

Roger Cadiergues

MémoCad nB11.a

LES PLANS ÉNERGÉTIQUES

SOMMAIRE

- nB11.1.** La notion de plan énergétique
- nB11.2.** Le recours à la combustion
- nB11.3.** Les combustibles de base
- nB11.4.** Combustibles minéraux solides : compléments
- nB11.5.** Les pompes à chaleur
- nB11.6.** Compléments sur les pompes à chaleur
- nB11.7.** Les énergies renouvelables
- nB11.8.** L'éolien et l'hydraulique
- nB11.9.** Le solaire
- nB11.10.** La géothermie
- nB11.11.** La biomasse énergie
- nB11.12.** La production locale d'électricité



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

nB11.1. LA NOTION DE PLAN ÉNERGÉTIQUE

LE RÔLE DU PLAN ÉNERGÉTIQUE

Pour lancer une opération de développement durable il est toujours souhaitable d'établir ce que nous allons appeler un **plan énergétique**. L'objet est d'établir la liste des énergies à prendre en compte :

- parce qu'elles sont **déjà utilisées** (dans l'existant),
- ou parce qu'il est souhaitable d'**en envisager l'emploi**.

Pour mettre en place ce plan énergétique (qui peut, plus ou moins, coïncider avec l'étude obligatoire de faisabilité) nous recommandons les démarches suivantes.

- . **1.** Essayer d'intégrer le plus possible des **énergies renouvelables** (*voir fiche nB05.7*), cette exigence pouvant se heurter à des difficultés économiques.
- . **2.** Pour les **énergies non renouvelables**, choisir les moins néfastes pour l'environnement.
- . **3.** Intégrer, quand *c'est possible et valable*, des

productions locales combinées.

- . **4.** Intégrer, quand *c'est possible et valable*, des procédures et dispositifs de **comptage**.

RETOUR SUR LES SOURCES DE CO2 ET DE CH4

L'accroissement de l'effet de serre est dû, pour l'essentiel, à deux gaz dont la concentration atmosphérique s'accroît :

- . le CO2 (le dioxyde carbone),
- . et le CH4 (le méthane),

sans qu'il soit très facile de définir le poids de chacun.

Sans prendre parti sur l'importance de ces deux gaz (dont la rémanence dans l'atmosphère est très différente), en tenant compte de notre situation de fait (nous ne sommes ici concernés que par les bâtiments) on aboutit aux conclusions suivantes.

- 1. Maîtriser le dégagement de méthane**, dû pour l'essentiel à l'élevage et aux *décharges*, ce qui ne nous concerne qu'indirectement (fabrication de biogaz).
- 2. Maîtriser le dégagement de dioxyde de carbone**, (dû pour un quart aux activités nous concernant : *voir table ci-dessous*), ce qui relève par contre - au moins en grande partie - de nos responsabilités.

Il est bien évident que le développement durable dans les constructions neuves ou existantes ne réglera pas tout seul les problèmes actuels d'évolution de l'atmosphère, mais il est néanmoins fondamental.

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS FRANÇAISES TYPES DE CO2

- . **chauffage, éclairage, électro-ménager** : 25 %
- . **voitures particulières** : 12 %
- . **aliments** (y compris composants agricoles : engrais, pesticides, déjections animales) : 20 %
- . **produits de consommation courante** (transports compris) : 35 %
- . **traitement des ordures ménagères** : 3 %

LES DEUX DOLMAINES DE COMBUSTION

L'accroissement de l'effet de serre, lié à l'accroissement de la concentration atmosphérique de CO2, est dû en grande partie aux combustions, mais celles-ci n'ont pas toutes les mêmes répercussions. Ce qui conduit à distinguer :

- . les **combustibles minéraux** (solides, liquides ou gazeux),
- . et les **combustibles végétaux**, utilisés essentiellement à l'état solide (le bois sous toutes ses formes), parfois gazeux (biogaz) ou exceptionnellement liquide, généralement classés «**énergies renouvelables**».

LE CAS DES COMBUSTIBLES VÉGÉTAUX

Les végétaux (si l'on simplifie un peu) réalisent un véritable cycle fermé du carbone :

- (1) absorption du carbone transporté par le CO2 de l'air assimilé par les végétaux vivants,
- (2) rejet du carbone par production de CO2 lors de la combustion végétale ultérieure.

C'est un bilan un peu utopiste car il n'est pas totalement équilibré par suite des dépenses énergétiques annexes (les «**énergies grises**») liées à la récolte, à la préparation et au transport, sans compter les charges de reforestation.

nB11.2. LE RECOURS À LA COMBUSTION

Sauf recours à l'électricité les solutions classiques reposent sur l'utilisation de **combustibles**, solides, liquides ou gazeux. Ils sont traditionnellement choisis pour leur prix et leur plus ou moins grande commodité, mais également pour leur action sur l'environnement.

LES RÔLES POLLUANTS DE LA COMBUSTION

L'action de la combustion sur l'environnement se présente une double face.

1. Cette action peut être liée à l'éjection dans les produits gazeux de combustion (fumées) de gaz ou particules à caractère **polluant**.

2. Elle peut également être liée au rejet de CO₂ responsable de l'accélération de l'effet de serre.

1. Sur le premier plan (la **production de polluants**) les réglementations et les efforts des techniciens ont largement obvié aux défauts essentiels, même si ceci reste un aspect à ne pas négliger. Dans ce cadre, globalement, les combustibles gazeux sont supérieurs aux combustibles liquides, et ces derniers aux combustibles solides. Il y a, néanmoins, à y veiller pour chaque catégorie de combustible.

2. Sur le second point (la **production de CO₂**), avant un examen plus précis éventuel, on peut adopter un premier classement, celui de la table ci-dessous. Attention : les valeurs indiquées par cette table sont uniquement de **première orientation**.

CLASSEMENT «ÉCOLOGIQUE» DES COMBUSTIBLES			
Dégagement de CO ₂ par unité d'énergie utile [kgCO ₂ /kWh]			
coke	charbon	fioul	gaz
0,42	0,30	0,25	0,20

LE CLASSEMENT DES COMBUSTIBLES

Les combustibles utilisés dans les installations de génie climatique et énergétique, et d'une manière générale en équipement technique, peuvent être classés comme suit :

. 1. Combustibles solides

- . 1a. *Combustibles solides naturels*
 - . 1a1. **anthracites et houilles**
 - . 1a2. lignites
 - . 1a3. tourbe
 - . 1a4. **bois et végétaux séchés**
- . 1b. *Combustibles solides artificiels*
 - . 1b1. agglomérés de houille (briquettes, etc.)
 - . 1b2. agglomérés de lignite
 - . 1b3. **coke**
 - . 1b4. charbon de bois

. 2. Combustibles liquides

- . 2a. **Huiles minérales** (fioul) ou *synthétiques*
- . 2b. *Goudron de houille*

. 3. Combustibles gazeux

- . 3a. *Hydrocarbures naturels*
 - . 3a1. **gaz naturel** (méthane pour l'essentiel)
 - . 3a2. **butane et propane**
- . 3b. *Gaz manufacturés*
 - . 3b1. gaz de gazogène
 - . 3b2. gaz de four à coke
 - . 3b3. gaz de haut fourneau

Dans ce livret ne seront examinés, du moins de façon significative, que les combustibles marqués en rouge : voir les fiches suivantes. Pour plus de détails voir les livrets mL.

nB11.3. LES COMBUSTIBLES DE BASE (hors végétaux)

LA STRUCTURE GÉNÉRALE

Tous les combustibles contiennent, à la fois, des éléments combustibles et des éléments incombustibles, ces derniers pouvant être classés comme «*impuretés*».

Les éléments combustibles sont en général organiques, la seule exception notable concernant certains combustibles gazeux qui contiennent du **monoxyde de carbone** (CO) ou de l'**hydrogène** (H₂).

1. Les **éléments incombustibles** sont :

. *inorganiques* dans le cas des **combustibles solides** ou **liquides** (il s'agit essentiellement d'**eau** et de produits minéraux classés comme **cendres**),

. *plus variés* dans le cas des **combustibles gazeux**, comprenant l'**azote** (N₂), le **dioxyde de carbone** (CO₂) ou la **vapeur d'eau** (H₂O).

2. Les **éléments combustibles** sont les suivants : le **carbone** (C), l'**hydrogène** (H), l'**azote** (N), le **soufre** (S). Ces éléments interviennent (plus l'**oxygène**) dans des molécules plus ou moins complexes et non pas sous forme libre (sauf parfois H₂). Ce sont généralement des hydrocarbures, ce qui rend la chimie de ceux-ci assez essentielle.

N.B. Dans tous ces cas il faut mettre à part l'**oxygène** (O₂), essentiel en combustion sans être - à proprement parler - combustible.

LE RÔLE ACTUEL DES HYDROCARBURES

Aujourd'hui la plupart ces hydrocarbures combustibles (liquides ou gazeux) relèvent du domaine de l'*industrie pétrolière*. Cette dernière est basée sur l'exploitation de gisements d'hydrocarbures enfermés dans des roches poreuses situées à plus ou moins grande profondeur. Ces gisements contiennent des mélanges complexes, accompagnés souvent d'eau salée. Les produits extraits de ces gisements subissent différents traitements, en particulier la séparation des phases gazeuses et liquides. Le raffinage ultérieur a pour but de fractionner les produits bruts en produits de différentes densités et de différentes qualités, adaptés chacun à des usages particuliers.

LE RÔLE ANCIEN DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX SOLIDES

En France il s'agit essentiellement des charbons, très fortement marqués par des conventions multiples et anciennes, leur origine (qui n'est plus guère française) faisant que les classements sont disparates. Deux groupes de combustibles solides minéraux sont essentiels : celui des charbons et celui des cokes.

1. Les combustibles minéraux essentiels, les **charbons**, sont surtout classés selon leur **teneur en matières volatiles**, les matières volatiles étant les produits gazeux s'échappant lorsque le combustible est chauffé à l'abri de l'air. C'est une caractéristique très importante. Elle doit être mesurée sur le combustible **pur** (sans cendres). Les matières volatiles participent à la combustion, et sont prises en compte pour la classification (voir tableau ci-dessous) longtemps utilisée en France.

2. Les **cokes** dérivent des charbons et s'obtiennent : soit par distillation de la houille à l'abri de l'air dans les «usines à gaz», soit par distillation dans les cokeries sidérurgique (coke dit de hauts fourneaux). Le type de charbon distillé joue un rôle fondamental dans le classement final des cokes.

Les charbons et les cokes sont également classés selon leur **calibre**. Les désignations variant selon les régions d'extraction, cet indice (jadis important avec les charbons français) doit être remplacé par des désignations commerciales à se faire préciser. La plupart des distributions utilisent les désignations suivantes : on appelle «**grains**» ceux qui ont une taille entre 6 et 80 [mm], «**blocs**» ceux qui ont une taille supérieure à 80 [mm], le «**charbon pulvérisé**» correspondant - lui - à une taille inférieure à 3 [mm]. Le charbon étant généralement utilisé pour des générateurs de forte puissance thermique, la demande s'est fortement orientée vers les petits calibres, pulvérisé compris, ces petits calibres étant plus faciles à manipuler, et intégrables facilement dans les alimentations automatiques.

Catégorie	<i>Volatils [%]</i>	<i>Résidu de distillation</i>
Anthracite	0 à 8	<i>pulvérulent</i>
Maigre anthraciteux	8 à 11	<i>pulvérulent</i>
Quart-gras	11 à 13	<i>légèrement agglutiné</i>
Demi-gras	13 à 18	<i>coke de faible densité</i>
Gras courte flamme	18 à 26	<i>coke bien aggloméré et dense</i>
Gras	26 à 32	<i>coke bien aggloméré et léger</i>
Gras longue flamme	> 32	<i>coke boursoufflé pulvérulent, un peu agglutiné</i>
Flénus	> 32	

nB11.4. COMBUSTIBLES SOLIDES : COMPLÉMENTS

LA TENEUR EN EAU ET LA TENEUR EN CENDRES DES CHARBONS ET DES COKES

D'autres caractéristiques des charbons et des cokes interviennent dans les choix, ce sont la **teneur en eau** et la *teneur en cendres*.

1. Quoique souvent secondaire dans les classements la **teneur en eau** est une caractéristique très importante, bien qu'elle puisse parfois être difficile à préciser. Il y a, en fait, deux teneurs en eau :

- . la *teneur en eau de constitution*, cette eau étant une véritable composante chimique du combustible, composante qui ne peut absolument pas être éliminée par un simple séchage,
- . la *teneur en eau de nature hygroscopique*, cette fraction de l'eau étant absorbée physiquement et pouvant être assez facilement éliminée par séchage.

La teneur globale en eau des produits commercialisés varie généralement entre 2 et 10 %, sans que cette valeur dépende du classement.

2. Les **cendres** sont le résidu solide incombustible. La **teneur en cendres** est obtenue en incinérant le combustible dans des conditions normalisées (825 °C). Cette définition correspond au «taux de cendres fixes», inférieur à la concentration vraie de matières incombustibles : 825 °C est une température à laquelle, par exemple, les carbonates sont décomposés, mais pas les sulfates de calcium. La teneur en cendres, qui dépend plus ou moins de la classe de combustible, varie dans de fortes proportions étant compris entre 5 et 20 % (parfois plus). La **teneur en cendres** et la **fusibilité des cendres**, agissant sur le rendement et surtout sur la durabilité des générateurs, sont finalement des indications importantes qu'il faut faire préciser par le fournisseur de combustible.

Les caractéristiques précédentes que sont l'indice de matières volatiles, la teneur en cendres, la fusibilité des cendres, la teneur en eau, sont déterminées au moyen de procédures normalisées. Lors de l'exploitation des résultats, il faut bien contrôler la référence adoptée, l'analyse pouvant être rapportée : soit au combustible *brut*, soit au combustible «*sans eau*», soit au combustible «*sans eau ni cendres*».

Malheureusement les valeurs qu'on peut obtenir pour un même combustible, ne dépendent pas uniquement du bassin d'extraction, le point de fusibilité des cendres - par exemple - pouvant dépendre fortement de la veine d'extraction beaucoup plus que du bassin d'extraction. D'où la difficulté des spécifications.

LE LIGNITE ET LA TOURBE

Les indications précédentes concernent les charbons généralement classés dans la catégorie des **houilles**. Il s'agit de combustibles minéraux solides dont la teneur en matières volatiles ne dépasse pas environ 45 %. Il existait, mais il existe de moins en moins, d'autres combustibles minéraux solides provenant - comme la houille - de la transformation sous pression de fossiles anciens. Ces autres combustibles (plus «jeunes») sont :

- . les **lignites**, 45 à 60 % de matières volatiles,
- . la **tourbe**, 60 à plus 70 % de matières volatiles, et surtout (à l'état brut) de très fortes teneur en eau. *En France, le recours aux lignites ou à la tourbe ne peut relever que d'installations exceptionnelles.*

LES COMBUSTIBLES SOLIDES VÉGÉTAUX

Il existe de multiples combustibles végétaux solides, le bois et la paille étant les principaux. Sur le plan pratique le **bois** joue le rôle essentiel.

LE BOIS COMME COMBUSTIBLE

Il faut distinguer :

- . les *bois durs* (chêne, châtaignier, charme, hêtre, ormeau, pommier, etc.) dont la flamme est courte et le charbon incandescent durable,
- . et les *bois tendres* (peuplier, pin, sapin, saule, tilleul, tremble, etc.) dont la flamme est longue et dont le charbon brûle rapidement, ce qui les rend difficiles à utiliser.

Ces deux catégories correspondent à des **masses volumiques (de chargement)** très différentes :

- . 500 [kg/m³] pour les bûches de bois dur,
- . 400 à 450 [kg/m³] pour les bûches de bois tendre.

La **teneur en eau** du bois combustible est un paramètre essentiel. Alors que le bois fraîchement abattu contient 70 à 80 % d'eau, au bout d'un an de séchage (à l'air libre) cette teneur chute à 25-30 %, sous réserve que le séchage soit bien organisé, ce qui permet même de réduire cette teneur à moins de 25 % (15 à 25).

Pour plus de détails sur le bois et les autres végétaux combustibles consultez le livret :

. **nB31. L'utilisation de la biomasse.**

nB11.5. LES POMPES À CHALEUR

DÉFINITION GÉNÉRALE

Une **pompe à chaleur** extrait de la chaleur d'une source - dite **source froide** - pour la transférer, en *accroissant sa température*, à une autre source - dite **source chaude**. **ATTENTION** : la terminologie des sources n'est pas unifiée, celle adoptée ci-dessus étant celle proposée par l'auteur. Vous pourrez trouver une terminologie différente, la terminologie anglophone étant la plus claire : «*sink*» pour source froide, «*source*» pour source chaude.

Les **machines frigorifiques** permettent, traditionnellement, de procéder au même processus, mais avec un objectif différent : une *machine frigorifique* produit du froid (à la source froide), alors qu'une *pompe à chaleur* produit du chaud (à la source chaude). Les phénomènes étant identiques une pompe à chaleur peut être mixte, et peut produire du chaud et du froid.

Dans la suite du texte, tout comme dans de nombreuses publications, le terme «*pompe à chaleur*» est souvent remplacé par son abréviation : «**PAC**».

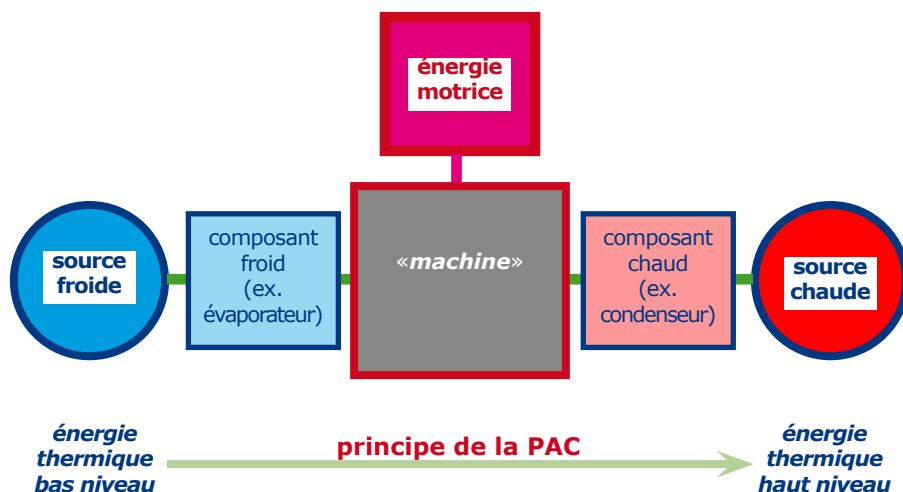
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

L'application la plus usuelle des pompes à chaleur est le chauffage d'ambiance, mais elles peuvent également être utilisées pour la production d'eau chaude, le chauffage des piscines, ou même certains processus industriels. Les sources froides utilisables sont très nombreuses. Elles peuvent être, par exemple : le sol (la géothermie), les eaux souterraines ou superficielles, les eaux usées, l'énergie solaire, l'air extérieur, l'air intérieur rejeté.

Les PAC actuelles sont généralement des machines de type frigorifique à *compression de vapeur* ou à *absorption*, les plus courantes étant à compression. Dans ce cas elles utilisent un moteur électrique, mais certaines sont mues par une turbine ou un moteur à combustion. Alors que les machines à absorption utilisent généralement des chaleurs perdues.

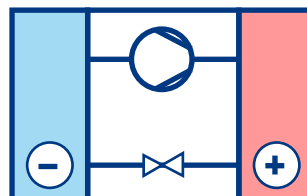
Aujourd'hui les PAC viennent normalement directement d'usine, prêtes à être installées. Elles peuvent avoir des puissances thermiques très variées allant (en ordre de grandeur) du kilowatt à des dizaines de mégawatts. Certaines permettent d'atteindre (en production de chaleur) des températures de l'ordre de 100 °C, mais la plupart fonctionnent à température bien plus basse.

Les pompes à chaleur (à compression) peuvent être représentées par le schéma ci-dessous.



On peut, bien entendu (voir les nombreux livrets sur le froid et les PAC dans la famille G) représenter de façon plus concrète et détaillée les différents composants technologiques, mais on peut également utiliser des représentations encore plus symbolique : vous en trouverez un exemple ci-contre, à droite.

Ex. symbole générique de pompe à chaleur



nB11.6. COMPLÉMENTS SUR LES POMPES À CHALEUR

LE COEFFICIENT DE PERFORMANCE

Le **coefficient de performance (COP)** d'une pompe à chaleur est défini comme suit :

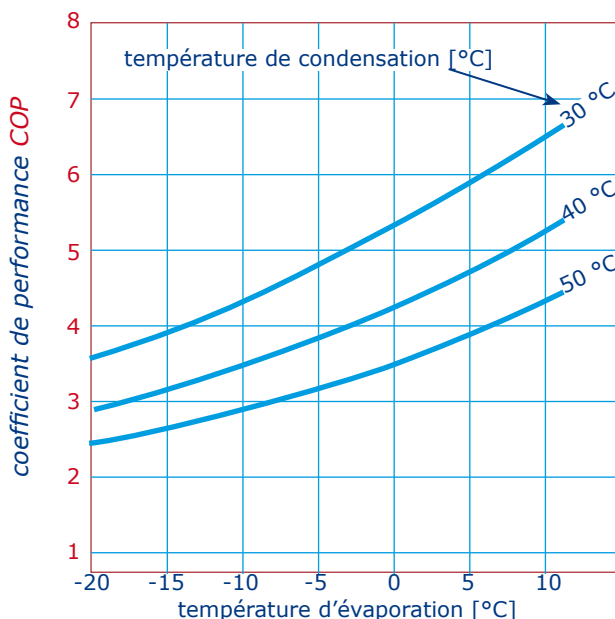
$$\text{COP} = P_c / P$$

- . P_c étant la puissance fournie en chauffage [W],
 - . et P la puissance (électrique) consommée [W].
- Pour les systèmes utilisant par exemple le **R407C** comme fluide frigorigène, ce coefficient est fourni par le schéma *ci-contre* en fonction :
- . de la **température d'évaporation** (abscisse),
 - . et de la **température de condensation**.

VALEURS PRATIQUES

Les courbes ci-contre soulignent l'importance du choix des températures :

- . plus la température de condensation (*plus la température d'utilisation de la source chaude*) est **basse** plus le système est efficace,
- . plus la température d'évaporation (*plus la température d'utilisation de la source froide*) est **élevée** plus le système est efficace.



Performances types des pompes à chaleur

LE CLASSEMENT DES POMPES À CHALEUR

Le classement des pompes à chaleur (ou «PAC») peut se faire de différentes manières :

- soit à partir du *processus physique* utilisé par la machine et à partir du type d'*énergie* «motrice»,
- soit à partir de la nature des *sources froide et chaude* (ex. pompe à chaleur «air-eau»),
- . soit à partir du *fluide caloporteur* (air, eau, etc.) transférant la chaleur utilisée aux sources.

PREMIER CLASSEMENT (le classement frigorifique)

Les pompes à chaleur étant des machines frigorifiques adaptées au «chauffage», relèvent du *même classement* que les machines frigorifiques, lequel distingue :

1. Les **PAC à compression**, fonctionnant à partir d'*énergie mécanique*
 - 1a. à **compression de vapeur**, examinées plus loin
 - 1b. à **jet de vapeur**, essentiellement utilisées dans l'industrie, non examinées ici
 - 1c. à **compression d'air**, inutilisées dans le bâtiment
2. Les **PAC** basées sur le phénomène de **sorption**, fonctionnant à partir d'*énergie thermique*
 - 2a. à **absorption**, le plus courant dans nos applications avec la compression de vapeur
 - 2b. à **adsorption**, plutôt en développement, très adapté aux basses températures (solaire, etc.)
3. Les **PAC thermoélectriques**, fonctionnant à partir d'*énergie électrique*.

DEUXIÈME CLASSEMENT (le classement par sources)

Les PAC peuvent également être classées selon la nature des **sources** froide et chaude :

- . les **PAC sol-eau** (*sol* source froide, *eau* source chaude),
- . les **PAC sol-air** (*sol* source froide, *air* source chaude),
- . les **PAC extérieur-eau** (*ambiance extérieure* source froide, *eau* source chaude),
- . les **PAC extérieur-air** (*ambiance extérieure* source froide, *air* source chaude),
- . les **PAC intérieur-eau** (*air intérieur ou de reprise* source froide, *eau* source chaude),
- . les **PAC intérieur-air** (*air intérieur ou de reprise* source froide, *air* source chaude).

TROISIÈME CLASSEMENT (le classement par fluides)

Les PAC peuvent également être classées selon la nature des fluides caloporteurs utilisant d'une part la chaleur absorbée à la source froide, d'autre part la chaleur fournie à la source chaude. Ce qui conduit à distinguer :

- . les **PAC eau-eau** ou **eau-air** (fluide froid : l'*eau* ; fluide chaud : l'*eau* ou l'*air*),
- . les **PAC saumure-eau** ou **saumure-air** (fluide froid : la *saumure* ; fluide chaud : l'*eau* ou l'*air*),
- . les **PAC air-eau** ou **air-air** (fluide froid : l'*air* ; fluide chaud : l'*eau* ou l'*air*).

N.B. Certaines normes utilisent les symboles suivants : «**W**» pour l'eau, «**B**» pour la saumure, «**A**» pour l'air.

nB11.7. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Le terme «énergie renouvelable» figure fréquemment dans les textes et les règlements. Encore faut-il en préciser le contenu, ce qui n'est pas toujours très aisé si l'on tient compte des énzies grises.

LA DÉFINITION DE PRINCIPE

Le système adopté pour le classement en «**énergie renouvelable**» est le suivant :

- . ou bien l'énergie en cause ne produit pas de gaz à effet de serre lors de son utilisation,
- . ou bien l'énergie en cause (végétaux) produit des gaz à effet de serre mais récupère le carbone rejeté.

Les énergies «renouvelables», ne produisant pas plus de CO₂ qu'elles en consomment (sauf marginalement), constituent l'une des solutions fortement privilégiées.

LA ÉNERGIES DE CE TYPE

Les énergies pouvant être classées comme «renouvelables» sont indiquées au tableau ci-contre. Elles y sont classées en ordre de quantité disponible croissante (pour la France), sans que cet ordre soit absolu.

Il est d'usage de ne pas y inclure l'**énergie nucléaire** dans les énergies précédentes, bien qu'elle ne dégage pas de gaz à effet de serre.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES UTILES

Les énergies classées ici comme «utiles» sont celles qui présentent de l'importance dans nos applications locales. Il s'agit :

- . du **solaire**
 - . le solaire photovoltaïque,
 - . le solaire thermique,
- . de la **biomasse**
 - . le biogaz,
 - . les déchets végétaux,
 - . le bois,
 - . les déchets urbains et assimilés,
 - . les cultures énergétiques.
- . de la **géothermie**.

LE ÉNERGIES RENOUVELABLES (FRANCE)

- . l'énergie des vagues et des courants marins,
- . les déchets industriels,
- . le biogaz (fermentation de déchets végétaux),
- . les déchets urbains et assimilés,
- . l'énergie géothermique,
- . l'énergie hydraulique,
- . l'énergie des marées, des vagues et des courants marins
- . les déchets végétaux,
- . le bois,
- . les déchets urbains et assimilés,
- . le solaire photovoltaïque,
- . le solaire thermique,
- . les cultures énergétiques,
- . l'énergie éolienne terrestre,
- . l'énergie éolienne «offshore».

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES SPÉCIFIQUES

Les énergies suivantes ne doivent pas être prises en compte dans le plan énergétique, sauf dans des cas exceptionnels, par exemple *lorsque ces énergies peuvent être utilisées pour des productions locales d'électricité lorsque les conditions y sont exceptionnellement favorables* :

- . l'énergie hydraulique (localement : les moulins),
- . l'énergie éolienne terrestre, malgré des tentatives un peu spectaculaires.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES EXCLUES

Les énergies suivantes ne doivent pas, normalement, être prises en compte dans le plan énergétique (qui ne concerne que les usages localisés). *Elles ne sont, en effet, utilisables que pour les productions centralisées d'électricité*. Il s'agit :

- . de l'énergie des vagues (ou de la marée, ou des courants marins),
- . de l'énergie éolienne «offshore».
- . de l'énergie extraite des déchets industriels.

LE PROBLÈME DES POMPES À CHALEUR

Les énergies renouvelables peuvent être utilisées directement pour produire de la chaleur ou de l'électricité, mais il est des cas où il est commode, et rentable, de passer par l'intermédiaire d'une **pompe à chaleur**. D'autant que certains auteurs classent - un peu abusivement - ces équipements dans les «énergies renouvelables». Leur rôle, dans la maîtrise des consommations, n'en reste pas moins essentiel : elles font l'objet de la fiche suivante.

nB11.8. L'ÉOLIEN ET L'HYDRAULIQUE

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'énergie éolienne - celle du vent - n'est utilisée qu'en production d'électricité. Et ce, essentiellement, dans des parcs éoliens d'assez grande puissance, bien qu'il existe des modèles de petites tailles, les puissances électriques unitaires des éoliennes allant du kilowatt à plusieurs mégawatts. Dans la pratique les installations locales, de faible puissance, restent un exception, généralement réservée à des applications hors métropole.

Pour plus de détails sur l'utilisation de cette énergie consultez le livret :

. **nB33, L'énergie éolienne**

L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

L'énergie hydraulique (celle des chutes d'eau) n'est utilisée qu'en production d'électricité. Deux grandes catégories d'installations constituent aujourd'hui le parc hydraulique :

- . (l'essentiel) les barrages utilisés pour produire de l'électricité pour les réseaux publics,
- . (plus rarement) les petites chutes (les ex «moulins») utilisées par des particuliers pour produire leur électricité.

nB11.9. LE SOLAIRE

LES TROIS MODES D'UTILISATION

L'énergie solaire, type même d'énergie renouvelable, peut être utilisée sous trois formes assez différentes :

- . celle des applications **thermiques passives**,
- . celle des applications **thermiques actives**, incluant éventuellement la *production de froid*,
- . celles des applications **électrogènes**.

LES APPLICATIONS THERMIQUES PASSIVES

Elles consistent à utiliser l'énergie solaire pour le chauffage direct des bâtiments : soit au travers les vitrages courants, soit au travers de structures spécifiques (murs Trombe ou dérivés).

Pour plus de détails, voir le livret : **nB32. L'utilisation du solaire**.

LES APPLICATIONS THERMIQUES ACTIVES

Ces applications reposent sur l'usage de **capteurs solaires**, équipements fournissant un fluide - généralement de l'eau - réchauffé par le rayonnement solaire. Ces capteurs sont utilisés :

- . soit pour réchauffer des eaux de **piscine**,
- . soit pour produire de l'**eau chaude sanitaire** (l'usage le plus fréquent),
- . soit pour fournir de l'eau chaude ou de l'air servant au **chauffage**,
- . soit pour fournir du **froid** (à travers une machine frigorifique à absorption).

Pour plus de détails, voir le livret : **nB32. L'utilisation du solaire**..

LES APPLICATIONS ÉLECTROGÈNES

Elles reposent sur l'utilisation de **cellules photovoltaïques**, qui produisent directement de l'électricité à partir du rayonnement solaire. Elles peuvent être utilisées pour produire de l'électricité revendue au réseau public (la solution aujourd'hui la plus rentable compte-tenu des tarifs), ou pour produire son électricité personnelle, le surplus étant revendu au réseau public.

Dans les deux cas il existe des compteurs électriques.

Pour plus de détails sur les *installations photovoltaïques* consultez le livret :

. **nB35, La production localisée d'électricité**.

nB11.10. LA GÉOTHERMIE

ATTENTION :

Le terme «**géothermie**» est souvent utilisé dans un sens restreint (utilisations haute température). Ici le terme est utilisé pour **toutes** les applications utilisant les propriétés thermiques du sous-sol, y compris pour le rafraîchissement passif et les pompes à chaleur).

LES FONDEMENTS DE LA GÉOTHERMIE

Les températures du sous-sol, en l'absence de construction superficielle perturbatrice, résultent de l'influence de deux flux thermiques : d'une part le flux venant de l'*atmosphère* (dont les températures d'air oscillent du chaud au froid de l'été à l'hiver), d'autre part le flux venant des couches profondes du sol, flux essentiellement dû à la dégradation radioactive de certaines roches.

1. Premier phénomène. L'échauffement d'origine atmosphérique varie selon la saison, mais avec un amortissement d'autant plus important qu'on se trouve éloigné de la surface du sol. De sorte qu'à 1 [m] de profondeur ou plus, la température du sol est voisine de la **température moyenne annuelle** du site.

2. Deuxième phénomène. Le flux d'origine souterraine est tel que la température du sol croît avec la profondeur, en moyenne à 0,033 [K/m], mais avec des gradients assez variables selon le terrain (entre 0,03 et plus de 0,05 [K/m] avec des valeurs parfois nettement plus fortes).

3. Il existe, localement, un troisième phénomène dû aux nappes d'eau souterraines (les *nappes aquifères*) qui peuvent transporter de l'eau chaude à assez grande distance.

LES CLASSEMENTS GÉOTHERMIQUES CLASSIQUES

On classe traditionnellement les installations utilisant la chaleur du sous-sol de la manière suivante.

1. La géothermie dite «**haute énergie**» utilise, dans des régions volcaniques ou à la limite de plaques tectoniques assez exceptionnelles, des eaux à très haute température : entre 150 et 400 °C en ordre de grandeur. Les forages utilisés sont voisins de ceux en usage dans les puits de pétrole.

2. La géothermie dite «**moyenne énergie**» s'appuie (souvent avec fluide intermédiaire) sur des nappes à 70-150 °C. C'est le cas de petites centrales électriques.

3. La géothermie dite «**basse énergie**» s'appuie sur des nappes à 60-80 °C. C'est le cas des réseaux urbains géothermiques français situés dans des zones sédimentaires : Creil, Villeneuve-le-Garenne, Mée-sur-Seine, Melun, Cergy, etc. en région parisienne.

4. La géothermie dite «**très basse température**» utilise des eaux de 20 à 60 °C, pour des applications souvent limitées telles que la production d'eau chaude ou le chauffage de serre.

LES APPLICATIONS GÉOTHERMIQUES SPÉCIALES

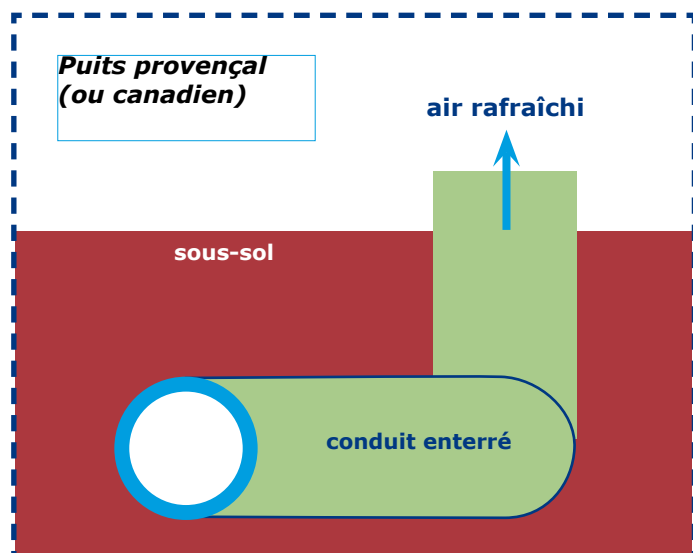
D'autres applications peuvent être classées comme géothermiques.

1. L'utilisation du sol comme source dans une **pompe à chaleur** est une application souvent citée par les promoteurs de pompes à chaleur. C'est une technique séduisante, mais qui souffre surtout du défaut d'être encombrante au sol. Pour plus de détails consultez le livret : **MF61. Les pompes à chaleur.**

2. L'utilisation du sol comme source de fraîcheur en été (grâce à des **conduites d'air** enterrées) est une application assez souvent citée, mais de réalisation relativement rare. Le principe en est illustré par le schéma ci-contre.

Généralement nommé «**puits provençal**» ou «**puits canadien**» le système consiste à faire passer l'air (de ventilation ou de rafraîchissement) dans un conduit enfoui en sous-sol sur une longueur suffisante, l'air transporté étant rafraîchi par les échanges avec le sol. Les caractéristiques les plus adéquates sont généralement les suivantes :

- . un enfouissement à 2 [m] de profondeur,
- . un tube en béton de 0,6 à 0,7 [m] de diamètre,
- . sur une longueur de l'ordre de 100 [m] au minimum pour bénéficier d'un effet suffisant,
- . avec une vitesse d'air modérée (de moins de 2 m/s) pour que l'air du conduit soit suffisamment rafraîchi,



nB11.11. LA BIOMASSE-ÉNERGIE

LES DÉFINITIONS

1. Nous appelons ici «**biomasse**» :

- . tous les **végétaux** (bois, etc.) pouvant être utilisés dans nos applications, quelle qu'en soit l'état, brut ou de déchet (**biomasse directe**),
- . tous les gaz issus des fermentations de déchets pouvant être utilisés comme combustibles (**biomasse secondaire**).

2. Nous appelons «**bioénergies**» celles utilisant :

- . soit des **végétaux** (bos, etc.) sous leur forme initiale ou sous une forme transformée, y compris les déchets,
- . soit des **gaz** issus des *décharges*, des *stations d'épuration* soit des usines (**biogaz**) de *méthanisation*.

3. On utilise aussi le terme de **biocombustibles**, en distinguant les **biocombustibles solides**, **liquides** ou **gazeux**.

ATTENTION. *Malgré les efforts européens de normalisation il existe encore quelques incertitudes sur les définitions. C'est ainsi que le terme «biomasse» est parfois utilisé dans un sens plus restrictif, ou dans un sens plus large.*

LE CLASSEMENT PAR APPLICATIONS

Les différentes bioénergies (ou **biomasse-énergies**) nous concernant seront classées dans l'une des quatre catégories suivantes :

- . les **biocombustibles solides** dont la combustion est utilisée pour produire de la **chaleur**,
- . les **biocombustibles liquides** dont la combustion est utilisée pour produire de la **chaleur**,
- . les **biocombustibles gazeux** dont la combustion est utilisée pour produire de la **chaleur**,
- . les **biocarburants** utilisés pour fournir une énergie mécanique (et indirectement de l'**électricité**).

L'AVANTAGE ESSENTIEL DES BIOÉNERGIES

Par rapport aux principales autres énergies renouvelables (éolienne, hydraulique, solaire) les bioénergies possèdent l'avantage très important d'être naturellement **stockables**.

POUR PLUS DE DÉTAILS SUR LES BIOÉNERGIES

consultez le livret :
mBLa **biomasse énergie**.

nB11.12. LA PRODUCTION LOCALE D'ÉLECTRICITÉ

Il existe, actuellement, un mouvement très favorable à la production localisée d'électricité, en particulier photovoltaïque. Cette production localisée pose de sérieux problèmes, trop souvent ignorés. Pour plus de détails consultez le livret général :

nB35. La production localisée d'électricité.

Et, pour plus de détails encore, les livrets consacrés au solaire.

