

Notions de tirage et d'évacuation des fumées d'un four céramique à gaz.

Didier Descamps <http://didierdescamps.fr>

23 mars 2019

Ce petit document est à l'usage des céramistes qui veulent concevoir leur four à gaz. Il permet de dimensionner le conduit de départ des fumées en sortie de chambre, ainsi que la conduite d'évacuation des fumées hors du local contenant le four.

Il ne concerne pas le dimensionnement d'un foyer ouvert à bois.

Il ne traite pas des normes et des obligations légales.

1 Les deux problèmes.	2
2 Hypothèses simplificatrices.	3
3 Pression dans la chambre et cheminée de tirage.	3
3.1 principe du calcul.	3
3.2 code de calcul.	4
4 Évacuation des fumées.	4
4.1 principe du calcul.	4
4.2 le code.	4

1 Les deux problèmes.

la figure 1 schématise un four à gaz.

S'il est équipé de brûleurs à air induit, la cheminée de tirage doit être de section suffisante pour que la pression au bas de la chambre soit inférieure à la pression atmosphérique, permettant ainsi l'entrée d'air secondaire autour des brûleurs. Un registre permet alors de régler cette dépression et par conséquent l'atmosphère oxydo-réductrice dans la chambre.

S'il s'agit de brûleurs à air soufflé il n'y a pas besoin de régler cette pression, mais il est agréable d'obtenir une légère dépression pour –par exemple– éviter de se brûler en jetant un œil par un regard.

Par ailleurs, sauf si le four est à l'extérieur ou dans un local aéré et de volume énorme, il faut sortir les fumées du local en sécurité par une conduite d'évacuation.

Il y a donc lieu de faire deux dimensionnements distincts.

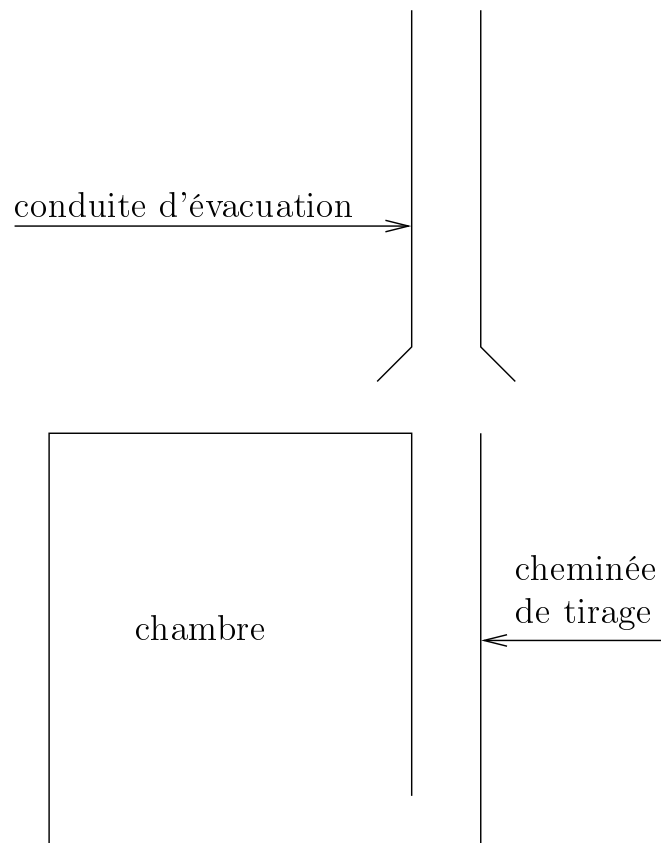


FIGURE 1 – schéma d'un four à gaz

2 Hypothèses simplificatrices.

Il s'agit ici de fournir des dimensions sans grande précision en effectuant des calculs simples et « au pire », on majorera ensuite les résultats des calculs en appliquant des « coefficients de sécurité ».

On considère les gaz à haute température comme des gaz thermodynamiquement parfaits et visqueux, mais il est difficile d'obtenir des données précises sur leur comportement, notamment leur viscosité.

Ces calculs se font dans des conditions stœchiométriques. Cela se justifie par le fait qu'en pratique on ne s'éloigne jamais fortement de ces conditions en fin de cuisson (chez moi, le taux d'aération est toujours compris entre 95% et 105%).

Ils doivent être effectués à la puissance et à la température maximales, et en considérant que les écoulements sont adiabatiques (sans échange de chaleur). Cela pour se placer dans les conditions les plus défavorables.

3 Pression dans la chambre et cheminée de tirage.

3.1 principe du calcul.

Les gaz brûlés –appelés fumées dans la suite de ce papier– sortent par le bas de la chambre dans la cheminée à la température t régnant dans le four. Du fait de leur température élevée, leur masse volumique ρ_f (ou "densité", pour simplifier) est plus faible que ρ_a , celle de l'air froid du local. Il s'en suit une aspiration ou « dépression motrice »

$$p_{mot} = (\rho_a - \rho_f)gh$$

où

- ρ_a est la masse volumique de l'air ambiant ;
- ρ_f est celle des fumées à la température t du four ;
- g est l'accélération de la pesanteur ;
- h est la hauteur de la conduite.

Dès qu'il y a un écoulement, il y a un frottement, donc une perte de charge. Elle s'exprime comme

$$p_{ch} = \lambda \frac{h}{d} \rho_f \frac{v^2}{2}$$

avec

- λ est le facteur de pertes dépendant de Re le nombre de Reynolds. Re est estimé à 5500, d'où un écoulement *laminaire* avec $\lambda \approx 0,04$;
- v est la vitesse moyenne des fumées dans la cheminée.
- d est le diamètre hydraulique de la cheminée.

Pour mettre la chambre en dépression, il faut que la dépression motrice soit plus grande que la perte de charge. Un calcul direct du diamètre tel que $p_{mot} = p_{ch}$

donne

$$d^5 = \lambda \rho_f \frac{q_f^2}{2} p_{mot}$$

Il faudra donc choisir un diamètre hydraulique plus grand que cette valeur critique. À noter que cette valeur est indépendante de h .

3.2 code de calcul.

Le calcul étant direct, une bête feuille de calcul LibreOffice¹ suffit. Récupérez le fichier "chem.ods" ici : <http://didierdescamps.fr/cheminees/chem.ods> et modifiez les cases C3 à C5 à votre convenance. Avec les valeurs par défaut le résultat sera 77 mm, donc un minimum de 80 mm conviendra.

Remarque : Si on envisage deux cheminées (ou plus) en parallèle, il ne faut pas choisir la même surface de section qu'avec une cheminée unique (la perte de charge augmente avec la surface latérale) mais faire le calcul avec une puissance divisée par deux.

4 Évacuation des fumées.

4.1 principe du calcul.

On trouve ici les mêmes phénomènes de dépression motrice et de perte de charge rencontrés dans la cheminée. Mais deux aspects différent :

- les fumées issues du four vont se mélanger avec une quantité importante d'air frais, et la température de ce mélange doit être compatible avec le matériau de la conduite ;
- les deux extrémités de la conduite sont soumises à la même pression atmosphérique, et par conséquent $p_{mot} = p_{ch}$.

On comprend intuitivement que la quantité d'air frais sera d'autant plus grande –et donc la température obtenue plus basse– que le diamètre est important. Il s'agit donc de déterminer le diamètre garantissant une température limitée.

Remarque : ici aussi Re est petit et l'écoulement est laminaire. Les filets fluides ne se mélangent pas facilement entre eux, et la périphérie en contact avec la conduite est plus froide que le centre². On fait donc –et heureusement– un calcul pessimiste.

4.2 le code.

Le petit code Python3³ suivant réalise ce calcul pour une section circulaire.

1. LibreOffice est un logiciel libre et gratuit, installable sur tout ordinateur quelque soit son système (Linux, Windows...)

2. j'ai observé sur mon four que la température de la conduite augmente avec l'altitude. Le mélange progressif des filets fluides explique ce paradoxe.

3. Python est un autre logiciel libre et gratuit, installable sur tout ordinateur.

La résolution directe des équations est impossible. Le code utilise une méthode de dichotomie en faisant varier le débit d'air jusqu'à ce que $p_{mot} \approx p_{ch}$. La température de mélange est alors retournée.

Utilisation : Le code ci-dessous peut être récupéré ici :

<http://didierdescamps.fr/cheminees/evac.py>

puis on tapote « python3 evac.py 50 1300 20 » par exemple. On entre ensuite le diamètre envisagé, 180 par exemple, et on obtient en retour la température moyenne obtenue, 183,4°C, compatible avec une conduite en aluminium.

```
#####
# evac.py #
# tirage d'une conduite d'évacuation #
# section circulaire #
# propane #
# Didier Descamps, 08/03/2019 #
#####

import sys
from math import pi

if(len(sys.argv)!=4):
    sys.exit("il faut entrer dans l'ordre la puissance (kW),\
    la température maxi (°C) et la température ambiante (°C) :")

P=float(sys.argv[1]) # la puissance kW PCI
tf=float(sys.argv[2]) # température maxi du four (°C)
ta=float(sys.argv[3]) # température ambiante
fd=input("diamètre en mm ? :")
d=float(fd)
print("d={0:5.1f} mm ".format(d))
d=d/1000.0
h=1.0
critere=0.00001 # critère de fin de boucle

c=1.0 # propane : 1 m3(n)/kWh(pci)
# et 1,07 pour le gaz naturel
rhof0=1.2695 # propane # masse volumique des fumées à 0°C
qf=c*rhof0*P/3600 # débit masse des fumées
rhoa0=1.29 # masse vol. air à 0°C
rhoa=rhoa0*273/(273+ta) # masse vol. air à ta
rhof=rhof0*273/(273+tf) # masse vol. fumées à tf
pmot=0.0 # pression motrice initiale avant boucle
pch=100.0 # perte de charge initiale
qamax=qf*100.0
```

```
qamin=0.0
lamda=0.04 # facteur de pertes en régime laminaire, Re~5500

while( abs(pmot-pch)>critere ):
  qa=(qamax+qamin)/2.0
  tm=(tf*qf+ta*qa)/(qf+qa) # température du mélange
  rhom=(qf+qa)/((qf/rhof)+(qa/rhoa)) # masse vol. du mélange
  v=4.0*(qf+qa)/(rhom*pi*d*d) # vitesse moyenne
  pmot=(rhoa-rhom)*9.81*h # dépression motrice
  pch=0.5*lamda*h*rhom*v*v/d # perte de charge
  if(pmot>pch):
    qamin=qa
  else:
    qamax=qa
print("température moyenne : {0:5.1f} °C".format(tm) )
```