



## CHEMINEE ET TIRAGE (DIMENSIONNEMENT)

### LES EXIGENCES :

- **La sécurité : éviter tout risque de feu dans le conduit.** Cela dépend du choix du bois : celui-ci doit être sec. Le bois vert contient en moyenne 43% d'humidité c.a.d. 43% de son poids est constitué d'eau. Lorsqu'il est stocké dans un endroit sec, son humidité tombe à 25% au bout de 2 ans environ, puis elle reste à cette valeur. Le bois est alors considéré « sec ». Si  $\tau$  désigne la teneur en eau du bois dont la masse est  $m$ , le bois « sec » a une masse égale à  $(1 - \tau)m$  ; ici on aurait  $\tau = 25\%$ . La combustion de 1 kg de bois sec dégage 3500 kcal (14655 kJ) tandis que celle de 1 kg de bois vert dégage 2300 kcal (9630 kJ). Cette différence s'explique par le fait que, pour le bois vert, une partie de la chaleur de la combustion est utilisée pour la vaporisation de l'eau contenue dans le bois, c'est-à-dire à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. La chaleur dégagée par la **combustion du bois vert ne suffit pas à brûler la totalité des goudrons** qu'il contient, contrairement au bois sec. La combustion du bois vert dans le foyer d'une cheminée produit donc du **goudron imbrûlé qui va encrasser le conduit de cheminée**. Ce dépôt de suie **risque alors de s'enflammer** si par la suite une température plus élevée est obtenue dans la cheminée à cause d'un meilleur combustible (bois sec) : **c'est l'incendie de cheminée**. Il est donc très important de nettoyer régulièrement le conduit de cheminée (ramonage) et d'employer du bois sec, non seulement pour un chauffage plus efficace mais aussi pour éviter l'encrassement du conduit.

- **Eviter la condensation de la vapeur d'eau dans le conduit de cheminée.**

L'eau contenue dans le bois sec se vaporise lors de la combustion dans le foyer. Au contact des parois du conduit, si elles sont plus froides que la fumée, ou encore vers sa sortie à l'air libre, généralement plus froid, la vapeur d'eau risque de se condenser et l'eau liquide ainsi formée de ruisseler vers le foyer. On évite cette situation si la température de la fumée reste en tous points du conduit plus grande que la température du point de rosée de l'eau.

Le point de rosée : les gaz émis par la combustion contiennent toujours de la vapeur d'eau qui provient, dans tous les cas, de la combustion des molécules de d'hydrogène  $H_2$  existant dans le combustible, mais, dans certains cas, de l'eau déjà présente dans le matériau combustible comme c'est le cas du bois ; cette eau présente dans les fumées s'ajoute aussi celle due à l'humidité de l'air ambiant ; par exemple : la combustion de 1 litre de fuel domestique produit environ 1 litre d'eau, tandis que l'air de combustion (le comburant) fournit seulement 100 grammes d'eau : la pression partielle de la vapeur d'eau dans les fumées est la pression qu'elle aurait si elle occupait seule tout le volume disponible : si  $P'$  est la pression qui règne dans la cheminée, supposée égale à celle au niveau du foyer, la pression partielle  $P_V$  de la vapeur d'eau est proportionnelle à la pression totale des fumées  $P'$ , par l'intermédiaire de la fraction molaire  $x_V = n_V/n'$ , où  $n_V$  nombre de moles de la vapeur d'eau, et  $n'$  nombre de moles total des fumées :  $P_V(T) = x_V P'(T)$  (loi de Dalton) si la vapeur d'eau se condense, elle restitue de la chaleur au milieu, contribuant ainsi à le réchauffer. Cette quantité de chaleur est la chaleur latente de condensation, égale et opposée à la chaleur latente de vaporisation  $LV(T)$  qui dépend seulement de la température  $T$ . Entre  $100^\circ C$  et  $200^\circ C$ ,  $LV(T)$  est donnée par la formule de Regnault :  $LV(T) = 2540 - 2,93 T(^\circ C)$ , en kJ/kg ; les thermiciens emploient souvent cette loi en kWh/kg :  $LV(kWh/kg) = 0,7052 - 0,000808 T(^\circ C)$  ; quand les fumées se refroidissent, la pression partielle de la vapeur d'eau diminue et finit par devenir égale à la pression de vapeur saturante  $P_S(T)$  : la vapeur d'eau se condense. La température  $T$  qui détermine cette pression de vapeur saturante est appelée le point de rosée ; elle est liée à  $P_S$  par différentes formules :

- loi de Dupré :  $\ln P_S(\text{bars}) = 40,1755 - \frac{6436}{T(K)} - 3,868 \ln T(K)$

- loi de Duperray (valable entre  $100$  et  $200^\circ C$ ) :  $P_S(\text{bars}) = \left( \frac{T(^\circ C)}{100} \right)^4$

Le calcul du point de rosée des fumées  $T_S'$  nécessite de connaître la teneur en eau du bois combustible, la fraction molaire de la vapeur d'eau de l'air ambiant, et l'excès d'air « e ».

L'excès d'air « e » est l'écart relatif entre le volume d'air effectivement utilisé  $V_A'$  et le volume d'air  $V_A$  strictement nécessaire pour assurer une combustion complète :

$$e = \frac{V_A' - V_A}{V_A}$$

Il peut être négatif si l'air est en quantité insuffisante au foyer (l'excès d'air est alors en « défaut »). En utilisant la formule de Duperray, on met en évidence la relation entre le point de rosée  $T_S'$  et les quantités  $\tau$ ,  $x_V$  et e :

$$T_S'(^{\circ}C) = 100 P_{\text{air}}^{1/4}(\text{bar}) \left[ \frac{\frac{\tau}{M_{H_2O}} + \frac{x_V 5(1-\tau)}{M_C}}{\frac{\tau}{M_{H_2O}} + (1+x_V+e) \frac{5(1-\tau)}{M_C}} \right]^{1/4} \quad (1)$$



où  $M_{H_2O} = 0,018 \text{ kg/mol}$  et  $M_C = 0,012 \text{ kg/mol}$  sont les masses molaires respectivement de l'eau et du carbone ;  $P_{air}$  est la pression atmosphérique de l'air ambiant ( $P_{air} \approx 1 \text{ bar}$ ).

Exemple numérique : avec une teneur en eau du bois  $\tau = 0,25$ , une fraction molaire de la vapeur d'eau ambiante  $xV = 0,023$  (qui correspond par exemple à  $uV = 99\%$  pour  $T = 20^\circ\text{C}$  ou à  $73\%$  pour  $T = 25^\circ\text{C}$  ou à  $23\%$  pour  $T = 100^\circ\text{C}$  exemple) et un excès d'air  $e = 0,20$  (combustion oxydante), le point de rosée des fumées sous 1 atm est :  $TS' = 48^\circ\text{C}$ .

A titre de comparaison, avec  $e = 20\%$ , le point de rosée des fumées du fuel est  $50,1^\circ\text{C}$ .

D'après ce qui précède, le **point de rosée des fumées** dépend de :

- l'excès d'air  $e$  : il **diminue lorsque  $e$  augmente** ;
- l'humidité de l'air ambiant de combustion, représentée ici par  $xV$ , ou de manière plus normative par l'humidité relative :

$$u_v(\%) = 100 \frac{P_v}{P_s(T)} = 100 x_v \frac{P_{air}}{P_s(T)}$$

où  $PV = xV \cdot P$  est la pression partielle de la vapeur d'eau,  $P_s(T)$  la pression de vapeur saturante à la température considérée  $T$ . Le point de rosée **augmente avec l'humidité relative**  $u(T)$  :

$$u(T) = 100 \frac{P_v}{P_s(T)} \text{ (en \%)}$$

- l'altitude, puisque la pression ambiante  $P$  qui influence directement  $PV$  donc  $u(T)$ , **diminue avec l'altitude du lieu**.

Les courbes  $TS$  en fonction de  $e$  et de  $u$  ont l'allure suivante (figure 1) que permet de retrouver l'équation (1) :

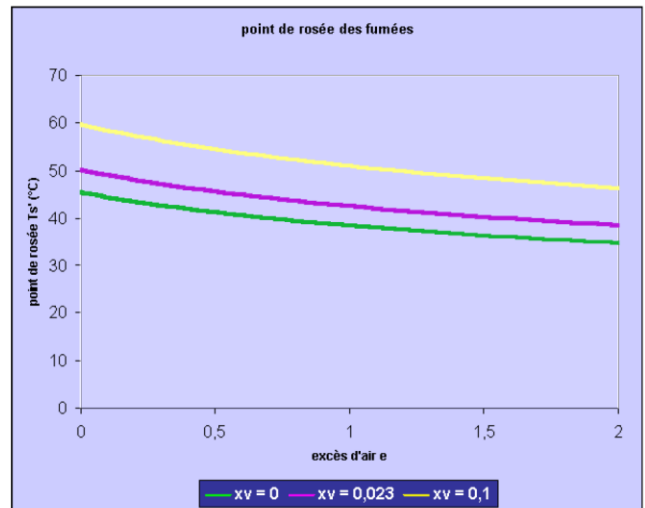


figure 1 – point de rosée des fumées

La distribution de la température des parois du conduit  $TC(y)$  conditionne la condensation de l'eau des fumées si elle devient inférieure ou égale à leur point de rosée  $TS'$ . Suite aux phénomènes de conduction thermique,  $TC(y)$  évolue d'un point «  $y$  » du conduit à l'autre «  $y + \Delta y$  » et cette distribution dépend du débit des fumées  $Q$  (le tirage). On peut en effet démontrer que, entre un point de position «  $y$  » et un autre de position «  $y + \Delta y$  » du conduit, la variation de température est :

$$T(y + \Delta y) - T(y) = (T(y) - T') \left[ 1 - \exp\left(-\frac{kS}{\rho' c_p Q}\right) \right]$$

où :  $T'$  température du fluide circulant dans le conduit (les fumées),  $k$  coefficient de transmission thermique des parois du conduit ( $\text{W/m}^2/\text{K}$ ),  $\rho'$  masse volumique des fumées, et  $S$  l'aire de la surface du conduit au contact des fumées sur la longueur  $\Delta y$  (donc  $S = a\Delta y$ , où  $a$  est le périmètre de la section du conduit),  $C_p$  la chaleur spécifique massique.

Les autres modes de transfert de chaleur entre les fumées et les parois du conduit, en plus de la conduction, sont :

- la convection forcée, qui dépend de la vitesse et de la température des fumées, donc de la puissance du foyer, de l'excès d'air et du diamètre du conduit,
- la convection naturelle, qui dépend de l'écart de température entre les fumées et les parois, ainsi que du diamètre du conduit.

Au niveau du foyer, la vapeur d'eau dans la fumée ne se condense donc jamais puisque la fumée est plus chaude que  $TS'$ . En revanche, elle risque de se condenser vers l'ouverture du conduit ou sur ses parois si elles sont à des températures inférieures à  $TS'$ . Le **maintien des parois à une température supérieure au point de rosée** est rendu possible par trois conditions :

- les **parois du conduit**, sur leurs faces internes, doivent être d'un **matériau possédant une bonne conductivité thermique** : ainsi la température produite au foyer est transportée sur une grande partie du conduit ;
- ces mêmes **parois** doivent, par contre, être **bien isolées thermiquement côté faces externes (calorifugeage)**, de façon à ce que la chaleur ne soit pas perdue vers l'extérieur, entraînant alors un refroidissement qui les rapprocherait du point de rosée ;
- enfin, la **chaleur ne doit pas avoir le temps d'évoluer entre le foyer et la sortie du conduit** : ceci implique que la **fumée ait une vitesse d'écoulement suffisante** dans le conduit, donc un **bon tirage**.

Si ces conditions sont réunies, l'eau qui se condense à la sortie de la cheminée et qui retombe vers le foyer en suintant sur les parois, se retrouverait de nouveau vaporisée puisque la température des parois est plus grande que le point de rosée. Le revêtement interne du conduit de cheminée en briques réfractaires, par exemple, répond à ces conditions.



- **Assurer un bon tirage.** Le tirage d'une cheminée est la pression d'aspiration de la fumée. Il doit être suffisant pour assurer un courant d'air constant à travers le foyer, donc la combustion.

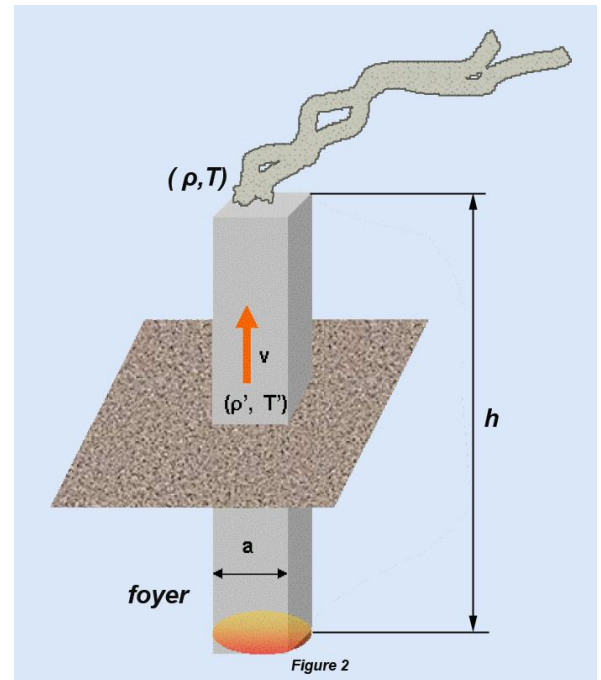
L'aspiration résulte du fait que l'air chaud à l'intérieur du conduit, moins dense que l'air extérieur, va être soumis à une poussée positive, ascensionnelle, par effet de poussée d'Archimède, lorsqu'il va rencontrer l'air extérieur plus froid et plus dense.

L'ascension de l'air chaud immédiatement au voisinage de la sortie du conduit crée à ce niveau, localement, une légère dépression qui provoque l'aspiration de l'air chaud du conduit.

Cette dépression est par conséquent donnée par la différence entre les pressions de l'air chaud et de l'air extérieur au sommet de la cheminée (figure 2). Soit  $h$  la hauteur totale de la cheminée, entre le foyer et l'extrémité de la sortie du conduit. La pression de la colonne d'air chaud contenue dans le conduit est  $\rho'gh$ , tandis que la pression de la colonne d'air extérieur de même hauteur est  $\rho gh$ . La dépression, ou tirage, est donc :

$$\Delta P = (\rho' - \rho)gh \quad (2)$$

Le tirage est d'autant meilleur que la cheminée est haute, que l'air à l'intérieur du conduit est chaud, et qu'il fait froid à l'extérieur.



Pour déterminer le tirage on a besoin de connaître la masse volumique  $\rho'$  des fumées à leur température moyenne  $T'$  dans le conduit. La masse volumique des fumées  $\rho'(T')$  dans le conduit est considérée pour une température  $T'$  des fumées dans le conduit supposée uniforme.

En fait comme la température suit une distribution exponentielle décroissante le long du conduit, du foyer jusqu'à la sortie de la cheminée on utilise la moyenne logarithmique des températures à l'entrée  $T_E$  et à la sortie  $T$  du conduit :

$$T' = \frac{T_E - T}{\ln\left(\frac{T_E}{T}\right)}$$

Application numérique : l'ordre de grandeur (littérature ...), de la masse volumique de l'air chaud d'un conduit à pression constante à  $T' = 150^\circ\text{C}$  dans le foyer est égale à  $\rho' = 0,9$  g/litre, tandis qu'à l'extérieur, à  $T = 10^\circ\text{C}$ , elle vaut  $\rho = 1,25$  g/litre. Pour une cheminée d'une maison de plain-pied de hauteur  $h = 6$  m, la relation (2) donne un tirage égal à :  $\Delta P = 20,6$  Pa = 2 mm de colonne d'eau (si une surface libre d'eau était soumise à cette dépression, elle monterait de 2 mm). Pour savoir si le tirage est suffisant pour assurer une bonne combustion, nous avons besoin de calculer le débit de l'air dans la cheminée. Pour cela nous devons estimer la vitesse de son écoulement dans le conduit.

En première approximation, on détermine la vitesse  $v$  en appliquant le théorème de Bernoulli corrigé des pertes de charges dues aux frottements dans le conduit. Les pertes de charge se traduisent par une chute en pression  $\Delta P_C$ , opposée à la pression motrice. On obtient donc :

$$\Delta P - \Delta P_C = \frac{1}{2}\rho'v^2$$

Les pertes de charge sont d'autant plus importantes que la vitesse d'écoulement est grande, la hauteur du conduit importante et sa section faible. Pour un conduit de section carrée de côté «  $a$  » les pertes de charges sont données par : (où la constante  $\Lambda = 0,022$ )

$$\Delta P_C = \Lambda \frac{\rho' h v^2}{2a}$$

Pour la plupart des cheminées modernes, la section carrée a pour côté  $a = 20$  cm. On obtient donc une vitesse de l'ordre de :

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho'} \frac{1}{1 + \frac{\Lambda h}{a}}} \quad (3)$$

soit  $v = 5,25$  m/s environ. Cette vitesse doit être supérieure à la vitesse maximale du vent pour que celui-ci ne refoule pas la fumée à l'intérieur de la cheminée. Il est clair que par temps venteux, avec des rafales pouvant atteindre 100 km/h (28 m/s), comme c'est le cas du mistral, il n'est pas conseillé de faire un feu de cheminée. Le débit d'aspiration s'obtient directement à partir de la surface de la section carrée du conduit  $S = a^2$  et de la vitesse  $v$  obtenue en (3) :  $Q = S v = a^2 v$  L'air étant supposé incompressible,  $Q$  est constant si le tirage ne change pas. Avec les données précédentes, on obtient :  $Q = 0,21$  m<sup>3</sup>/s soit 756 m<sup>3</sup>/h. Cette valeur énorme surestime les valeurs réelles d'un bon facteur 2 à cause des hypothèses très simplificatrices adoptées. Mais on va la conserver pour continuer d'illustrer le problème. Connaissant le débit d'air, il nous faut évaluer s'il est suffisant pour assurer une combustion qui soit la plus complète possible, et pour apporter la puissance de chauffage requise. Pour cela, nous calculons le débit volumique



d'air qui devrait être nécessaire pour fournir la proportion stoechiométrique de dioxygène utile à la combustion du carbone contenu dans le bois, en supposant que celui-ci soit essentiellement constitué de carbone (ce qui est faux, bien sûr ! mais cela donne un ordre de grandeur). Ce volume d'air est appelé pouvoir comburivore du combustible et est noté  $V_A$ . Soit donc « m » la masse du bois sec qui sera brûlé dans le foyer. On a vu qu'elle contient 25% d'eau, par conséquent la masse « utile » du combustible est  $0,75m$ . Par exemple 10 kg de bois sec contient 7,5 kg de combustible utile. Supposons de plus que cette masse utile soit constituée principalement de carbone, pour simplifier le raisonnement. Si la combustion est complète (ce qui est faux, là encore !), une mole de dioxygène de l'air réagira avec une mole de carbone pour donner une mole de dioxyde de carbone :  $C + O_2 \rightarrow CO_2$

En fait, la combustion suit un processus plus complexe. Les  $0,75m$  de carbone C, exprimés en kg, représentent un nombre de moles  $n = 0,75.m/0,012$ , puisqu'une mole de carbone a une masse de 12 grammes (0,012 kg). Et le volume d'une mole, pour un gaz, est 22,4 litres (0,0224 m<sup>3</sup>). Il s'ensuit que pour consommer une masse m de bois sec, il faut un volume de dioxygène égal à :  $0,0224 \times n = 0,0224 \times 0,75 \times m / 0,012 = 1,40 \times m$  (en m<sup>3</sup>).

Mais il faut environ 5 m<sup>3</sup> d'air pour obtenir 1 m<sup>3</sup> de dioxygène (puisque l'air est constitué en volume de 21% de O<sub>2</sub> et de 79% de N<sub>2</sub>), donc pour brûler une masse m de bois sec il faut un volume d'air égal à :

$$V_A \text{ (m}^3\text{)} = 5 \times 1,40 \times m = 7 \times m \text{ (kg)} \quad (4)$$

mais comme on l'a vu, l'air utilisé pour la combustion du bois peut être en excès ou en défaut par rapport au pouvoir comburivore, c'est-à-dire son volume  $V_A'$  différent de  $V_A$ . Pour assurer une combustion complète il faut  $V_A' \geq V_A$ , c'est-à-dire  $e \geq 0$ . Or l'air circulant avec le débit Q par le tirage a pour volume  $V_A'$  (par unité de volume du combustible). Compte tenu de (4) il faut donc :

$$V_A' \geq V_A \rightarrow Q \geq 7\dot{m}$$

où  $\dot{m} = dm/dt$  représente la vitesse avec laquelle la masse du bois diminue à cause de la combustion. Elle est difficile à évaluer car elle dépend de nombreux facteurs : la nature du bois, son pouvoir calorifique, son taux d'humidité, sa géométrie et son volume qui déterminent ses échanges avec l'air ambiant, les cinétiques chimiques mises en jeu lors de la combustion, la cinétique des flammes, etc. En bref, il faut que le tirage soit nettement plus important que la vitesse de combustion du bois. Le débit du tirage influence directement la puissance de chaleur transmise à la pièce à chauffer. Soit  $q'$  la quantité de chaleur émise par les fumées du foyer de la cheminée, qui sont portées à la température moyenne  $T' \approx 150^\circ\text{C}$  comme on l'a vu. Si  $m'$  est la masse de ces fumées, et  $c_P'$  leur capacité calorifique massique à pression constante, cette quantité de chaleur, ou enthalpie, est :

$$q' = m' c_P' (T' - T_{\text{air}})$$

Une masse élémentaire  $dm'$  des fumées transporte une quantité de chaleur élémentaire :  $dq' = dm' c_P' (T' - T_{\text{air}})$

Mais la masse est reliée à la densité et au volume des fumées par :  $dm' = \rho'(T') dV'$

Les fumées circulent avec un débit Q égal à celui du tirage :  $Q = \frac{dV'}{dt}$

La puissance thermique véhiculée par les fumées est donc proportionnelle au débit du tirage :

$$W = \frac{dq'}{dt} = \rho'(T') c_P' (T' - T_{\text{air}}) Q \quad (5)$$

Exemple numérique :

$T' = 150^\circ\text{C}$  ;  $T_{\text{air}} = 10^\circ\text{C}$ ,  $Q = 0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\rho'(T') = 0,9 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_P' = 1 \text{ J/g/K} = 1 \text{ kJ/kg/K}$  : donnent  $W' = 25,2 \text{ kW}$  puissance évacuée par les fumées dans la cheminée.

Or la source d'énergie est la combustion du bois, donnée par son pouvoir calorifique (PC). Pour le bois sec, on a en ordre de grandeur :  $PC \approx 13300 \text{ kJ/kg}$ , donc pour une masse m de bois sec on a  $m \times PC$ . Soit W la puissance thermique de la combustion du bois, qui représente la puissance de la source d'énergie, on a :  $W = \dot{m} \times PC$

Le rendement de combustion est donc :  $\eta = \frac{W - W'}{W}$

Il est positif si  $W > W'$ , donc si  $(dm/dt) \times PC > \rho' c_P' (T' - T_{\text{air}}) Q$ ,

ce qui donne une limite à ne pas dépasser pour le tirage :

$$Q < \frac{\dot{m} \times PC}{\rho' c_P' (T' - T_{\text{air}})}$$



**REMARQUE :** Pour les chaufferies le rendement de combustion est exprimé par la formule de Siegert :

$$\eta(\%) = 100 - f \frac{T' - T_{\text{ext}}}{\alpha'_{\text{CO}_2}}$$

où  $T'$  est la température des fumées à la sortie de la chaudière,  $T_{\text{ext}}$  température extérieure de la chaufferie,  $\alpha'_{\text{CO}_2}$  la teneur en  $\text{CO}_2$  des fumées exprimée en %,  $f$  facteur qui dépend du type de combustible ( $f = 0,57$  pour le mazout,  $f = 0,47$  pour le gaz naturel,  $f=1,2$  pour bois humide,  $f=0,84$  pour plaquette sèche,  $f=0,4$  pour granulés...). Tout comme le feu de bois dans l'âtre d'une cheminée, on voit que pour une chaudière, plus la température des fumées est élevée, plus la chaleur s'évacue par la cheminée, et l'échange thermique entre l'eau et les fumées de la chaudière est d'autant moins bon.

Si  $\eta < 0$ , le tirage est trop important et il entraîne plus de chaleur vers l'extérieur que n'en fournit la combustion du bois dans le foyer de la cheminée : la pièce se refroidit !

Compte tenu de la première condition sur la combustion complète,  $Q \geq 7 \text{ dm/dt}$ , le tirage doit donc évoluer entre deux limites : (6)

$$7\dot{m} \leq Q \leq \frac{\dot{m}PC}{\rho'c_p'(T'-T_{\text{air}})} \quad (6)$$

**Application numérique :** avec les données précédentes, on obtient :  $7\dot{m} \leq Q \leq 105\dot{m}$

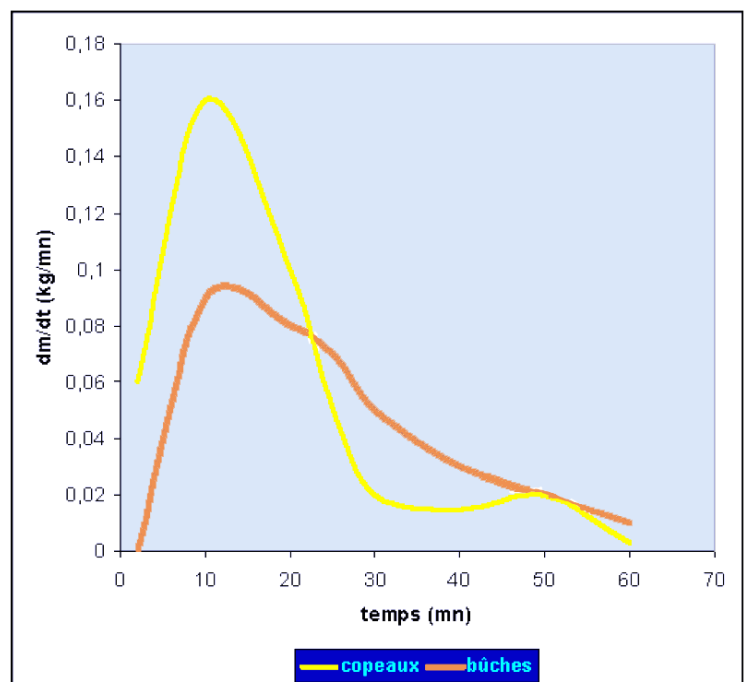
On a donc une bonne marge pour un tirage satisfaisant si le taux de combustion du bois est suffisant et si la masse de bois est suffisante.

Brûlage du bois et les conditions qui influencent son taux de combustion  $\text{dm/dt}$  : La vitesse de combustion  $\dot{m}$  dépend du combustible présent dans le bois, de l'épaisseur et de la surface des morceaux de bois au contact des flammes.

Lorsque le bois brûle, sa couche externe se transforme au bout d'un certain temps en charbon de bois. Or le charbon de bois est thermiquement plus isolant que le bois (environ 8 fois moins conducteur) : il va donc ralentir la combustion.

Par conséquent, de façon générale, la vitesse de combustion augmente au début de l'incendie puis, après avoir franchi un maximum, diminue de manière importante. Comme dans les premières phases de combustion la surface de contact influence directement la vitesse de combustion (celle-ci augmente avec la surface donc lorsque les morceaux sont plus petits) et que les petites pièces sont le siège de pertes thermiques  $j_P$  moins élevées, la courbe d'évolution de  $\dot{m}(t)$  est plus haute pour les petites pièces (copeaux de bois) que pour les grandes

(bûches). L'usage oriente le choix : pour un chauffage au feu de cheminée on cherche plutôt une combustion plus longue, donc une vitesse de combustion plus faible ; on emploiera donc de préférence des bûches. En revanche, pour un barbecue par exemple, on cherche une cuisson assez rapide et énergétique : on emploiera alors plutôt des bûchettes. La **figure ci contre** montre l'allure des courbes de vitesse de combustion du bois dans le cas de pièces importantes (bûches) et de pièces plus parcellisées (bûchettes). On atteint des maximums compris entre 0,09 kg/mn et 0,16 kg/mn.



- vitesse de combustion du bois, influence de la granulométrie

**REMARQUE :** Dans le cas des chaudières, où l'on cherche à transmettre un maximum de chaleur à l'eau, on installe un régulateur de tirage. Si le tirage augmente, conduisant à une baisse du rendement de combustion  $\eta$ , le régulateur s'ouvre et mélange les fumées avec l'air ambiant de la chaufferie. Le volume de gaz aspiré par la cheminée croît et donc la température diminue, ce qui entraîne une baisse du tirage.



## - Aménager une prise d'air au niveau du foyer.

Si la pièce dans laquelle se trouve le foyer de la cheminée était un lieu complètement fermé, le tirage aurait pour effet de prélever une quantité d'air par unité de temps égale au débit volumique des fumées  $Q$ . Au bout d'un certain temps, que nous allons évaluer et qui, éventuellement, pourrait être très court, ce prélèvement ramène la pression de l'air du foyer à devenir égale à la pression extérieure qui règne à la sortie du conduit sur le toit. A ce moment là le tirage cesse donc et la fumée reflue dans l'âtre de la cheminée.

Pour permettre le fonctionnement continu du tirage, il faut donc que l'air qui a quitté la pièce par le tirage puisse être immédiatement remplacé : autrement dit, il faut une prise d'air au voisinage du foyer. Elle devra être placée juste au-dessous du foyer afin que l'air qui provient de l'extérieur puisse traverser celui-ci et se chauffer, et afin d'éviter une circulation d'air dans la pièce si la prise était placée plus loin.

L'évaluation de la durée au bout de laquelle le tirage cesse pour une pièce complètement fermée est donnée par la formule ci-après. Si on désigne par  $V$ , le volume de la pièce,  $M'$  la masse molaire des fumées au niveau du foyer,  $\rho_0'$  leur masse volumique initiale,  $T'$  leur température et  $P_{ext}$  la pression de l'air à l'extérieur à la sortie du conduit, cette durée serait donnée par :

$$t_m = \frac{V}{Q} \ln \left( \frac{P_0 T'}{P_{ext} T} \right) \quad (7)$$

Le tirage cesse donc d'autant plus rapidement que le volume de la pièce est petit, que le débit de tirage est grand, ou que la température au foyer est faible, comme on pouvait s'y attendre.

D'après la relation des gaz parfaits, la pression des fumées est  $P' = RT' \rho_0' / M'$ , (7) s'écrit donc encore :  $t_m = \frac{V}{Q} \ln \left( \frac{P'}{P_{ext}} \right)$  (7 bis)

ce qui n'a de sens que si  $P' > P_{ext}$  (la pression des fumées est supérieure à la pression extérieure), ce qui est le cas puisque la pression au foyer est plus grande que la pression atmosphérique car le foyer est plus chaud que l'extérieur. Mais, en ordre de grandeur, on a pratiquement  $P' \approx P_{ext}$  donc  $t_m$  est très faible : l'arrêt du tirage est quasi instantané si la pièce est fermée.

**Bibliographie** : Frédéric Élie, mars 2008 - <http://fred.elie.free.fr>

- 1 - Sol stable si incombustible (si dalle flottante avec isolation remplacer par béton).
- 2 - Entrée d'air ambiant **3** - Ou **3 bis** arrivée d'air frais (minimum 50 cm<sup>2</sup>) :  
Obligatoire dans le cas de VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée), extracteur de houé, etc.  
Nécessaire si l'étanchéité réglementaire de l'habitation (arrêté du 24 Mars 1982) est bonne.
- 4 - Paroi d'adossement sur toute l'emprise de la cheminée : dépose matériaux dégradables chaleur.
- 5 - Espace ventilé, passage de l'air de convection.
- 6 - Isolation MO (laine de roches haute température ou fibre céramique) doublée d'une feuille d'aluminium.
- 7 - Conduit de raccordement exécuté par : Tubage polycombustible (titulaire d'un avis technique)  
Tôle noire d'épaisseur minimum 2 mm - Tôle émaillée d'épaisseur minimum 0,6 mm  
Acier inoxydable d'épaisseur minimum 0,4 mm - Dévoisement maximum 90° sous certaines conditions
- 8 - Modérateur de tirage (si tirage excessif) visible et accessible.
- 9 - Porte de visite de hotte. (Ceci peut permettre une accessibilité au conduit de raccordement).
- 10 - Hotte en matériau incombustible ou protégée par isolant MO.
- 11 - Grille de ventilation de hotte (positionnée à 30 cm minimum du plafond).
- 12 - Déфлекteur de hotte (faux plafond en matériau MO).
- 13 - Orifices de ventilation de la « chambre » supérieure du déflecteur.
- 14 - Éléments de raccordement (emboîtements minimum 40 mm).
- 15 - Les conduits construits après février 1991 doivent déboucher d'au moins 50 mm sous le plafond.
- 16 - Pose des boisseaux (aux normes NF) avec les parties mâles vers le bas. Joints lissés intérieurement.
- 17 - Doublage du conduit de fumée dans les parties habitables par une isolation thermique :  
50°C sur parois extérieures - Protection contre les chocs pour les conduits métalliques.
- 18 - Vide ventilé (haut et bas à chaque étage) d'au moins 30 mm de largeur, notamment dans le cas d'un conduit métallique.
- 19 - Dévoisement autorisé : 2 Dévoisements maximum (soit une partie non verticale)  
Angle du dévoisement = 45° pour une hauteur du conduit de moins de 5 m  
= 2° pour une hauteur du conduit supérieure à 5 m
- 20 - Ecarts au feu = 16 cm minimum de la paroi intérieure du conduit à tout élément combustible le plus proche.
- 21 - Dans les parties non habitables ou inaccessibles, la température de la paroi extérieure du conduit de fumée ne doit pas excéder 80°C. Doublage éventuel par une cloison de 50 mm et vide ventilé de 30 mm.
- 22 - Souche : Elle doit être isolée (R.U. > 0,43 m<sup>2</sup>. K/W) et protégée par un enduit, ou un revêtement étanche à la pluie (nous conseillons de doubler les parois du conduit par une cloison revêtue d'un enduit étanche).  
Hauteur hors couronnement :  
Minimum 0,40 au-dessus du faîte du toit (pour pentes supérieures à 15°)  
Minimum 1,20 au-dessus du faîte du toit (pour pentes inférieures à 15°)  
Minimum 1,00 au-dessus du mur d'acrotère (terrasses)
- 23 - Couronnement : protection contre la chute de pluie dans le conduit par une « cape à l'italienne ».

