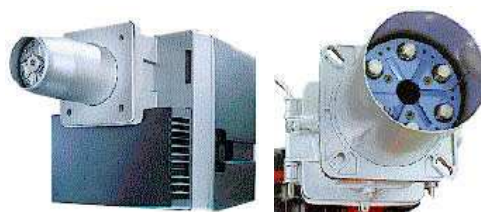




Les brûleurs gaz



- Les brûleurs atmosphériques
- Composants d'un brûleur à air pulsé

- Vannes gaz et réglage du débit
- L'alimentation en air
- La tête de combustion
- Dispositif de sécurité
- Brûleurs pulsés 1, 2 allures et modulant

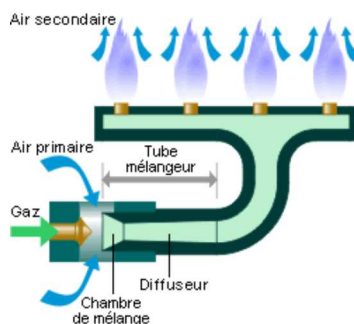
- Les brûleurs à pré-mélange
- Brûleurs low NOx
- Synthèse sur le potentiel de modulation

Les différentes technologies de brûleurs gaz sont revues selon un ordre chronologique :

- Au départ, on trouve les **brûleurs atmosphériques** associés aux chaudières atmosphériques au gaz. A l'heure actuelle, on ne conçoit plus de nouvelles installations au départ de cette technologie. En effet, les autres types de brûleurs présentent des avantages majeurs par rapport aux brûleurs atmosphériques. Néanmoins, ceux-ci se rencontrent encore dans des installations existantes. C'est pourquoi ils seront traités ci-dessous.
- Plus tard, les **brûleurs à air pulsé** ont fait leur apparition permettant d'obtenir de meilleures performances énergétiques, essentiellement grâce à un plus grand potentiel de modulation en puissance et un meilleur contrôle de l'excès d'air.
- Ultérieurement, les **brûleurs à pré-mélange avec ventilateur** se sont développés. Ils permettent d'atteindre un plage de modulation plus large que les brûleurs à air pulsé, et ceci, dès les faibles puissances installées. En outre, ils sont moins chers que les brûleurs pulsés.
- Néanmoins, pour les niveaux de puissance plus importants ($P_n > 1-3 \text{ MW}$), il sera inévitablement nécessaire de travailler avec ces brûleurs à air pulsé (technologiquement, il est difficile d'atteindre ces niveaux de puissance par des chaudières gaz à pré-mélange).
- De manière générale, il faut aussi mentionner que le brûleur pulsé et la chaudière sont deux éléments qui peuvent être achetés indépendamment (à partir du moment où l'on respecte les règles de compatibilité entre les deux parties). Par contre, les chaudières atmosphériques et à pré-mélange sont essentiellement des chaudières de type **"unit"**, c'est-à-dire un ensemble indissociable. Par conséquent, les brûleurs pulsés permettent de changer de combustible (gaz/mazout) tout en gardant la même chaudière : seul le brûleur doit être modifié.

Les brûleurs atmosphériques

Les brûleurs atmosphériques sont des brûleurs gaz dans lesquels l'alimentation en air ne se fait pas par un ventilateur. L'air est entraîné dans un venturi par le jet de gaz au niveau d'injecteurs.



Principe de fonctionnement d'un brûleur gaz atmosphérique.

Le rétrécissement dans le tube mélangeur augmente la vitesse du gaz (voir la *chambre de mélange* dans la figure ci-dessus). Cela crée une dépression qui aspire "naturellement" une partie de l'air comburant (appelée "air primaire") et le mélange au gaz.

Le mélange air_{primaire}-gaz débouche au niveau d'une série de trous (circulaires, pentes, ...) disposés sur une ou plusieurs rampes.

L'allumage du mélange se fait au moyen d'une veilleuse ou d'un système électrique (étincelle ou électrode incandescente). Le complément d'air nécessaire à la combustion (appelé "air secondaire") est aspiré au niveau de la flamme par induction due à la force ascensionnelle (c'est-à-dire par convection naturelle).



Electrode incandescente d'allumage d'un brûleur atmosphérique.

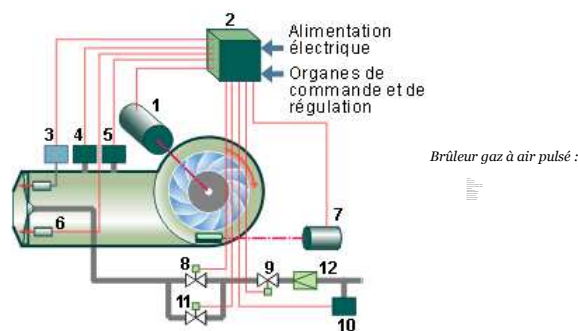
Dans ce type de brûleur, le pourcentage d'air primaire varie de 40 à 50 %.

Toutes les parties du brûleur (injecteurs, tube de mélange, rampes, ...) doivent être adaptées les unes aux autres pour permettre une combustion stable, sans décrochement et sans retour de flamme. C'est pourquoi les possibilités de réglage sur ce type de brûleur sont nulles.

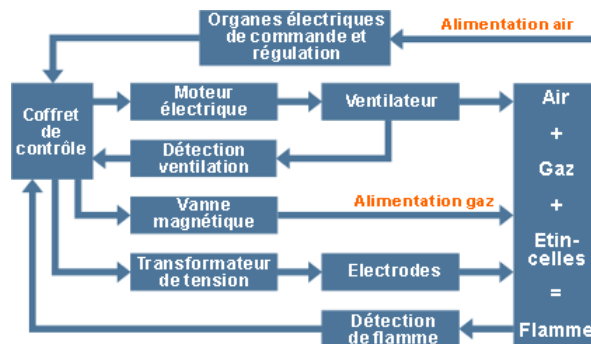
Le gros avantage des chaudières équipées d'un brûleur atmosphérique (puissance jusqu'à 1 MW) est la simplicité du système. Les gros désavantages sont :

- l'absence de fermeture automatique du foyer à l'arrêt du brûleur. Il en résulte des **pertes à l'arrêt** importantes pour les chaudières ;
- l'**excès d'air** trop important provoquant un mauvais **rendement de combustion** ;
- la manque de modulation (fonctionnement en "tout ou rien")
- une production importante de **NO_x**.

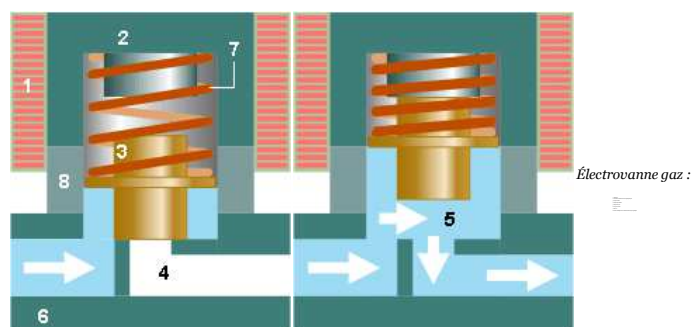
Composants d'un brûleur gaz à air pulsé



Le brûleur gaz à air pulsé a pour fonction de fournir, dans des proportions correctes, l'air comburant et le gaz pour permettre une combustion efficace. Le gaz et l'air comburant sont mélangés au niveau de la **tête de combustion**, un peu en aval de la combustion. Il n'y donc **pas véritablement de pré-mélange**. L'alimentation en air est assurée par un ventilateur qui puise l'air ambiant de la chaufferie. L'alimentation en gaz est assurée par une électrovanne et des régulateurs de pression.



Brûleur pulsé : vannes gaz et réglage du débit



Le Champ magnétique créé par le bobinage sous tension attire le noyau mobile qui porte le clapet de fermeture.

La pression d'alimentation de gaz est constante, le réglage du **débit nominal** se fait, par étranglement, avant l'entrée dans la tête du brûleur :

- soit par un "té" de réglage indépendant de la vanne gaz ;
- soit par un boisseau incorporé à la vanne gaz ;
- soit par un limiteur de déplacement du clapet de la vanne gaz.

Dans les brûleurs à **deux allures**, les électrovannes sont composées de deux bobinages et de deux noyaux mobiles.

Il existe également des vannes hydrauliques dont le clapet est manoeuvré par un piston à huile. L'avantage de ce système est une ouverture plus progressive liée à la vitesse de la pompe et une fermeture plus rapide liée à la pression du ressort plus importante que pour les électrovannes. Un démarrage plus lent peut être obtenu au moyen de deux vannes magnétiques montées en parallèle. Les vannes gaz comportent un contact de fin de course qui interdit le démarrage du brûleur si le clapet n'est pas correctement fermé.

La puissance du brûleur

La puissance "P" du brûleur dépend du débit "q_{gaz}" de gaz. Celui-ci peut être mesuré au niveau du compteur gaz. En première approximation, en négligeant l'influence de la pression et de la température sur le débit ainsi que la variation du pouvoir calorifique du gaz distribué, on peut déterminer la puissance du brûleur par :

$$P \text{ [kW]} = q_{\text{gaz}} \text{ [m}^3\text{/min]} \times 60 \text{ [min/h]} \times 10 \text{ [kWh/m}^3\text{]}$$

Brûleur pulsé : l'alimentation en air

L'air nécessaire à la combustion est amené dans le brûleur au moyen d'un **ventilateur centrifuge**. Ce ventilateur doit assurer le débit d'air nécessaire à la combustion en vainquant la **résistance** que rencontre l'air jusqu'à la flamme, la résistance que rencontrent la flamme et les fumées dans la chambre de combustion.

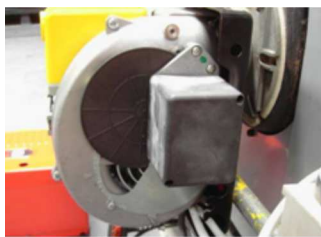
Le ventilateur tournant à vitesse constante, un registre d'air permet de régler le débit d'air nominal garantissant une **combustion correcte** (il faut 10 .. 13 m³ d'air pour brûler 1 m³ de gaz). Ce registre peut être installé à l'aspiration ou au refoulement du ventilateur. Dans le cas d'un **brûleur pulsé une allure**, la puissance est constante et égale à la puissance nominale. Le débit d'air nécessaire reste égal au au débit d'air nominal réglé par le clapet. Comme on ne doit pas changer de débit d'air, aucun dispositif supplémentaire n'est nécessaire pour modifier celui-ci.



Le réglage manuel du registre d'air d'un brûleur une allure se fait souvent au moyen d'un secteur gradué.

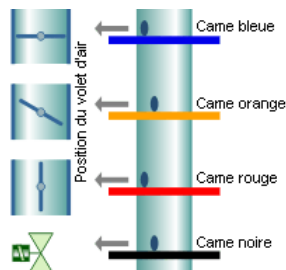
Pour limiter le balayage du foyer de la chaudière lorsque le brûleur est à l'arrêt et donc l'évacuation de sa chaleur par tirage naturel vers la cheminée (ce que l'on appelle les **pertes par balayage**), les fabricants prévoient sur les brûleurs une fermeture automatique du registre d'air lorsque le brûleur est à l'arrêt :

- soit avec un servo-moteur électrique assurant l'ouverture et la fermeture ;
- soit avec un contrepoids (qui peut être le propre poids du registre) ou un ressort. Dans ce cas, la dépression ouvre le registre et le flux d'air le maintient en position ouverte.



Clapet par servomoteur qui assure la fermeture de l'arrivée d'air à l'arrêt.

Dans les **brûleurs pulsés 2 allures**, il faut adapter le débit d'air aux deux niveaux de puissance. La détermination de la position du registre d'air peut, entre autres, être réglée au moyen de cames dans le cas d'un système de réglage mécanique.



*La came bleue commande la fermeture totale à l'arrêt,
la came orange commande l'ouverture en première allure,
la came rouge commande l'ouverture en deuxième allure,
la came noire commande l'ouverture de la vanne gaz de deuxième allure.*

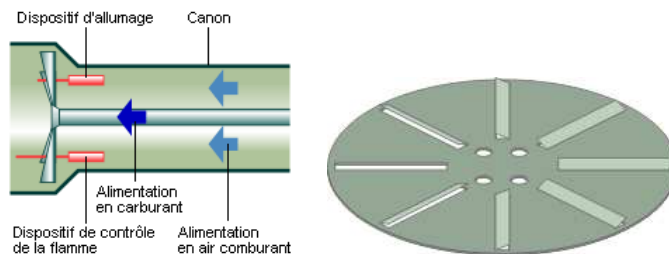
Un disque repère situé en bout d'arbre permet de visualiser les différentes positions d'ouverture.

Notons en outre que pour des raisons de sécurité, la pression d'air est contrôlée en permanence avant la **tête de combustion** par un (brûleur une allure) ou deux pressostats (brûleur 2 allures). En cas de défaut, le coffret de commande stoppe l'alimentation de gaz.

Dans le cas d'un **brûleur pulsé modulant**, le débit d'air est adapté de manière continue au débit de gaz (suivant le niveau de puissance souhaité). Cela peut se faire par un déplacement continu du registre d'air ou par une régulation basée sur la vitesse du ventilateur.

Brûleur pulsé : la tête de combustion

La tête de combustion du brûleur pulsé est constituée d'un embout ou gueulard qui guide la flamme. Celle-ci est allumée au moyen d'électrodes alimentées en haute tension, créant un arc électrique. La flamme est maintenue en position grâce au déflecteur. En effet, le flux d'air autour de ce dernier crée une dépression qui maintient la flamme en position.



Tête de combustion d'un brûleur gaz (gauche) et déflecteur (droite).

Le réglage de la tête de combustion, c'est-à-dire de la distance entre le déflecteur et l'embout, est essentiel au bon fonctionnement du brûleur en répartissant les débits d'air primaire (passant au centre du déflecteur) et d'air secondaire (passant à la périphérie). Il s'agit d'obtenir une vitesse de mélange air/combustible correcte. Une vitesse trop importante entraîne des difficultés d'allumage et d'accrochage de la flamme. Une vitesse trop lente provoque une combustion oscillatoire. Dans les 2 cas, il y a des risques d'accumulation de gaz dans la chaudière et donc d'explosion.



Les modèles de brûleur gaz à air pulsé se différencient pas la forme de la tête de combustion. On retrouve ainsi des tubes percés de trous ou de fente, des tubes à gaz, des dispositifs tourbillonneurs, des accroche-flammes à fentes ou trous, ...

Brûleur pulsé : dispositif de sécurité

Un contrôle continu de la flamme du brûleur est nécessaire pour arrêter ce dernier immédiatement en cas de défaut :

- si la flamme n'apparaît pas quand le combustible est libéré ;
- si la flamme disparaît en cours de fonctionnement ;
- si une flamme parasite apparaît alors que le brûleur est en phase de démarrage.

De plus, le défaut doit être signalé par une alarme, qui avertit un technicien chargé du dépannage. Le but est d'éviter d'admettre du gaz dans une chaudière sans le brûler. L'allumage intempestif de ce gaz pourrait provoquer une explosion. Comme élément de détection de la flamme on utilise :

- un thermocouple sensible à la chaleur de la flamme (système de détection lent utilisé sur les chaudières atmosphériques de moins de 70 kW ;
- un détecteur infrarouge également sensible à la chaleur de la flamme ;
- une cellule UV qui émet un signal électrique grâce à l'ionisation d'un gaz contenu dans la cellule, sous l'effet des rayons UV émis par les flammes gaz ;
- une sonde d'ionisation. Cette sonde est sensible à la présence d'ions et d'électrons dans toute flamme. Il suffit dès lors d'essayer de faire passer un courant dans la flamme. Si le courant passe, c'est qu'il y a une flamme.

Brûleurs pulsés 1, 2 allures et modulant

On répertorie 4 modes de fonctionnement des brûleurs **gaz pulsés** :

- en **tout ou rien** ;
- en **2 allures** ;
- en **tout ou peu progressivement** ;
- en **modulation**.

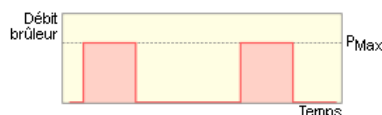
Brûleur pulsé "tout ou rien" ($P_n < 100-150 \text{ kW}$)

On parle de brûleur tout ou rien lorsque pour toute demande de chaleur, le brûleur s'enclenche, fournit sa pleine puissance, et s'arrête lorsque les besoins sont satisfaits.

Les brûleurs tout ou rien se différencient par leur mode de démarrage : en *pleine puissance*, à *débit limité* et à *petite allure*.

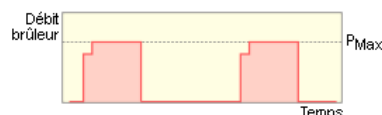
Démarrage à pleine puissance

Ce type de brûleur est utilisé pour les puissances inférieures à 100 .. 120 kW. Lors de la demande de chaleur, le brûleur démarre directement à pleine puissance.



Démarrage à débit limité

Lors d'une demande de chaleur et grâce à un jeu d'électrovannes (2 vannes magnétiques ou bien d'une seule vanne à 2 étages), le brûleur démarre avec une puissance de l'ordre de 75 % et passe à sa pleine puissance après le temps de post-allumage. Cela permet d'atténuer l'onde de choc provoquée par l'allumage du combustible. Comme dans ce type de brûleur, le réglage du **registre d'air** est manuel, la phase initiale du démarrage se produit avec un excès d'air trop important et donc une combustion médiocre.



Démarrage à petite allure

Ce mode de démarrage repose sur le même principe que dans le cas précédent. Il s'en différencie cependant par la réduction plus importante de la puissance au démarrage. Il s'agit en fait de brûleurs 2 allures mais dont la commande ne permet pas le choix de l'allure en fonction des besoins. Le temps séparant l'allumage du passage à la deuxième allure est fixé (relais

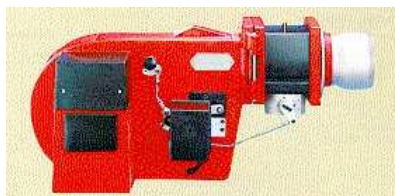
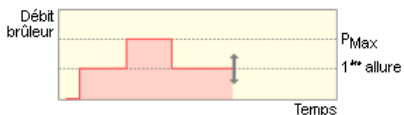
programmable).



Brûleur pulsé 2 allures (Pn entre 100-250kW)

En cas de demande de chaleur, le brûleur est enclenché en première allure (qui représente entre 40 et 60 % de la puissance nominale). Après un délai déterminé (relais programmable), le brûleur passe à pleine puissance sauf si le régulateur signale que cette pleine puissance n'est pas nécessaire. Dans ce dernier cas, la première allure est maintenue.

Lorsque le brûleur fonctionne en deuxième allure, il est possible que le régulateur estime que la pleine puissance n'est plus requise et le brûleur repasse en première allure. Si la puissance requise est inférieure à la puissance en allure réduite, le brûleur s'arrête. Dans le cas inverse, il repasse en deuxième allure.



Brûleur gaz 2 allures.



Brûleur gaz modulant.

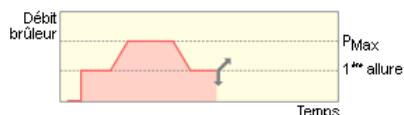
Le brûleur 2 allures présentent des avantages énergétiques indéniables :

- L'adaptation de la puissance aux besoins allonge le temps de fonctionnement du brûleur et diminue le nombre de cycles d'allumage source d'imbrûlés et d'émissions polluantes.
- Les temps d'arrêt de la chaudière et donc les pertes du même nom sont moindres.
- La diminution de la puissance du brûleur par rapport à la puissance de la chaudière augmente le rendement de combustion. En effet, la taille de l'échangeur augmente par rapport à la puissance de la flamme et donc les fumées sortent plus froides de la chaudière. Un gain de rendement de combustion de 2 .. 2,5 % est ainsi possible entre la petite allure (60 % de la puissance nominale) et la grande allure.

Brûleur pulsé "tout ou peu progressif"

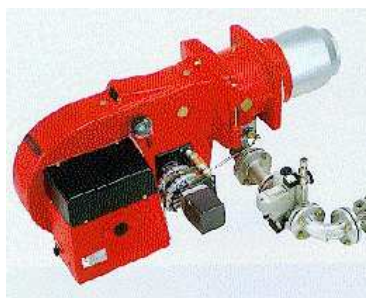
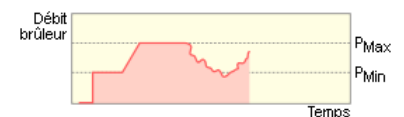
Le principe de fonctionnement de ce type de brûleur est semblable à celui d'un brûleur 2 allures. Ce brûleur ne permet que 2 allures. Le passage de la première à la deuxième allure n'est cependant plus brutal, mais progressif (en un temps minimum de 30 secondes).

Si la demande de chaleur est inférieure à la puissance en première allure, le brûleur se met à l'arrêt. Si elle y correspond, le brûleur maintient son fonctionnement en première allure. Si elle est supérieure, le brûleur passe progressivement en deuxième allure.



Brûleur pulsé modulant (Pn > 150kW)

Avec un brûleur modulant, toutes les allures de fonctionnement sont possibles, au-delà d'un minimum souvent de l'ordre de 30 %. Les débits d'air et de fuel sont réglés en continu en fonction de la puissance de chauffage requise, ce qui permet un fonctionnement quasi continu.



Brûleur gaz modulant.

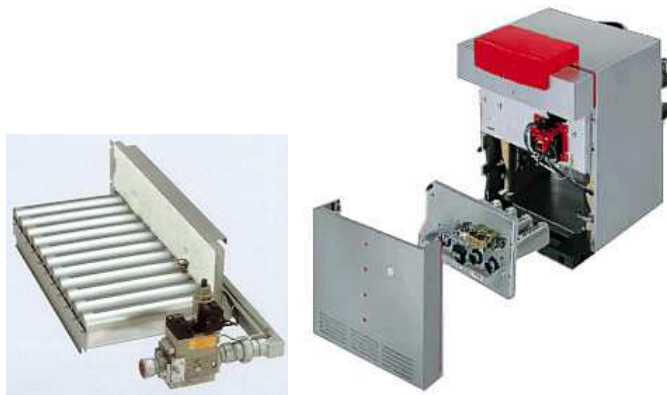
Les avantages du brûleur modulant sont du même ordre que ceux du brûleur 2 allures. L'adaptation de la puissance est cependant encore plus fine, ce qui limite encore les temps d'arrêt d'un brûleur. La modulation a cependant ses limites. En effet, à basse puissance, le réglage de l'excès d'air devient difficile. C'est pourquoi les brûleurs modulants ne peuvent descendre en dessous d'une puissance de l'ordre de 30 % et à ce moment.

Brûleurs à prémélange (prémix)

Pour éviter les imbrûlés et la production de CO, les **brûleurs atmosphériques** doivent fonctionner avec un excès d'air important. Il en résulte une production importante de NOx.

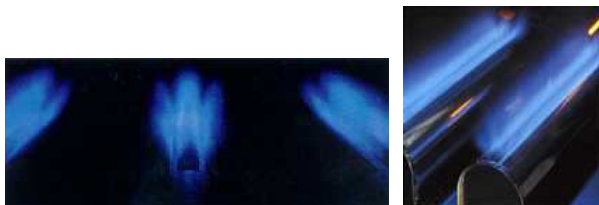
L'évolution technologique de ces brûleurs conduit à ce qu'on appelle les brûleurs à prémélange. Dans ces brûleurs, l'air est mélangé au gaz dans une chambre de prémélange, **avec ou sans l'aide d'un ventilateur**. Dans le cas d'un brûleur à prémélange, le mélange est ensuite réparti sur une surface d'accrochage (par exemple, en treillis métallique) où se développe la flamme. Si tout l'air de combustion est fourni durant le prémélange (air primaire), on parlera de **prémélange total** tandis que si une fraction doit encore être fournie plus loin en aval (air secondaire), on parlera de **prémélange partiel**.

Brûleur à prémélange sans ventilateur



Brûleur à prémélange sans ventilateur et sa chaudière.

La technique de prémélange permet d'affiner le dosage entre l'air et le gaz et donc de diminuer l'excès d'air. De plus, la surface d'accrochage peut être étudiée pour augmenter la surface des flammes et diminuer leur longueur. Il en résulte une augmentation du **rendement de combustion** et une diminution des émissions polluantes (NO_x).

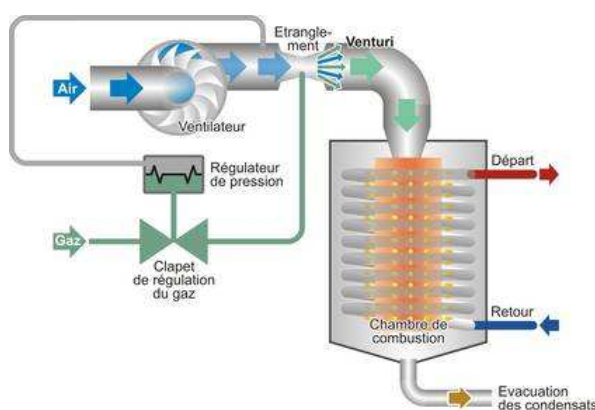


Flamme d'un brûleur atmosphérique à prémélange, en forme de trèfle.

Brûleur à prémélange avec ventilateur

On pense essentiellement à ce type de brûleur lorsque l'on évoque les chaudières gaz à prémélange. On sous-entend que le brûleur fonctionne avec un ventilateur. La présence du ventilateur permet :

- d'améliorer le mélange air/gaz par un meilleur contrôle du débit d'air ;
- de vaincre les pertes de charge des brûleurs et des foyers dont l'échange est optimisé (notamment pour les chaudières à condensation) ;
- de moduler la puissance du brûleur en faisant varier la vitesse du ventilateur ou en freinant le mélange air/gaz par un clapet. Typiquement, on peut atteindre des plages de modulation continue de puissance qui vont de **20 à 100 %** de la puissance nominale. La plage est donc un peu plus large qu'avec les brûleurs à air pulsé.



Principe d'un type de brûleur à prémélange dans une chaudière à condensation. Dans ce cas-ci, le mélange air/combustible se fait en aval du ventilateur. Le clapet de régulation gaz piloté par un régulateur de pression permet d'adapter la quantité de combustible à la quantité d'air pulsée par le ventilateur. Une fois le mélange devenu homogène, la combustion a lieu dans la chambre.

Brûleurs low-NOx

Les derniers développements en matière de brûleur ont principalement visé à diminuer les émissions polluantes comme les imbrûlés, CO, NO_x.

Idéalement lors d'une réaction de combustion, l'azote N₂ contenu dans l'air comburant, est rejeté tel quel sans être modifié. Cependant, sous certaines conditions, il se combine avec l'oxygène pour former des NO_x. Pour en savoir sur la combustion et ses produits, consultez la page [suivante](#).

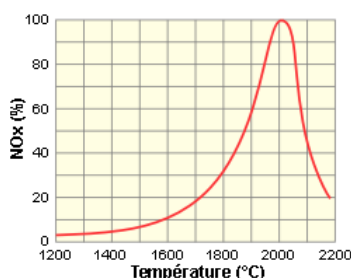
Non seulement ceux-ci peuvent être directement toxiques pour la santé, mais contribuent à la formation d'ozone, de smog et de pluies acides. Ils font également partie des gaz à effet de serre. Leur émission doit donc être réduite au minimum. On peut consulter la législation belge pour les **performances minimales à atteindre** pour les nouvelles chaudières en termes

d'émission de NO_x.

Les paramètres favorisant la production de NO_x sont :

- la température élevée de la flamme (supérieure à 1 200 °C) ;
- l'excès d'air, c'est-à-dire la présence importante d'oxygène (O₂) n'ayant pas réagi dans les fumées ;
- le temps de séjour des atomes d'azote (N) dans la zone chaude de la flamme ;
- une concentration plus élevée du combustible en N₂.

Les deux premiers paramètres dépendent de la conception du brûleur, le troisième dépend de la conception de la chaudière.



Evolution de la production de NO_x en fonction de la température de la flamme.

Brûleur pulsé "Low-NO_x" par recyclage des gaz

Les technologies appliquées sont semblables pour les brûleurs pulsés gaz ou les brûleurs pulsés fuel.

Pour les brûleurs pulsés (fuel ou gaz), la technique la plus courante pour diminuer les émissions d'oxyde d'azote est le **recyclage des gaz de combustion** dans la tête du brûleur.

En fait, cela consiste à mélanger une partie des gaz de fumée à l'air comburant, dans le but de :

- diminuer la température de la flamme, car même avec plusieurs centaines de degrés, les gaz brûlés sont plus froids que la flamme ;
- réduire la concentration en oxygène du mélange ;
- favoriser la vaporisation des combustibles liquides et de modifier favorablement les conditions de combustion.

La configuration aérodynamique pour réaliser cette re-circulation des gaz varie selon les constructeurs. D'une manière générale, c'est l'impulsion de l'air de combustion en mouvement qui sert de force motrice au recyclage : un passage plus étroit au niveau de la tête de combustion provoque une accélération du flux de gaz. Cela génère une dépression et amorce la re-circulation des gaz de combustion.

On peut également encore descendre la température de la flamme en élargissant le front de flamme. Dans ce cas, on recherche ainsi à avoir une flamme en forme d'entonnoir, ce qui augmente sa surface de refroidissement et donc diminue sa température.

Par rapport au brûleur "classique", le brûleur Low-NO_x à re-circulation interne des gaz de combustion présente les inconvénients suivants :

- La re-circulation demande de l'énergie. La comparaison entre un brûleur à pulvérisation traditionnel et un brûleur Low NO_x (le ventilateur et la chambre de combustion étant identiques) montre que la dépression au niveau la tête du brûleur Low NO_x réduit la puissance calorifique maximale et modifie les caractéristiques intrinsèques du brûleur.
- La vitesse d'écoulement élevée suscite des turbulences à hauteur du venturi. Il peut en résulter un accroissement du niveau sonore.
- La re-circulation des gaz de combustion dans la tête du brûleur entraîne un encrassement plus rapide des électrodes d'allumage. Un entretien préventif est dès lors nécessaire.

En revanche, un brûleur Low-NO_x produit de 20 à 50 % d'émissions NO_x en moins qu'un brûleur traditionnel.

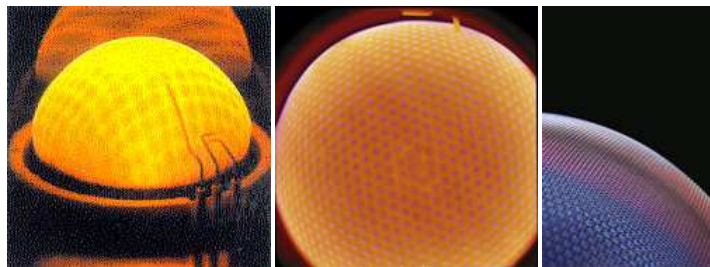


Brûleurs Low NO_x (ici en version fuel) basés sur le principe de recirculation : la re-circulation s'effectue dans le foyer à hauteur de la tête de combustion. Une zone de dépression aspire à nouveau les gaz de combustion et les mélange à la flamme. La re-circulation peut également être externe.

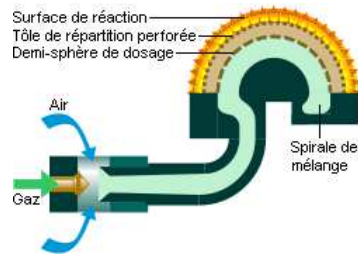
Brûleurs à prémélange radiants ou rayonnants

Bien que la transition d'un brûleur atmosphérique à un brûleur à prémélange réduit considérablement l'émission de NO_x (essentiellement, par un meilleur contrôle de l'excès d'air), les brûleurs rayonnants ou radiants vont encore plus loin dans l'optimisation des émissions. Le but est de réduire au maximum la température de la flamme. Si la surface d'accrochage de la flamme est en matériau réfractaire (céramique ou acier inoxydable réfractaire), elle va absorber une partie de la chaleur de réaction et la restituer par rayonnement au foyer. La température de combustion s'en trouve abaissée sous 1 200 °C, ce qui réduit fortement la production d'oxydes d'azote (NO_x < 15 mg/kWh).

Exemple de brûleur radiant :



Une application de cette technologie est le brûleur hémisphérique radiant. Il est composé d'une grille en forme de demi-sphère. La grille est en acier inoxydable spécial réfractaire. Elle rougeoie et recède sa chaleur par rayonnement.



Brûleur hémisphérique radiant (existe aussi en version plane) : le mélange air-gaz réparti sur la surface de combustion avec une vitesse très faible puisque cette surface est nettement plus importante que pour les brûleurs atmosphériques traditionnels. Le mélange brûle alors directement, pratiquement sans flamme visible et cède une partie de sa chaleur directement à l'élément réfractaire.

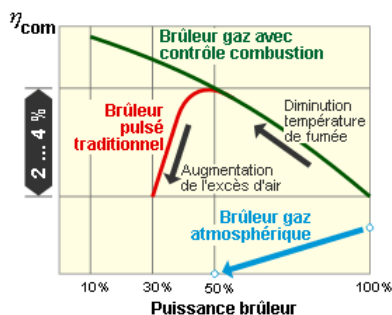
Synthèse sur la modulation en puissance pour les brûleurs gaz

Le potentiel de modulation des différentes approches a été évoqué précédemment. Néanmoins, pour des questions de clarté, ces propriétés sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Puissance nominale	Brûleur gaz atmosphérique	Brûleur gaz à air pulsé	Brûleur gaz à prémélange avec ventilateur
$P_n < 100 - 150$ kW	Tout ou rien, voire deux allures	Tout ou rien	Modulant (10 - 20 à 100 %).
$P_n < 150 - 250$ kW		Deux allures	
$P_n > 150 - 250$ kW			
$P_n > \sim 1$ MW	Chaudières en cascade	Modulant (30 - 100 %)	Chaudières en cascade.
$P_n > \sim 3$ MW	Techniquement trop complexe		Techniquement trop complexe.

On voit que pour les puissances faibles, le brûleur à air pulsé fonctionne en "tout ou rien" alors que le brûleur à prémélange offre déjà une large plage de modulation, de l'ordre de 10-20 % à 100 %. Pour les puissances plus élevées, typiquement au-delà d' ~ 1 MW, il est techniquement difficile de réaliser des chaudières à prémélange. Par conséquent, pour pouvoir augmenter la puissance installée au-dessus de ce seuil, on travaille avec plusieurs chaudières à prémélange **en cascade**. En outre, ceci va améliorer les capacités de modulation de l'ensemble de l'installation et une meilleure sécurité d'approvisionnement. Néanmoins, au-delà de 3 chaudières montées en cascade, les installations deviennent difficiles à piloter et maintenir. À partir de 3 MW, on ne trouvera donc plus raisonnablement d'installations basées sur des chaudières/brûleurs à prémélange. En fait, les chaudières et brûleurs à air pulsé vont progressivement prendre le relais à partir des installations de 1-3 MW.

Exemple d'évolution du rendement avec la modulation en puissance :

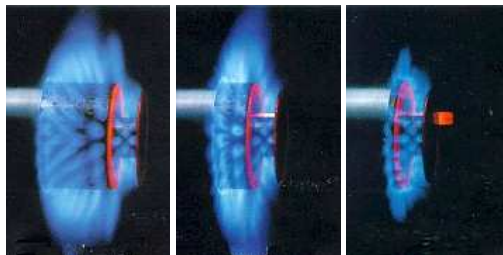


Évolution du rendement de combustion des brûleurs actuels en fonction de la modulation de sa puissance.

Pour les brûleurs pulsés modulant traditionnels (fuel ou gaz) (de 30 à 100 %) : dans un premier temps, lorsque la puissance du brûleur diminue (à partir de 100 % de puissance), la température des fumées diminue et le rendement augmente. À partir d'un certain moment, la diminution de la quantité de particules de combustible et leur dispersion imposent d'augmenter l'excès d'air pour éviter les imbrûlés. Le rendement diminue de nouveau.

Pour les nouveaux brûleurs gaz modulant à prémélange avec ventilateur (de 10 ou 20 à 100 %) : le contrôle de la combustion permet de maintenir un excès d'air correct, sans production d'imbrûlé, sur toute la plage de modulation. On obtient donc une plage de modulation plus grande (~ 10 à 100 %) avec une qualité de combustion constante et des fumées qui se refroidissent de plus en plus (pour arriver à la condensation).

Pour les brûleurs gaz atmosphérique 2 allures (sans ventilateur) (50 % / 100 %) : l'air de combustion est amené dans la chaudière naturellement. L'excès d'air n'est donc pas contrôlé. Si la puissance du brûleur diminue de moitié, ce n'est pas le cas de la quantité d'air aspirée. L'excès d'air augmente donc et le rendement chute.



Exemple de nouveau brûleur pulsé modulant (10 à 100 %) à prémélange : la modulation se fait, par exemple, grâce à un cylindre coulissant découvrant progressivement la tête de combustion.