

Ressources

Physique chimie Combustion Document « ressources »


Objectifs :

A la fin de la séance, vous devez être capable :

- **Choisir** une source d'énergie
- **Choisir** la production de chaleur en adéquation avec le bâtiment et les émetteurs

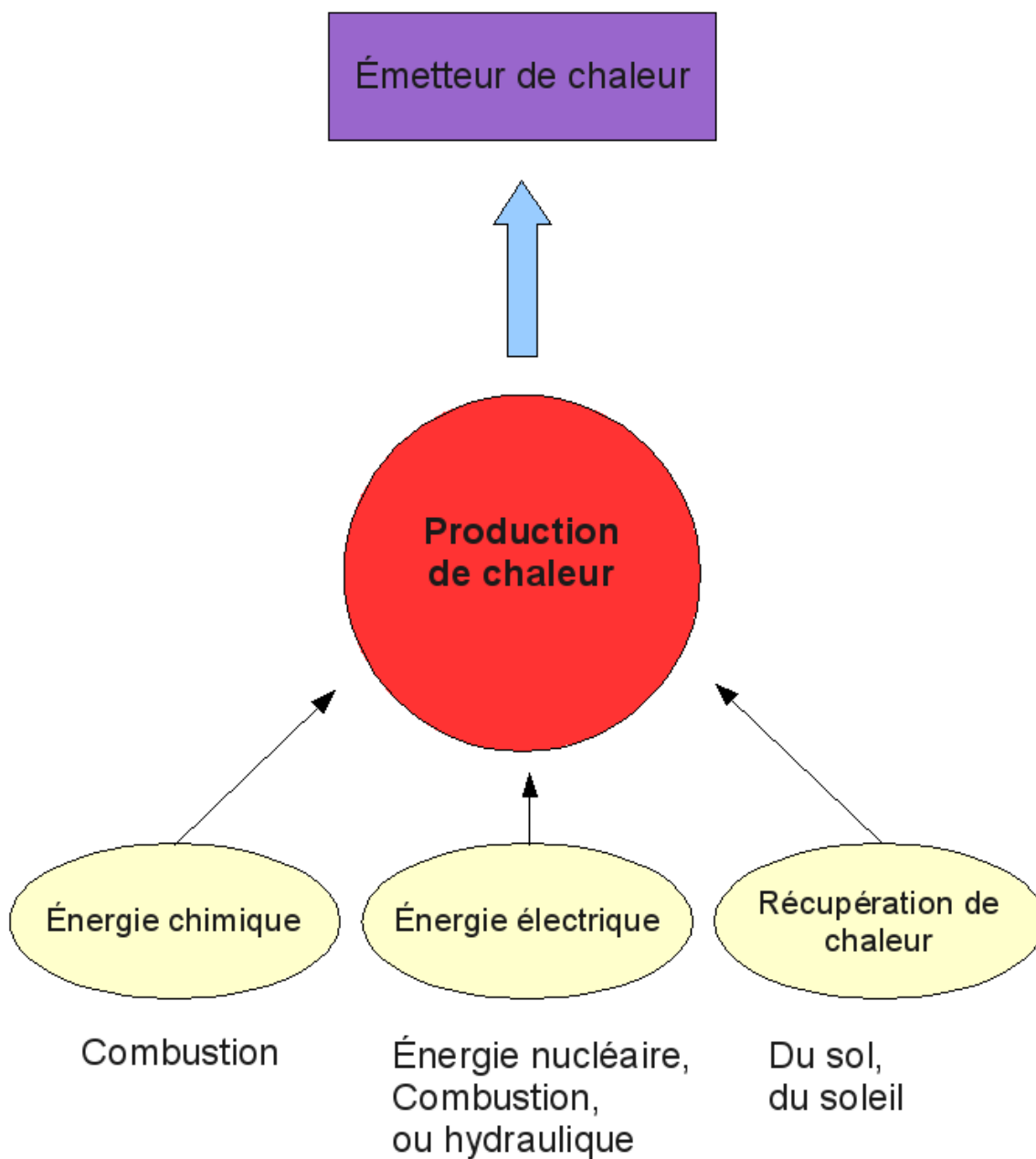
Sommaire

I : Production de chaleur par combustion.....	5
I.1.a : Définition.....	5
I.1.b : Réactions de base de la combustion.....	6
II : Les combustibles.....	7
II.1 : les combustibles gazeux.....	7
II.2 : Les combustibles liquides.....	8
II.3 : Les combustibles solides.....	8
II.4 : Les comburants.....	9
II.5 : Étude thermique de la combustion.....	9
II.5.a : Température théorique de combustion.....	9
II.5.b : Température de rosée des produits de combustion (ou fumées).....	10
II.5.c : Pouvoirs calorifiques.....	10
II.5.d : Pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.).....	10
II.5.e : Pouvoir calorifique inférieur P.C.I.....	11
II.5.f : Relation entre PCS et PCI.....	11
II.6 : Les différents types de combustion.....	12
II.6.a : Les conditions de combustion.....	12
Combustion d'un gaz.....	12
Combustion d'un fioul.....	12
II.6.b : Étude des différents types de combustion.....	13
Combustion complète en défaut d'air ou réductrice.....	13
Combustion complète en excès d'air ou oxydante.....	13
II.6.c : Pouvoir comburivore V_a	14
II.6.d : Pouvoir fumigène V_{fo} ou V'_{fo}	14
II.7 : Les grandeurs caractéristiques de la combustion.....	14
II.7.a : Facteur d'air ou taux d'aération F_a ou n	14
II.7.b : Teneur en CO_2 des produits de combustion secs γ_{CO_2}	15
II.7.c : Teneur en O_2 des produits de combustion secs γ_{O_2}	15
III : Technologie des chaudières.....	16
III.1 : Principes.....	16
III.2 : Le brûleur.....	16
III.3 : Le corps de chauffe.....	17
III.4 : Puissance installée d'une chaudière.....	18

	Physique chimie	18/06/2014
---	-----------------	------------

IV :Production de chaleur électrique.....	20
IV.1 :Principe.....	20
IV.2 :Rendement.....	20
IV.3 :Production de chaleur par récupération de l'énergie du sol ou de l'air.....	21
IV.4 :Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur.....	21
IV.5 :Limite de fonctionnement de ce type de système.....	21
IV.6 :Rendement de ce type d'installation.....	22

Production de chaleur



I : Production de chaleur par combustion

I.1.a : Définition

La réaction chimique de combustion ne peut se produire que si l'on réunit trois éléments : un combustible, un comburant, une énergie d'activation en quantités suffisantes. On représente de façon symbolique cette association par le triangle du feu. De la même manière, la combustion cesse dès qu'un élément du triangle est enlevé.

Le combustible peut être :

- un solide formant des braises (bois, papier, carton, tissu, PVC, ...) ;
- un liquide ou solide liquéfiable (essence, gazole, huile, kérosène, polyéthylène, polystyrène, ...) ;
- un gaz (butane, propane, méthane, dihydrogène, ...) ;
- un métal (fer, aluminium, sodium, magnésium, ...).

Ces quatre points correspondent respectivement aux quatre principales classes de feux A, B, C et D.

Le comburant est l'autre réactif de la réaction chimique. La plupart du temps, il s'agit de l'air ambiant, et plus particulièrement de l'un de ses composants principaux, le dioxygène. En privant un feu d'air, on l'éteint ; par exemple, si on place une bougie chauffe-plat allumée dans un bocal de confiture et qu'on ferme le bocal, la flamme s'éteint ; à l'inverse, si l'on souffle sur un feu de bois, cela l'active (on apporte plus d'air). Dans certains chalumeaux, on apporte du dioxygène pur pour améliorer la combustion.

Source : Wikipedia

I.1.b : Réactions de base de la combustion

a) Carbone + Oxygène = Dioxyde de carbone + Chaleur
 b) Hydrogène + Oxygène = Vapeur d'eau + Chaleur
 c) Soufre + Oxygène = Dioxyde de soufre + Chaleur

a) $C + O_2 = CO_2 + \text{Chaleur}$



b) $2H_2 + O_2 = 2H_2O + \text{Chaleur}$



c) $S + O_2 = SO_2 + \text{Chaleur}$



source : documentation Weisshaupt

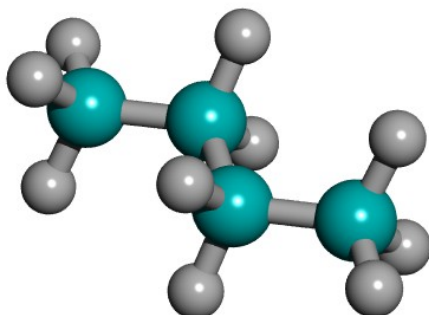
II : Les combustibles

II.1 : les combustibles gazeux

Ce sont des produits de la fermentation de la biomasse dans le sol, ce sont des chaînes d'atomes de carbone plus ou moins longues (pas plus de 4) dont les liaisons libres sont complétées par des atomes d'hydrogène

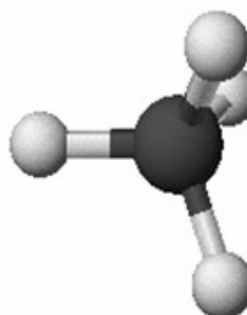
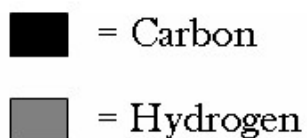
Le GPL

C'est un mélange de butane (4 atomes de carbone) et de propane (3 atomes de carbone) qu'on maintient à haute pression de manière à le garder sous forme liquide



Le gaz de ville

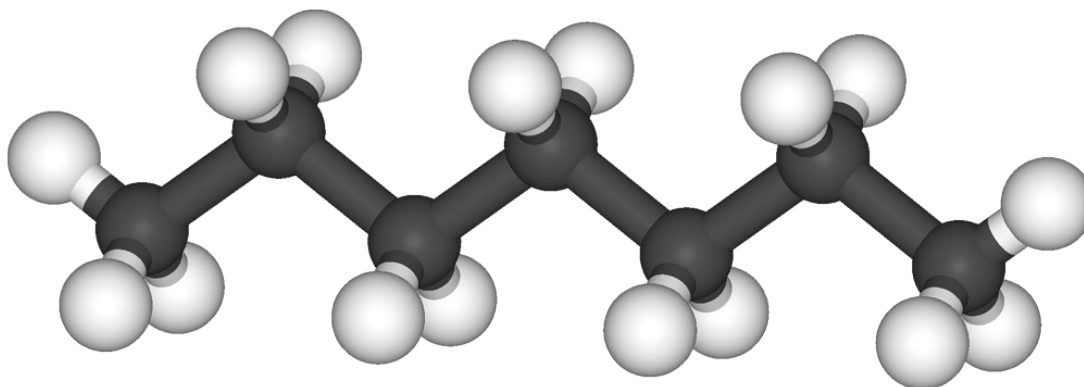
Ce gaz est constitué uniquement de molécules de méthane. IL est impossible de le liquéfier à température ambiante, il est donc distribué et stocké sous forme gazeuse



II.2 : Les combustibles liquides

Le fioul

Il est composé de chaînes carbonées (7 à 10 atomes de carbone)



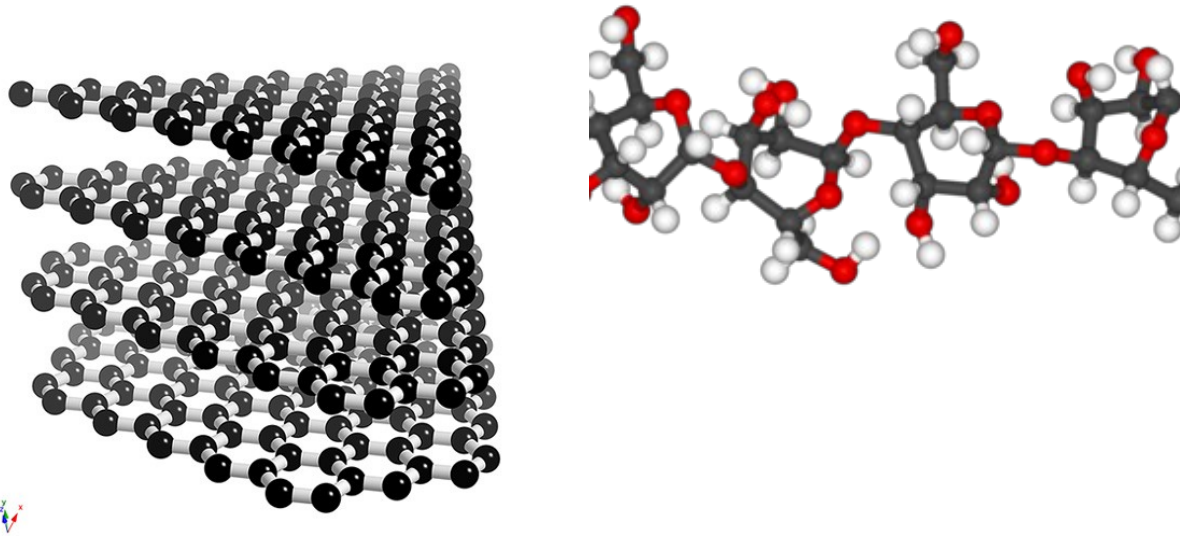
II.3 : Les combustibles solides

Le charbon

Il est composé quasi-exclusivement
d'atomes de carbone (graphite)

Le bois

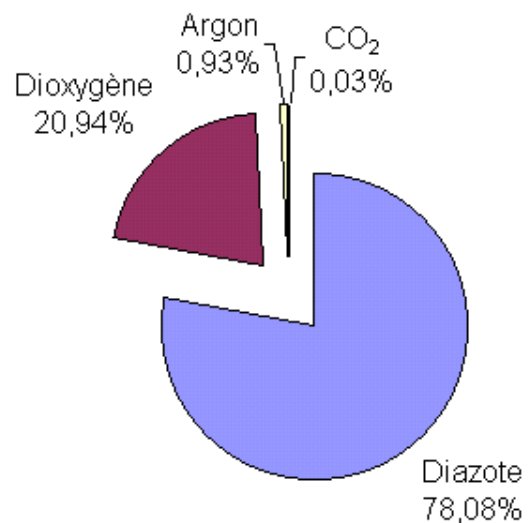
Il est composé d'atomes de carbone,
d'hydrogène mais aussi d'une quantité
importante d'oxygène



II.4 : Les comburants

Ils doivent permettre les réactions chimiques vu précédemment, ils doivent donc contenir de l'oxygène

L'air est donc un excellent comburant, il contient en effet un quart d'oxygène.



II.5 : Étude thermique de la combustion

II.5.a : Température théorique de combustion

On appelle température théorique de combustion, la température à laquelle seraient portés les produits de combustion si toute la chaleur dégagée par la réaction était utilisée à les échauffer.

Cette valeur est accessible uniquement par le calcul théorique :

- 1 950°C pour les gaz naturels en combustion neutre
- 2 000°C pour les GPL en combustion neutre
- 3 100°C pour l'acétylène en combustion neutre

Dans la pratique, cette température n'est jamais atteinte, car la combustion s'effectue toujours avec des pertes de chaleur. On retiendra que plus on a un excès d'air, plus on refroidit la flamme.

II.5.b : Température de rosée des produits de combustion (ou fumées)

La température de rosée indique la température à partir de laquelle les gaz de combustion commencent à se condenser :

- 60°C pour le gaz naturel et le fioul domestique
- 100°C pour le fioul lourd

Dans une chaudière standard, il faut absolument éviter la condensation (risque de corrosion par condensation du soufre inclus dans le combustible en acide sulfurique), alors que dans une chaudière à condensation, il faut la maximiser pour économiser le combustible (fioul : $\approx 8\%$ d'économie, gaz : $\approx 20\%$ d'économie).

Chaudière standard	$\theta_{\text{fumée}} = 200\text{-}250^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{retour eau}} = 55 - 65^{\circ}\text{C}$
Chaudière à condensation	$\theta_{\text{fumée}} = 50^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{retour eau}} = 35 - 45^{\circ}\text{C}$

II.5.c : Pouvoirs calorifiques

Le pouvoir calorifique d'un combustible est la quantité de chaleur que peut produire la combustion complète de l'unité de masse (1 kg pour les combustibles solides et liquides) ou de l'unité de volume du combustible (1 m³ pour les combustibles gazeux).

Les produits de combustion sont ramenés aux conditions normales de température et de pression (CNTP) c'est à dire, $P=101325\text{ Pa}$ et $T=273\text{ K}$ ($\theta=0^{\circ}\text{C}$).

Il s'exprime en :

- kJ/kg pour les solides et liquides, donc pour les fuel,
- kJ/Nm³ pour les gaz (les m³ sont ramené au CNPT)

II.5.d : Pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.)

Le pouvoir calorifique est dit supérieur quand la vapeur d'eau produite lors de la combustion est supposée ramenée à l'état liquide. La vapeur d'eau s'est condensée en cédant ses calories sous forme de chaleur latente.

Le PCS prend donc en compte la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion d'une quantité de combustible + la chaleur latente cédée par la vapeur d'eau issue des produits de combustion.

II.5.e : Pouvoir calorifique inférieur P.C.I.

Le pouvoir calorifique est dit inférieur quand la vapeur d'eau reste à l'état de vapeur dans les produits de combustion (les fumées ne sont pas au contact de matériaux dont la température est inférieure à celle de rosée des fumées)

Le PCI ne prend en compte que la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion d'une quantité de combustible.

II.5.f : Relation entre PCS et PCI

$$PCS = PCI + m_{\text{eau}} \times L_v$$

- PCI, PCS : kJ/kg_{combustible} (pour les fuels) en kJ/ m³_{comb} (n) (pour les gaz)
- m_{eau} : masse d'eau formée lors des réactions de combustion, présente dans les produits de combustion en kg_{eau}/kg_{combustible} (fuel) en kg_{eau}/m³_{comb} (n) (gaz).
- L_v : chaleur latente de vaporisation ou de condensation. kJ/kg_{eau}

		PCI [MJ / kg]	PCI [MJ / m ³]
Solides	Anthracite	35	-
	Bois	17	-
Liquides	Fioul	41	-
Gazeux	Gaz de ville	25	17
	Gaz naturel	49	36

II.6 : Les différents types de combustion

II.6.a : Les conditions de combustion.

Combustion d'un gaz.

Pour amorcer et propager la réaction de combustion, il faut à la fois :

- que le combustible et le comburant soient intimement mélangés,
- que le combustible et le comburant soient en proportion telles que le mélange soient inflammable,
- qu'une partie du mélange soit portée à une température supérieure à la température d'inflammation (rôle de l'étincelle à l'amorçage).

Combustion d'un fioul.

Les combustibles liquides doivent subir quelques transformations physiques avant que la combustion ne commence :

- pulvérisation du fioul en fines gouttelettes,
- réchauffement de ces gouttelettes
- évaporation des gouttelettes et formation d'un nuage de molécules de combustible,
- morcellement des molécules d'hydrocarbure par effet de pyrolyse (= décomposition chimique provoquée par la chaleur).

A ce stade, le fioul est pulvérisé en un fin brouillard qui se mélange avec l'air traversant le déflecteur ; la combustion peut se produire.

II.6.b : Étude des différents types de combustion

Lors de la combustion théorique, l'air comburant est en quantité suffisante et strictement nécessaire pour que le combustible brûle totalement ; la combustion est totale ; la quantité d'oxygène fournie est exactement la quantité nécessaire.

Ce type de combustion est impossible à réaliser dans la pratique

Combustion complète en défaut d'air ou réductrice.

C'est lorsque la combustion se fait avec un volume d'air inférieur à l'air stoechiométrique. L'air, donc l'oxygène est en quantité insuffisante.

Conséquences :

dans les produits de combustion, on retrouve de l'hydrogène (H_2), du carbone (C) et du monoxyde de carbone (CO) ; ce sont des imbrûlés.

- C : va se déposer et encrasser la chaudière et les conduits de fumées.
- CO : très toxique.

Cette combustion est donc à éviter !

Combustion complète en excès d'air ou oxydante.

C'est lorsque la combustion se fait avec un volume d'air supérieur à l'air stoechiométrique. L'air, donc l'oxygène est en excès.

Conséquences :

dans les produits de combustion, on retrouve une quantité d'oxygène et d'azote correspondant à l'air supplémentaire qui n'a pas réagi.

La partie d'air en excès se retrouve réchauffée et provoque une perte d'énergie par les fumées. Cependant, on préconise ce type de combustion pour la sécurité des personnes car on n'a pas de production d'imbrûlés, ni de monoxyde de carbone (CO).

II.6.c : Pouvoir comburivore V_a

Le pouvoir comburivore est la quantité d'air strictement nécessaire et suffisante qu'il faut introduire pour assurer la combustion neutre du combustible.

On note : V_a [m^3 d'air / unité de combustible]

II.6.d : Pouvoir fumigène V_{fo} ou V'_{fo}

Le pouvoir fumigène d'un combustible est la quantité de fumées produites lors de la combustion neutre de l'unité de quantité de combustible.

Les fumées produites contiennent :

- pour les fuels CO_2 , SO_2
- pour les gaz CO_2

Mais aussi :

- l'azote de l'air qui est un gaz inerte et qui n'a donc pas réagi (au contraire d' O_2)
- la vapeur d'eau H_2O ;

Si on en tient compte, on parlera de pouvoir fumigène humide noté V_{fh} ,

Si on n'en tient pas compte, on parlera de pouvoir fumigène sec noté V_{fs} .

$$V_{fh} = V_{fs} + V_{\text{H}_2\text{O}}$$

II.7 : Les grandeurs caractéristiques de la combustion.

II.7.a : Facteur d'air ou taux d'aération F_a ou n .

$$n = \frac{V_{ar}}{V_a} = \frac{\text{volume d'air réellement utilisé dans la combustion}}{\text{volume d'air théorique}}$$

- $n = 1$ en combustion neutre,
- $n > 1$ combustion avec excès d'air,
- $n < 1$ combustion avec défaut d'air.

I.5.2 : Pourcentage d'excès d'air.

$$e = \text{volume d'air en excès} / V_a$$

avec :

- e : excès d'air en [%]
- volume d'air en excès en [m³]
- V_a en [m³]

$$e = n - 1$$

En général, l'excès d'air est de :

- 20 à 30 % pour le fioul
- 10 à 20 % pour les gaz,
- 20 à 30 % pour le charbon.

II.7.b : Teneur en CO₂ des produits de combustion secs γ_{CO_2}

Teneur mesurée ou réelle des produits de combustion secs :

$$\gamma_{CO_2} = V_{CO_2} / V_{fs}$$

II.7.c : Teneur en O₂ des produits de combustion secs γ_{O_2}

Teneur mesurée en O₂ des produits de combustion secs Exprimée en % :

$$\gamma_{O_2} = V_{O_2} / V_{fs}$$

III : Technologie des chaudières

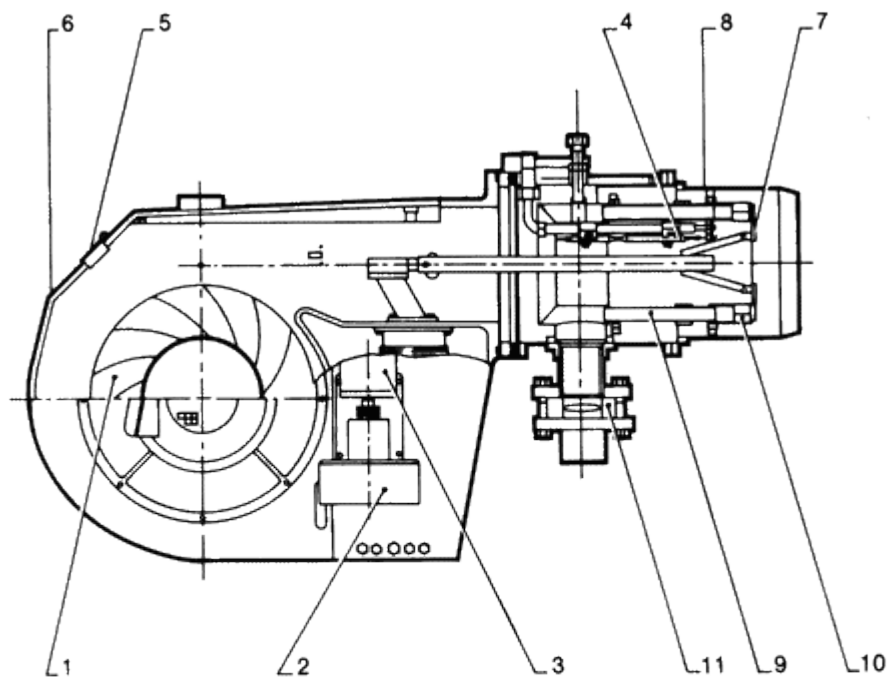
III.1 : Principes

Le brûleur produit une flamme. La chaleur produite est transmise à l'eau de chauffage dans le corps de chauffe.

III.2 : Le bruleur

Le rôle du brûleur est en général double: assurer le mélange carburant - comburant dans les proportions choisies (léger excès d'air par ex), et réaliser la combustion de ce mélange dans les conditions optimales (allumage et maintien de la flamme, combustion complète). Il a donc un rôle déterminant dans la qualité de la combustion, et par suite dans l'émission de polluants ou d'imbrûlés en plus ou moins grande quantité dans les fumées.

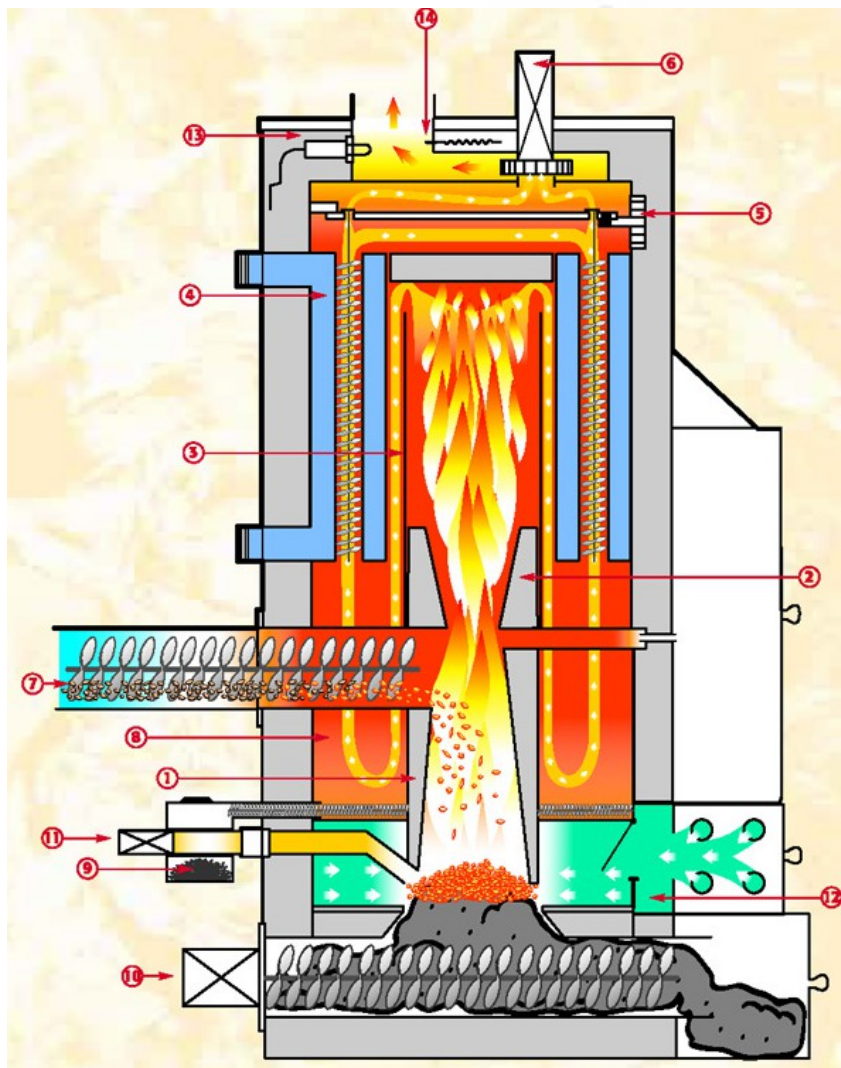
Source : <http://www.azprocede.fr>



- | | |
|---|------------------------------|
| 1 - Turbine de ventilation | 7 - Accroche flamme |
| 2 - Rose de réglage des débits (air et gaz) | 8 - Directeur d'air |
| 3 - Servo-moteur de modulation | 9 - Tube d'arrivée gaz |
| 4 - Electrode d'allumage | 10 - Injecteur gaz |
| 5 - Viseur de flamme | 11 - Papillon de réglage gaz |
| 6 - Corps du brûleur | |

III.3 : Le corps de chauffe

Il dépend du combustible utilisé, il présente en général des parcours sinueux afin de récupérer le maximum de chaleur

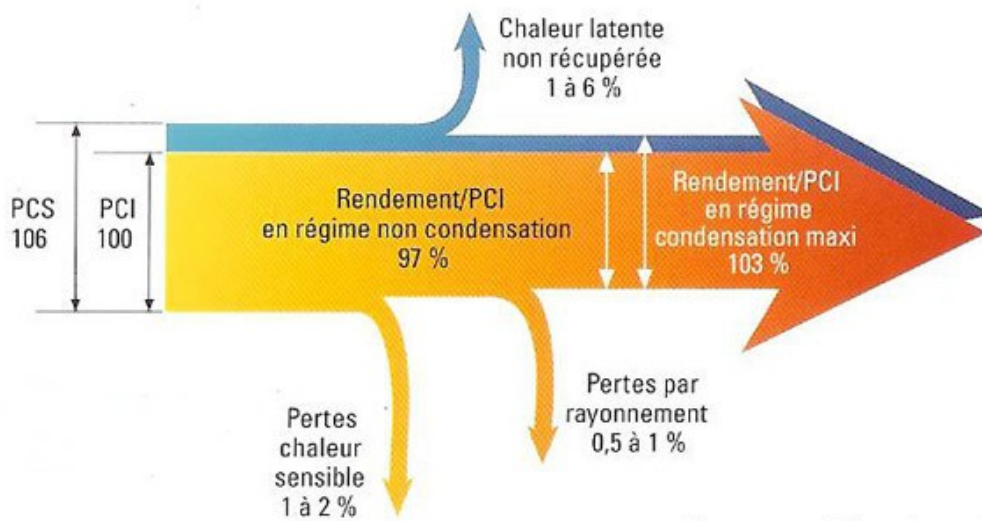


- 1- Brûleur
- 2- La tuyère
- 3- Le pot de combustion
- 4- Corps de chauffe
- 5- Turbulateurs
- 6- Extraction des fumées
- 7- Vis d'alimentation brûleur
- 8- Chambre de décantation
- 9- Dépoussiérage automatique
- 10- Décendrage automatique
- 11- Allumage automatique
- 12- Entrée d'air
- 13- Sonde à oxygène
- 14- Sonde fumées

Source : Energie système

III.4 : Puissance installée d'une chaudière

On peut détailler le rendement d'une chaudière :



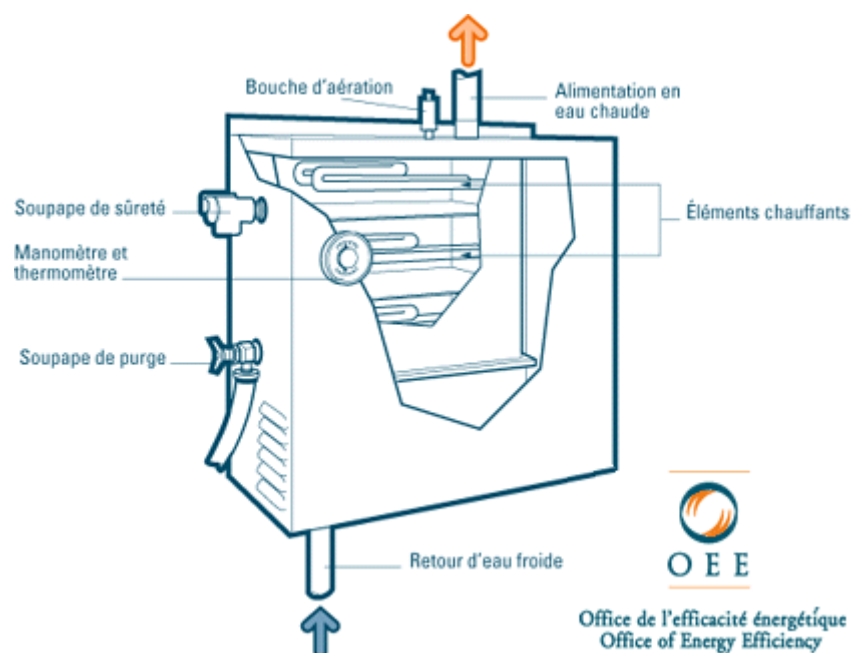
Source : Guy Lacote

IV : Production de chaleur électrique

Elle se résume à la chaudière électrique

IV.1 : Principe

Une résistance électrique est plongée dans l'eau et chauffe celle-ci :



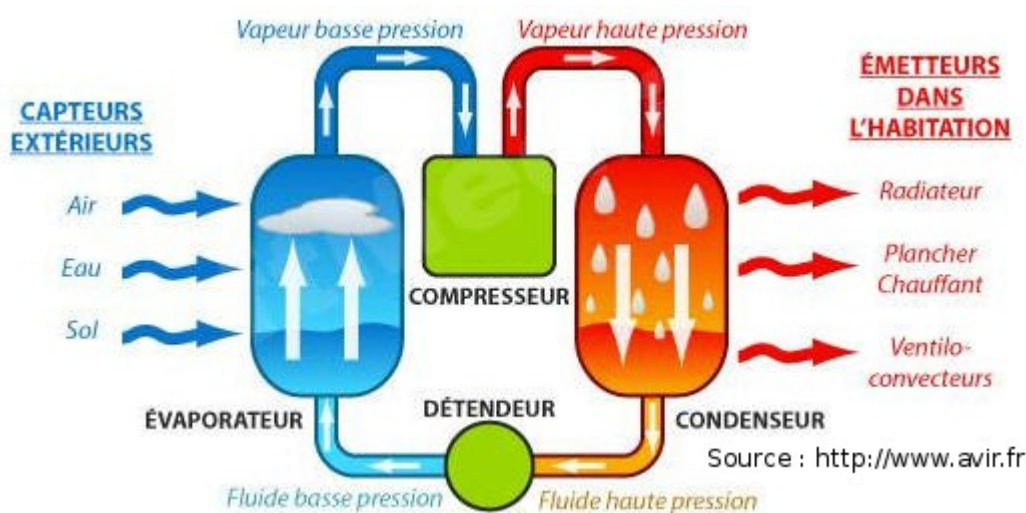
IV.2 : Rendement

Dans le cas de la chaudière électrique, on considère un rendement de 1. En effet, l'effet joule transforme l'ensemble de l'énergie consommée en chaleur. En revanche, le rendement de chaudière lui n'est pas forcément de 100 %.

IV.3 : Production de chaleur par récupération de l'énergie du sol ou de l'air

On peut aussi choisir d'extraire la chaleur du sol ou de l'air. Le sol et le l'air étant plus froid que notre logement, il nous faut relever le niveau énergétique de la chaleur et nous avons besoin pour cela d'une pompe à chaleur.

IV.4 : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur



IV.5 : Limite de fonctionnement de ce type de système

- Température limitée en sortie (max 60°C)
- Puissance limitée à cause de l'abonnement ERDF
- Entretien moins facile

NB : La production de chaleur par pompe à chaleur sera vu dans un prochain chapitre

IV.6 : Rendement de ce type d'installation

Pour une PAC, on ne parle pas de rendement mais de coefficient de performance. En effet entre l'énergie restituée et l'énergie payée, le rapport est bien supérieure à 1. Pour une PAC classique, on a en général un coefficient de performance supérieure à 3 et pouvant aller dans certain cas à 5.

$$\text{COP}_g = P_{\text{restituée}} / P_{\text{payée}}$$

Dans le cas d'une PAC électrique en mode chauffage :

$$\text{COP}_g = P_{\text{chaud}} / P_{\text{elec}}$$