

The background features a minimalist aesthetic with a light-colored wall and a wooden surface at the bottom. A green plant with long, thin leaves is placed on a spool of white rope. The text is centered and overlaid on the image.

Travaux Dirigés
ENERGIES RENOUVELABLES

Docteur EGORAN. Enseignant-Chercheur

+225 0758026840 / 0707578110

UFR SDM – LICENCE 3

A glass test tube is positioned vertically, containing a clear liquid. A white straw is inserted into the tube, extending from the top to the bottom. The test tube sits on a light-colored surface. The background is white with a faint, light gray grid pattern. The word "INTRODUCTION" is centered in the middle of the image in a bold, black, sans-serif font.

INTRODUCTION

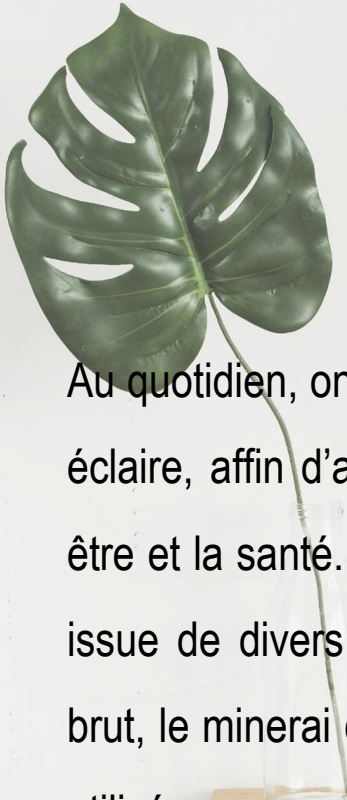




INTÉRÊT DU COURS

Au quotidien, **on utilise L'énergie**, pour se **déplacer**, **chauffer**, **éclairer**, afin d'assurer un développement économique et social et améliorer le bien-être et la santé.

INTRODUCTION



Au quotidien, on utilise différents types d'énergie, que ce soit pour déplacer, chauffer, éclairer, afin d'assurer un développement économique et social et améliorer le bien-être et la santé. Cette énergie n'est pas disponible dans notre environnement. Elle est issue de divers processus de transformation d'énergies primaires comme le pétrole brut, le minerai d'uranium, le vent, les rayonnements solaires, qui lui permettent d'être utilisée au quotidien par nos appareils électroménagers ou nos dispositifs de chauffage.

□ Le rôle actuel des soucis d'énergétiques

Il est régulièrement fait référence à la «crise de l'énergie», **c'est-à-dire au manque à terme d'énergie en quantité suffisante.**

En fait, à chaque crise l'analyse des énergies disponibles, en particulier des réserves de combustibles en sous-sol, ont permis de montrer que ce risque était souvent surévalué, toutes les ressources du sous-sol n'ayant pas jusque là été prises en compte.

En fait le risque principal est surtout dû au développement de l'effet de serre dans l'atmosphère (avec risque de réchauffement climatique), effet lié à l'usage prédominant de combustibles dont la combustion dégage du CO₂, qui est l'un des principaux gaz de l'atmosphère à l'origine de l'effet de serre. De ce fait c'est surtout sous ce deuxième angle (celui du risque lié au réchauffement climatique) que l'on parle aujourd'hui des «économies d'énergie» alors qu'il s'agit plutôt de «mauvais choix énergétique». D'où l'importance des analyses qui suivent.

□ Les deux classes d'énergies

Il est désormais classique de classer les énergies de la manière suivante :

- ✓ d'une part les *énergies non renouvelables*, un domaine correspondant essentiellement à celui des combustibles extraits du sous-sol;
- ✓ et d'autre part les *énergies renouvelables*, dont le stock n'entre pas dans la catégorie précédente. Cette définition est, en fait, souvent très simpliste, l'énergie nucléaire n'étant pas, par exemple, classée comme «renouvelable» alors qu'elle ne participe pas au développement de l'effet de serre.

Pour plus de clarté dans le langage, nous classerons souvent les énergies en quatre catégories :

- ✓ celle des **combustibles non renouvelables**, issus du sous-sol;
- ✓ celle des **combustibles renouvelables**, examinés plus loin;
- ✓ celle des **énergies nucléaires**, normalement neutres quant à l'effet de serre;
- ✓ celle des **énergies «naturelles»** (soleil, vent, marées, etc..).

Ici nous adoptons le premier classement distinguant *énergies renouvelables* et *énergies non renouvelables*.

Les énergies renouvelables sont, actuellement classables par importance de la manière suivante :

- 1. La *biomasse*,
- 2. L'*hydraulique*,
- 3. La *géothermie*,
- 4. L'*éolien*,
- 5. Le *solaire*

auxquels nous ajouterons les « *combustibles*

PLAN DU COURS

<i>Contenu</i>	<i>page</i>
1. Panorama des énergies renouvelables	3
6.1. Le cadre de ce guide	3
2. La biomasse énergie	4
2.1. Panorama de la biomasse énergie	4
2.2. L'avenir de la biomasse énergie	5
2.3. La biomasse primaire	6
2.4. Le problème général du bois	7
2.5. Bois, plaquettes et granulés	7
2.6. La biomasse énergie secondaire	8
2.7. Le biogaz	8
3. L'hydraulique	10
4. La géothermie	11
4.1. La température du sol et les géothermies	11
4.2. Le montage géothermique type	11

<i>Contenu</i>	<i>page</i>
5. L'éolien	13
5.1. La structure du vent	13
5.2. Les éoliennes de parcs terrestres	14
5.3. Les éoliennes off-shore	14
5.4. Les performances éoliennes	15
6. Le solaire	16
6.1. Le solaire : survol	16
6.2. Le solaire passif	17
7. Le solaire thermique actif	18
7.1. Le classement des systèmes actifs	18
7.2. Les capteurs solaires	18
7.3. La performance des capteurs solaires	19
7.4. La théorie du capteur plan	20
7. Les combustibles renouvelables	22

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES (1/2)

OBJECTIF GÉNÉRAL Offrir aux étudiants les connaissances sur les notions des différents types d'énergies renouvelables



OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES (2/2)

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Identifier les différentes formes d'énergies renouvelables
- Définir les différentes formes d'énergies renouvelables

PARTIE 1: BIOMASSE ENERGIE



LA BIOMASSE ÉNERGIE

La biomasse, comme le solaire, sont les énergies renouvelables essentielles dans nos applications : le chapitre qui suit concerne uniquement la biomasse-énergie.

Panorama de la biomasse énergie



L'utilisation de la biomasse-énergie: une ambition récurrente

Ce qu'on appelle aujourd'hui la biomasse couvre en fait de multiples produits organiques, allant du plus simple (le plus évident: le bois) au plus indirect et au plus complexe chimiquement, les produits issus de la méthanisation par exemple.

❖ S'agit t'il d'une énergie totalement renouvelable?

La biomasse énergie est quasi-systématiquement considérée comme «*énergie renouvelable*», alors que ce n'est pas toujours très évident.

L'utilisation du bois-énergie suppose qu'on assure, par ailleurs, une reforestation correcte, assez loin d'être neutre énergétiquement.

D'une manière générale les présentations françaises courantes négligent les «*énergies grises*», celles correspondant aux activités annexes : préparation et transport des combustibles, remises en état diverses (reforestation comprise), etc.

L'exemple le plus net est celui des *déchets ménagers*, dont la collecte et le transport représentent la moitié (en ordre de grandeur) des valeurs sur le plan des bilans économiques et énergétiques.

❖ La biomasse énergie et l'effet de serre

L'utilisation de la biomasse met en évidence l'insuffisance courante - hélas trop fréquente - qui consiste à considérer que le seul gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO_2).

En oubliant le méthane (CH_4), qui est justement dégagé par de nombreux processus organiques. Un oubli d'autant plus regrettable que le méthane a, schématiquement, quatre fois plus d'action que le CO_2 .

Les réglementations les plus courantes ne tiennent pourtant compte que du CO_2 , alors que la récupération (et la combustion) du méthane, dégagé par exemple par les décharges, conduirait à des bilans économiques et énergétiques très positifs en matière d'effet de serre.

❖ L'avantage de la biomasse: le stockage

La plupart des énergies renouvelables (en particulier celles vues dans les chapitres qui suivent) ont toutes le même défaut, celui de n'être pas stockables :

- *l'énergie solaire* est nulle à certaines heures ou insuffisante pour des raisons météorologiques,

- *l'énergie éolienne* l'est également pour des raisons météorologiques (vent trop faible ou trop fort).

Au contraire l'énergie issue de la biomasse, avec les biocombustibles en particulier, est ajustable aux besoins instantanés à chaque moment.

❖ La biomasse énergie face au poids des traditions

La tradition, et les «souvenirs d'antan» avec ses foyers ouverts (les fameuses «cheminées»), peut avoir des effets psychologiques et commerciaux nocifs.

Il serait souhaitable qu'on abandonne les nostalgies au bénéfice de considérations plus ingrates, mais essentielles si l'on veut vraiment faire du **développement durable** optimisé.

La biomasse peut y jouer un rôle fondamental, mais pas forcément celui que, parfois, on imagine.

2.2. L'avenir de la biomasse énergie

➤ La biomasse énergie individuelle face à ses difficultés

. D'abord une alimentation correcte et suffisante en *air neuf*, laquelle est très souvent plus ou moins incompatible avec la réduction drastique actuellement prévue pour la perméabilité à l'air des locaux habités ;

. Ensuite l'oubli fréquent (il n'y a plus guère de «fumistes») que ces systèmes exigent des conduits particuliers et spécifiques d'évacuation des gaz brûlés, des *conduits de fumée* qui ne peuvent pas être confondus avec ceux désormais habituels pour le chauffage central individuel, au gaz en particulier.

➤ Le problème fondamental de sécurité

L'insuffisance d'air neuf, sinon même l'absence de conduits de fumée adéquats, font qu'il y a émission de CO_2 , et surtout de monoxyde carbone (CO) très toxique. Sans compter les impuretés solides diverses. Ce qui a surtout dans les habitats modestes très peu ventilés deux conséquences très néfastes ou désagréables : pollution dangereuse de l'air, salissure des parois.

Le risque le plus important est, bien sûr, le risque de dégagement de CO dans les ambiances habitées.

Ce risque est tel que, dans certains pays ou avec certains matériels, il y a présence obligatoire d'un détecteur d'oxyde de carbone (CO) suspendant la combustion en cas de dépassement des teneurs limites (assez vite atteintes).

➤ La biomasse énergie Centralisée

L'un des obstacles les plus fréquents au développement de la biomasse énergie tient à la négligence de solutions qui sont aujourd'hui plus que défendables surtout en production d'électricité: le recours à des **installations centralisées utilisant la biomasse**, en particulier les déchets.

C'est là, sans aucun doute, sous réserve de bien organiser le bilan CO₂, et de maîtriser les effets du méthane (CH₄), que devrait se situer l'avenir le plus important de la biomasse énergie.

De nombreux efforts ont été consentis afin de développer le marché de la biomasse énergie, et afin de promouvoir la qualité des produits amont. Nous noterons surtout ici :

- . les actions «*bois énergie*»,
- . le soutien au *biogaz agricole*,
- . les actions européennes en particulier pour les spécifications concernant les *granulés*.

La biomasse primaire

✓ Les deux aspects de la biomasse

La **biomasse**, constituée des matières «vivantes», peut être classée en deux catégories (classement propre à ce guide) : la *biomasse primaire* et la *biomasse secondaire*.

1. La **biomasse primaire** comprend le bois et les différents végétaux utilisés comme combustibles, quel que soit leur état physique (solide, etc.). Cette biomasse est traitée dans la présente fiche, le bois (sous forme de bûches ou de dérivés tels que les plaquettes).

2. La **biomasse secondaire** est constituée de déchets issus de matières organiques, végétales ou non.

Quelle que soit la catégorie, la biomasse est classée «**énergie renouvelable**». La raison en est la suivante.

Raison 1: Le cycle du carbone

Avant toute combustion la biomasse absorbe le CO_2 de l'air au travers diverses réactions chimiques, dites de **photosynthèse**. C'est ainsi que la réaction type en **photosynthèse** des végétaux peut se traduire par la formule suivante, donnée ici à titre d'illustration :



Lors de la combustion il y a, à l'inverse, dégagement de dioxyde de carbone (CO_2) : c'est ce cycle (quasi- neutre) du CO_2 qui fait que la biomasse est classée «énergie renouvelable». En voici un exemple.

La quantité de carbone contenue dans une forêt étant directement proportionnelle au volume de bois présent, bien que variant certes selon les essences et les peuplements, on a pu calculer que la photosynthèse se produisant au sein de la forêt française piégeait (chiffes 1006) 66 millions de tonnes de CO_2 par an, soit entre 15 et 20 % des émissions annuelles françaises de CO_2 . Le phénomène, sur le plan du développement durable, est donc assez fondamental.

Raison 2: Biocombustibles et biocarburants

La biomasse peut être utilisée énergétiquement sous deux formes :

- . soit sous forme de **combustible**, dans les *chaudières* ou équipements de même type,
- . soit sous forme de **carburant**, dans les *moteurs*.

Dans le premier cas on parle de **biocombustible**, dans le second cas de **biocarburant**. Les **biocombustibles** se présentent sous des formes très diverses, et peuvent être :

- . soit du bois (sous différentes formes),
- . soit des végétaux spécifiques, ou des résidus solides de la biomasse,
- . soit des déchets solides ou liquides,
- . soit des gaz résultant de traitements divers.

Les **biocarburants**, assez nombreux, sont victimes de discussions multiples sur leur rôle dans le cycle du carbone.

Raison 3: Les Combustibles Dérivés

Il existe un certain nombre de gaz issus de la transformation de matières organiques qui peuvent, plus ou moins, revendiquer le titre d'énergies renouvelables, et qui appartiennent aussi bien à la biomasse primaire qu'à la secondaire (déchets). Ce sont en particulier, parmi ceux qui peuvent nous concerner, les combustibles suivants :

- . le méthane (le biogaz),*
- . l'hydrogène (le bio-hydrogène),*
- . le gaz naturel (le bio-SNG).*

*Le **biogaz** (pour l'essentiel du méthane).*

Le biogaz d'origine agricole fait, depuis 2011, l'objet d'une plus grande attention, avec la fixation de tarifs assez élevés de vente de ce combustible aux producteurs d'électricité.

L'importance du bois

*Sur le plan pratique, c'est le **bois** - sous des différentes formes - qui constitue l'apport actuel le plus important de la biomasse énergie*

2.4. La biomasse secondaire en utilisation directe

La «biomasse secondaire» concerne tous les produits organiques, ou assimilables, autres que le bois : il s'agit souvent de déchets utilisés directement ou après transformation en applications énergétiques

La caractéristique de base

Dans le secteur ici concerné la caractéristique la plus importante est le pouvoir calorifique, exprimé ici en kilowattheure par kilogramme [kWh/kg], et non pas en unité S.I., laquelle est le joule par kilogramme, ici le mégajoule par kilogramme [MJ/kg] pour mieux s'adapter aux ordres de grandeur.

Si vous avez à faire des conversions utilisez la relation suivante :

$$1 \text{ [kWh/kg]} = 3,6 \text{ [MJ/kg]}$$

Panorama des déchets

De façon très générale on peut classer les déchets de la manière suivante :

- les **déchets courants** (déchets des papiers sous toutes leurs formes, déchets de la voirie et des marchés, etc.), dont le pouvoir calorifique est voisin de 5 [kWh/kg];
- les **ordures ménagères**, dont le pouvoir calorifique varie généralement selon les saisons entre 1,5 et 2,2 [kWh/kg] ;
- les **déchets professionnels** (déchets des activités professionnelles telles que la construction ou les industries du bois, etc.), de pouvoirs calorifiques très variables, mais voisins des précédents ;
- les **déchets verts**, dont le pouvoir calorifique est voisin de 5,5 [kWh/kg] (5,2 à 5,8 en fait);
- les **boues des stations d'épuration (STEP)**, qui ne sont normalement utilisées - au plan énergétique - qu'à travers les procédures décrites au paragraphe suivant.

2.5. Le biogaz

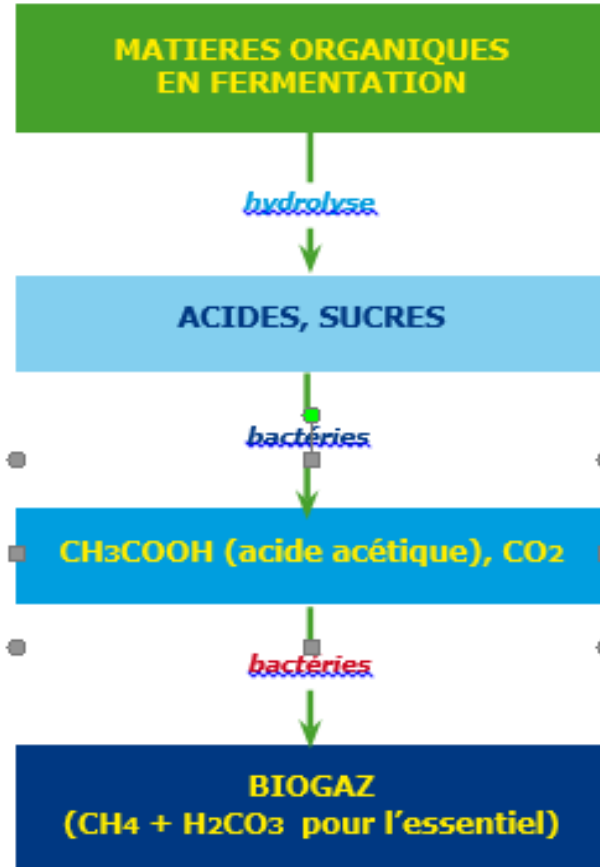
La dégradation par fermentation (en l'absence d'oxygène) de la biomasse et de ses déchets conduit à la production de **biogaz**, surtout constitué de **méthane** (CH_4). De sorte qu'ici l'essentiel des procédés peut être classé dans le cadre de la **méthanisation**, procédé purement chimique.

L'ensemble des processus équivaut, pour l'essentiel, à une fabrication de méthane, aboutissant au mélange suivant dit «biogaz» :

- . 55 à 65 % de méthane (CH_4),
- . 35 à 45 % d'acide carbonique (H_2CO_3), les impuretés (H_2S pour l'essentiel) représentant moins de 1 %.

Le méthane, s'il est rejeté à l'atmosphère, étant un gaz à très fort effet de serre, son utilisation comme combustible est très important en développement durable. L'utilisation des déchets par méthanisation est donc un aspect essentiel, même si l'on ne classe pas les déchets dans les énergies renouvelables. La technique s'applique aussi bien aux déchets agricoles (au tarif de rachat réglementé) qu'aux déchets ménagers.

LA FABRICATION DU BIOGAZ



Les réacteurs de méthanisation

Ces réacteurs - dits souvent «**digesteurs**» - sont des cuves (en béton ou en acier) où séjourne la matière en fermentation pendant une vingtaine de jours. Cette matière y est régulièrement brassée de façon à limiter les effets de décantation et la formation éventuelle d'une croûte en surface. Elle est, de plus et en cas de nécessité, régulièrement chauffée.

La production de biogaz dépend très fortement de l'origine des déchets, qui peuvent correspondre aux trois grandes catégories suivantes :

- . les déchets ménagers,
- . les déchets agricoles,
- . les déchets industriels (agro-alimentaire).

Définition de la puissance électrique

La puissance électrique consommée par un appareil électrique est égale au produit de la tension à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse.

1 Expression et unité de la puissance électrique

La puissance électrique se note P et s'exprime en Watt de symbole W .

$P = U \cdot I$ U : Tension en Volts et I : intensité en Ampère.

N.B. : - En courant alternatif, la relation $P = U \cdot I$ n'est valable que pour les appareils utilisant l'effet thermique (fer à repasser, réchaud électrique, lampe à incandescence ...)

- La puissance inscrite sur un appareil électrique est appelée **puissance nominale**. La tension inscrite en Volt représente la tension nominale.

La puissance nominale et la tension nominale sont les caractéristiques nominales de l'appareil.

Activité d'application 1

- a- Donne l'expression de la puissance l'expression de la puissance électrique consommée par un appareil électrique.
- b- Calcule la puissance électrique consommée par un réchaud électrique soumis à une tension $U = 220 \text{ V}$ et traversé par un courant d'intensité $I = 3,63 \text{ A}$.

Activité d'application 2

Dans une maison, les appareils suivants sont en fonctionnement :

- un téléviseur de 200 W ;
- un ventilateur de 150 W ;
- 4 lampes de 60 W chacune.

Détermine la puissance totale consommée dans cette maison.

Activité d'application 3

- 1) Un étudiant passe un aspirateur de puissance 1300 W dans sa chambre, pendant 8 minutes. Calculer, en joules, l'énergie transférée à cet appareil pendant la durée du nettoyage. Exprimer ensuite ce résultat en kWh.

- 2) Ce même étudiant révise son chapitre de sciences physiques pour le prochain contrôle pendant 1 heure et 30 minutes. Pour cela, il s'éclaire avec une lampe de bureau de 60 W. Calculer, en kWh, l'énergie transférée à cette lampe pendant cette révision. Exprimer ensuite ce résultat en joules.

- 3) Calculer le prix de cette séance de nettoyage et de révisions sachant que le prix d'un kilowattheure est de 0,0926 €.

Activité d'application 4

Pour décorer sa maison à l'approche du nouvel an, une famille a décoré l'extérieur de sa maison avec deux guirlandes de 160 ampoules chacune. Cela lui coûte environ 3 € par jour pour 4 heures de fonctionnement quotidien.



- 1) Calculer l'énergie transformée par les lampes chaque jour, sachant que le prix du kilowattheure est de 0,0926 €.
- 2) En déduire la puissance transformée par l'ensemble des lampes.
- 3) Calculer la puissance d'une lampe en supposant qu'elles sont toutes identiques.
- 4) Quelle somme aura déboursé cette famille pour cet éclairage si celui-ci décore sa maison durant 3 semaines ?

Corrigé de l'activité d'application

1 a- L'expression de la puissance électrique consommée par un appareil électrique est : $P=U.I$

b- La puissance électrique consommée par le réchaud $P = 220 \times 3,63 = 798,6W$

Corrigé de l'activité d'application 2

220 V est la tension nominale ; 600 W est la puissance nominale.

Puissance consommée dans une installation électrique

La puissance totale consommée dans une installation électrique est égale à la somme des puissances consommées par chaque appareil en fonctionnement.

Corrigé de l'activité d'application

La puissance totale consommée dans cette maison est : $P = 200 + 150 + (4 \times 60) = 590 W$.

Énergie électrique

2.1. Définition et expression L'énergie électrique consommée par un appareil est égale au produit de sa puissance nominale par la durée de fonctionnement.

$E = P \cdot \Delta t$ P : Puissance en W et Δt : Durée de fonctionnement.

2.2. Unités - Si Δt est exprimée en seconde, alors E est en Joule(J) - si Δt est exprimée en heure, alors E est en Wattheure (Wh)

Activité d'application

Un fer à repasser de puissance $P = 600 \text{ W}$ fonctionne pendant une demie ($\frac{1}{2}$) heure.

- Donne l'expression de l'énergie consommée par un appareil électrique.
- Détermine l'énergie électrique consommée par le fer à repasser en wattheure puis en joule.

Corrigé de l'activité d'application

a- L'expression de l'énergie consommée par un appareil électrique est : $E = P \cdot \Delta t$

b- l'énergie électrique consommée par le fer à repasser est : $E = 600 \times \frac{1}{2} = 300 \text{ Wh}$ ou $E = 600 \times 1800$

$E = 1080000 \text{ J}$ (car $\frac{1}{2}$ heure = 1800 s).

Pour décorer sa maison à l'approche du nouvel an, une famille a décoré l'extérieur de sa maison avec deux guirlandes de 160 ampoules chacune. Cela lui coûte environ 3 € par jour pour 4 heures de fonctionnement quotidien.

1) Calculer l'énergie transformée par les lampes chaque jour, sachant que le prix du kilowattheure est de 0,0926 €.

$$E = 3 \text{ €} / 0,0926 \text{ €} = 32,40 \text{ kWh}$$

2) En déduire la puissance transformée par l'ensemble des lampes.

$$E = P \cdot t \text{ donc } P = E / t = 32,40 \text{ kWh} / 4 \text{ h} = 8,1 \text{ kW} = 8100 \text{ W}$$

3) Calculer la puissance d'une lampe en supposant qu'elles sont toutes identiques.

$$\text{On a en tout } 2 \times 160 = 320 \text{ lampes}$$

$$\text{La puissance d'une lampe est de } 8100 / 320 = 25,31 \text{ W} \approx 25 \text{ W}$$

4) Quelle somme aura déboursé cette famille pour cet éclairage si celui-ci décore sa maison durant 3 semaines ?

$$3 \text{ semaines} = 21 \text{ jours}$$

$$3 \text{ €} \times 21 \text{ jr} = 63 \text{ € de dépensés}$$

Exercice 1

1) Un élève passe un aspirateur de puissance 1300 W dans sa chambre, pendant 8 minutes. Calculer, en joules, l'énergie transférée à cet appareil pendant la durée du nettoyage. Exprimer ensuite ce résultat en kWh.

$$8 \text{ minutes} = 8 \times 60 \text{ s} = 480 \text{ s}$$

$$E = P \cdot t = 1300 \cdot 480 = 624\,000 \text{ J}$$

$$E = 624\,000 / 3,6 \times 10^6 = 0,17 \text{ kWh}$$

2) Ce même élève révise son chapitre de sciences physiques pour le prochain contrôle pendant 1 heure et 30 minutes. Pour cela, il s'éclaire avec une lampe de bureau de 60 W. Calculer, en kWh, l'énergie transférée à cette lampe pendant cette révision. Exprimer ensuite ce résultat en joules.

$$1 \text{ h } 30 \text{ min} = 1,5 \text{ h}$$

$$60 \text{ W} = 0,06 \text{ kW}$$

$$E = P \cdot t = 0,06 \text{ kW} \times 1,5 \text{ h} = 0,09 \text{ kWh}$$

$$E = 0,09 \times 3,6 \times 10^6 = 324\,000 \text{ J}$$

3) Calculer le prix de cette séance de nettoyage et de révisions sachant que le prix d'un kilowattheure est de 0,0926 €.

$$\text{Le coût sera de } (0,17 + 0,09) \text{ kWh} \times 0,0926 \text{ €} = 0,024 \text{ €} = 2,4 \text{ cts}$$

Exercice 5

Un étudiant fait fonctionner son téléviseur 275 jours par an à raison de 3 heures par jour. Il le laisse en veille le reste du temps, c'est à dire 21 heures par jour pendant 275 jours et 24 heures par jour pendant les 90 jours restant dans l'année. La puissance du téléviseur est de 100 W quand il fonctionne et de 20 W quand il est en veille.

- 1) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en fonctionnement pendant une année.
- 2) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en veille pendant une année.
- 3) En déduire le coût de l'économie réalisée qu'il réaliserait chaque année en éteignant son téléviseur sachant que le prix du kilowattheure est de 0,0926 €.

CORRECTION EXERCICE 5

Exercice 5

Ce étudiant fait fonctionner son téléviseur 275 jours par an à raison de 3 heures par jour. Il le laisse en veille le reste du temps, c'est à dire 21 heures par jour pendant 275 jours et 24 heures par jour pendant les 90 jours restant dans l'année. La puissance du téléviseur est de 100 W quand il fonctionne et de 20 W quand il est en veille.

1) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en fonctionnement pendant une année.

$$E = P \cdot t = 100 \text{ W} \times 3 \text{ h} \times 275 \text{ jr} = 82\,500 \text{ Wh} = 82,5 \text{ kWh}$$

2) Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en veille pendant une année.

$$E = P \cdot t = 20 \text{ W} \times (21 \text{ h} \times 275 \text{ jr} + 24 \text{ h} \times 90 \text{ jr}) = 158\,700 \text{ Wh} = 158,7 \text{ kWh}$$

3) En déduire le coût de l'économie réalisée qu'il réaliserait chaque année en éteignant son téléviseur sachant que le prix du kilowattheure est de 0,0926 €.

$$\text{L'économie serait de } 158,7 \text{ kWh} \times 0,0926 \text{ €} = 14,70 \text{ €}$$

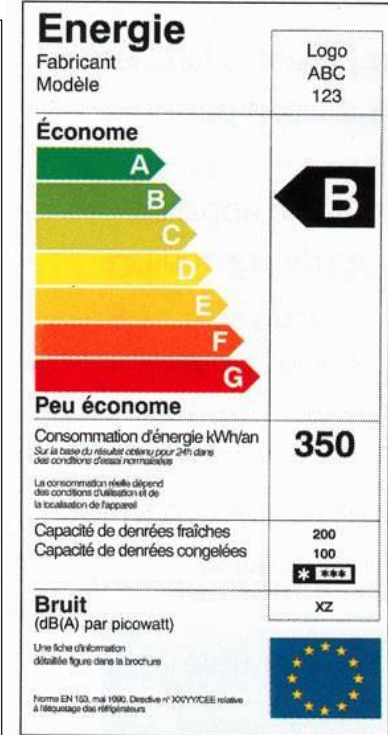
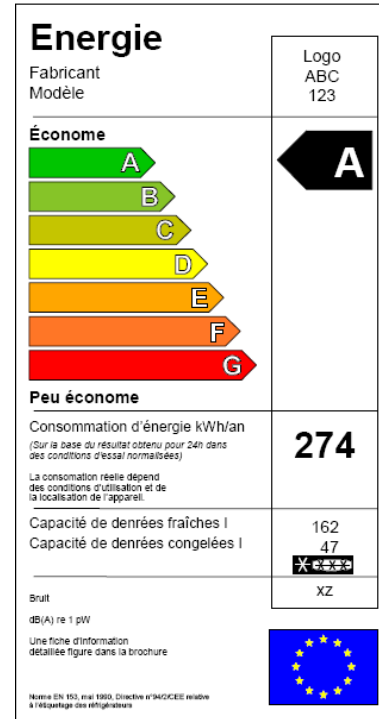
Exercice 6

Voici deux étiquettes énergie de congélateurs.

1) Dans quelle classe sont rangés les appareils qui consomment le moins de courant électrique ?

2) Calculer le prix annuel de l'énergie transférée à chacun de ces deux appareils. On prendra pour prix du kWh : 0,0926 €.

3) Quelle économie annuelle a-t-on entre l'appareil de



CORRECTION

Voici deux étiquettes énergie de congélateurs.

1) Dans quelle classe sont rangés les appareils qui consomment le moins de courant électrique

La classe A

2) Calculer le prix annuel de l'énergie transférée à chacun de ces deux appareils. On prendra pour prix du kWh : 0,0926 €.

Pour le congélateur de classe A :

274 kWh/an x 0,0926 € = 25,37 € Pour le congélateur de classe B :

350 kWh/an x 0,0926 € = 32,41 €

3) Quelle économie annuelle a-t-on entre l'appareil de classe A et celui de classe B ?

L'économie annuelle est de $32,41 - 25,37 = 7,04$ €

PARTIE 2: HYDRAULIQUES

Les énergies renouvelables: L'énergie hydraulique



L' énergie hydraulique est une forme d'énergie renouvelable qui utilise la force de l'eau en mouvement pour générer de l'électricité.

Les petits barrages

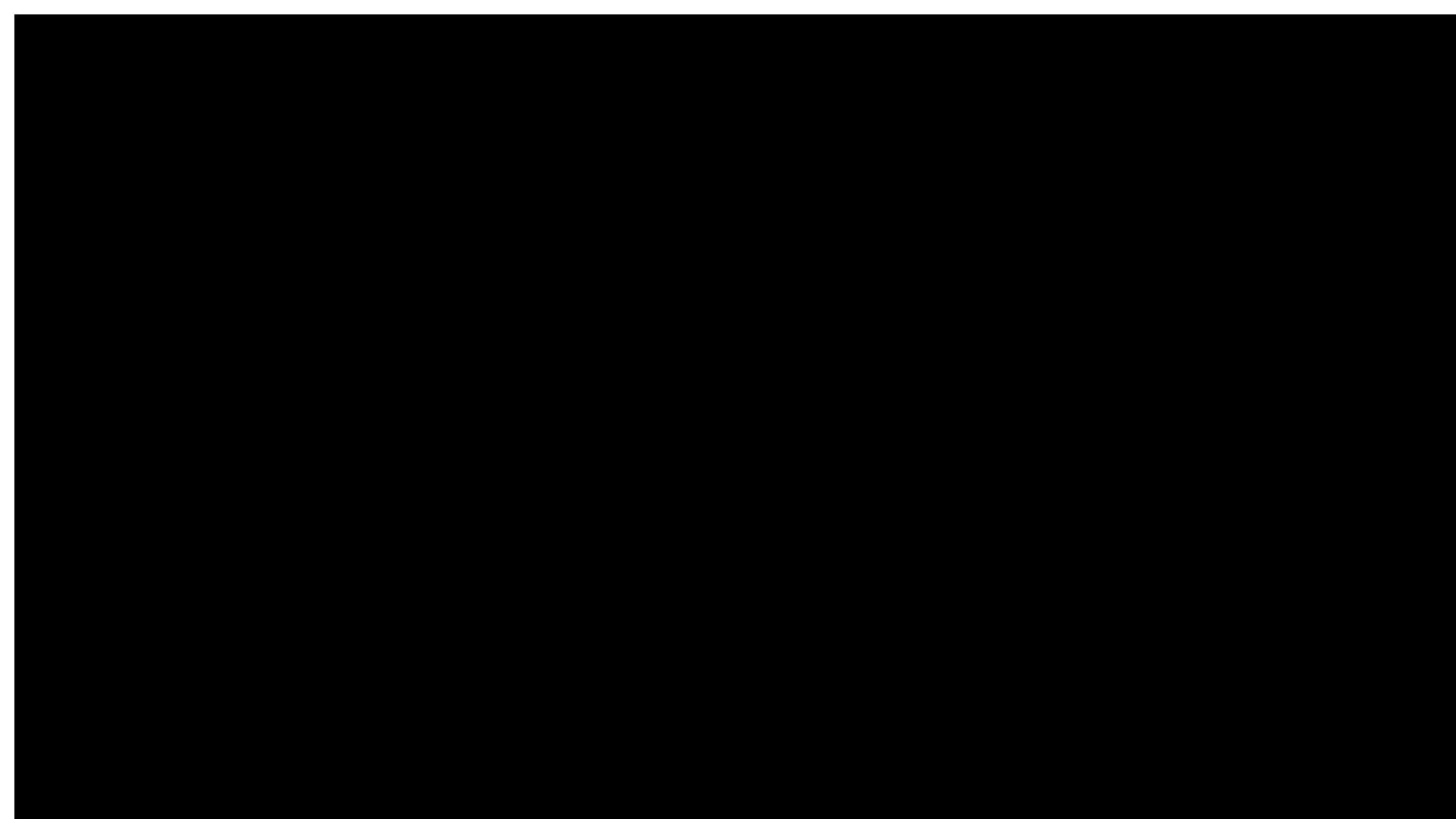


Une solution décentralisée intéressante consiste à développer les petits barrages (10 à 100 kW). Il en existait environ 100 000 de ce type vers 1900, il en subsiste environ le tiers, qui peuvent être équipés de turbines efficaces de production d'électricité.

De telles installations viennent compléter les centrales électriques hydrauliques collectives de moins de 5 MW mais souvent de plus de 5 MW, l'utilisation étant réservée au réseau public.

Il existe, toutefois, des cas où une chute d'eau locale peut être directement utilisée, plus ou moins indépendamment du réseau extérieur. De telles installations, dites «**micro-hydrauliques**», ont des puissances de l'ordre de *quelques dizaines de kilowatts*.

PARTIE 3: LA GÉOTHERMIE

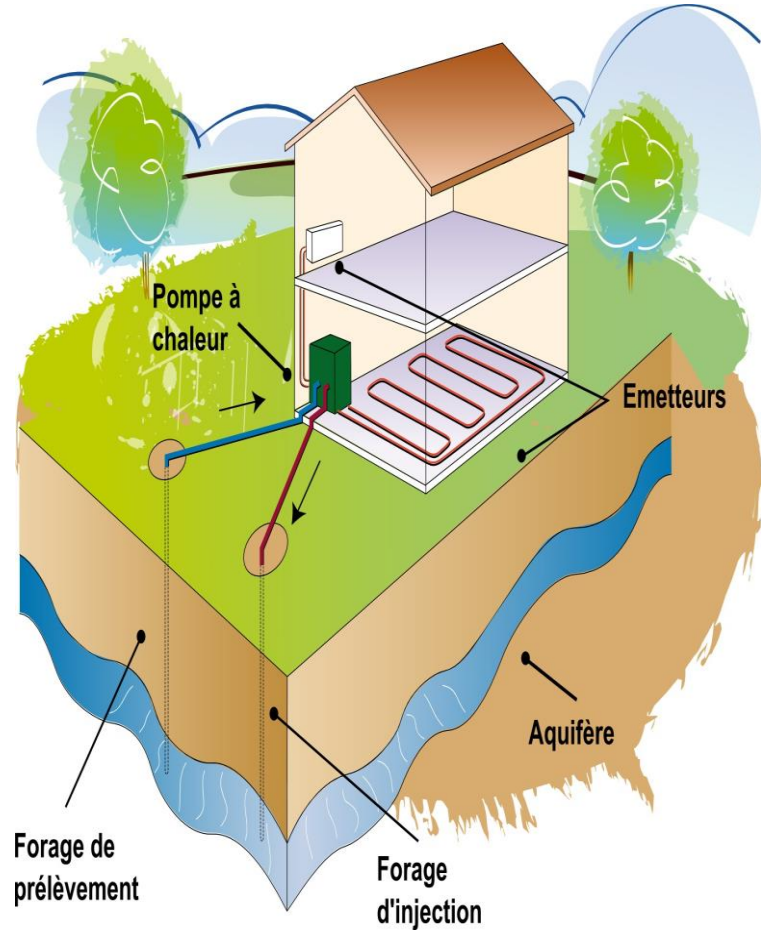


La température du sol et les géothermies

La **géothermie** consiste à utiliser les températures plus ou moins élevées du sous-sol en profondeur. Voici les phénomènes qui sont en cause.

L'équilibre géothermique

Le sol reçoit des profondeurs un flux dit **flux géothermique**, en moyenne de l'ordre de $1,5 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Ce flux s'oppose à celui reçu, à la surface, de l'atmosphère, ce qui entraîne un certain équilibre qui se traduit, dans les terrains sédimentaires, par un **gradient géothermique** (augmentation de température avec la profondeur) .



PARTIE 4:L'ÉOLIEN



LA STRUCTURE DU VENT

La référence météorologique

La vitesse du vent, exprimée en mètre par seconde [m/s], est mesurée traditionnellement dans les observatoires météorologiques, en espace dégagé, à 10 [m] au-dessus du sol. C'est la valeur prise souvent comme référence, qu'il s'agisse de valeur climatique moyenne (mensuelle, annuelle) ou de valeur météorologique à un heure donnée de chaque jour.

Le gradient vertical de vitesse du vent

d'une manière générale la vitesse du vent croît au fur et à mesure qu'on s'éloigne du sol, mais le profil des vitesses en résultant dépend du relief et de la structure des obstacles et constructions au sol. Et ce non seulement dans la zone construite elle-même, mais même assez loin au voisinage

Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes de parcs

Les parcs éoliens utilisent essentiellement des unités possédant les caractéristiques types suivantes (illustration ci-contre) :

- une capacité unitaire de 2 MW (*puissance nominale*),
- avec une nacelle, placée entre 90 et 105 mètres de hauteur, qui contient les pièces essentielles,
- . des pales de 45 mètres de long,
- . le tout aboutissant à un encombrement horizontal de 90 mètres (souvent plus de 150 m de haut).

Chaque unité pèse 250 tonnes , dont 72 tonnes pour la nacelle placée entre 90 et 105 mètres de hauteur au bout du mât.

D'autres éoliennes peuvent avoir des caractéristiques plus lourdes, mais sont encore rares : la plus grosse éolienne (allemande, de 6 MW), possède un rotor de 126 m de diamètre, fixé à 131 m de hauteur.

Les éoliennes offshore

L'implantation maritime (offshore)

L'implantation des éoliennes terrestres peut se heurter à de multiples obstacles. Ce qui a conduit à envisager - et réaliser - des installations en mer. Cette solution, à priori très intéressante par suite des caractéristiques du vent en mer, se heurte à trois obstacles :

- . le coût de la solution offshore par rapport à l'implantation terrestre (de l'ordre de presque le double),
- . le rôle du fond d'océan sur lequel sont fixés les mats éoliens, ce qui exclut certains fonds ne permettant pas une rigidité suffisante ;
- . la limitation raisonnable de la profondeur d'eau acceptable, au maximum de l'ordre de 50 mètres.

Les éoliennes flottantes

Avec les éoliennes «flottantes» il s'agit d'éviter les contraintes en matière de qualité du sol et en matière de profondeur. L'exemple type est celui d'éoliennes flottantes de grande puissance (ex. 3 MW), avec un moyeu situé à 80 mètres au-dessus de l'eau et des pales de plus de 110 mètres de diamètre.

Au lieu d'être fixées au fond les éoliennes flottantes reposent sur une plateforme métallique semi-submersible, lestée et ballastée.

Plusieurs fermes éoliennes de ce type sont actuellement prévues dans plusieurs pays notamment en Europe.

Les performances éoliennes

L'importance de la taille

Une *éolienne de parc* (de type désormais classique) possède les caractéristiques suivantes :

- un rotor de 70 [m] de diamètre sur un mat de 80 [m],
- une puissance crête de l'ordre de 2 [MW].

Pour éviter les inconvénients liés parfois à ces dimensions importantes on a tenté de développer des «*éoliennes locales*» possédant des caractéristiques plus modestes mais néanmoins avec des dimensions encore un peu encombrantes :

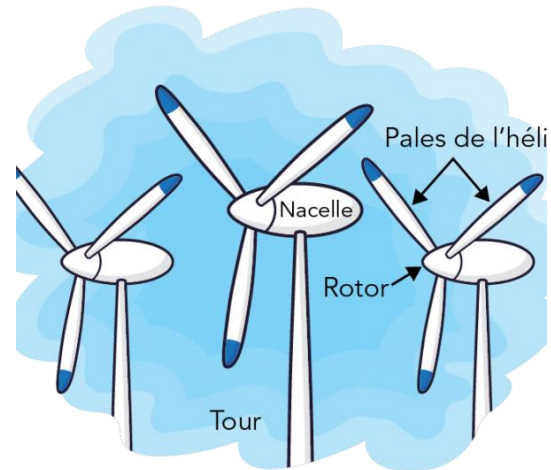
- . par exemple un rotor de 10 [m] de diamètre sur un mat de 15 [m],
- . pour une puissance de crête de 15 [kW].

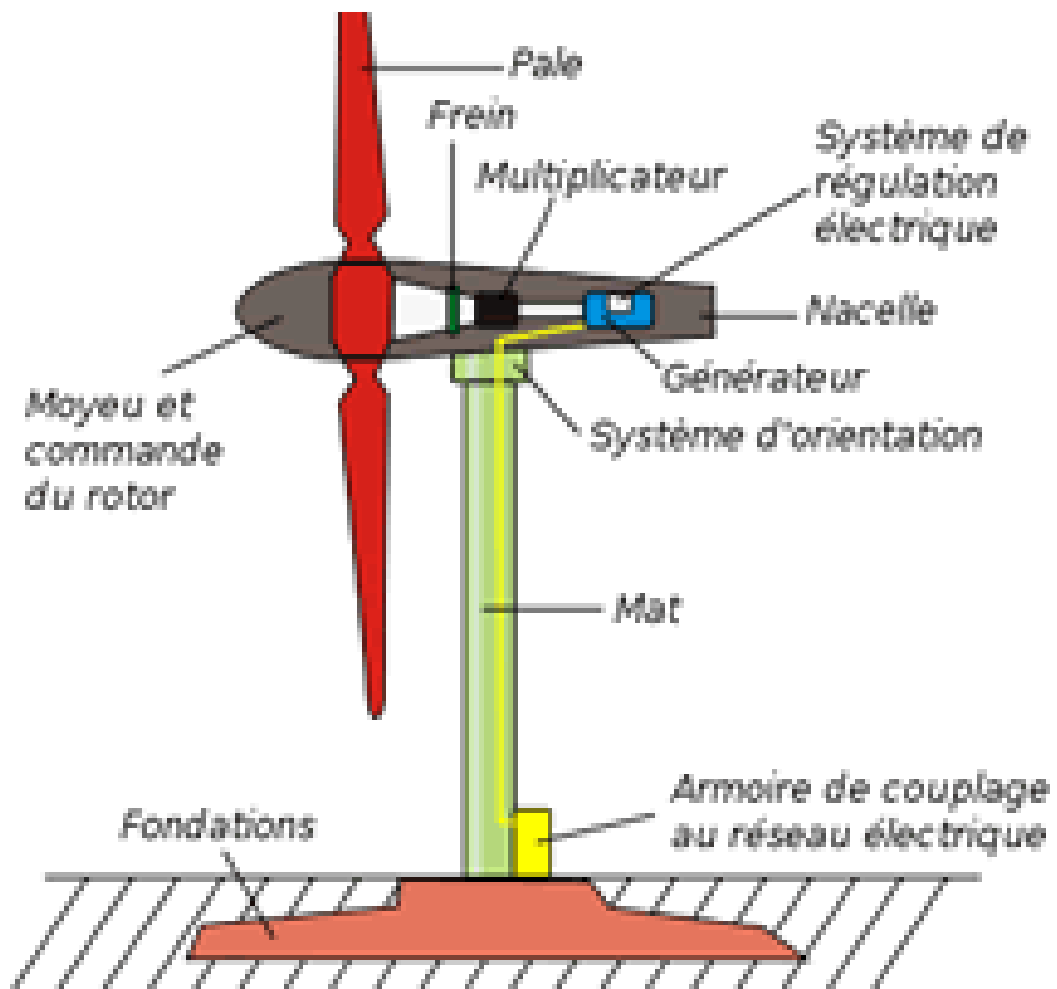
Les mini-éoliennes

D'où l'idée de réaliser, en revenant sur des exemples anciens, des *mini-éoliennes*, généralement plus ou moins intégrées au bâtiment. Possédant par exemple les caractéristiques suivantes :

- . un rotor de 1,75 [m],
- . pour une puissance de crête de moins de 70 [W].

En fait la puissance de crête de ces mini-éoliennes ne dépasse généralement pas 30 à 70 [W], ce qui leur enlève beaucoup d'intérêt, surtout compte-tenu de l'action défavorable du bâtiment et du site (plus ou moins urbain) sur les caractéristiques du vent. C'est dire le faible intérêt des éoliennes qui se veulent intégrées au bâti.





Comment fonctionne un parc éolien en mer

Les éoliennes « offshore » profitent d'un vent plus fort et plus régulier. Elles fonctionnent ainsi à pleine puissance environ 45% du temps.

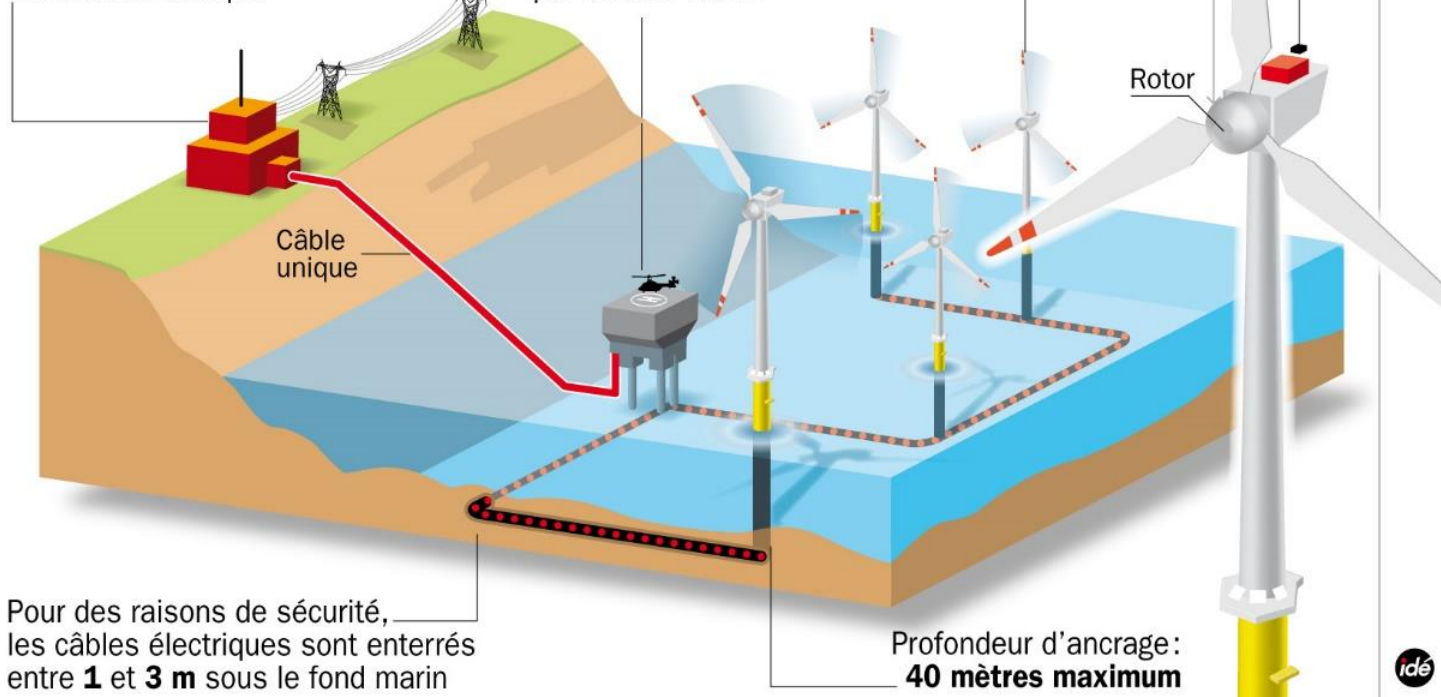
Station électrique terrestre

La tension est portée à **400 000 volts** avant d'être injectée dans le réseau électrique

Poste de transformation en mer

Il minimise les pertes en ligne en maximisant la capacité électrique. Il est relié à la station terrestre par un seul câble

Puissance:
de **3,5 à 7 MW**
par éolienne



Pour des raisons de sécurité, les câbles électriques sont enterrés entre **1** et **3 m** sous le fond marin

Profondeur d'ancrage: **40 mètres maximum**



Énergie électrique consommée dans une installation électrique

L'énergie électrique consommée dans une installation électrique est mesurée par un compteur d'énergie placée à l'entrée de l'installation.

Dans une installation électrique, l'énergie électrique consommée est égale à la somme des énergies consommées par chaque appareil en fonctionnement.

Facture d'électricité

La consommation :

C'est la différence entre le nouveau et l'ancien index.

Le montant HT (hors taxes)

C'est le produit de la consommation par le prix du KWh.

Le montant TTC

C'est la somme du montant HT et de la **TVA** (taxe à la valeur ajoutée).

Le montant total à payer :

C'est la somme du montant TTC + la Prime fixe + les autres taxes (Redevance RTI, Taxe communale, Timbre, etc...).

Activité d'application

Sur la facture d'électricité de ta maison, sont inscrites les informations suivantes :

Index		Tarifification	TVA + Taxes
Ancien	Nouveau	60 F le KWh	5 860 F
0807551	0807901		

Détermine :

- a- La consommation **C** d'énergie de ta maison.
- b- Le montant **M** de la consommation.
- c- Le montant **MC** de la facture.

CORRECTION

Corrigé de l'activité d'application

a- La consommation d'énergie de ta maison est :

$$C = 0807901 - 0807551 = 350 \text{KWh}$$

b- Le montant de la consommation M est : $M = 350 \times 60 = 21\,000 \text{F}$

c- Le montant de la facture est : $MC = 21000 + 5860 = 26\,860 \text{F}$

Activité d'application

Dans une installation domestique, on a les appareils dont les puissances et les durées de fonctionnement sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Appareils	5 lampes	réfrigérateur	Téléviseur	Ventilateur
Puissance	60 W chacune	200 W	180 W	120 W
Durée de fonctionnement	4 h	16 h	3h 30min	8 h

Détermine l'énergie électrique consommée dans cette maison.

Corrigé de l'activité d'application

Appareils	5 lampes	réfrigérateur	Téléviseur	Ventilateur	
Puissance	60 W chacune	200 W	180 W	120 W	
Durée de fonctionnement	4 h	16 h	3h 30min	8 h	
<i>Energie consommée</i>	<i>1200 Wh</i>	<i>3200 Wh</i>	<i>630 Wh</i>	<i>960 Wh</i>	<i>5990 Wh</i>

L'énergie électrique consommée dans cette maison est : $1200 + 3200 + 630 + 960 = 5990 Wh$

PARTIE 5: SOLAIRE

LE SOLAIRE

LE SOLAIRE : SURVOL

□ L'utilisation du rayonnement solaire : une ambition déjà ancienne

En bâtiment la prise en compte du rayonnement solaire est une exigence assez fondamentale, qui peut se traduire par trois catégories de dispositions.

1. Le solaire joue, normalement, un rôle fondamental dans la conception même des bâtiments, les choix architecturaux classiques le prenant en compte au plan de l'orientation des bâtiments et des vitrages.

2. Cette prise en compte peut également donner lieu à des dispositions architecturales particulières, ce qu'il est convenu d'appeler le **solaire passif**, le «mur Trombe» en étant l'illustration principale.

3. Il est également possible de faire appel à des systèmes spécifiquement conçus pour utiliser l'énergie solaire, basés sur l'emploi de dispositifs captant directement le rayonnement : les *capteurs*. Dans ce cas, où l'on fait appel à des dispositifs très spécifiques, nous disons qu'il s'agit de **solaire actif**.

❖ **Le solaire passif et la conception des bâtiments**

Les points essentiels de la conception «solaire» des bâtiments, y compris les dispositifs spécifiques de solaire passif, sont traités plus loin, dans les fiches auxquelles il vous faudra vous reporter, qui renvoient elles-mêmes à d'autres livrets.

Le classement des systèmes solaires adopté

En laissant de côté les fours solaires, nous retenons trois catégories de systèmes :

- . **le solaire thermique passif**, examiné plus en détail à la suite,
- . **le solaire actif thermique**,
- . **et le solaire actif photovoltaïque**.

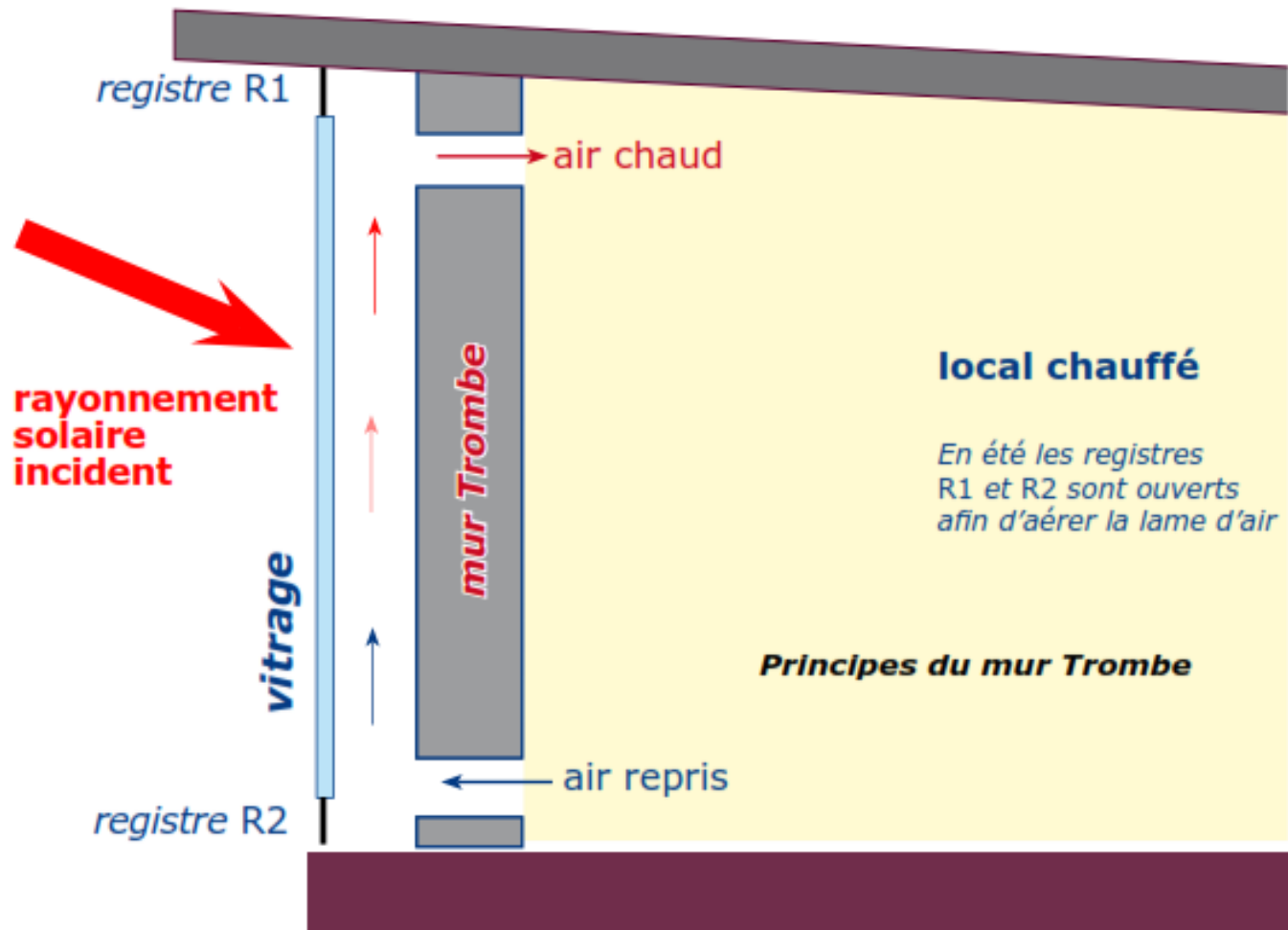
Le solaire passif

Nous appelons «**solaire passif**» toute technique qui permet de réduire les besoins de chauffage grâce à une conception adéquate du bâti, *sans recourir - sauf pour l'appoint - à des installations spécifiques* telles que celles que nous examinerons dans le cadre du solaire actif.

Nous retenons ici deux procédés passifs :

. la récupération *par les vitrages*, utilisant une intégration naturelle et forte au bâti, Les vitrages ;

. l'utilisation de murs extérieurs sous la forme que nous appelons *héliodynamique*, dits souvent «*murs Trombe*» (du nom de leur «inventeur» français), système dont les principes sont illustrés au schéma ci- dessous;



En dehors de la solution qui consiste à utiliser - pour le chauffage d'ambiance - les apports gratuits

à travers les vitrages normaux, le solaire thermique passif est essentiellement représenté par le «*mur Trombe*» (du nom de son auteur), illustré ci-dessus. L'air ascendant, contenu dans la lame d'air derrière le vitrage, s'échauffe sous l'action du soleil, et se répartit alors dans le local arrière (dit «local chauffé» dans le schéma).

Ce système n'a connu que très peu d'applications. De plus son efficacité est, malheureusement, insuffisante dans le cadre des développements actuels.

❖ Le solaire actif

Les systèmes actifs utilisent des capteurs chargés de recueillir le rayonnement solaire direct et diffus. Les différents systèmes que nous retenons sont les suivants :

. ceux qui utilisent des **capteurs thermiques**, utilisés pour le chauffage des piscines, la production d'eau chaude, le chauffage d'ambiance;

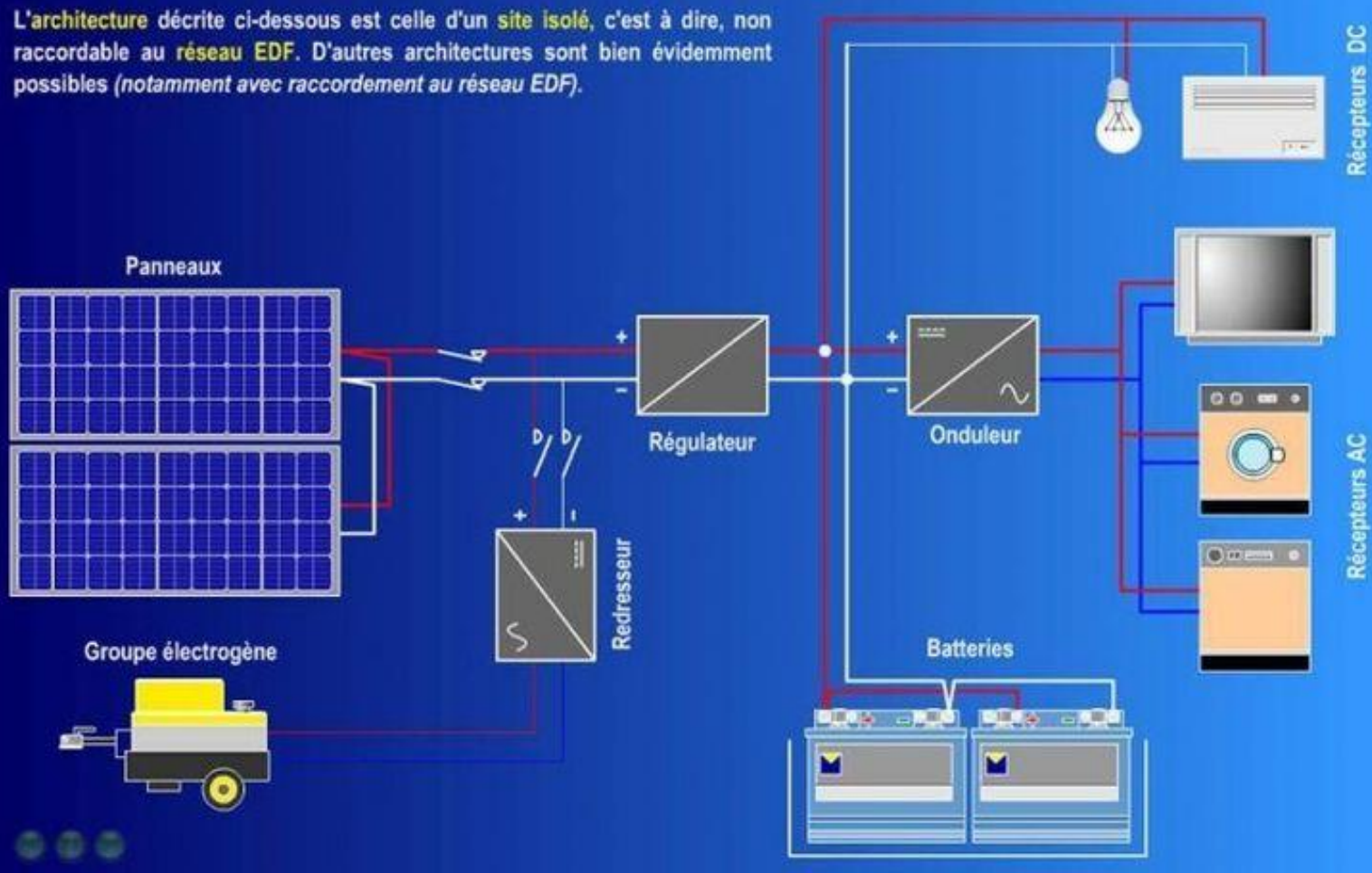
. les **fours solaires**, destinés à des usages «haute température»;

. les capteurs destinés à la production directe d'électricité par **panneaux photovoltaïques**. Les systèmes solaires **actifs** à base de capteurs thermiques peuvent être utilisés : soit pour produire de l'**eau chaude** dans les services classiques d'eau chaude, soit pour réchauffer l'eau des **piscines**, . soit pour **chauffer** des locaux, soit pour produire de la **chaleur à usage professionnel**, soit pour produire (indirectement) du **froid** - pour la climatisation en particulier

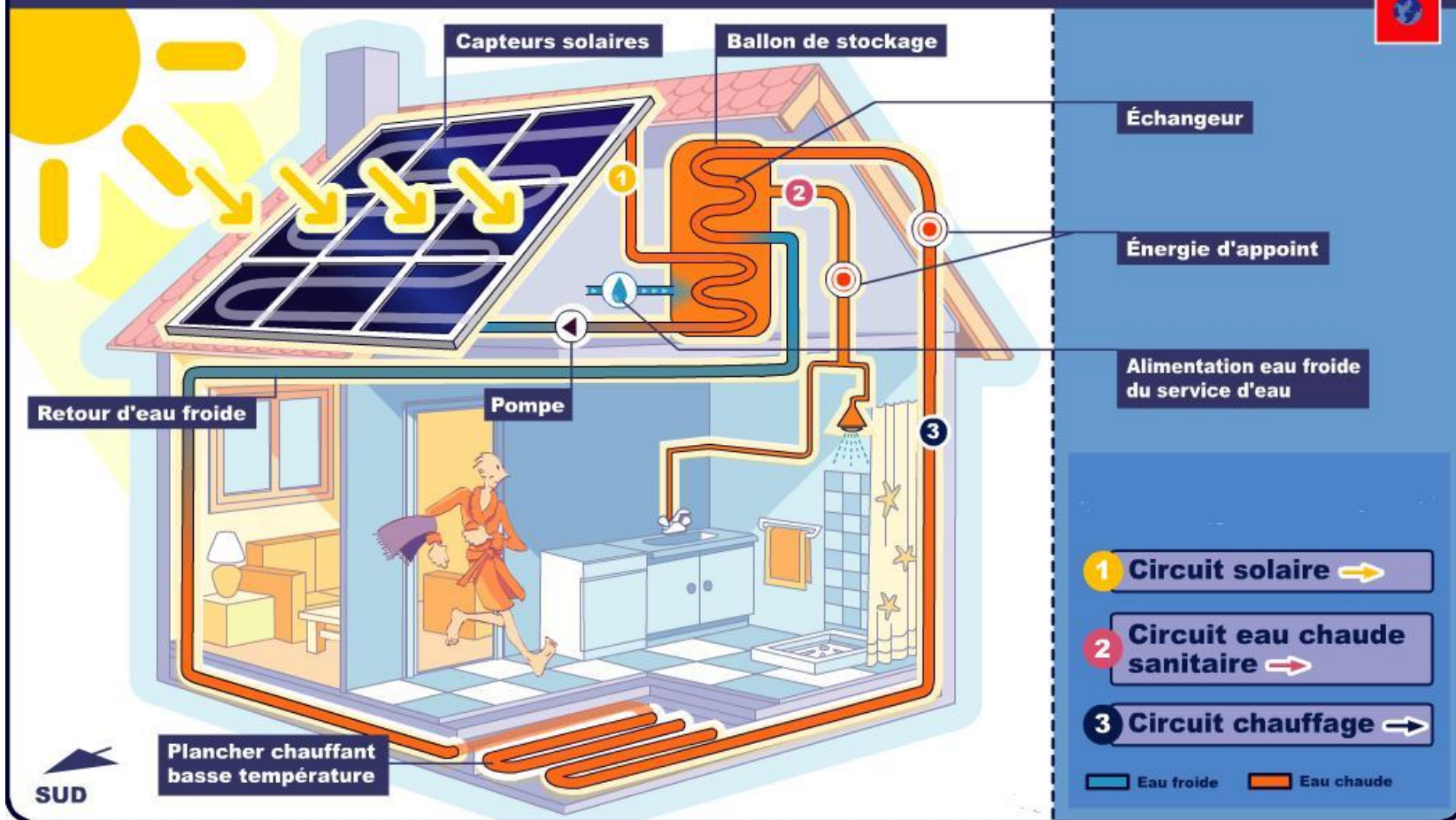
Les capteurs solaires

L'architecture décrite ci-dessous est celle d'un **site isolé**, c'est à dire, non raccordable au **réseau EDF**. D'autres architectures sont bien évidemment possibles (notamment avec **raccordement au réseau EDF**).

Architecture d'une installation solaire



Chauffage et eau chaude solaire



CHAPITRE 7: LE SOLAIRE THERMIQUE ACTIF

❑ Le classement des systèmes thermiques actifs

le classement courant

Il est commode de distinguer cinq systèmes :

1. Les *services d'eau chaude de piscine*,
2. Les *chauffe-eau solaires individuels*, dits souvent «CESI», le système le plus courant,
3. Les *services solaires d'eau chaude*, en habitat collectif ou bâtiment tertiaires,
4. Les *systèmes solaires combinés* (eau chaude + chauffage), dits souvent «SSC».
5. Les *systèmes solaires de chauffage* seul (systèmes actifs simples, soit à eau, soit à air).

D'une manière générale ce sont surtout des systèmes utilisés dans les productions d'eau chaude, en complément de productions de chaleur à combustion ou électriques

LES CAPTEURS SOLAIRES

➤ Les capteurs de base

Le solaire thermique utilise des capteurs chargés de recueillir, localement, le rayonnement solaire. Ces capteurs (thermiques) appartiennent à l'une des quatre catégories suivantes :

. ou bien il s'agit d'**absorbeurs**, de simples tubes méplats en général, permettant de réchauffer l'*eau des piscines* intérieures ou extérieures de quelques degrés (3 à 4 K en général);

. ou bien il s'agit de **capteurs plans à eau** les plus courants en France, utilisés surtout dans les *services d'eau chaude*, plus rarement en *chauffage à eau chaude*;

. ou bien il s'agit de **capteurs plans à air**, rares en France, servant à réchauffer l'air dans les systèmes de *chauffage à air chaud*;

. ou bien il s'agit de **capteurs à tubes sous vide**, fournissant un fluide (frigorigène en général) à assez hautes températures, capteurs surtout destinés à des installations spécifiques.

➤ Les absorbeurs simples

Les absorbeurs sont les capteurs les plus simples, ne comportant pas de vitrage. Ils sont utilisés pour le réchauffage d'eau de piscine (jusqu'à 30 °C selon certaines conventions). Ce sont, aujourd'hui, des nattes flexibles ou des ensembles de tubes en matériaux de synthèse de couleur noire, peu coûteux. Ils sont couramment dénommés «*moquettes solaires*». Ils se raccordent tout simplement sur le circuit de filtration d'eau de piscine, sous réserve que la puissance de la pompe de filtration le permette.

➤ Les capteurs à air

Peu utilisés actuellement les **capteurs à air**, normalement utilisables en chauffage à air chaud, et surtout pour le préchauffage de l'air de ventilation

CHAPITRE 8: LES «COMBUSTIBLES RENEUVELABLES»

De quoi s'agit-il?

Les énergies renouvelables sont finalement, et par définition technique :

- . en dehors de celles qui ne rejettent aucun carbone à l'atmosphère,
- . **celles qui rejettent une quantité de carbone égale à celle qui a été puisée** précédemment dans l'atmosphère.

Ce sont ce que nous appelons les «combustibles renouvelables», qui ne sont encore qu'au stade du développement.

1. En utilisant l'énergie du vent on produit de l'**électricité**, mais celle-ci n'est pas renvoyée au réseau public, étant directement utilisée pour fournir de l'**hydrogène**, lequel sert de médium intermédiaire.
2. En absorbant du **carbone** de l'atmosphère qu'on combine avec l'hydrogène précédent on obtient du **méthane** (CH₄), qui sert de médium de stockage pour lutter contre les incertitudes du vent.
3. Ce méthane sert finalement de **combustible gazeux** traditionnel dans les installations de production de chaleur à combustion.

Le point important est le suivant : la combustion du méthane rejette du carbone à l'atmosphère, mais ce n'est pas autre chose que le carbone absorbé dans l'atmosphère au début du cycle.

**Merci pour votre attention et
vos contributions!**

**Vous trouverez le support du cours sur le lien
suivant:www.perso.usp.edu.ci/egoran.blandine/accueil/**

