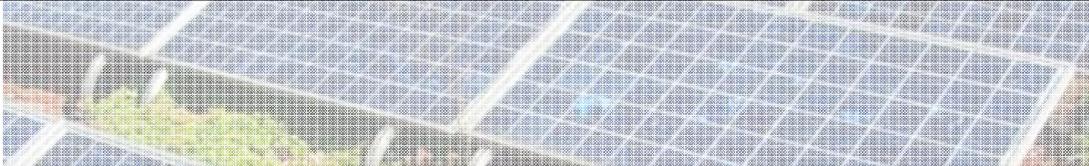
- les risques

## - les coûts

## - le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios

# La contribution des énergies à l'effet de serre



Kg-equivalent-C émis par TeP pour diverses énergies. Pour les énergies Produisant de l'électricité, la conversion a été le taux physique (1TeP=42GJ=11,6MWh) Sources Manicore, ADEME, EDF



# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...
- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes
- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

## - la balance commerciale

## - les conséquences environnementales

- pollution
- déchets
- effet de serre
- les risques

## - les coûts

## - le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios



# Le coût humain (nombre d'années de vie perdues): comparaison charbon/nucléaire

Analyse du prix Nobel Burton Richter (Energy and Environmental Science)

Référence : production énergétique des réacteurs de Fukushima: 898 TWh

Hypothèses:     - nucléaire : linéarité entre dose et effets  
                      - charbon : analyse ExterneE

Energie	Coût humain (nombre d'années de vie perdues)
Accident de Fukushima	4 800
charbon	

# Le coût humain (nombre d'années de vie perdues): Comparaison charbon/nucléaire

Analyse du prix Nobel Burton Richter (Energy and Environmental Science)

Référence : production énergétique des réacteurs de Fukushima: 898 TWh

Hypothèses:     - nucléaire : linéarité entre dose et effets  
                      - charbon : analyse ExterneE

Energie	Coût humain (nombre d'années de vie perdues)
Accident de Fukushima	4 800
charbon	124 000



# L'énergie: critères pour une transition énergétique

## - l'abondance

### - peut-on produire assez ?

- réserves de pétrole, de gaz, de charbon, d'uranium,...
- abondance des renouvelables

### - peut-on consommer moins ?

- en étant économes
- en améliorant l'efficacité énergétique

## - la sécurité d'approvisionnement

## - la balance commerciale

## - les conséquences environnementales

- pollution
- déchets
- effet de serre
- les risques

## - les coûts

## - le cas spécifique de l'électricité

## - Comparaison de scénarios



# Le coût de l'électricité

Energie	Tarifs réglem. France (c€/kWh)
Gaz	
Charbon	
Nucléaire	4,2
Hydroélectricité	
Eolien	8,2 (on-sh)
Photovoltaïque	27-62
Biomasse	12-17
Géothermie	20-28

Sources: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-tarifs-d-achat-de-l,12195.html>

**Le problème du prix du photovoltaïque est d'autant plus important qu'il s'ajoute à celui de son intermittence.**

**Il faut ajouter le coût de la gestion de cette intermittence.**

# Comparaison des sources d'énergie

	pétrole	gaz	charbon	nucl.	hydrau	éolien	solaire	biom.	géoth.	mer
abond.	---	--	+	--- +++	+	++	+++	++	+	+
séc. app.	---	---	--	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
bal. com.	---	--	-	-+++	++	-	-	++	++	++
pollution	--	-	---	+++	+++	+++	++	+	+++	+++
déchets	-	+++	-	---	+++	++	+	+++	+++	+++
eff. serre	--	-	---	+++	+++	+++	++(+)	++	+++	+++
risques	--	--	---	---	--	++	+++	+	+++	+++
coût	++	++	++	++	+++	+ -	---	+	--	--
<u>intermit.</u>	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	+++	+++	+

# Comparaison des sources d'énergie

	pétrole	gaz	charbon	nucl.	hydrau	éolien	solaire	biom.	géoth.	mer
abond.	---	--	+	--- +++	+	++	+++	++	+	+
séc. app.	---	---	--	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
bal. com.	---	--	-	- +++	++	-	-	++	++	++
pollution	--	-	---	+++	+++	+++	++	+	+++	+++
déchets	-	+++	-	---	+++	++	+	+++	+++	+++
eff. serre	--	-	---	+++	+++	+++	++(+)	++	+++	+++
risques	--	--	---	---	--	++	+++	+	+++	+++
coût	++	++	++	++	+++	+ -	---	+	--	--
<u>intermit.</u>	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	+++	+++	+



**Le problème de l'intermittence  
doit être considéré avant toute décision  
sous peine de transition ratée**

**Il n'y a aucune solution simple...**

**Les pistes principales reposent sur le stockage de  
l'électricité ou sur des centrales de secours (gaz  
ou charbon) allumées à volonté....**

**Mais c'est cher ou/et polluant.....**

**A cause de tous ces problèmes...  
...une comparaison détaillée des  
scenarios possibles montre que :**

tant que l'on ne sait pas résoudre à bas coût l'intermittence  
c'est-à-dire

tant qu'on ne sait pas stocker massivement les électricités  
éolienne et photovoltaïque,....

**... il n'y a pas de scenario crédible permettant  
d'avoir à la fois:**

- croissance**
- réduction de l'effet de serre**
- sortie du nucléaire**

