

1, L'Énergie solaire



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



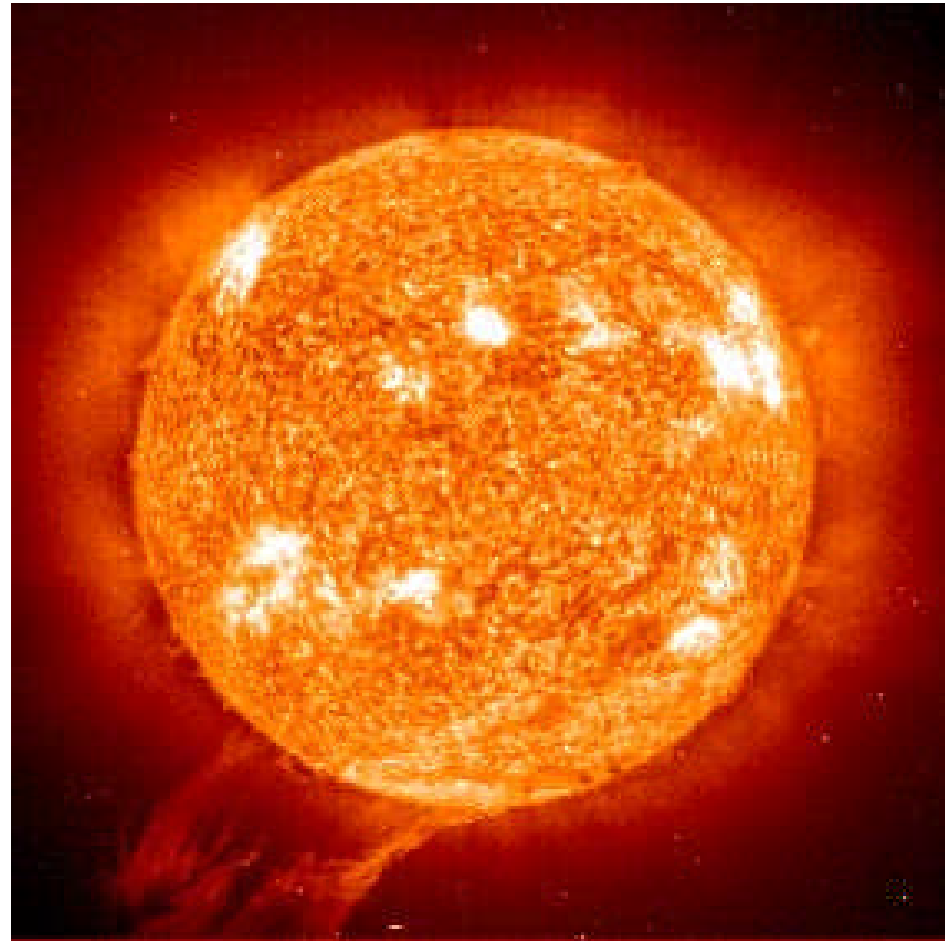
La Vanaude **Bouliou les Annonay**
07690 **VANOSC**

1
2 mars 2012

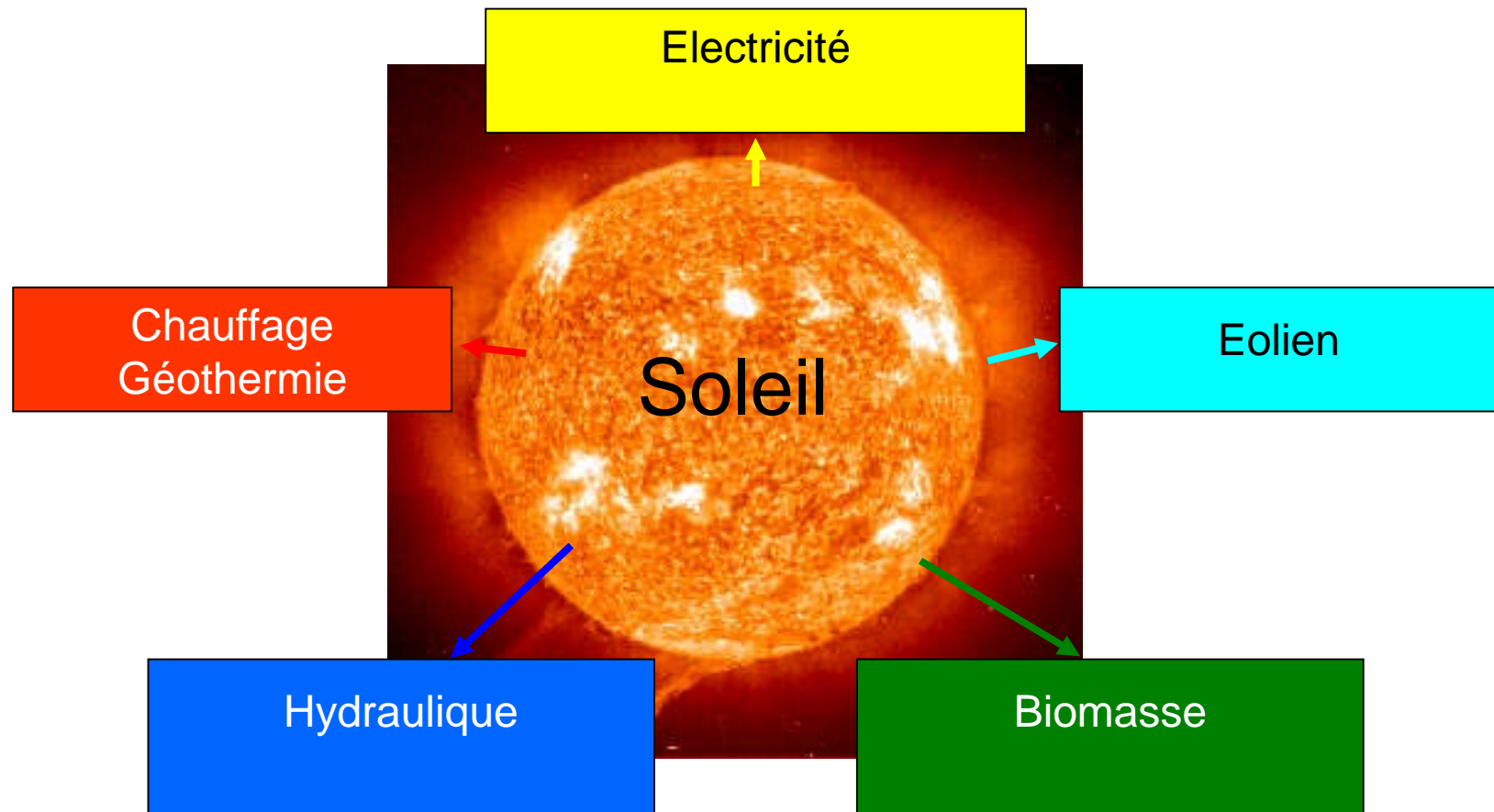


Qu'est ce que le soleil?

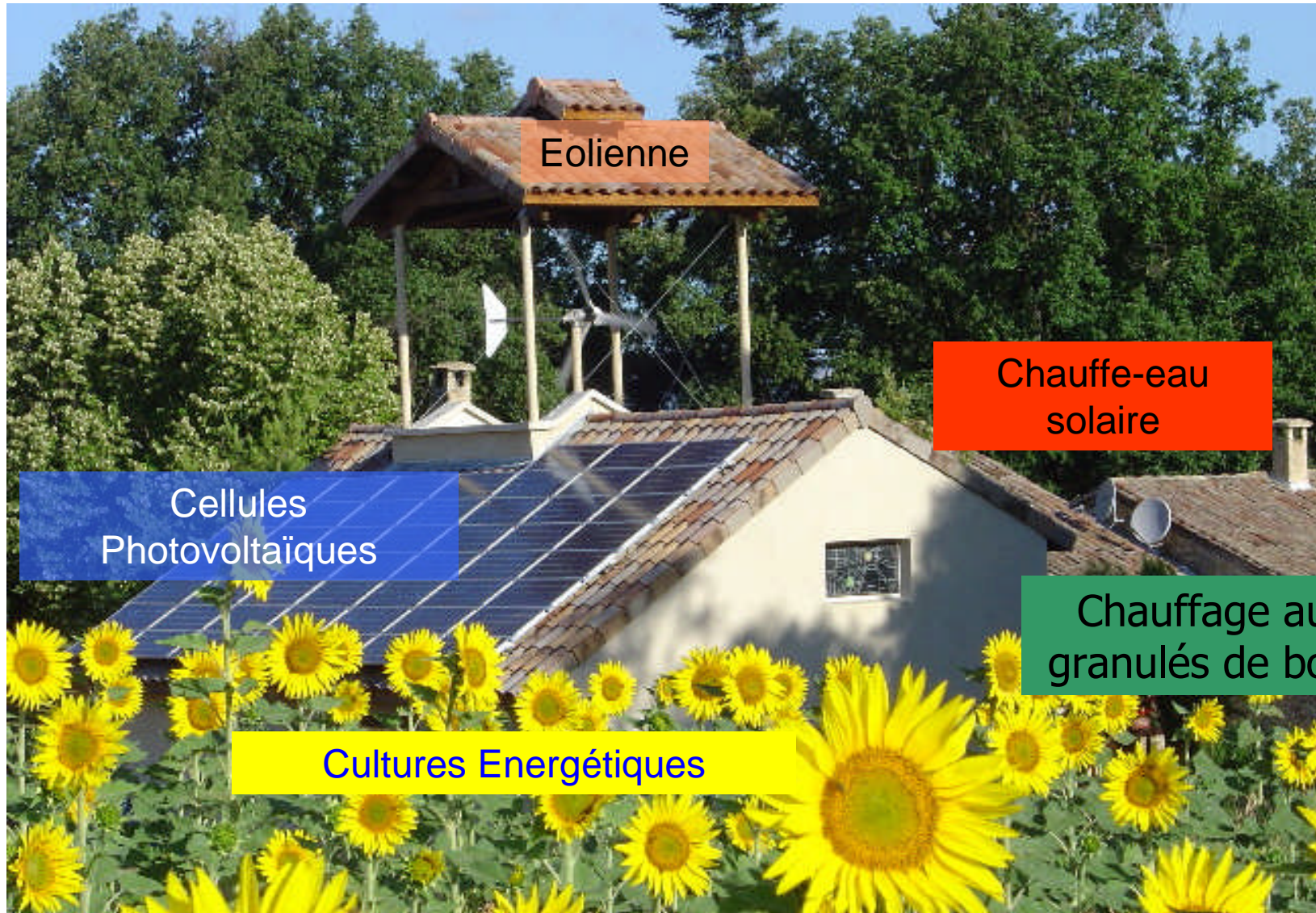
- Centrale thermonucléaire (fusion)
- Puissance solaire au niveau du sol:
1 kW/m²



Que peut-on faire de cette énergie solaire? Gratuite, Egalitaire et Universelle...



Les EnR nous viennent du Soleil



Quelques exemples énergétiques concrets

Le fer à repasser, puissance $P = 1\text{kW}$

Le repassage pendant 1 heure dépense, une énergie de $E = P \times t = 1\text{kWh}$

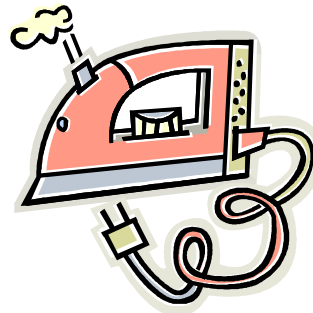
Si cette Énergie finale est d'origine électrique (finale) elle émet $0,246\text{ kg de CO}_2$!
Soit pour 4000 kWh (consommation annuelle d'un ménage économe): 1 t de CO_2 !!

Une batterie de voiture contient environ 1kWh d'énergie

Nous mangeons quotidiennement environ $2\text{ à }3\text{ kWh/j}$

Notre maison consomme hors chauffage $4000\text{ à }6000\text{ kWh/an}$

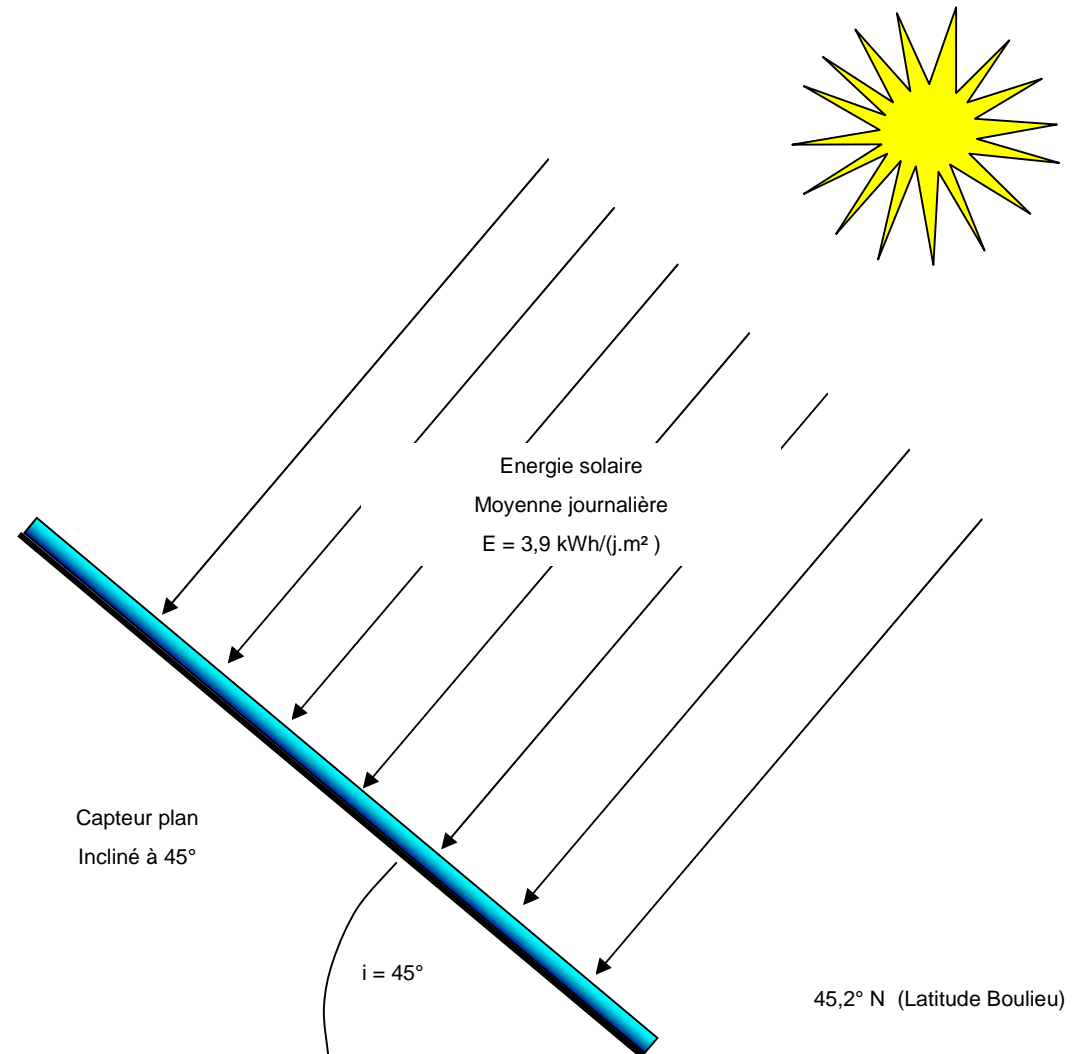
Notre chauffage nécessite de $15000\text{ à }20000\text{ kWh/an}$ d'énergie.



Les océans de notre terre ne peuvent absorber plus que $2\text{ t de CO}_2/(\text{pers.an})$

Si ces énergies sont renouvelables en provenance du soleil
aucune émission de CO_2 n'aura lieu

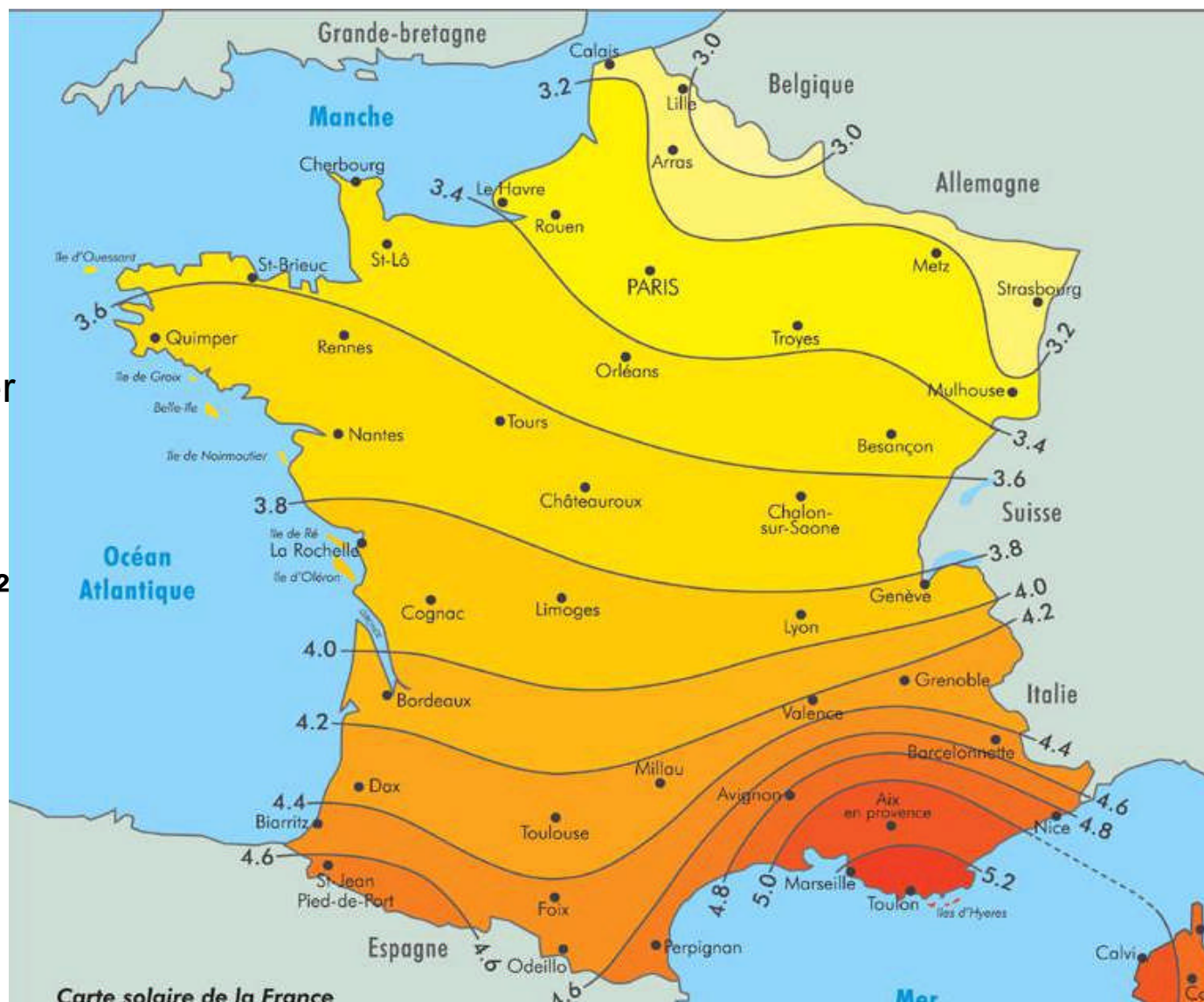
Inclinaison optimum d'un capteur à Boulieu?



Carte de l'Énergie journalière moyenne en France E (kWh/(m².jour))

Boulieu, le soleil
peut nous délivrer
jusqu'à

$E = 365 \times 3,9$
 $E = 1423 \text{ kWh/m}^2$
de soleil gratuit
par an!



Carte solaire de la France



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



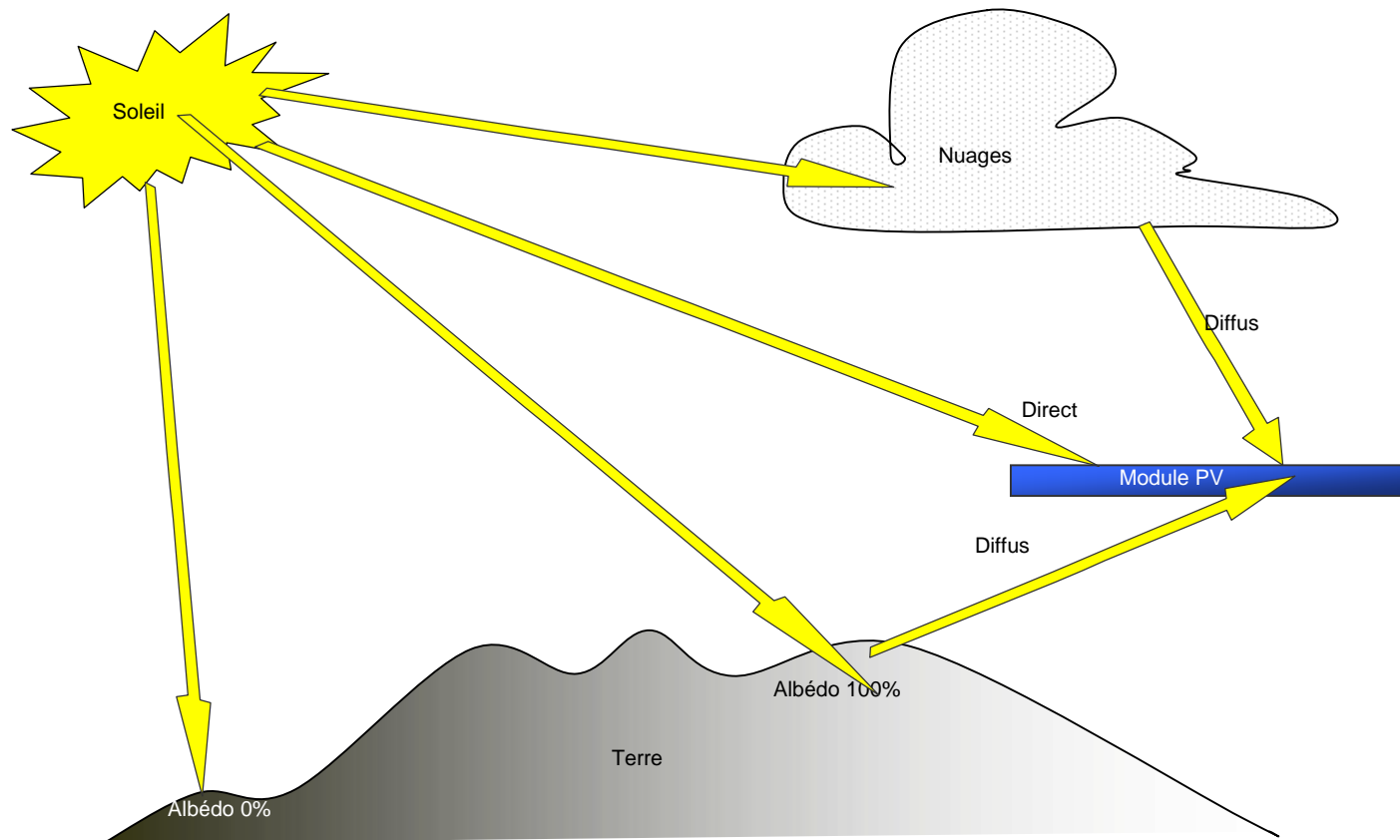
La Vanaude
07690 **VANOSC**

7

2 mars 2012



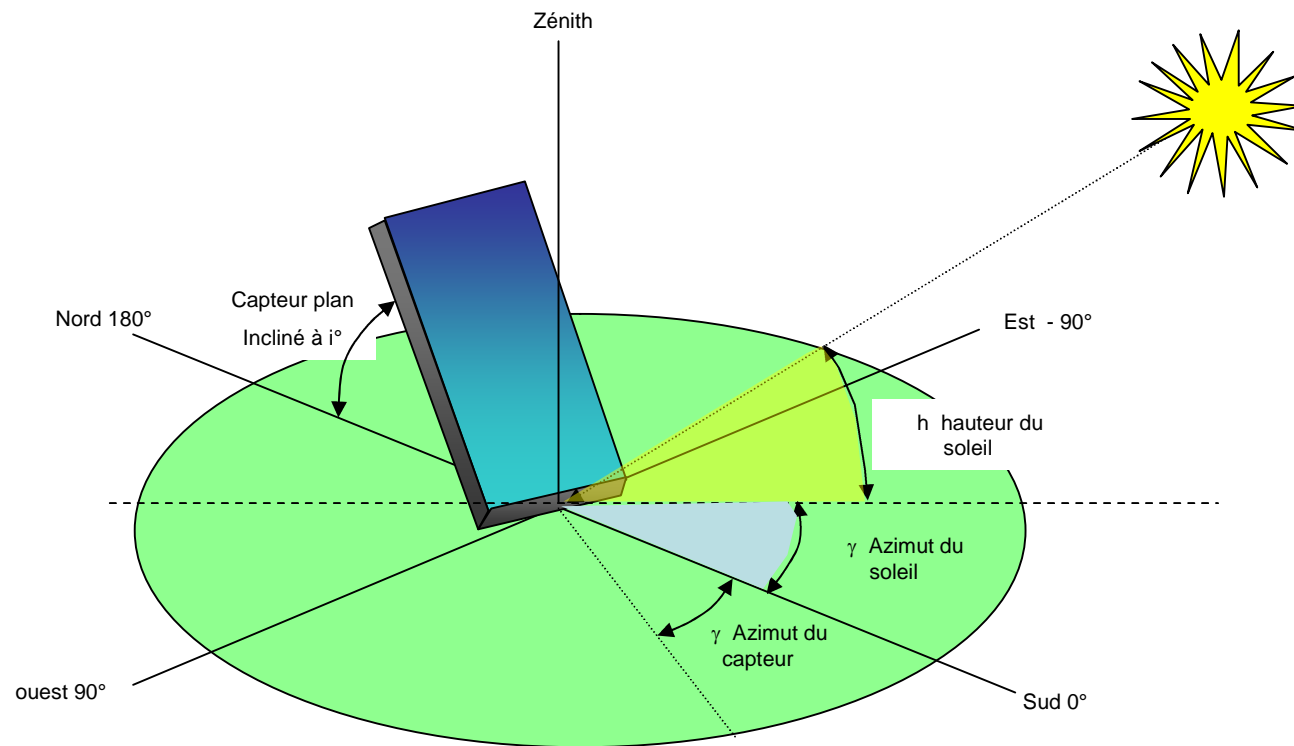
Irradiation diffuse I_R , irradiation directe I_D



A Lyon, 50% de direct 50% de diffus

2 Le repérage du soleil dans notre ciel

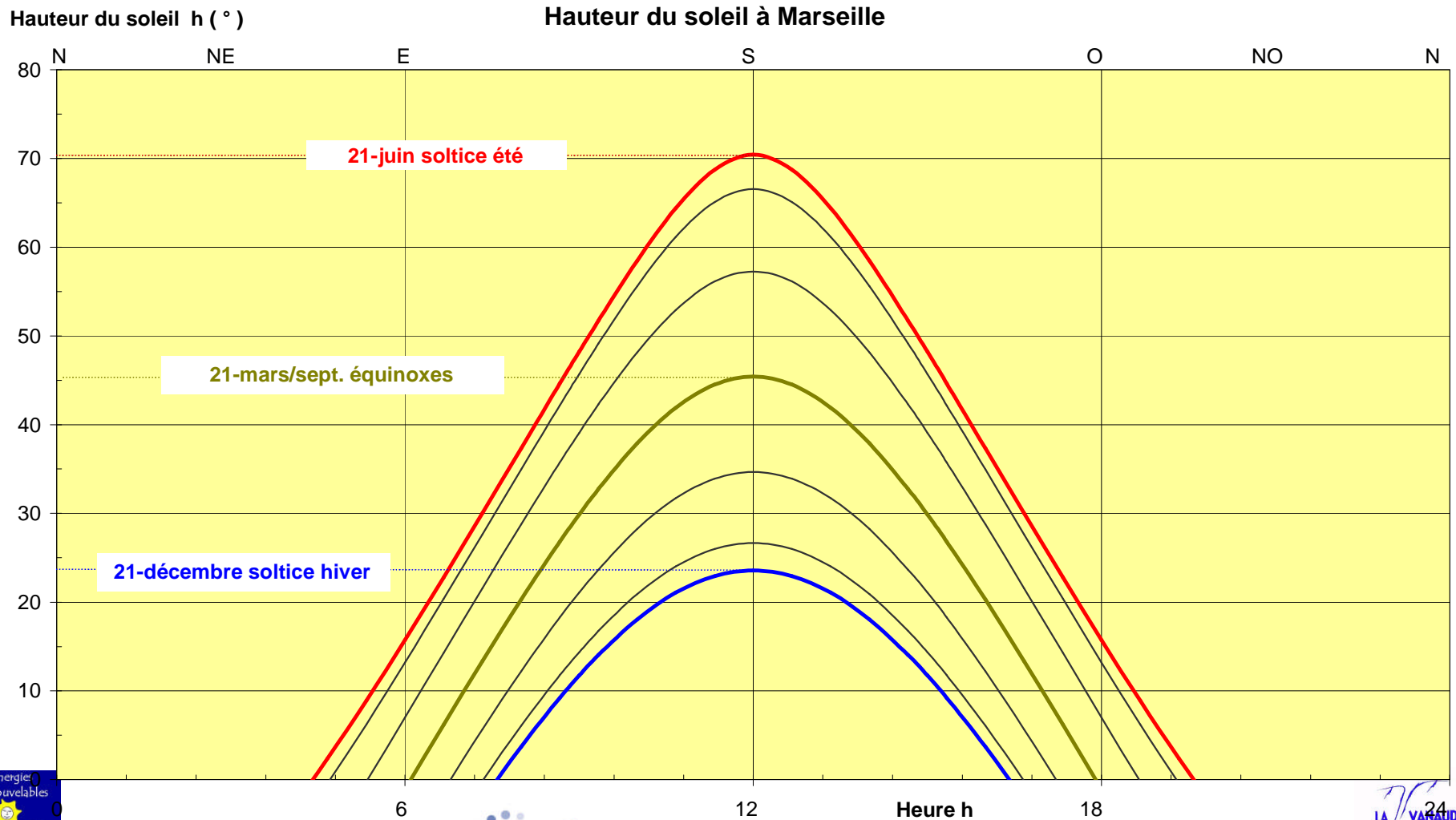
Coordonnées angulaires



Rappelons que le soleil, a un mouvement angulaire apparent lent de

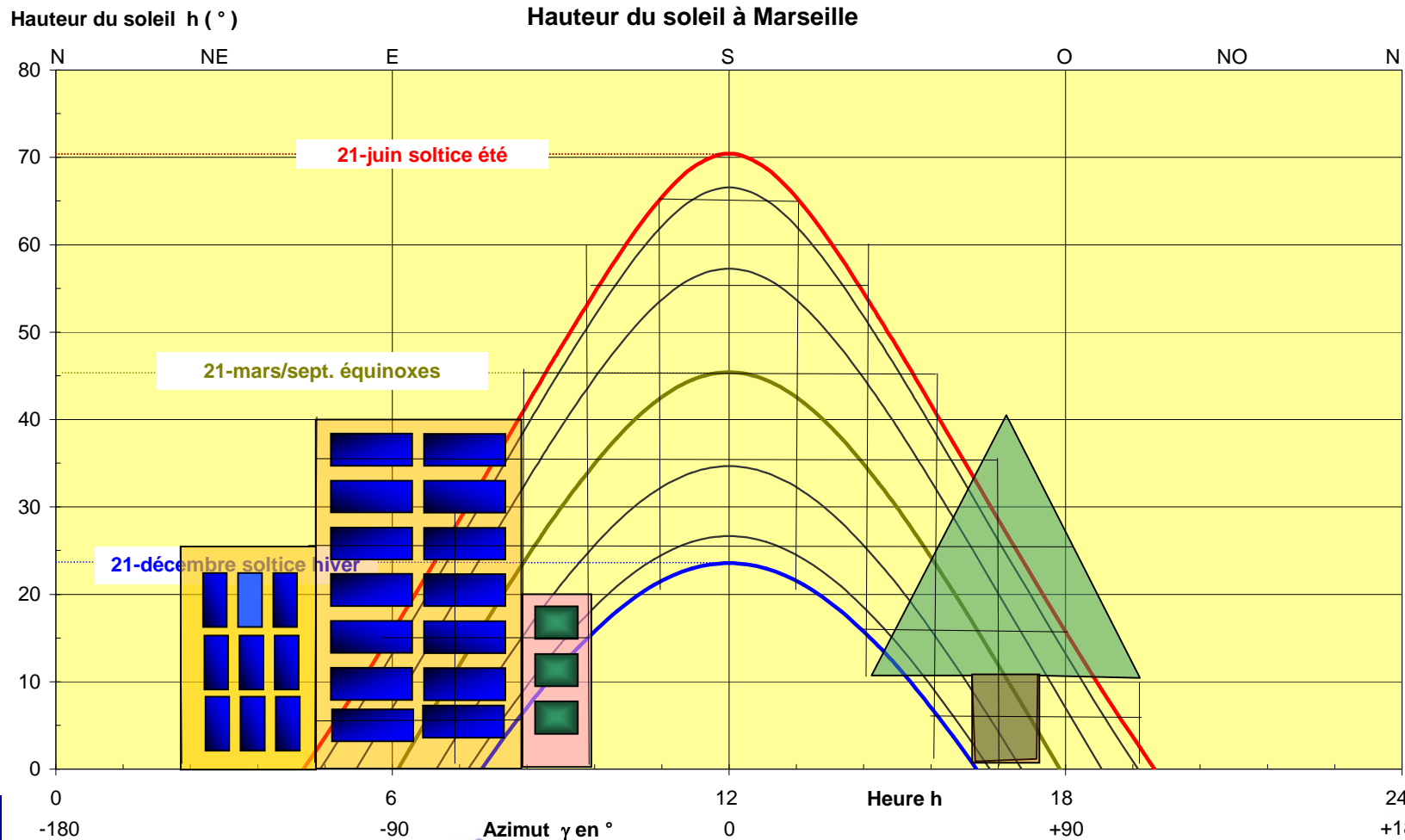
vitesse angulaire $\omega = 15^\circ/h$

La trajectoire apparente du soleil dans notre ciel



Un calcul compliqué... Importance des masques

10/76^{ème} d'arbres 14/76^{ème} d'immeuble, masquent l'irradiation directe soit **32%**



A Marseille $D_R = 70\%$ et $D_R = 30\%$, il ne restera que 0,68 des 70% de directs soit au total **78%**













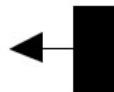



07690 VANOSC

2 mars 2012



Atténuations de l'irradiation solaire due à l'inclinaison et l'orientation

INCLINAISON \ ORIENTATION	 0° 	 30° 	 60° 	 90° 
	Est 	0,93	0,90	0,78
Sud-Est 	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud 	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest 	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest 	0,93	0,90	0,78	0,55

 : position à éviter si elle n'est pas imposée par une intégration architecturale

source Hespul

NB : ces chiffres n'incluent pas les possibles masques qui pourraient réduire la production annuelle.

Azimut et Inclinaison optimum du toit PV.



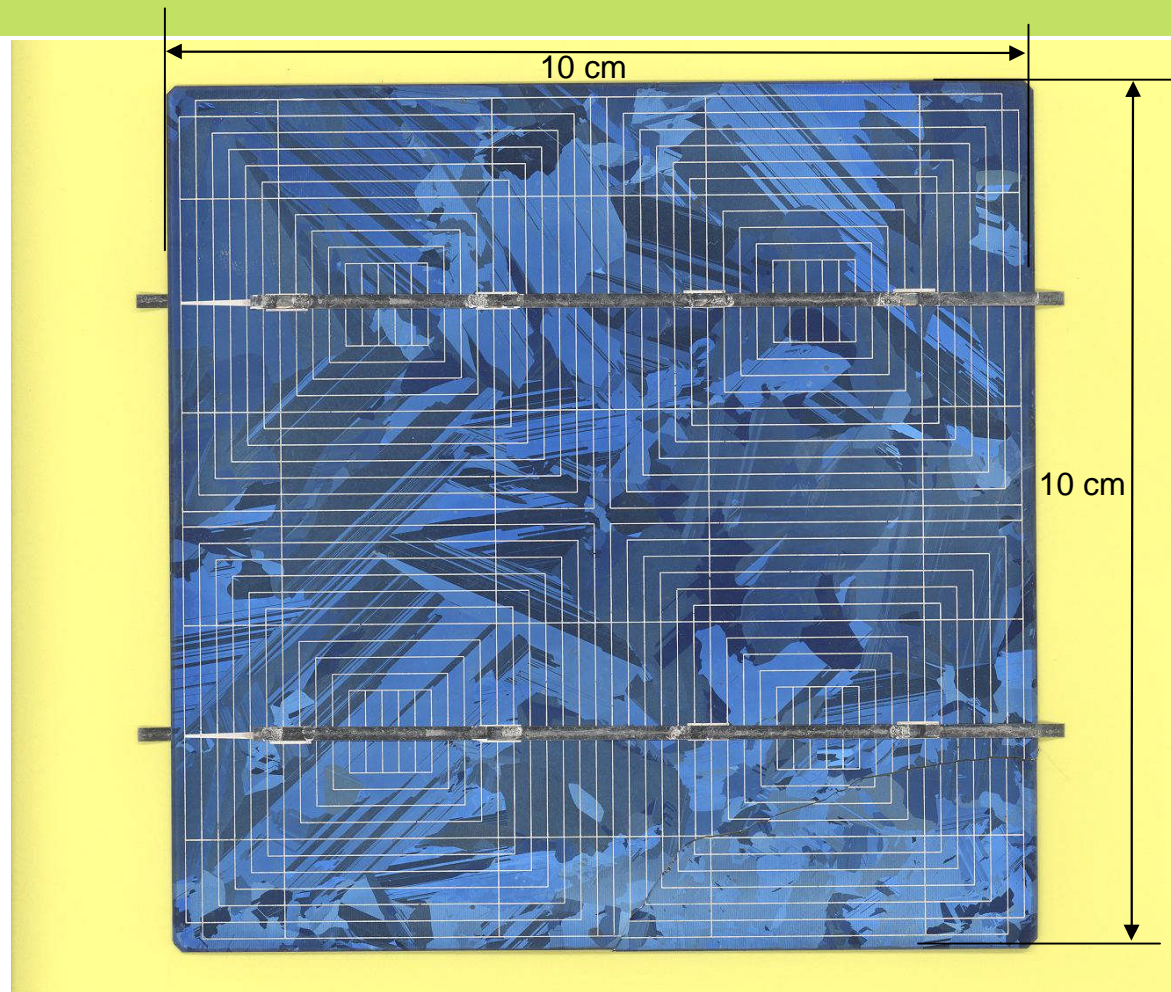
Une erreur de choix...



3.L'Effet Photovoltaïque

Des photons à l'Électricité...

la cellule photovoltaïque



Face à un beau soleil: $0,6V \times 1,2 A = 1,2 W$

Un Semi conducteur transformé en photodiode

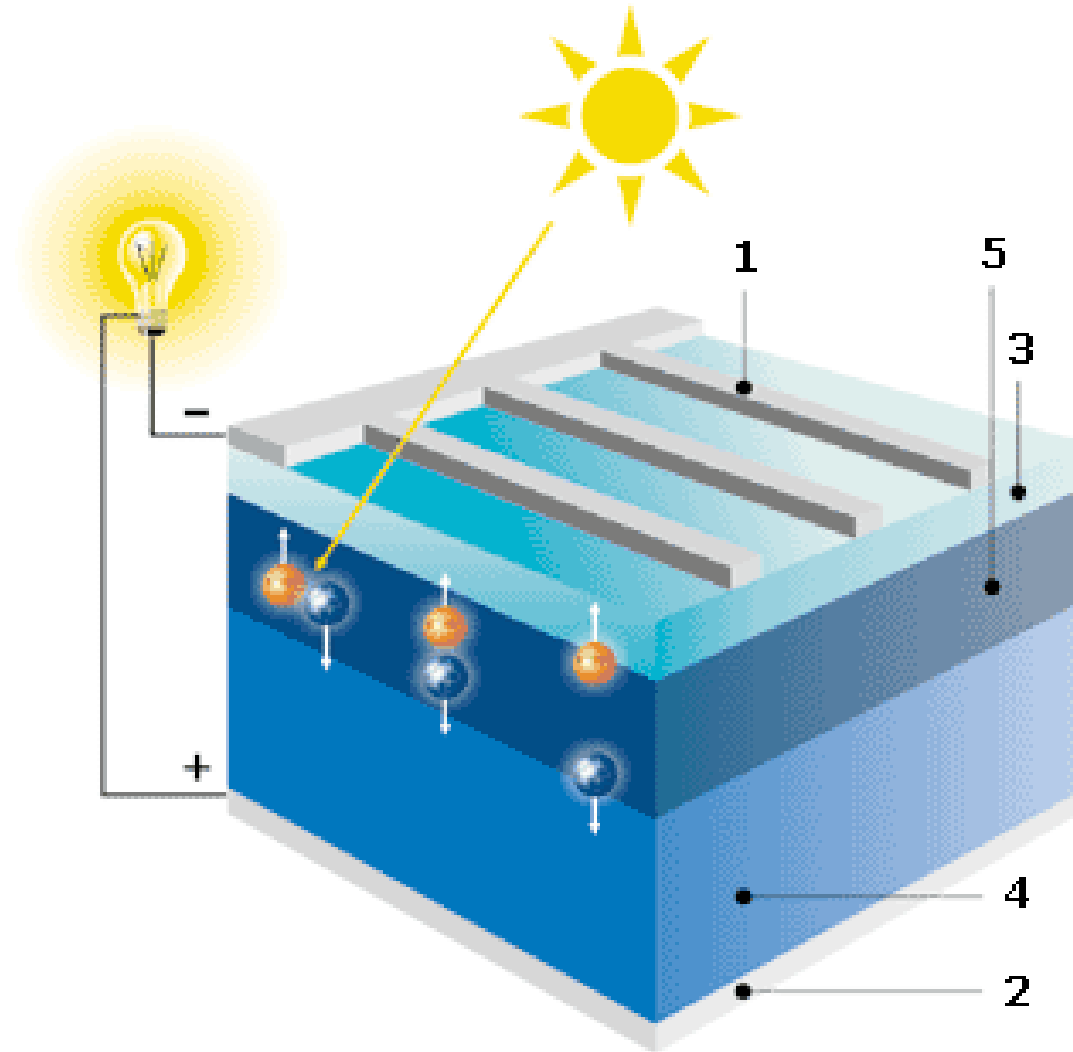
1 Electrode négative

2 Electrode positive

3 Silicium type N

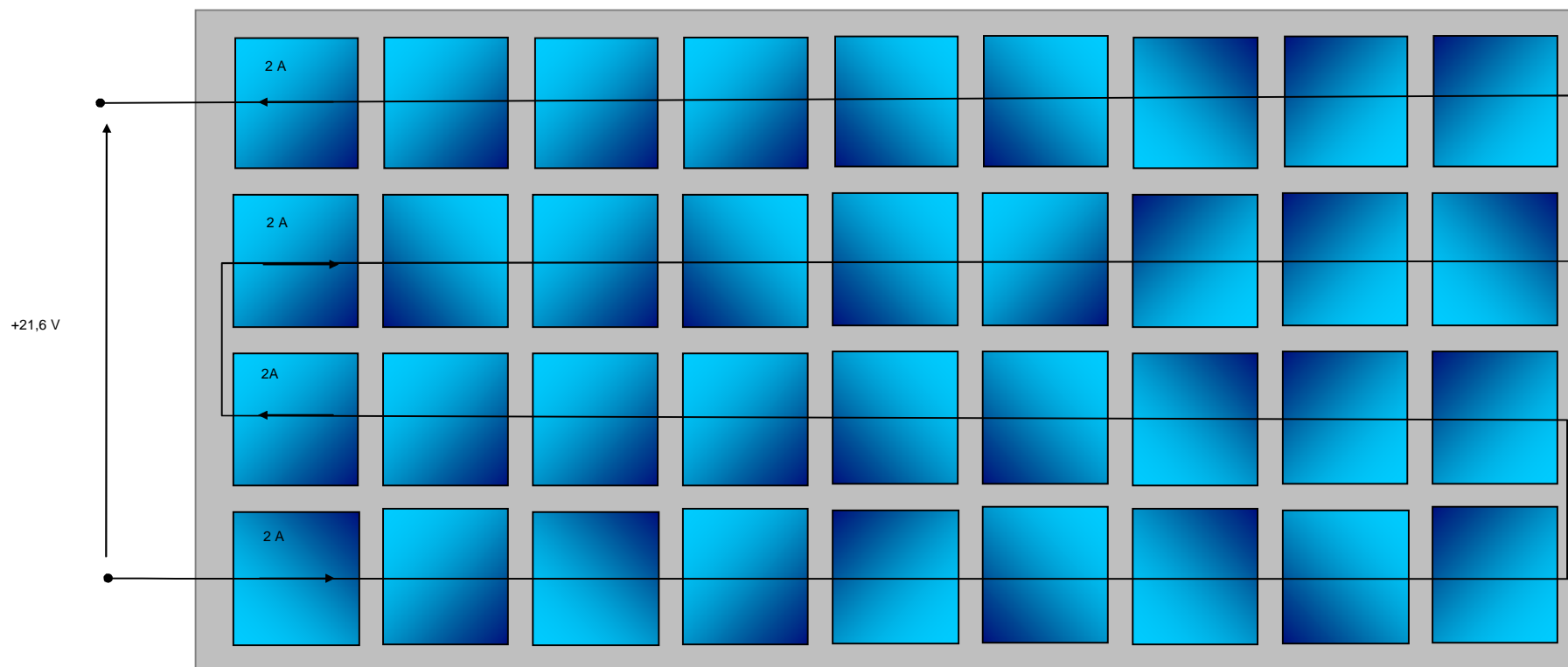
4 Silicium type P

5 Silicium isolant



4. Le module photovoltaïque

Module Photowatt PW 450: Une guirlande de 36 cellules photovoltaïques





5. La centrale photovoltaïque



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques

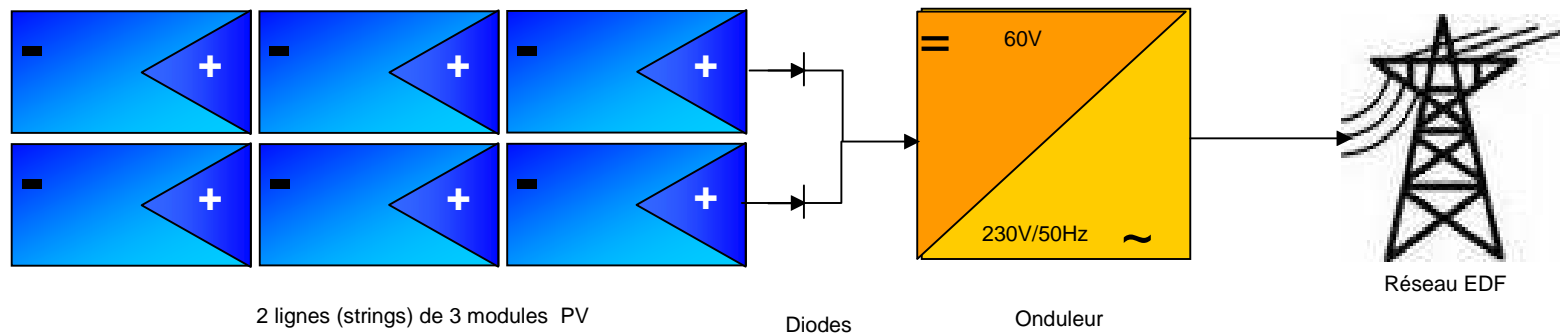


La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

21
2 mars 2012



Centrale Photovoltaïque Raccordée au réseau



2 lignes (strings) de 3 modules PV

Diodes

Onduleur

Réseau EDF

La centrale photovoltaïque Raccordée au réseau 230V 50Hz



16 modules
photovoltaïques en série

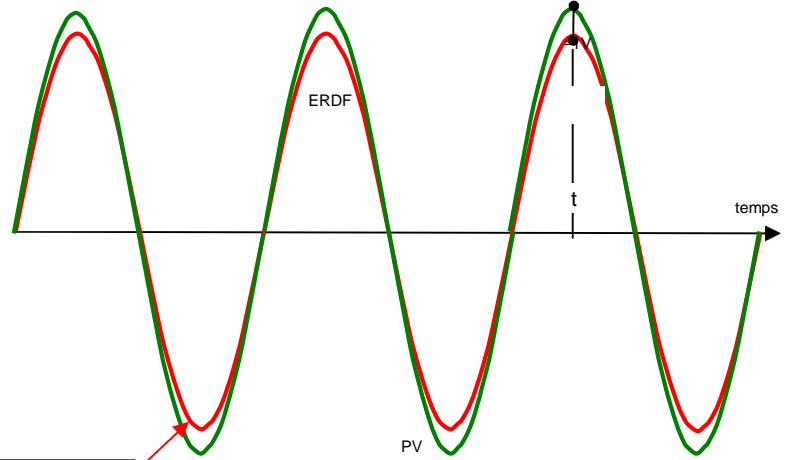
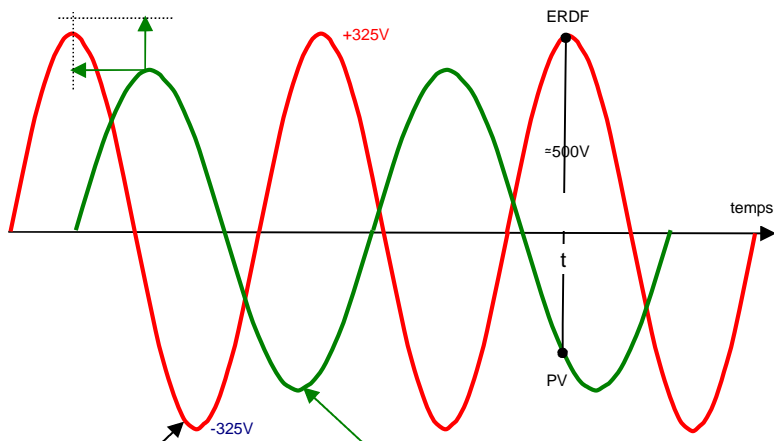
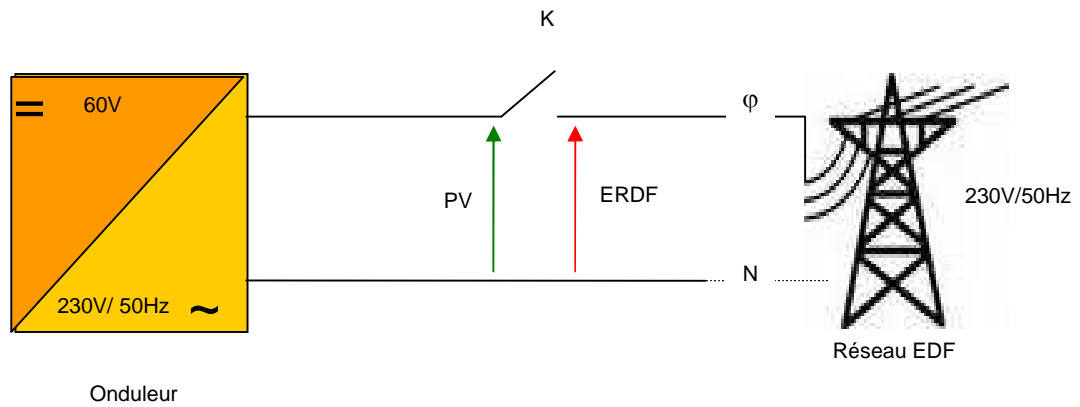


Onduleur 280V=
230 V \cong 50Hz



Protections
« humaine et matériel »

Synchronisation au réseau



Réseau EDF
50Hz 230V

Onduleur PV

Réseau EDF
50Hz 230V

Onduleur PV



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude
07690 VANOSC



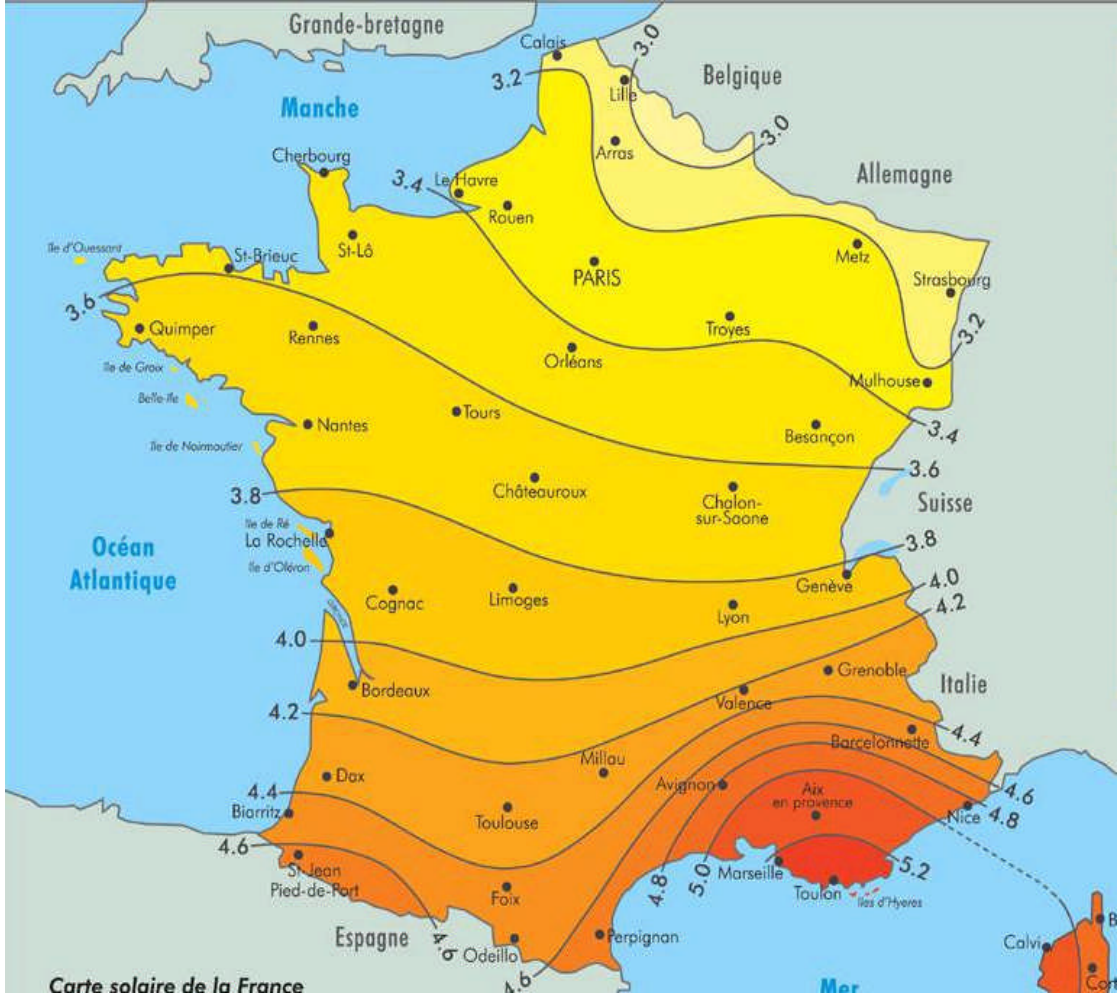
6. Combien de kWh va-t-on produire?

Calcul de la production annuelle sur un exemple

- **Zone d'ensoleillement rouge**
 - **Marseille**
 - $Z = 1423 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$
- **Surface** $S = 10 \text{ m}^2$
- **Rendement PV** $\eta_{pv} = 11\%$
- **Rendement onduleur** $\eta_{ond} = 90\%$
- **Masque** $\eta_{mas} = 90\%$
- **Soit $\eta = 8,91 \%$**

- **D'où la production globale**

- **$E = Z.S.\eta = 1268 \text{ kWh/an}$**

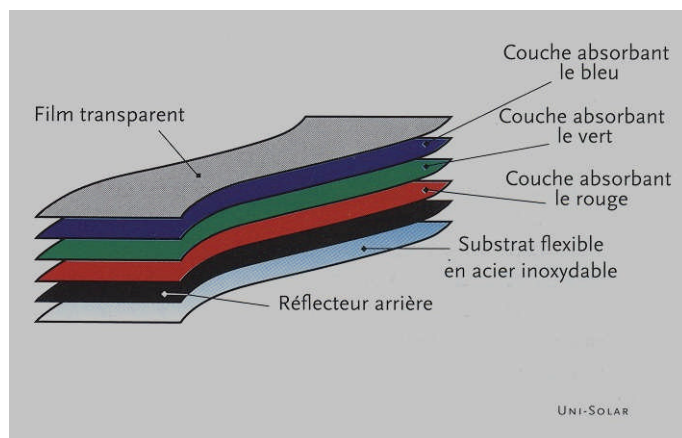
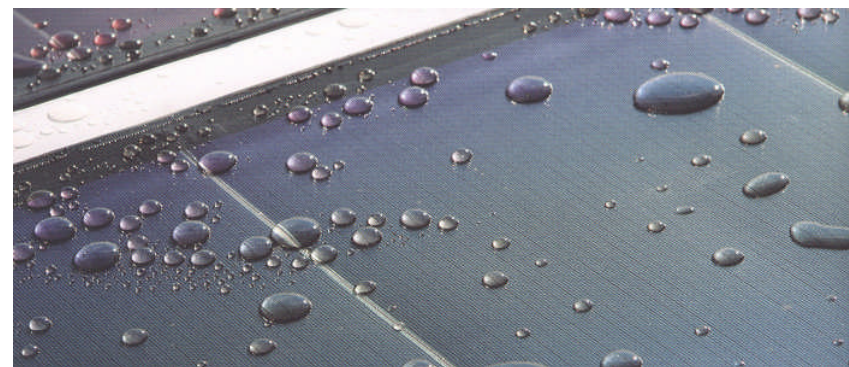


7. Autres Technologies

Performance des modules Photovoltaïques

Technologie	Rendement des cellules %	Rendement des modules %
Monocristallin	24 %	13 à 17 %
Polycristallin	18%	11 à 15%
Silicium amorphe	11%	5 à 7%
Couches minces CIS	18%	10 à 12%
Couches minces CdTe	17%	9 à 10 %

Capteurs souples silicium amorphe



Terrasse solaire Prologis

10000m²

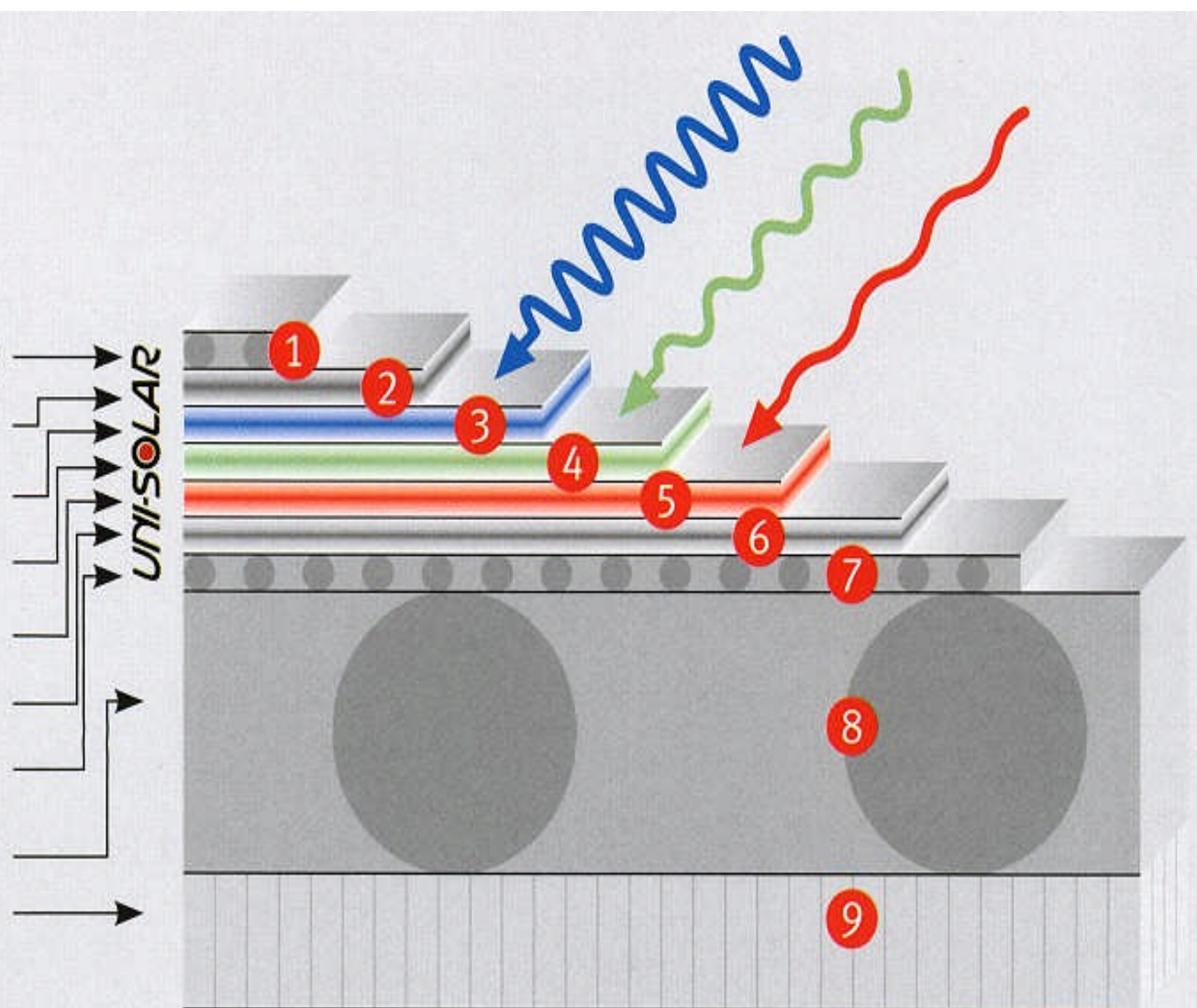
Film d'étanchéité de terrasse EVASOLAR



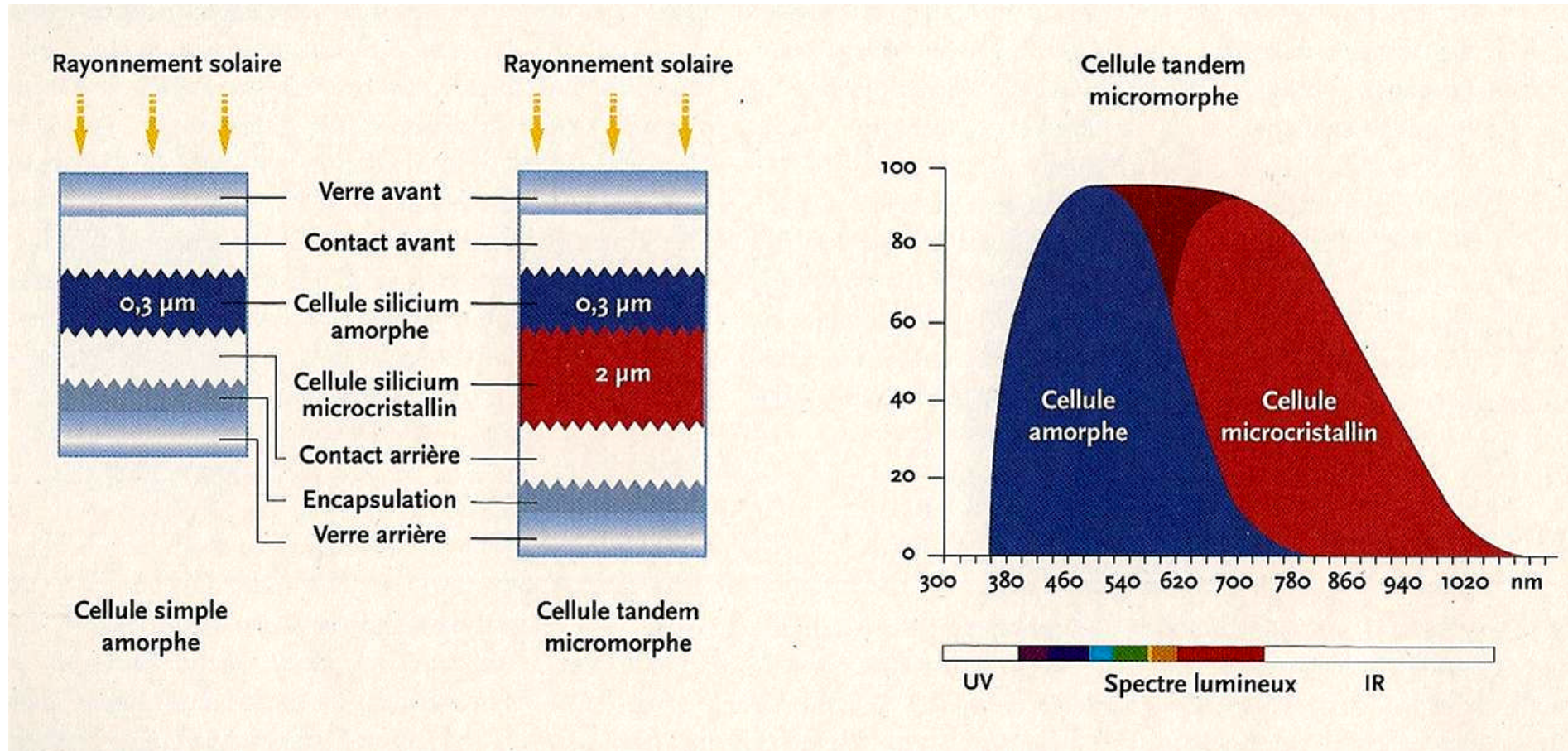
Fonctionnement Cellules multicouches

alwitra is supported by
UNI-SOLAR
United Solar Systems Corp.
triple-junction
thin film technology

- 1 Enveloppe transparente (Teflon)
- 2 Couche conductrice (pôle +)
- 3 3ième Cellule Si amorphe (bleue)
- 4 2ième Cellule Si amorphe (verte)
- 5 1ère Cellule Si amorphe (rouge)
- 6 Film "acier inoxydable" (pôle -)
- 7 Enveloppe synthétique
- 8 Membrane synthétique EVALON®
- 9 incl. feutre PES en sous-face



Fonctionnement Cellules Photovoltaïques Tandem (R & D) Polysil



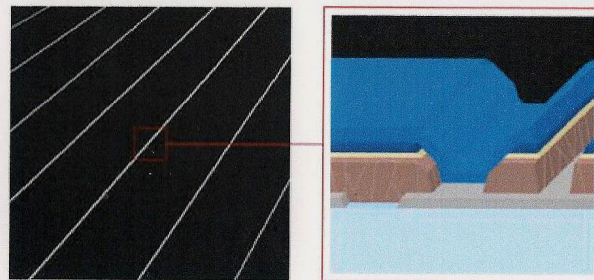
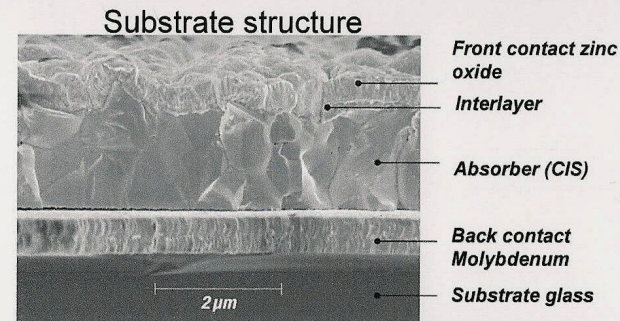
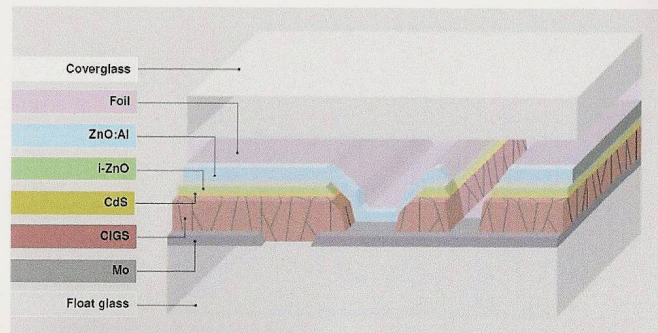
7.6.A, Cellules colorées Technologie

Energie, die ankommt.



GeneCIS module Technical presentation

GeneCIS



Electrical serial faulty wiring of 2 CIS cells:
Active cells width: 3 – 8 mm
Electrical connection: 0,3 – 0,4 mm

Cellules colorées

Energie, die ankommt.

GeneCIS module
Possibilities in colour



black (standard)



blue



White-grey



green



red



yellow

Le team EDF pour l'une des premières installations de la Drôme en 2003





9. Intégration l'st Photovoltaïc Beautiful?



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

36
2 mars 2012



Intégration ratée...



Intégration réussie



10.Impact CO₂

Fin de la 1^{ère} Partie

Quelques questions peut être?



Du soleil à notre prise électrique....
2^{ème}
L'Électricité
Hélio thermodynamique.

VAILLANT Jacques 2 Mars 2012

Un peu de vocabulaire....

- Hélio = Soleil
- Thermo = Chaleur
- Dynamique = moteur (thermique)



1, Le principe



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques

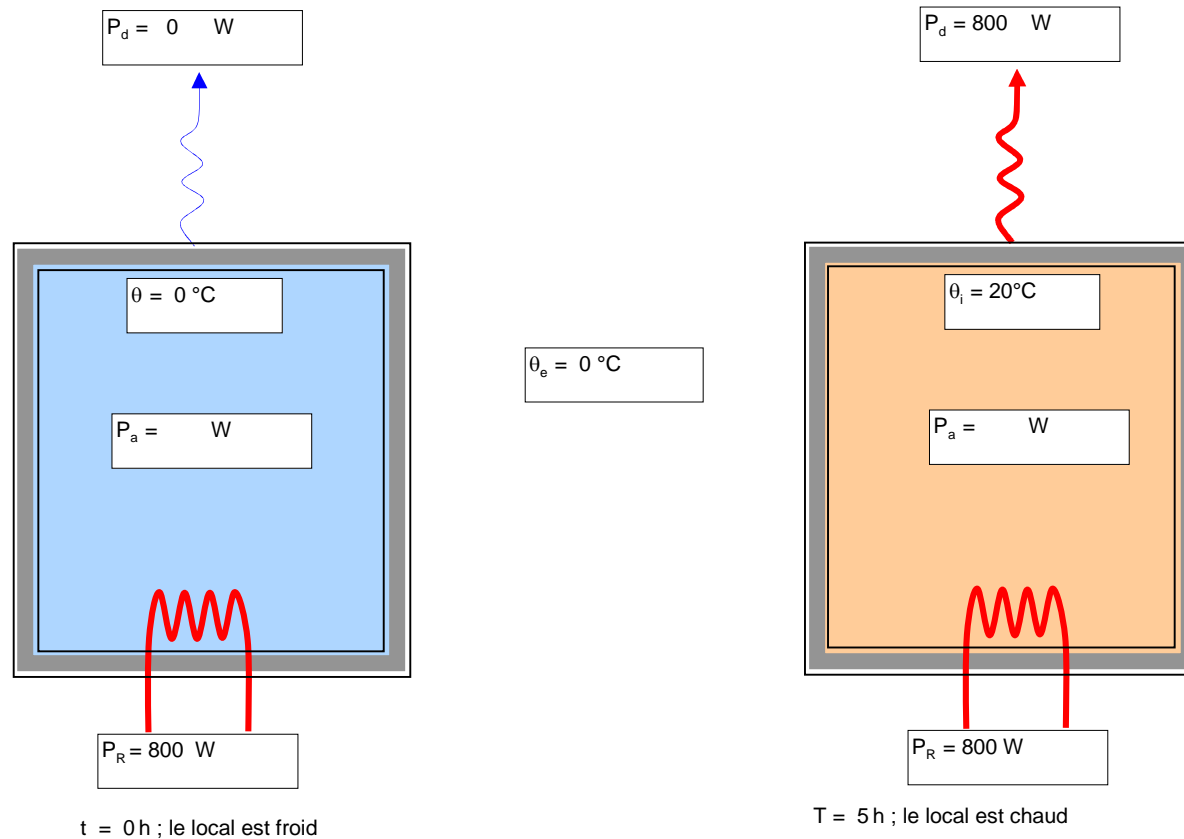


La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

43
2 mars 2012

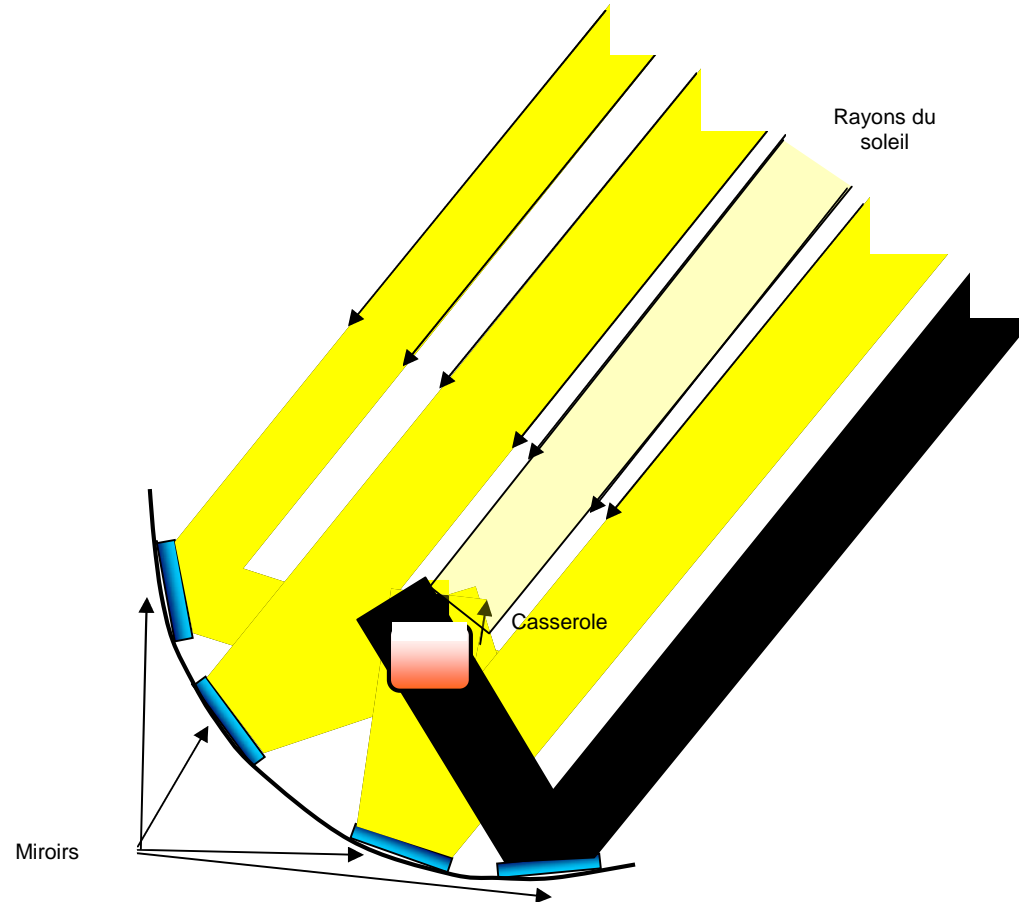


3, Equilibre thermique d'un corps.



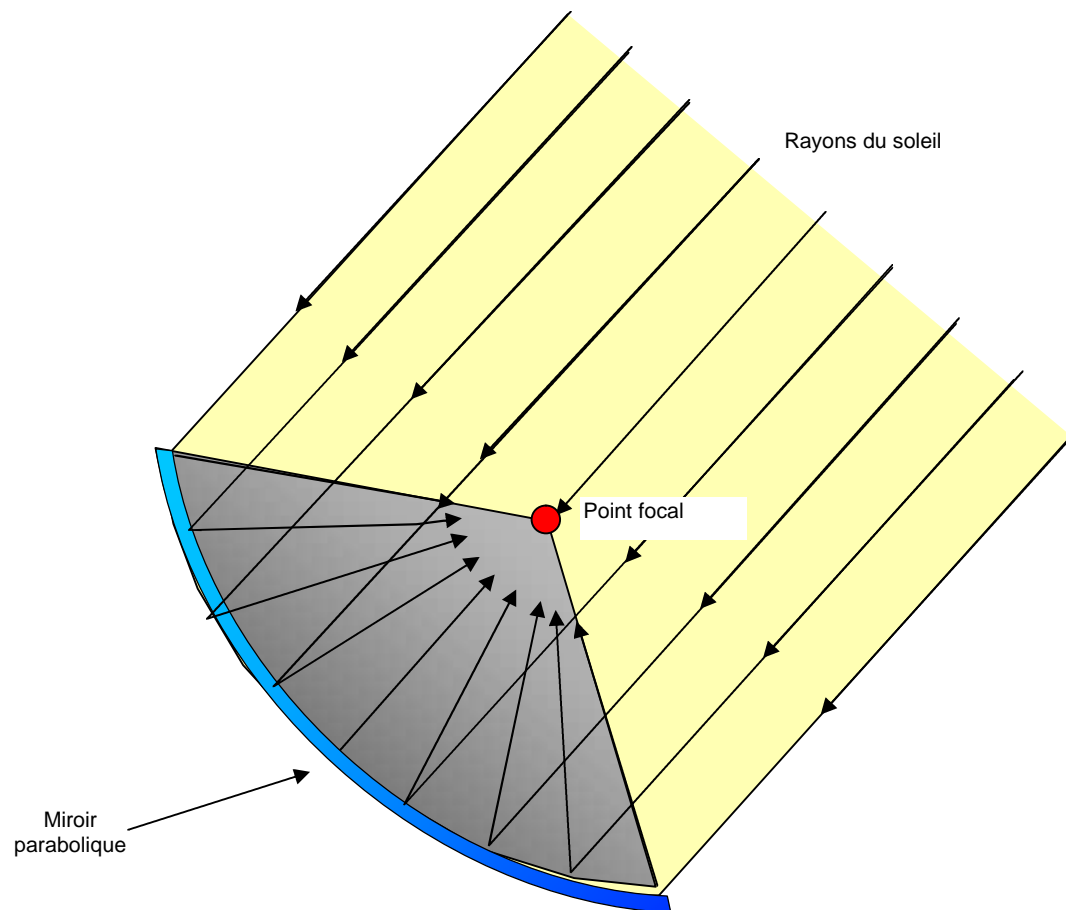
2, La concentration : 1,10,100,...10000 soleils.

Cuiseur solaire



Rappelons que le soleil, a un mouvement angulaire apparent lent de
vitesse angulaire $\omega = 15^\circ / h$

Parabole





4, Différents types de centrales



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

48
2 mars 2012



Centrales à Tour

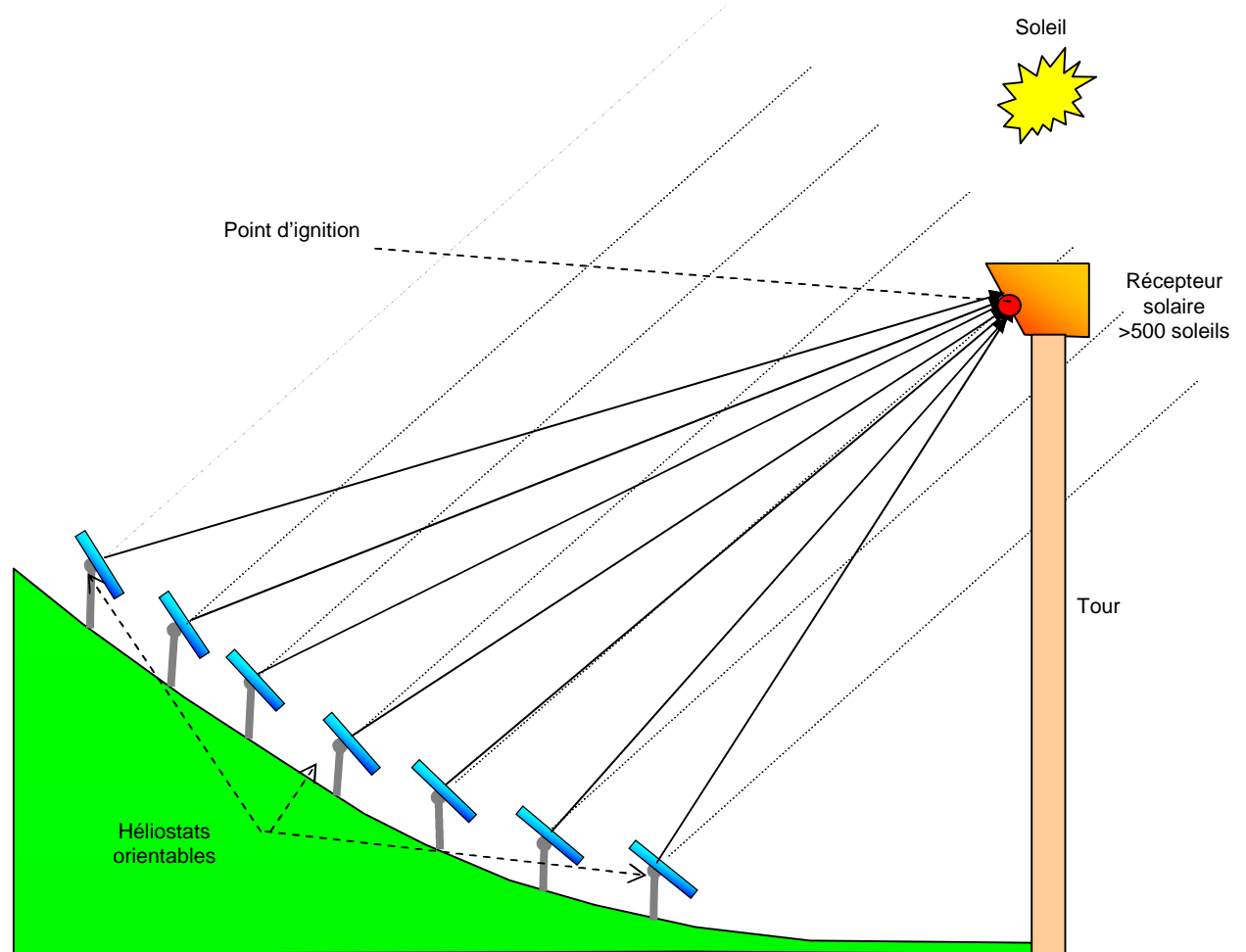
$\theta = 600^{\circ}\text{C}$ et plus

$S = 10$ à $20 \text{ m}^2/\text{miroir}$

$P = 5$ à 25 kWe

Turbine à vapeur

IR = 500 soleils



Centrale à Tour de Pégase (Targasonne) Gaz Air à 800°C



Les deux cents héliostats de Pégase



Centrale à Tour de Jülich (Allemagne)



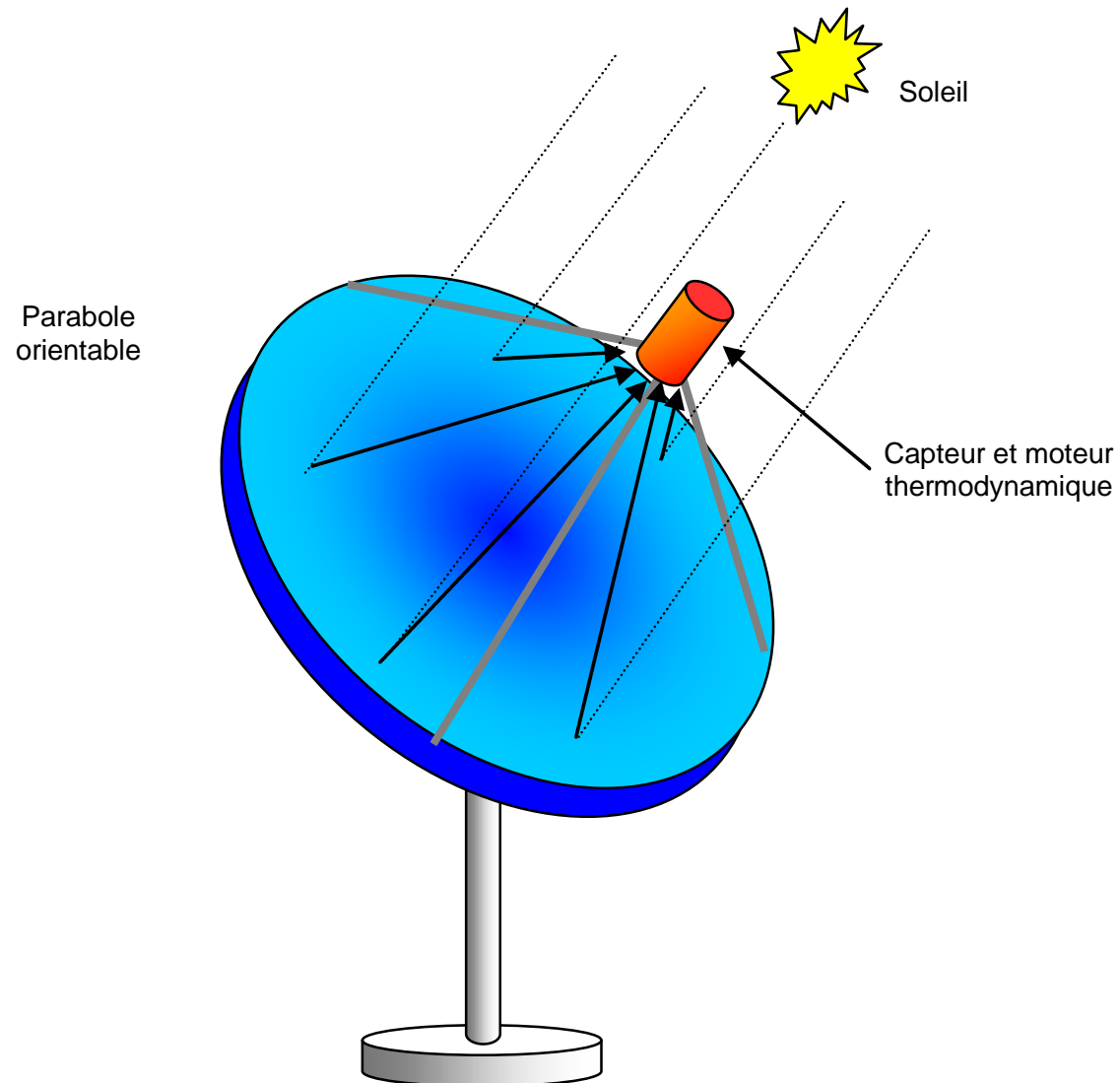
Centrales à concentrateurs paraboliques

$\theta = 700^{\circ}\text{C}$

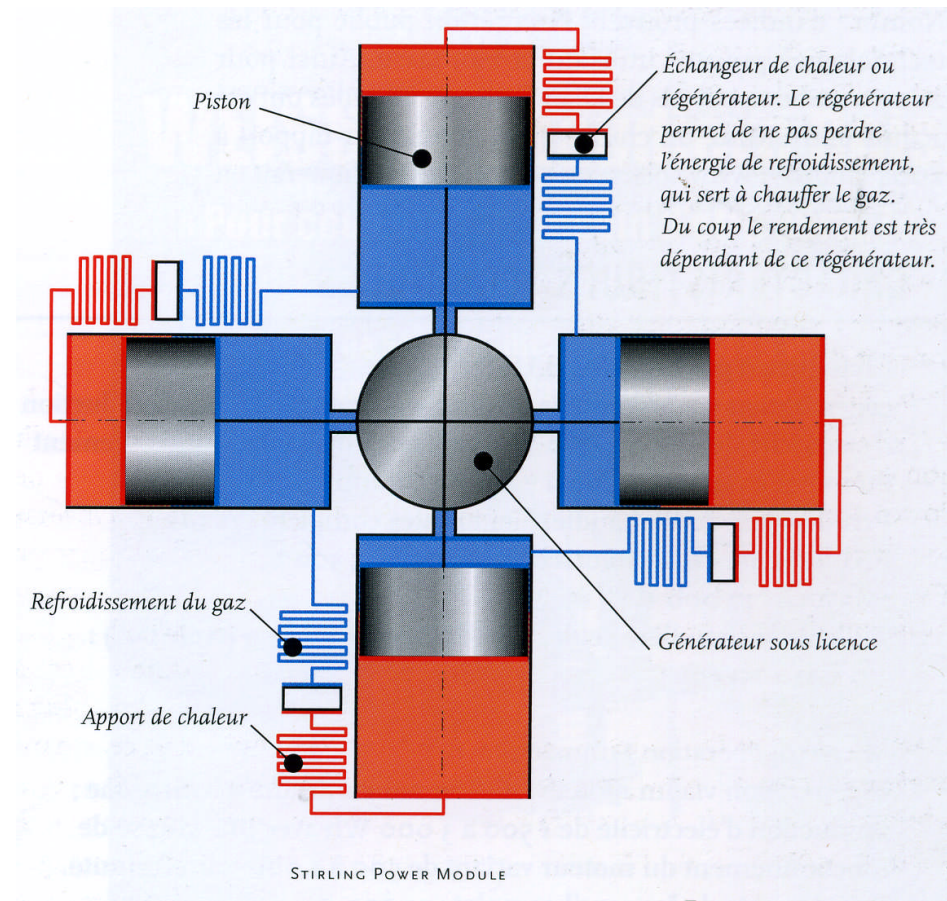
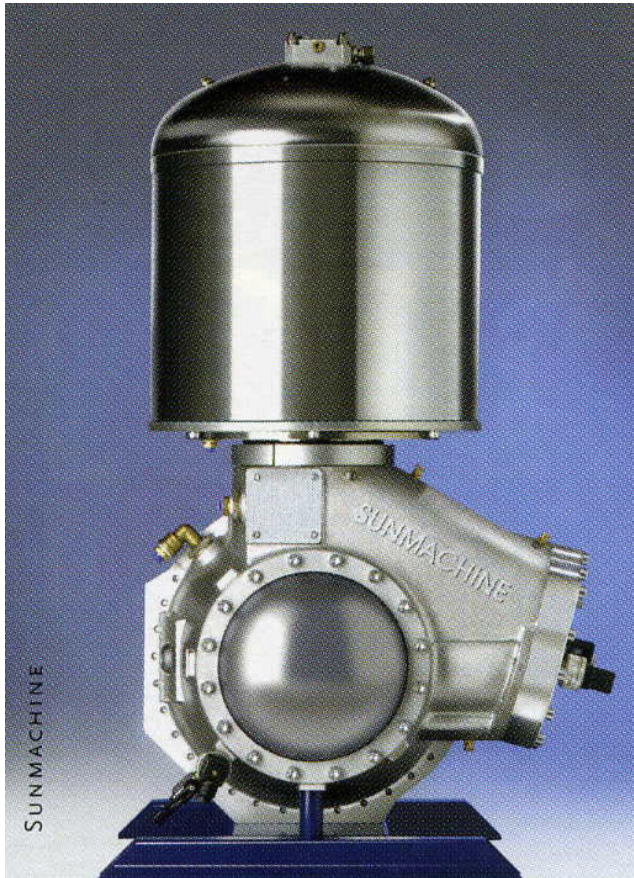
$S = 50 \text{ à } 100 \text{ m}^2$

$P = 5 \text{ à } 25 \text{ kWe}$

Moteur Stirling



Moteur Stirling



Centrale à concentrateurs cylindro-paraboliques

$\theta = 500^{\circ}\text{C}$

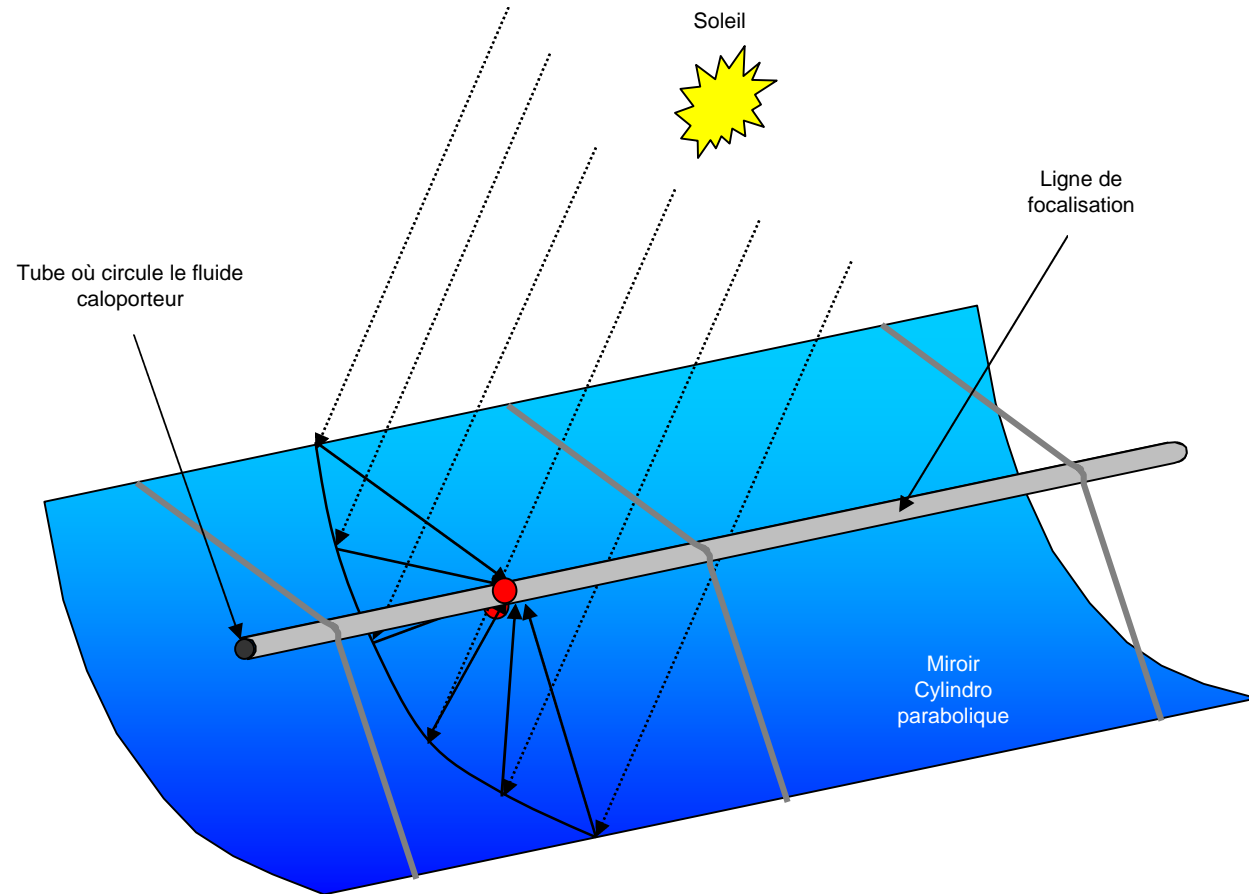
$S = 2000 \text{ à } 10000 \text{ m}^2$

$P = 1 \text{ à } 20 \text{ MWe}$

Moteur thermique

$I_R = 60 \text{ à } 400 \text{ soleils}$

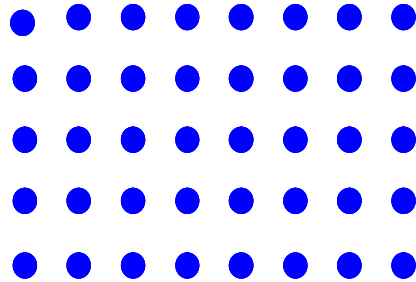
Variante avec réflecteurs
de Fresnel



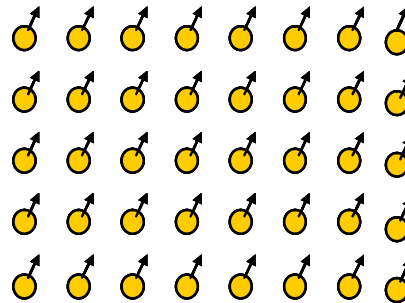
5, Théorème de Carnot

Energies calorifique et mécanique

Énergie « noble »
électrique,
mécanique W

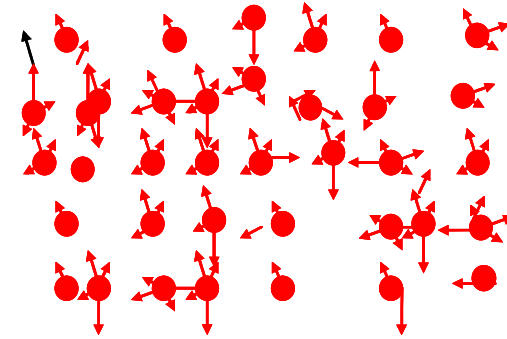


Matière au repos
On dit que l'on est au
Zéro absolu:
 $T = 0 \text{ K}$



Déplacement
macroscopique et
ordonné de la matière

Énergie
« dégradée »
Chaleur Q



Chaleur Oscillations
désordonnées de la
matière

Les unités:

Physiciens:

Le joule

symbole J

Thermiciens:

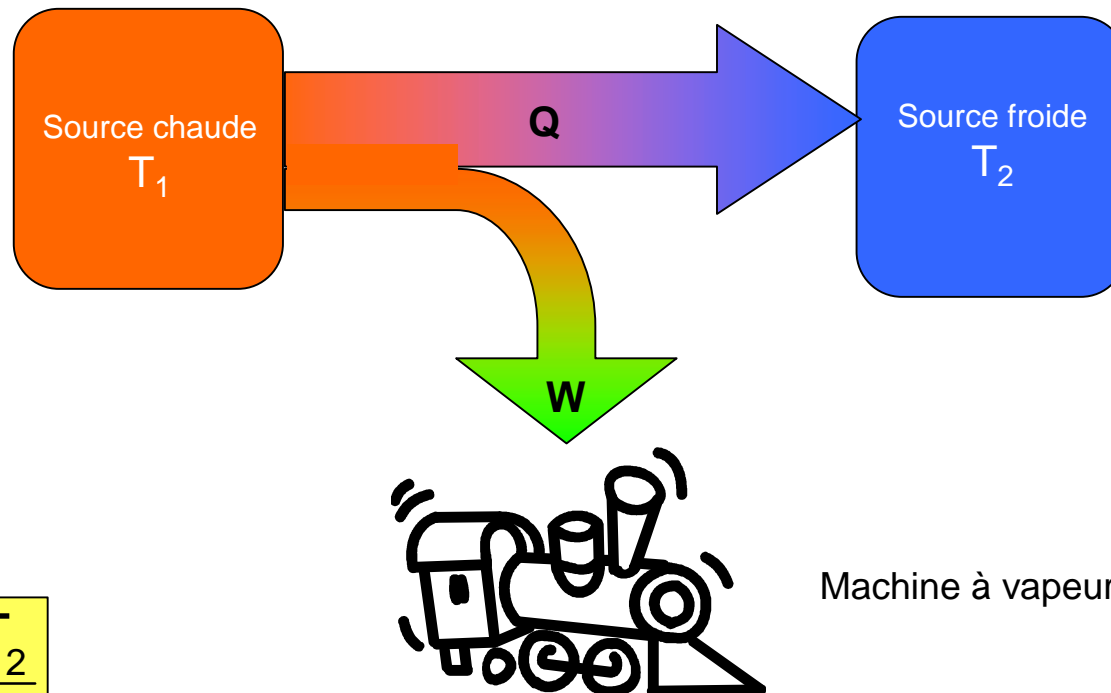
Le kilo watt heure

symbole kWh

Conversion:

1 kWh = 3,6 MJ

Passage d'une forme d'énergie Q à une autre W



$$\frac{W}{Q} = \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

T est la température absolue en K (kelvin)
 $T = 273 + \theta$ (θ en degré Celsius)

Le Second principe de la thermodynamique ou principe de Carnot.

Ce principe permet de calculer le rendement des moteurs thermiques.

Dans ces moteurs la chaleur Q passe naturellement de la source chaude vers la source froide, à l'aide d'un caloporteur, dans le cas de la machine à vapeur (thermodynamique) c'est de la vapeur d'eau!



6, Quelques Exemples



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

59
2 mars 2012



Le stockage de la chaleur

Image : DLR



Stockage à changement de phase (100kW/200°C)

Accumulateur graphite/nitrate de sodium

Centrale Alméria en Espagne



Stockage Béton

Centrale

11. Intermittence du Solaire

Comment récupérer de la chaleur dans une source froide?

3^{ème} Partie

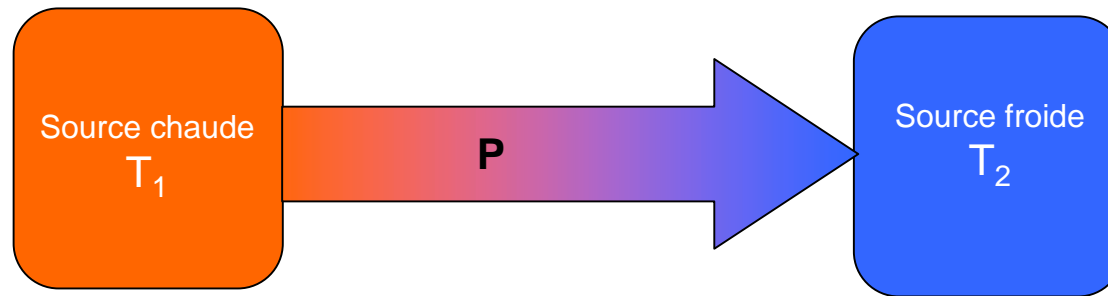
PAC et Géothermie

VAILLANT Jacques 2 Mars 2012

Comment fonctionne une PAC?

La propagation de la chaleur (Q)

La chaleur se propage toujours du corps chaud vers le corps froid
(par rayonnement, conduction et convection)



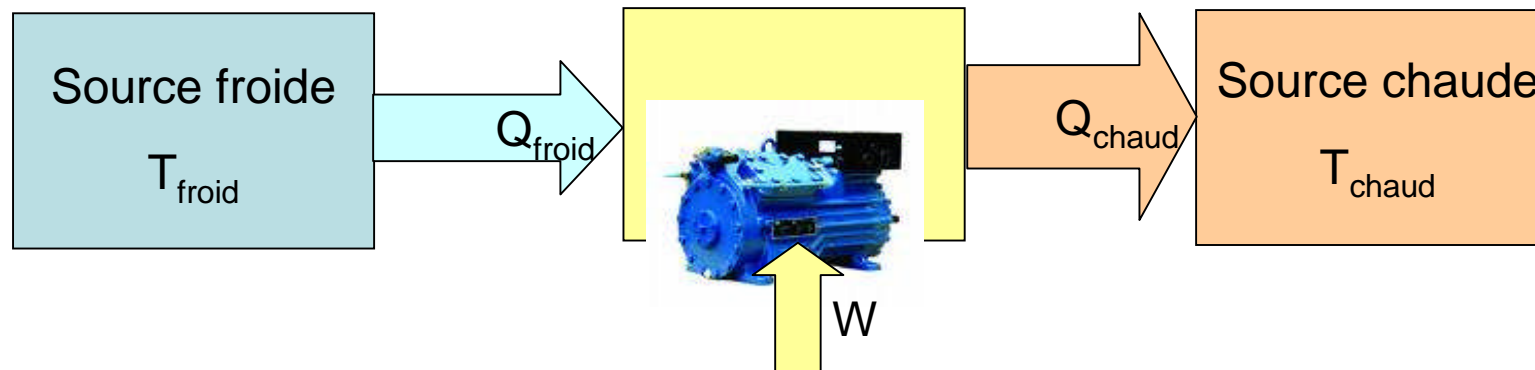
$$P = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{th}}$$

Comment faire pour que la chaleur (Q) passe du corps froid vers le corps chaud ?

COP et le principe de Carnot

L'efficacité d'une PAC se définit par le rapport entre la quantité de chaleur restituée à la source chaude Q_{chaud} au travail W Energie fournie par le compresseur de la PAC

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{W}$$



Le COP théorique maximum est donné par le Théorème de Carnot

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{T_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}}$$

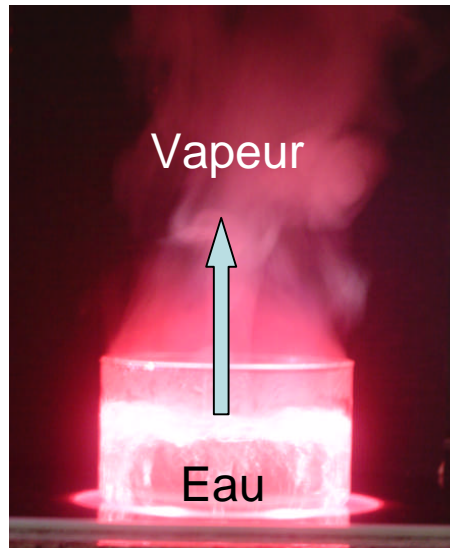
Le changement de phase

L'eau chauffe
 $\theta < 100^\circ\text{C}$; $P = 1 \text{ bar}$



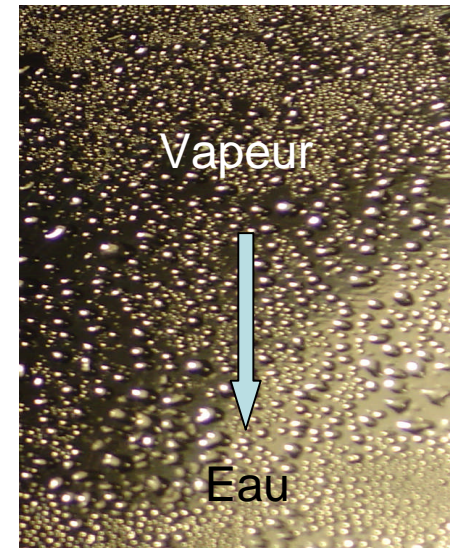
On fournit une chaleur
 $Q = 4,18 \text{ kJ/K}$

Vaporisation
 $\theta = 100^\circ\text{C}$; $P = 1 \text{ bar}$



On fournit une chaleur
 $Q = \Delta H = 2250 \text{ kJ/K}$

Condensation
Sur une paroi froide



On reçoit une chaleur
 $Q = \Delta H = 2250 \text{ kJ/K}$

L'eau va passer de l'état liquide à l'état gazeux sous pression constante, on lui apporte une énergie sous forme chaleur que l'on appelle l'enthalpie ΔH . Pour l'eau l'enthalpie vaut $\Delta H = 2250 \text{ kJ/kg}$ à $\theta = 100^\circ\text{C}$

Le changement d'état d'un corps

Changement de phase

“Fusion/ Cristallisation

Glace/ Eau: $\Delta H = 333 \text{ kJ/kg}$

à 0°C

333 kJ/kg



Energie nécessaire

Eau

$1^\circ\text{C} \rightarrow 80^\circ\text{C}$

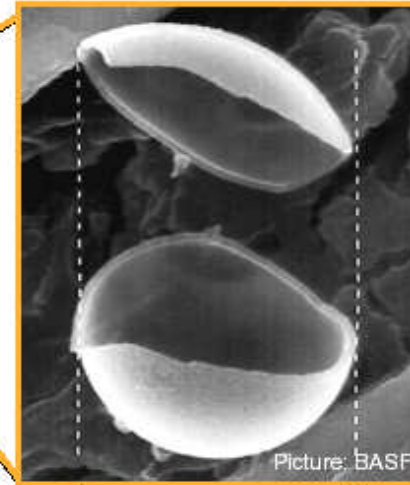
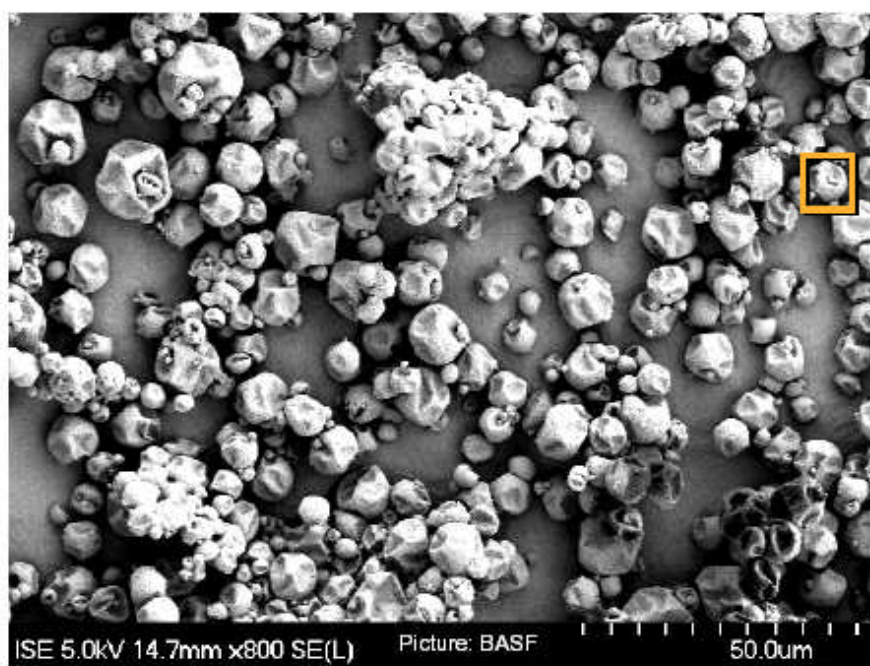
332 kJ/kg



La température reste constante pendant le changement de phase
La quantité d'énergie échangée est très importante et s'appelle:

La variation d' Enthalpie: ΔH
Pour l'eau $\Delta H = 333 \text{ kJ/kg à } ^\circ\text{C}$

Exemple du Micronal PCM de BASF



Capsule en polymère

Cire
 $\Delta H: 110 \text{ J/g}$

5 μm

Micro encapsulation dans des capsules de polymère de cire.

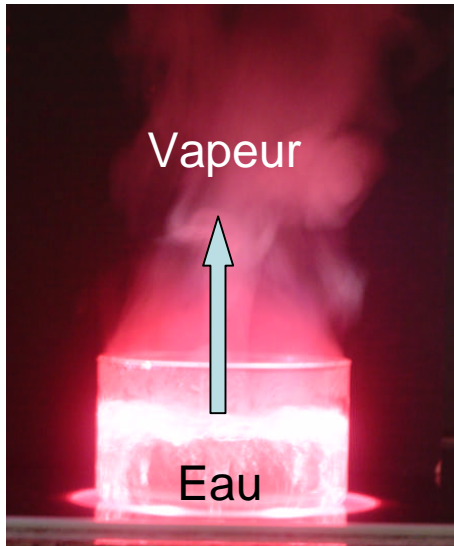
Variation d'enthalpie $\Delta H = 110 \text{ kJ/kg}$ à 26°C

Matériau inerte indestructible et non toxique

Peut-on faire bouillir de l'eau à 50°C?

Vaporisation

$\theta = 50^\circ\text{C}$; $P = 0,08 \text{ atm}$



Chiche, on essaye?



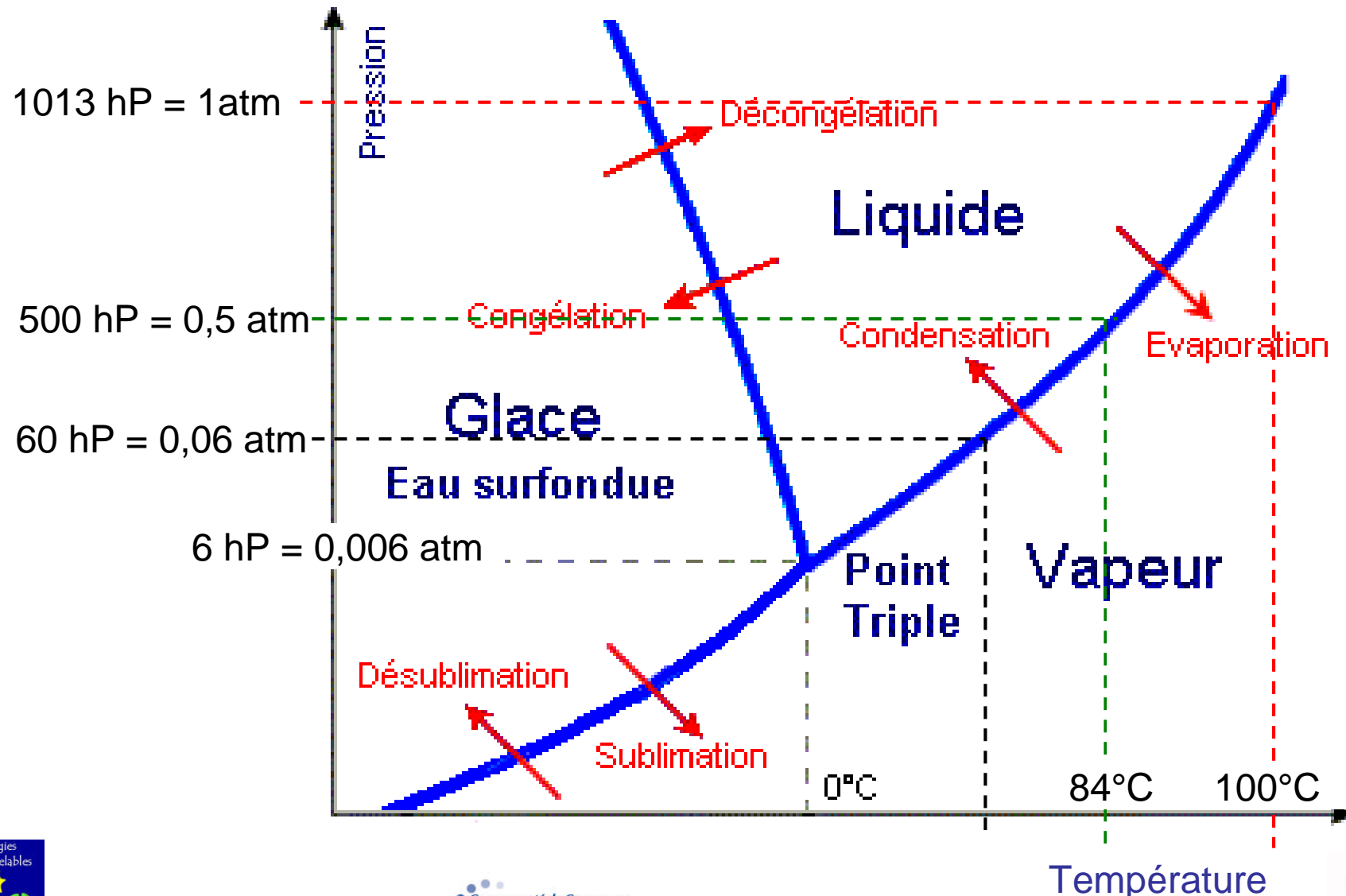
On fournit une chaleur
 $Q = \Delta H = 2000 \text{ kJ/K}$

Et oui! il suffit d'abaisser la pression, on dit détendre le gaz, on va alors absorber de la chaleur $Q = \Delta H$

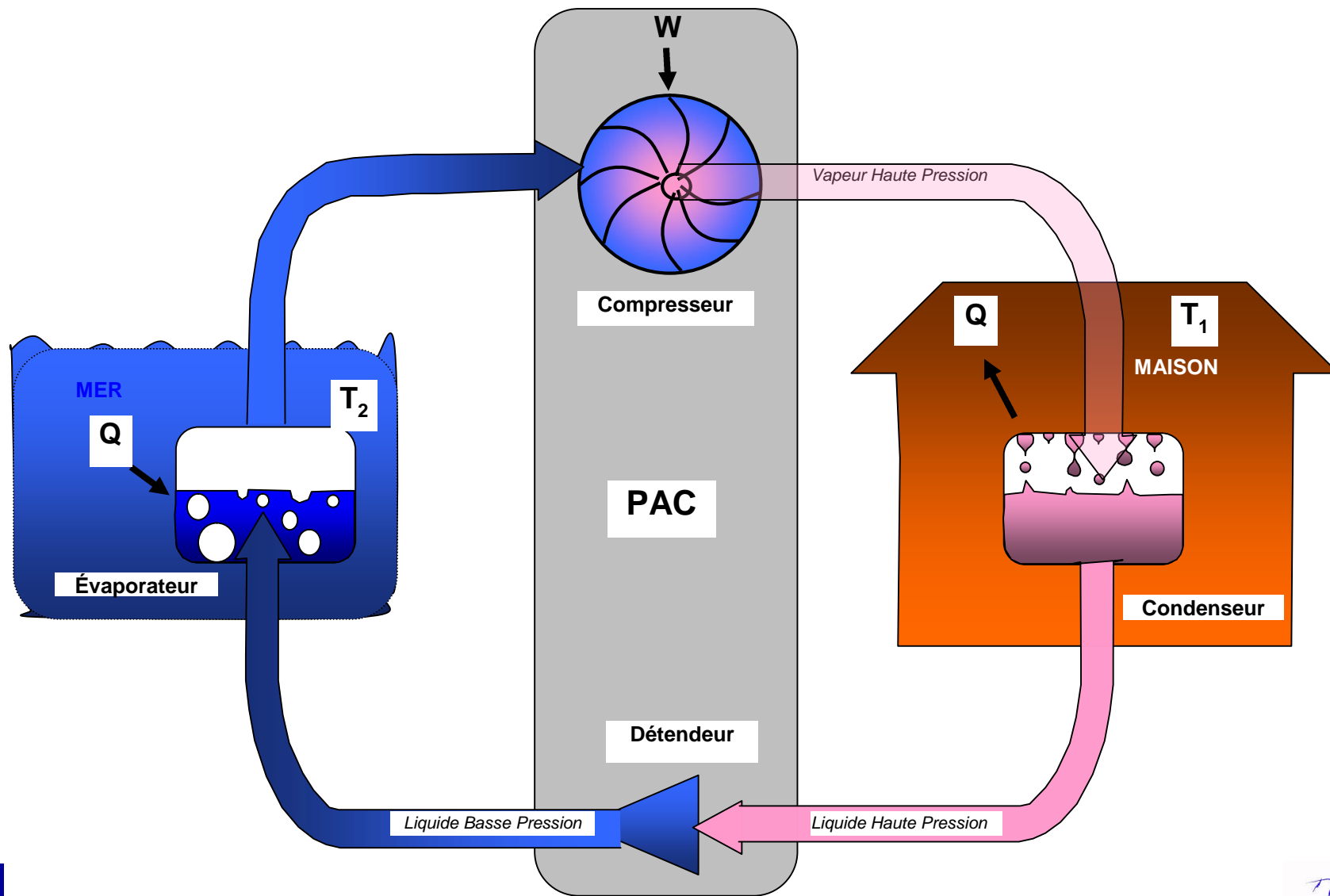
Une formule approchée donne $P(\text{atm}) = (\theta/100)^4$.

Soit pour $\theta = 20^\circ\text{C}$, $P = 0,002 \text{ atm}$, c'est-à-dire diminuer fortement la pression.

Diagramme de Mollier



Exemple PAC Eau / Eau de mer

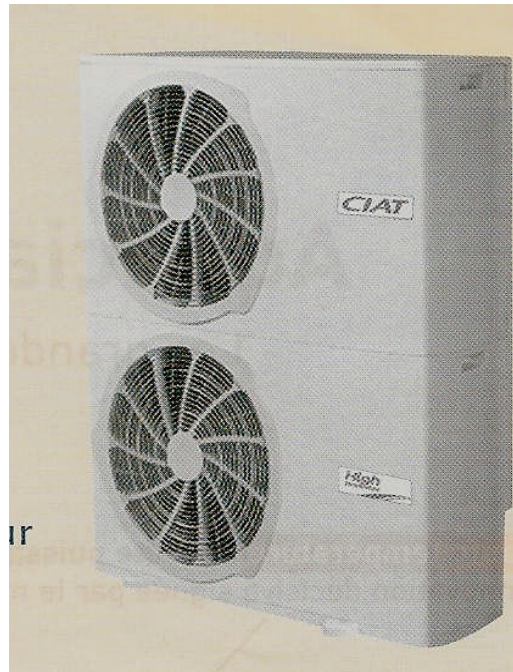


Fort Ganteaume



Impact gaz carbonique sur un exemple le fluide frigorigène R 407C

La charge classique d'une PAC air/eau « Aqualis Caléo » est d'environ 4kg



L'impact GES équivalent du R407C est environ 2000 fois celui du CO₂.
Si ce fluide est perdu dans l'atmosphère; cela équivaut à 8t de CO₂!



Maîtrise d'ouvrage: Direction du Développement Durable de la Ville de Marseille. Jean-Charles Lardic, directeur - Patrice Langlois, chargé de l'opération
Maîtrise d'œuvre: Atelier du Patrimoine de la Ville de Marseille. Daniel Drocourt, directeur- Catherine d'Ortoli, architecte
Chantier d'insertion: Association Acta Vista. Arnaud Castagnède directeur - Olivier Campistron, conducteur de travaux



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

74
2 mars 2012



L'Hôpital Caroline



Simulation réalisée par Christian Boulet

Bilan gaz CO₂ de l'hôpital Caroline

Consommation
Énergétique
chauffage
29000 kWh/an
d'électricité.
(BET Garcia)

Soit un impact
CO₂
de 5,2 t !



L'utilisation
d'un PAC
Marine assure
un COP de
l'ordre de 4,1
d'où une
Consommation
Énergétique de
l'ordre de 7000
kWh.

Soit un impact
CO₂ de 1,3 t !

L'installation de capteur thermique solaire, permettrait un « couverture solaire »
d'environ 55à 60%, mais avec une **esthétique discutable par les ABF**

Un autre exemple: L'INEED à Alixan (Gare Valence TGV)



Chauffage géothermique de l'INEED



Le boom des PACs

1982 Premiers chocs pétroliers: L'EDF lance le programme PERCHE (Pompes En Relève à des Chaudières existantes): **50000 PACS** sont installées.

1997 Le prix du fioul diminue, et en raison des insuffisances de la qualité de la qualité des équipements et de la maintenance: **1000 PACS** seulement sont installées, annuellement.

2005 A la suite d'un encadrement qualitatif des installateurs et du matériel, d'aides financières publiques (Crédit d'impôts) Le caractère renouvelable des PACS est reconnu.

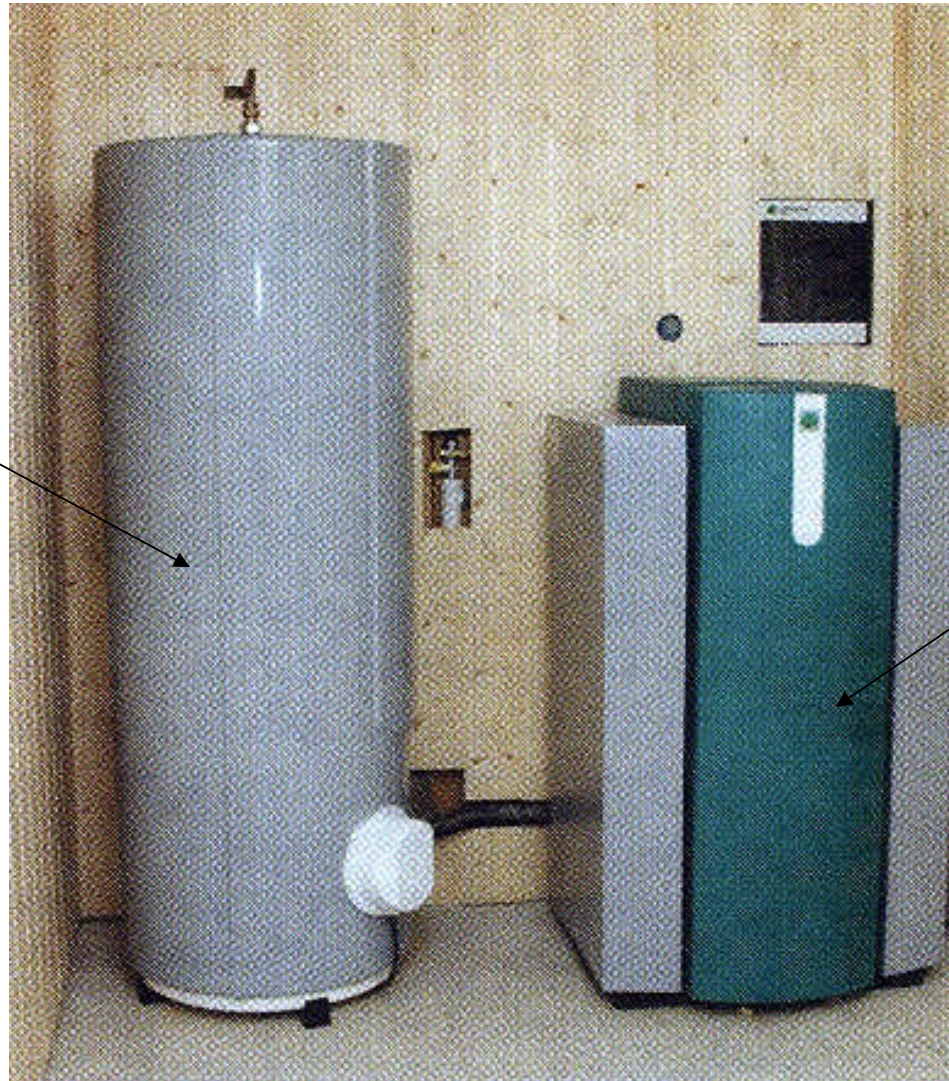
2006 Ceux sont **110000 PACS** qui sont installées

2007 La barre des **200000 PACS** installées est franchie , principalement dans les logements neufs (Planchers chauffants et tuyaux enterrés dans le jardin)

2009 Une nouvelle génération de PACS haute température(75°C) est mise sur le marché pour la rénovation des logements anciens (EDF)

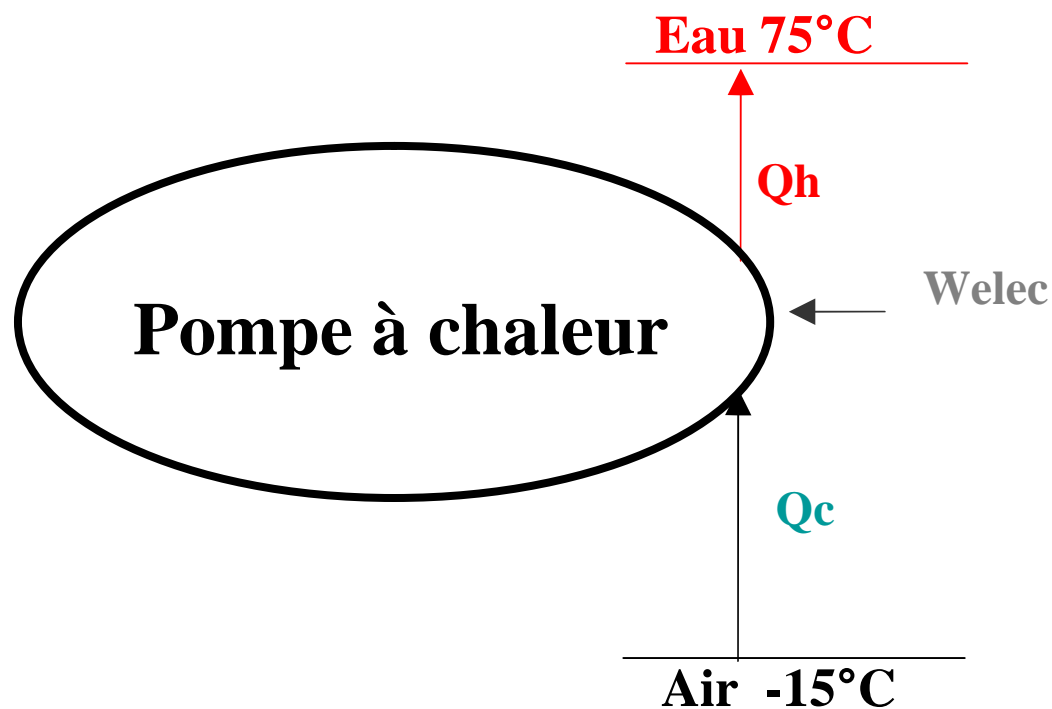
Chauffage géothermique individuel

Réserve
d'eau chaude
(Tampon)



PAC

La PAC Haute température d'EDF



Puissance 12/14 kW; COP saisonnier >3 et COP hiver > 1,5

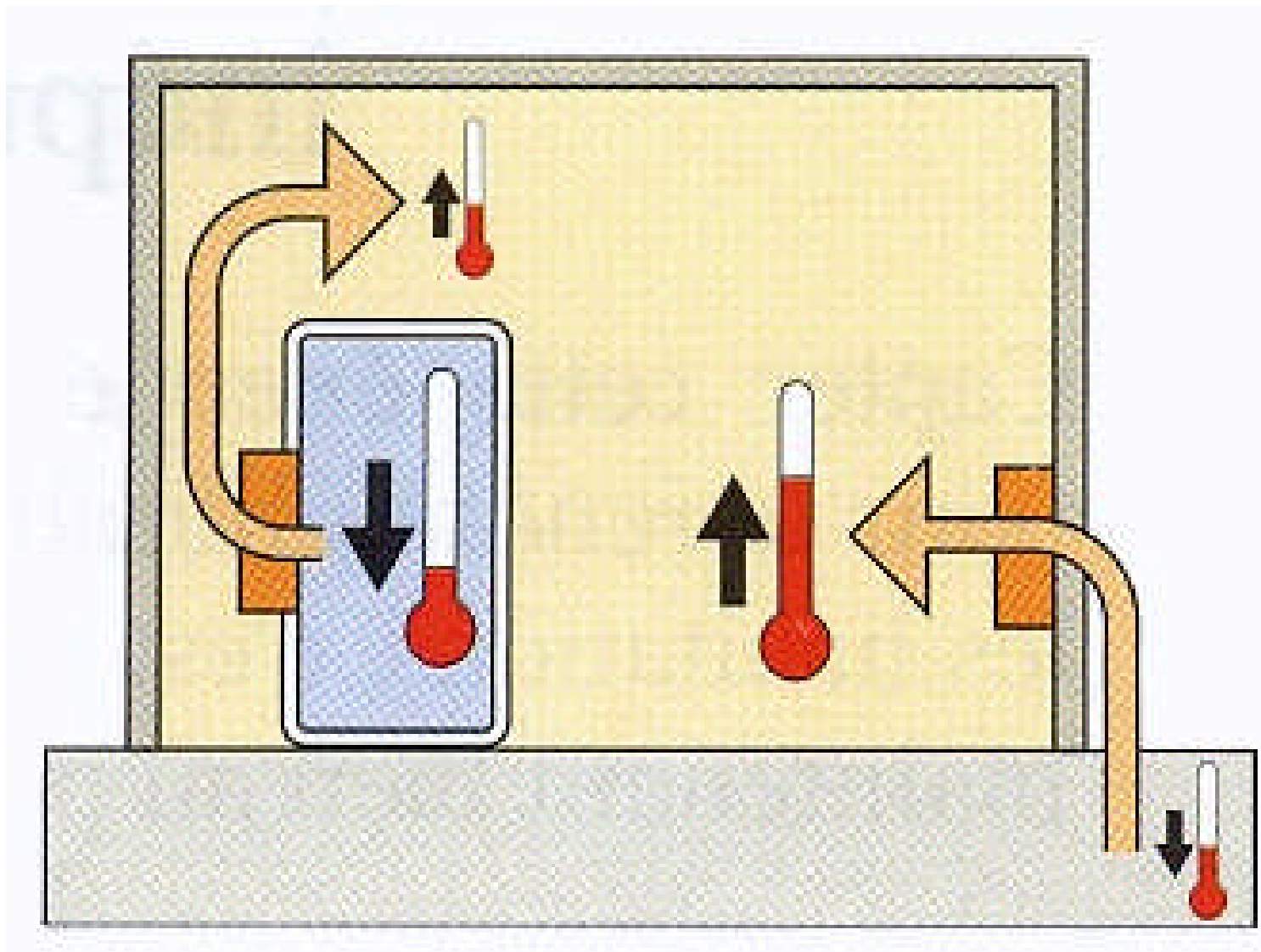
Température de sortie d'eau chaude 75°C

Tension d'alimentation 230V monophasé, compacte, ECS, Plug and Heat et faible bruit

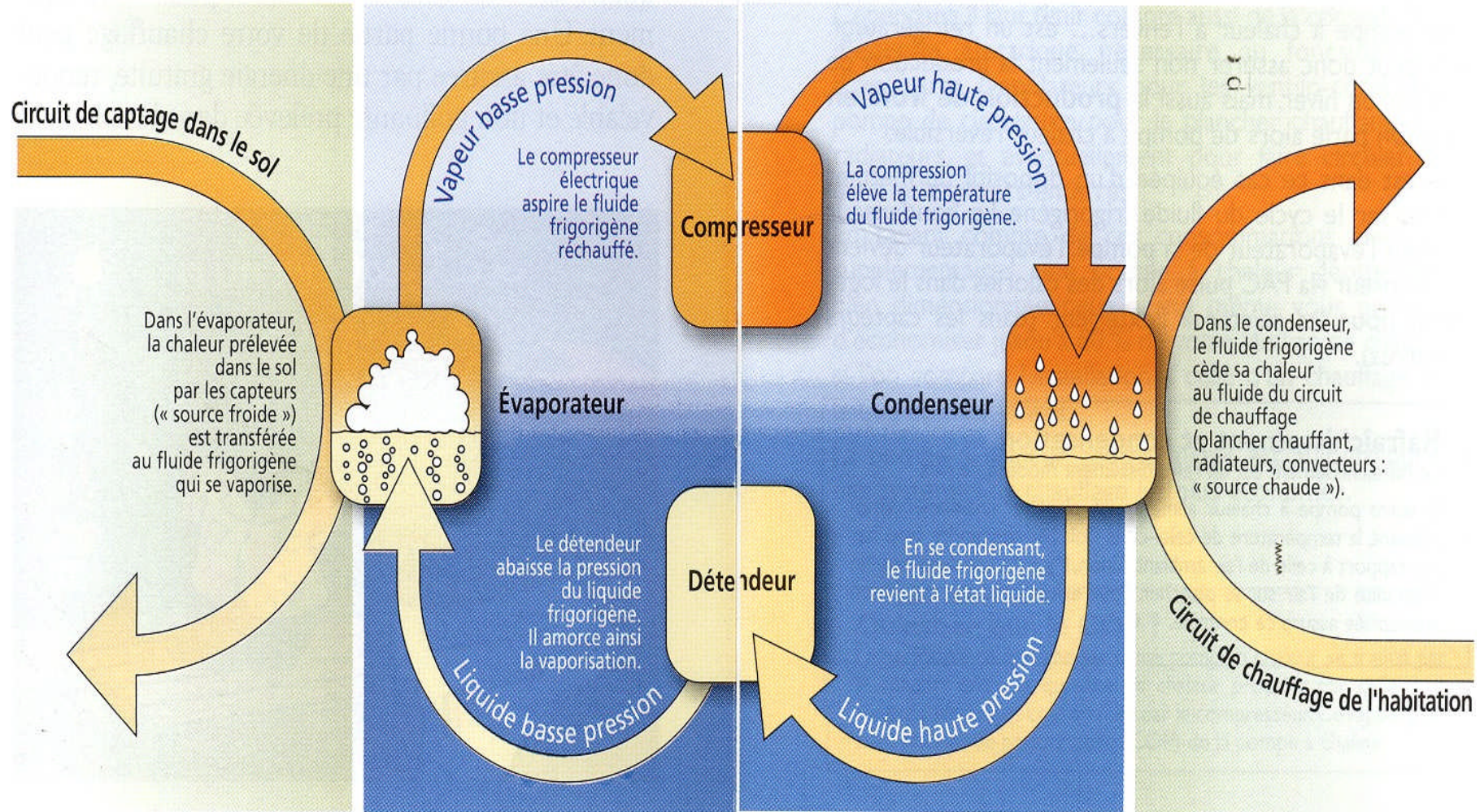
La physique des PACS

- 1° Changement d'état d'un corps
- 2° Le principe de Carnot
- 3° Le réfrigérateur
- 4° Principe d'une PAC
- 5° Diagramme de MOLLIER
- 6° Les fluides frigorigènes
- 7° COP théorique et réel

Le réfrigérateur et PAC



Principe d'une PAC



Les liquides frigorigènes

Comme pour les réfrigérateurs et les anciens climatiseurs les fluides du type: Chloro Fluorure de carbone sont maintenant interdits (CFC): destruction de la couche d'ozone.

Ils ont été remplacés par les Hydro Chloro Fluorure de Carbone (HCFC) moins nocifs pour la couche d'ozone

Ces derniers non interdits sont actuellement remplacés par les Hydro Fluorure de Carbone considérés comme inoffensifs vis-à-vis de l'ozone. (HFC)

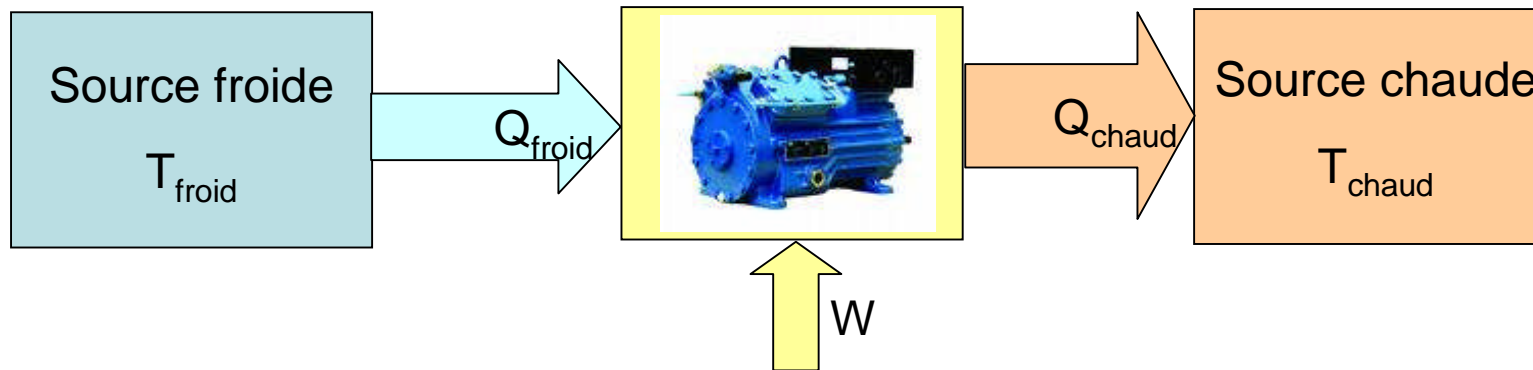
Il en existe plusieurs nuances comme par exemple le R407C, le R 410A....

Le gaz propane est d'une utilisation possible mais inflammable...

COP et le principe de Carnot

L'efficacité d'une PAC se définit par le rapport entre la quantité de chaleur restituée à la source chaude Q_{chaud} au travail W Energie fournie par le compresseur de la PAC

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{chaud}}}{W}$$

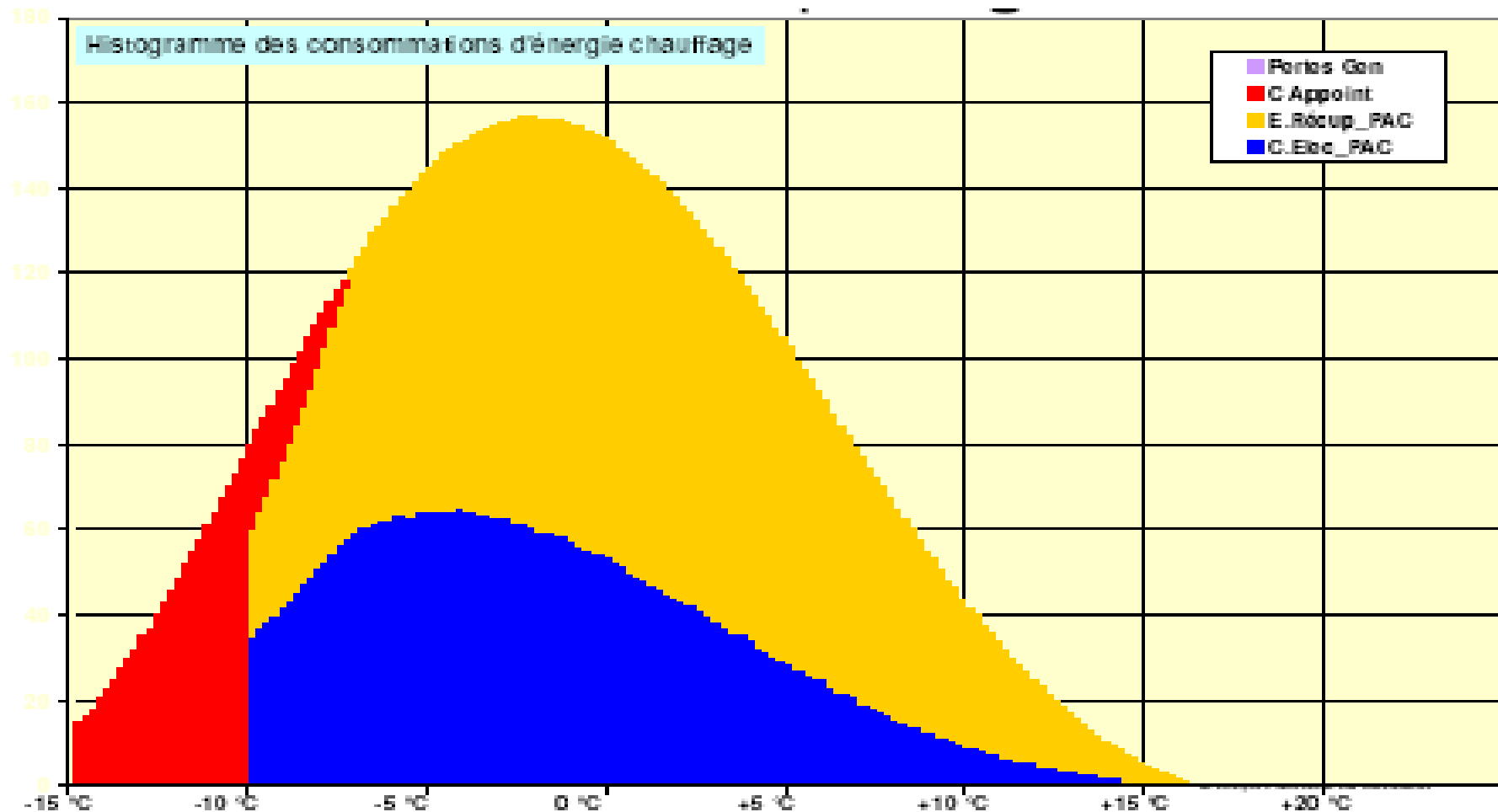


Le COP théorique maximum est donné par le Théorème de Carnot

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{T_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}}$$

Remarque: Le COP réel, est toujours inférieur au COP théorique, car les températures T_c et T_f de condensation et de 'évaporation diffère des température des zones froide et chaude, le rendement des moteur/compresseur ne sont jamais de 100%!

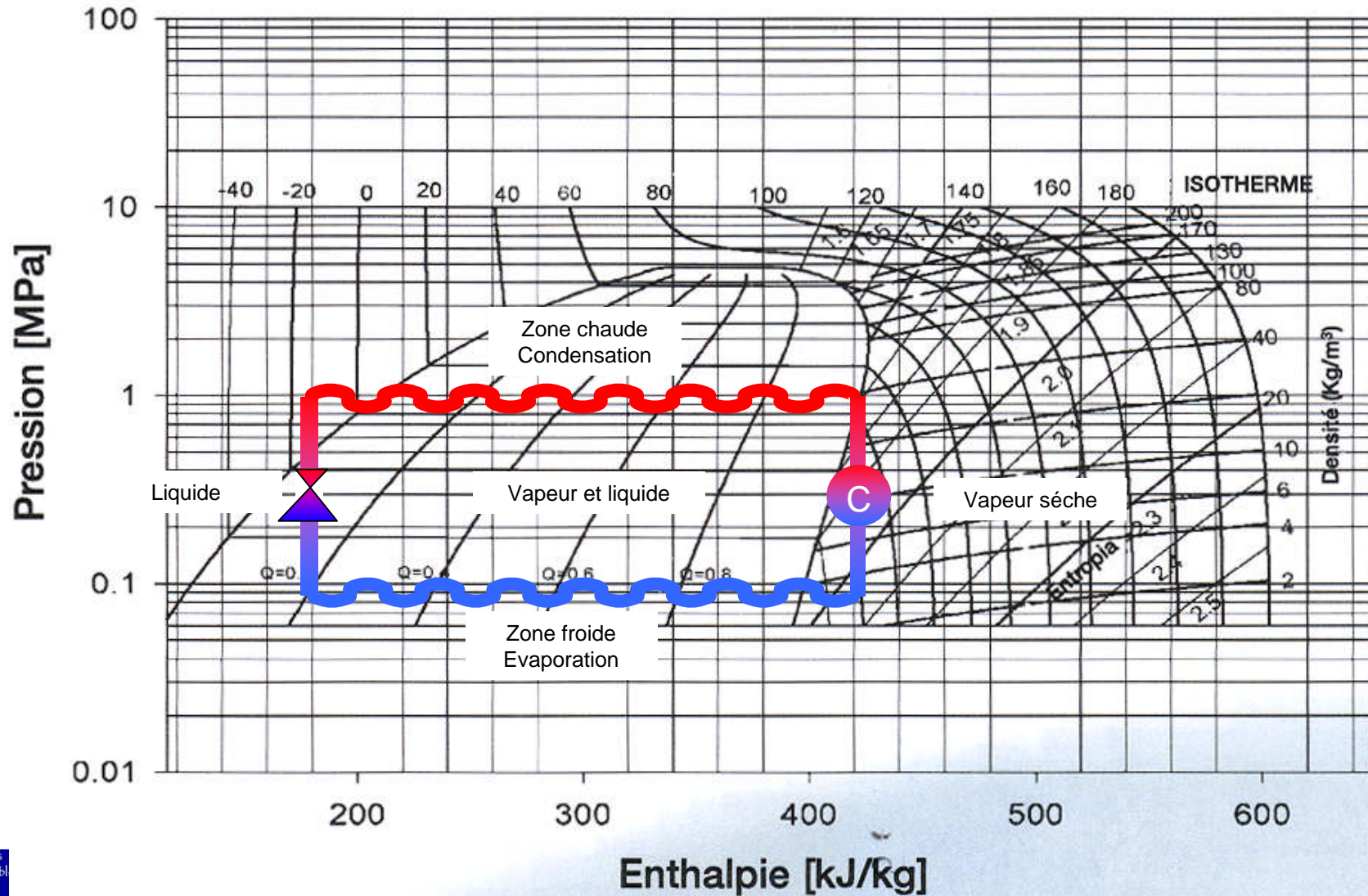
Conséquences de la différence $T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}$



Bilan annuel d'une PAC AIR/EAU en zone de climat rigoureuse

Diagrammes de Mollier du R410A

410A-51



Quelques modèles de PAC



PAC Air/Eau ext.



PAC Air/Eau int. Collectif

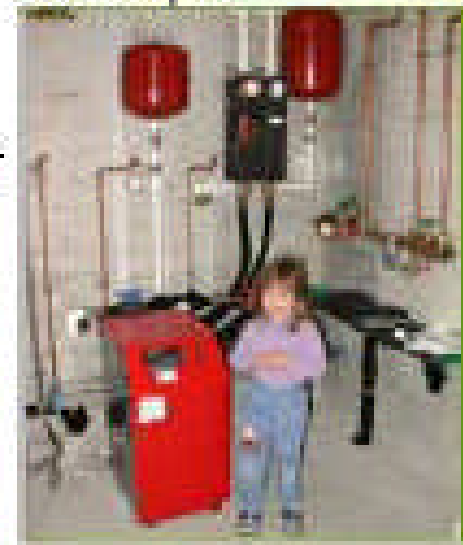


PAC Eau/Eau sur sondes géothermiques

PAC Eau/Eau sur nappe phréatique

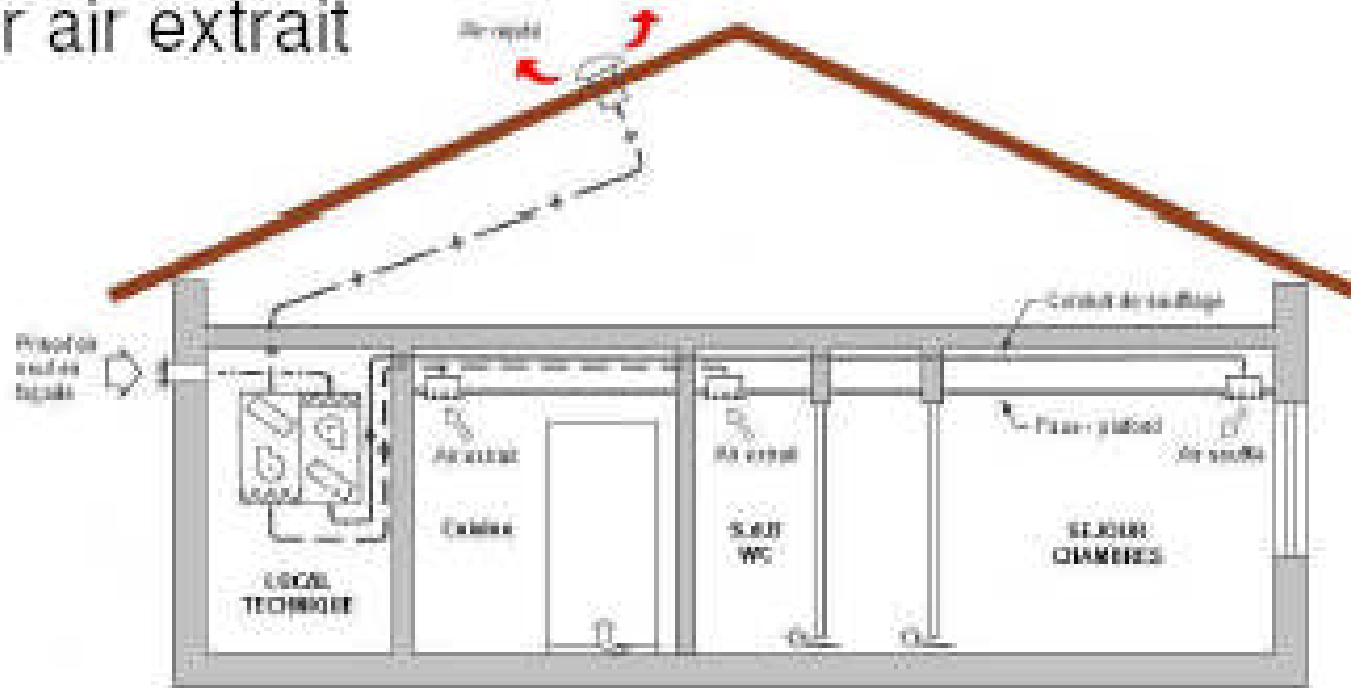


Individuel

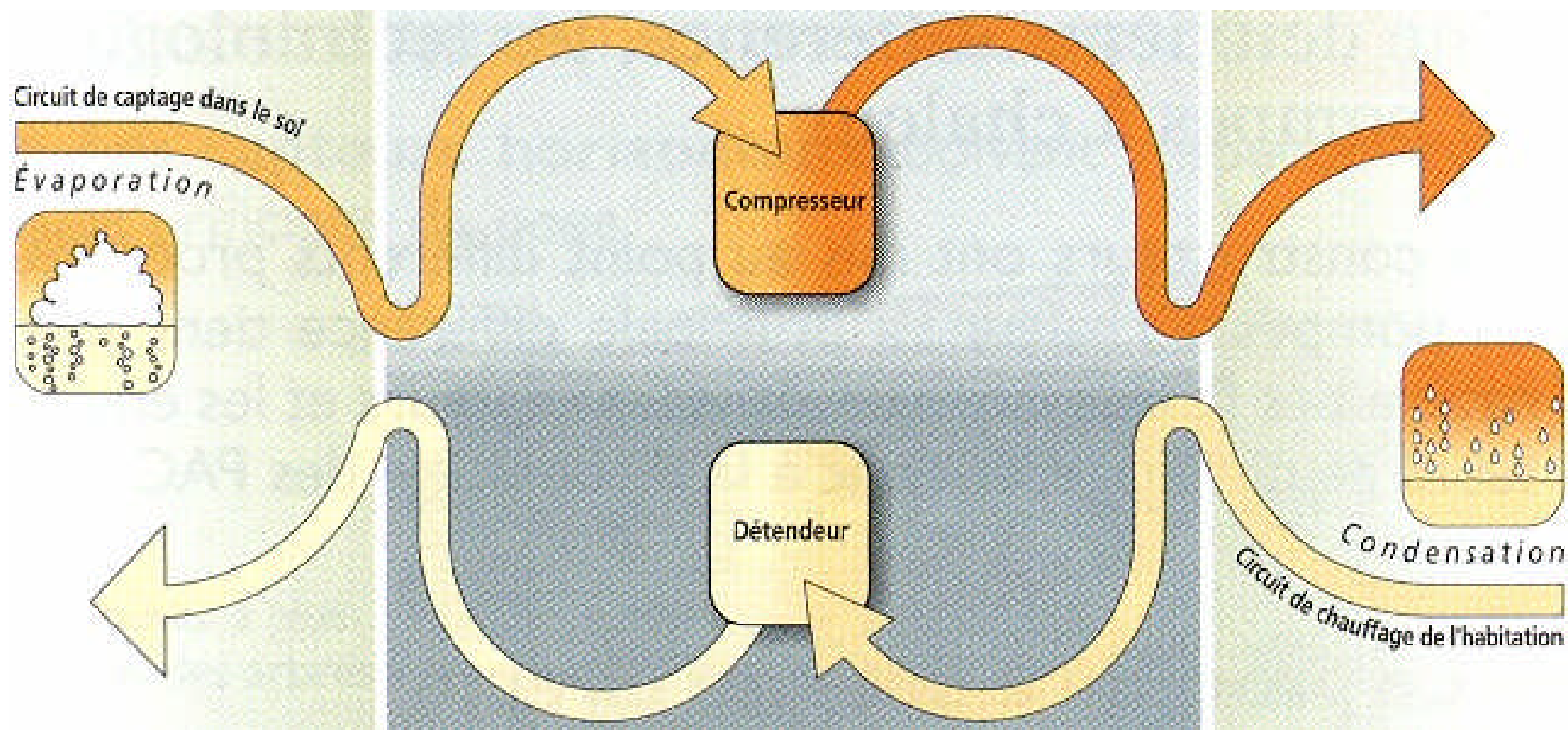


PAC sur AIR EXTRAIT

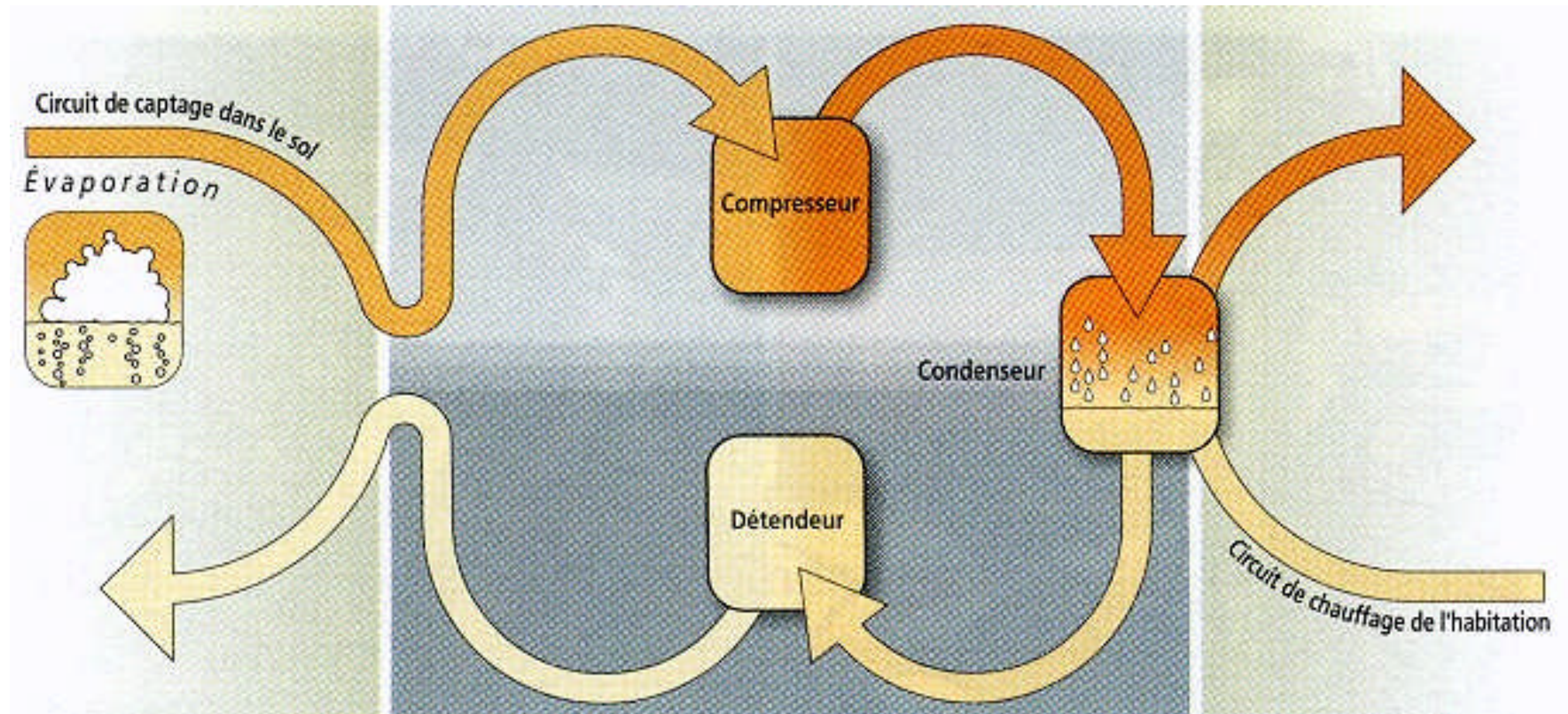
- PAC sur air extrait



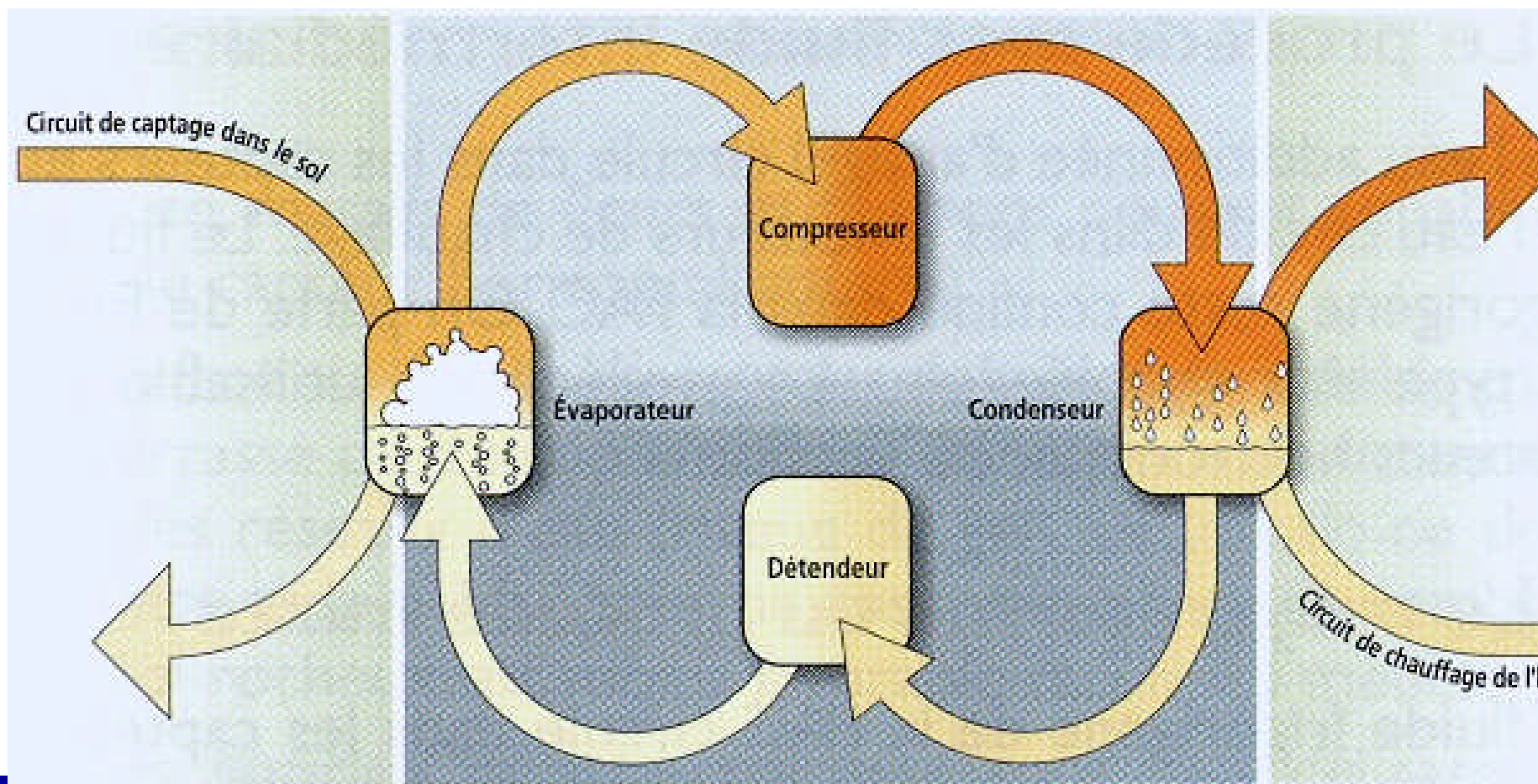
La détente directe: le circuit le plus simple



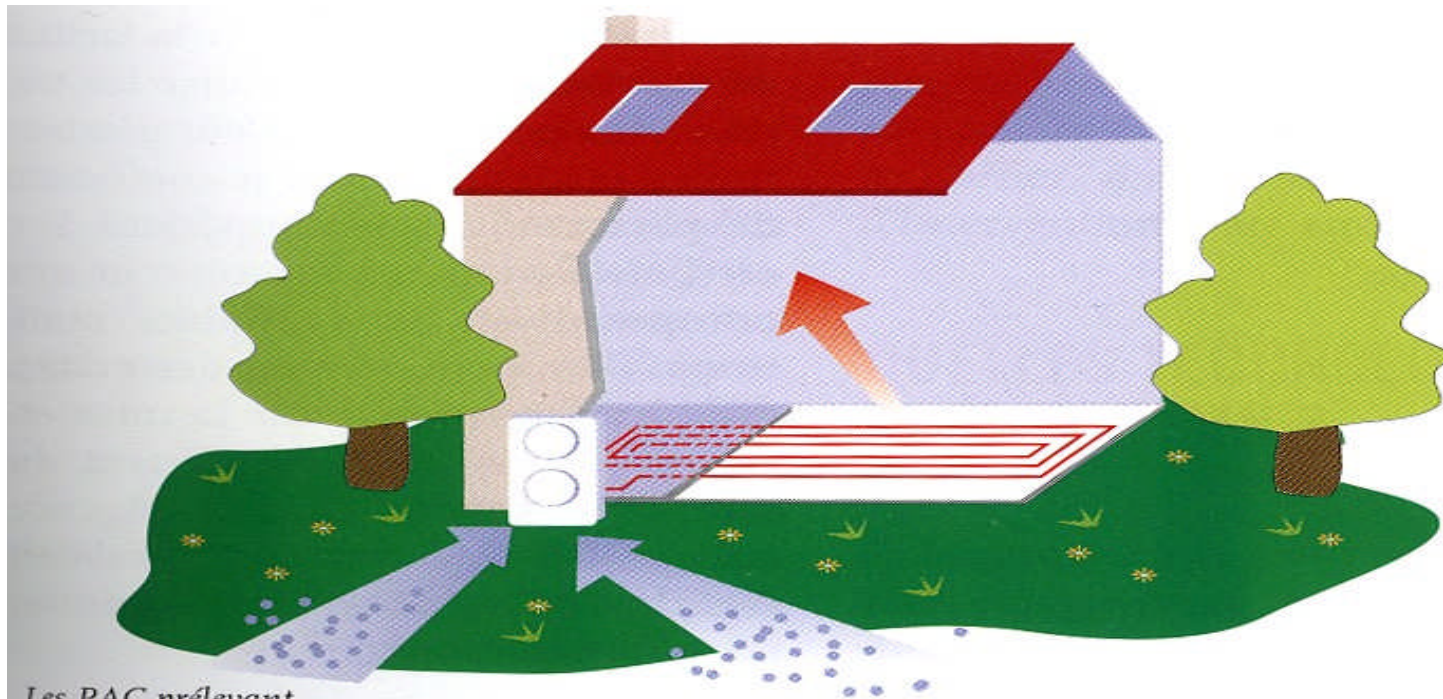
Technologie mixte



Circuit à fluide intermédiaire



PAC AIR/EAU

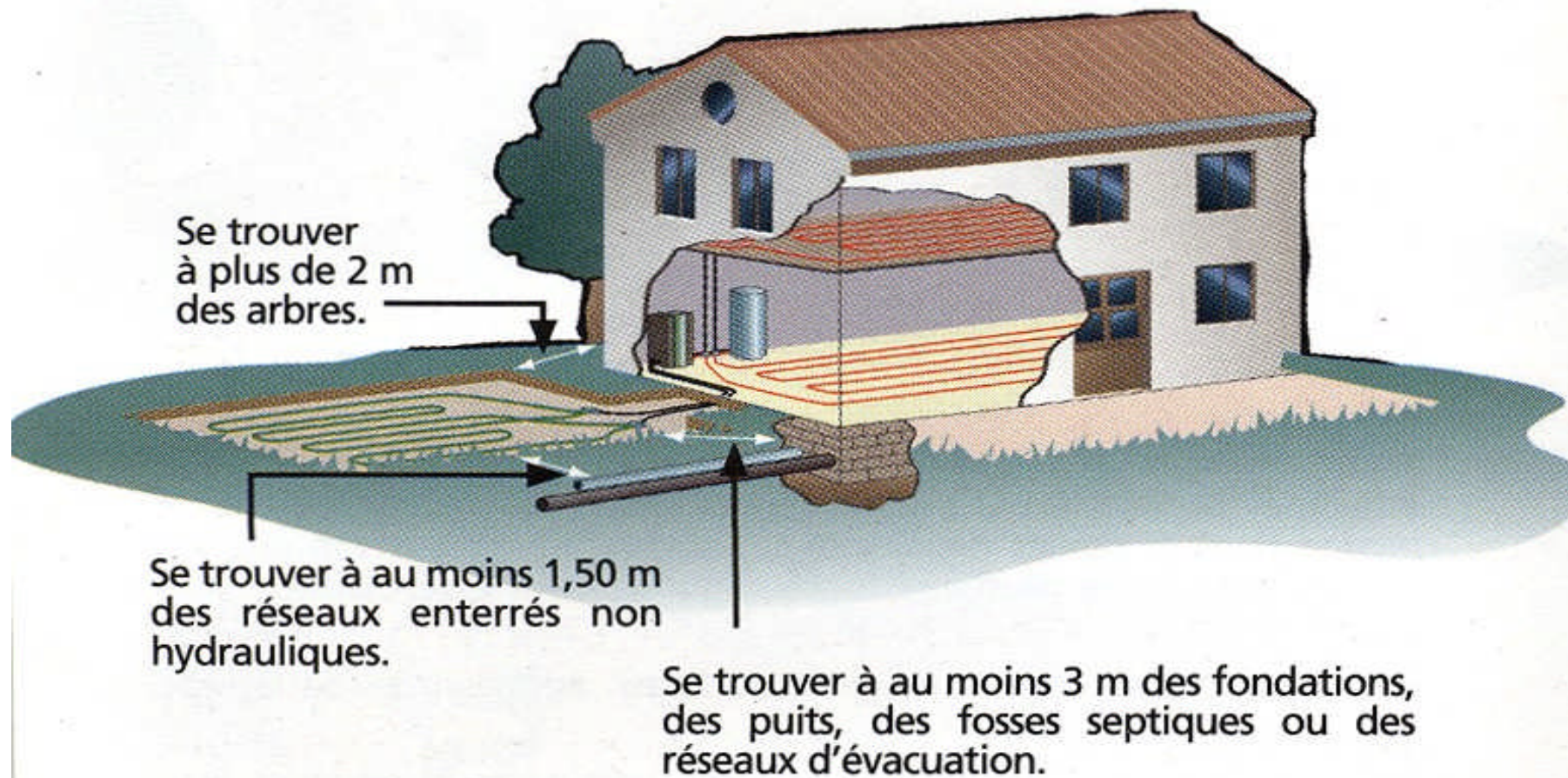


*Les PAC prélevant
la chaleur de l'air
extérieur sont
les plus simples
à mettre en œuvre,
mais aussi
les moins
performantes.*

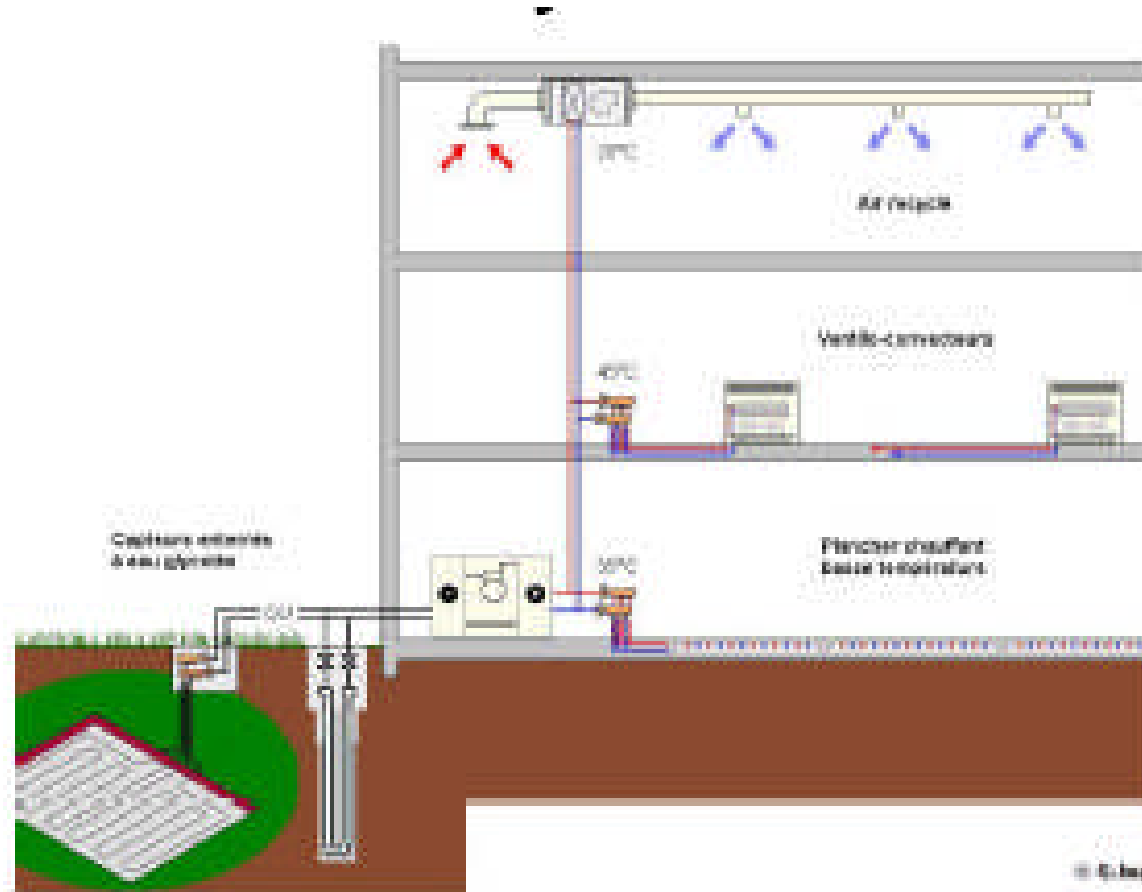
CAPTAGE DES CALORIES DANS L'AIR

Règles d'implantation des capteurs horizontaux

- Les capteurs horizontaux doivent respecter certains principes de pose.



Différents systèmes de PAC



PAC Eau / Eau : Sur capteurs enterrés horizontaux ou verticaux

Différents capteurs PACS



Plusieurs centaines de mètres de tuyaux sont enterrés sous la surface du sol, entre 60 et 120 cm.

CAPTEURS HORIZONTAUX

Une à deux sondes vont rechercher la chaleur à 50 m de profondeur.

CAPTEURS VERTICAUX

Merci pour votre écoute,
Une petite pause? Des
questions?



Contact

Laboratoire CORICANCHA
Côte des Monédières
F 26760 MONTELEGER
France
Tel (33) 4 75 59 58 61
vaillant.jacques@gmail.com



Jacques VAILLANT
Physicien –Thermicien
Consultant Energies
Renouvelables
Diagnosticteur DPE & PPE
Certifié AFAQ AFNOR
Thermographie IR



Solaire et Géothermie
Vaillant Jacques



La Vanaude **Boulieu les Annonay**
07690 **VANOSC**

99
2 mars 2012



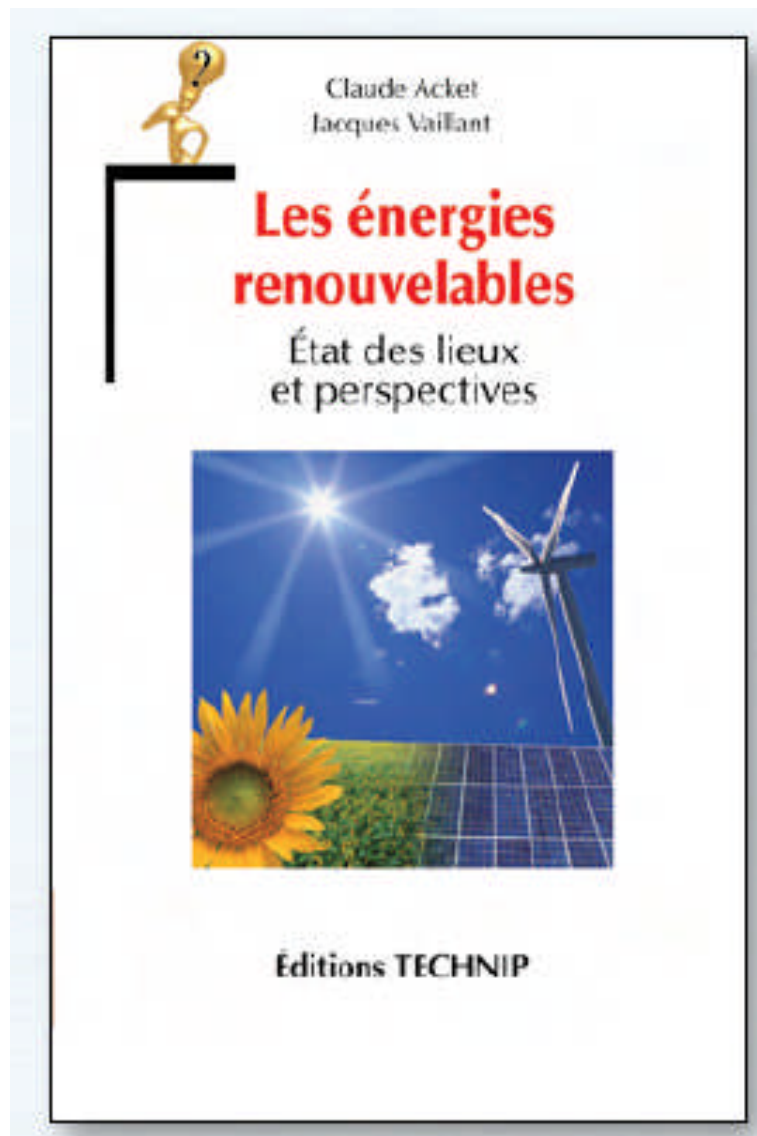
D'où provient l'ozone d'origine humaine?



Les voitures émettent des oxydes d'azote NOx



Ouvrage de prospective sur les EnR



LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

État des lieux et perspectives

CLAUDE ACKET, JACQUES VAILLANT

Le monde doit faire face à des besoins en énergie sans cesse croissants. Pour y répondre, pouvons-nous continuer de nous reposer à plus de 80 % sur les combustibles fossiles, alors que des menaces de pénurie se profilent pour le pétrole, le plus utilisé d'entre eux ? Devrons-nous compter davantage sur le gaz et surtout sur le charbon, malgré leur impact négatif sur notre écosystème ?

Sortir du « tout fossile » implique un effort important pour promouvoir à la fois les économies d'énergie et des sources énergétiques non émettrices de gaz carbonique telles que, entre autres, les énergies renouvelables.

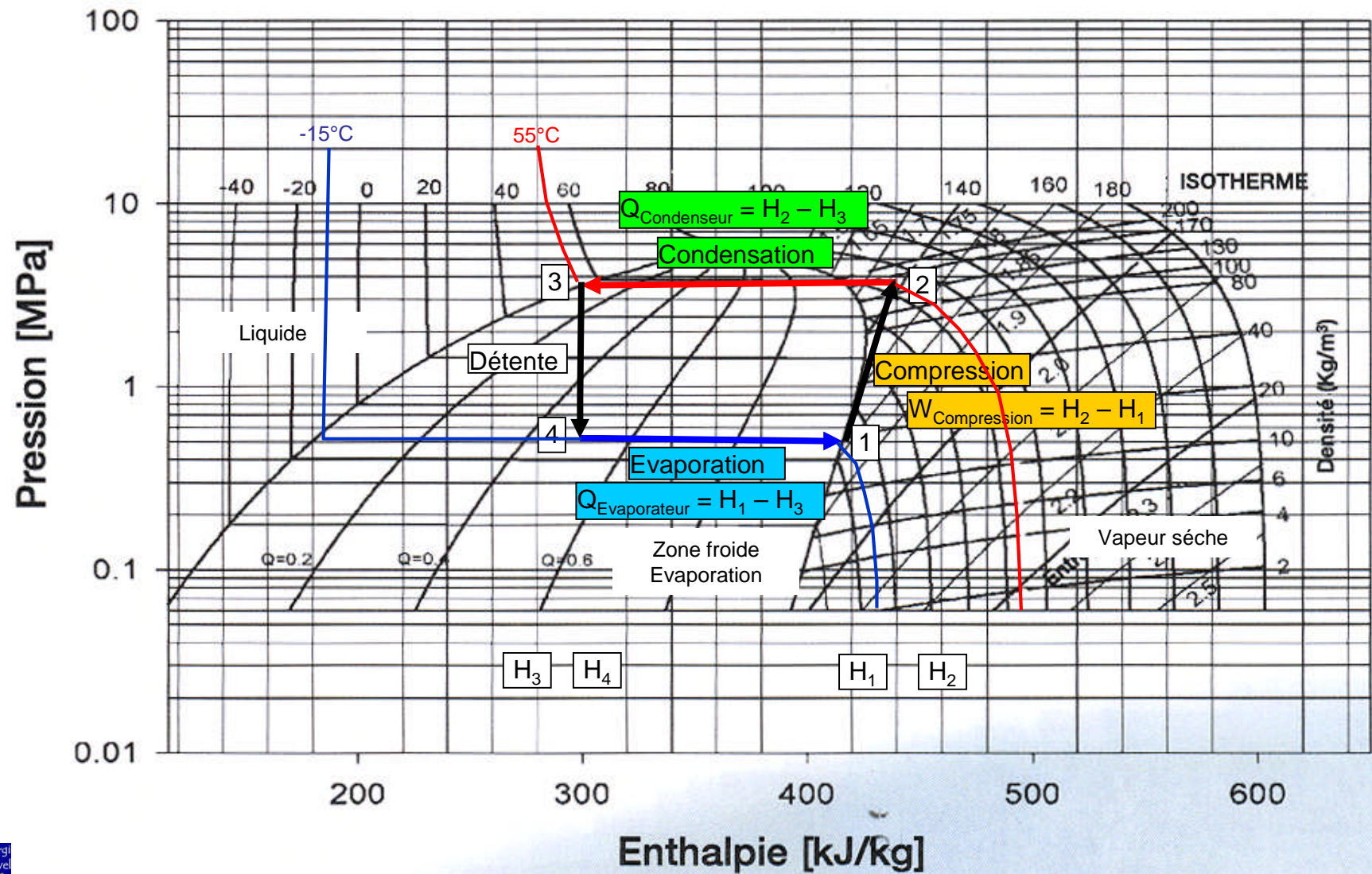
Diagramme de Mollier

Oh! j'avais oublié
Le diagramme de Mollier!
Ouh là là

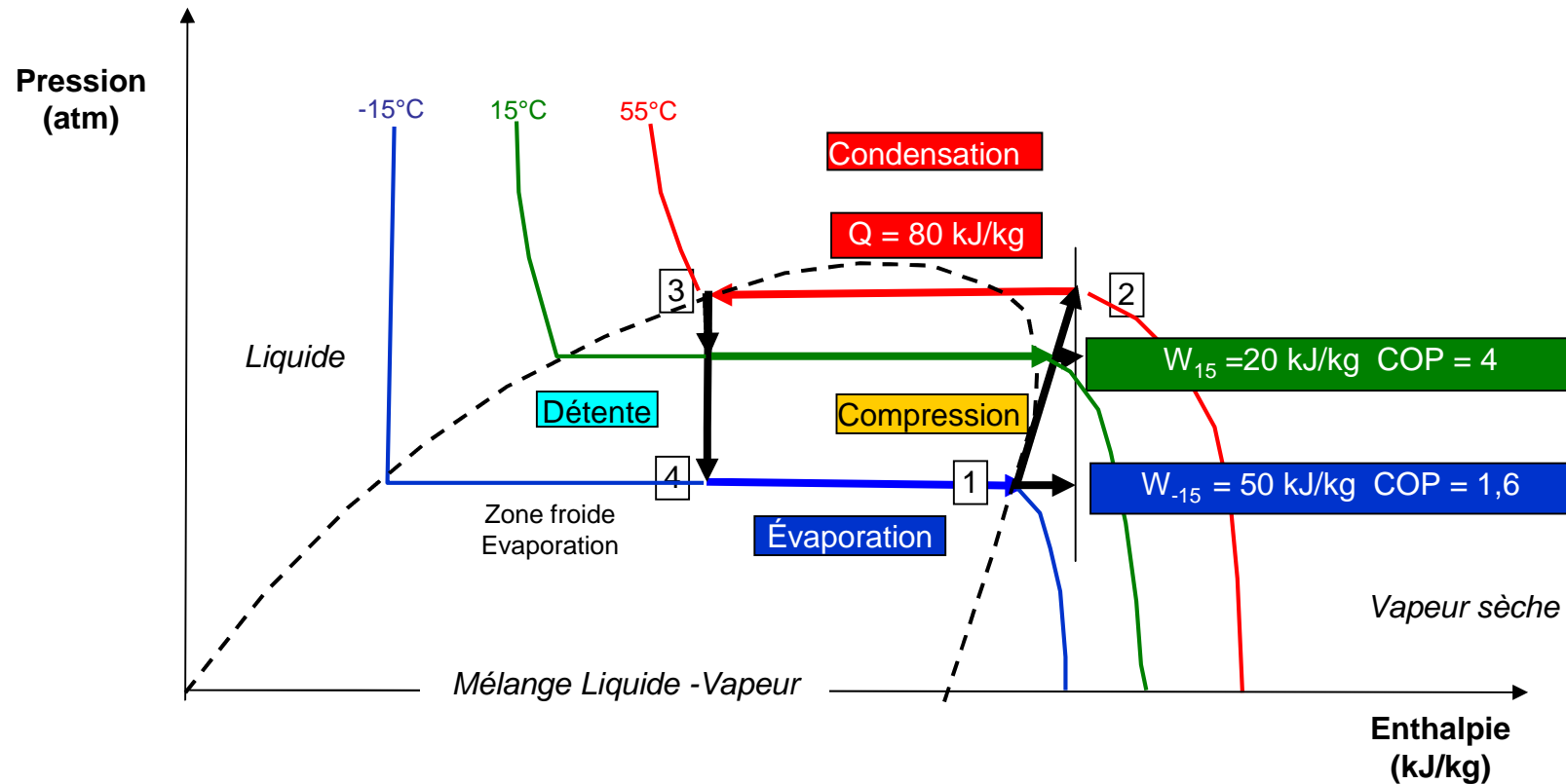


Diagramme de Mollier du Fluide Frigorigène

410A-51



COP (théorique) en fonction de la t° de la source froide



Conclusions: Quand T_2 diminue le COP diminue
 Le COP normalisé est défini pour une $t_{\text{ext}} = 7^\circ\text{C}$ et $t_{\text{int}} = 35^\circ\text{C}$