

# Conception et construction d'un four à gaz pour grès et porcelaine

Didier Descamps

31 janvier 2024



En 2011 j'étais encore loin de la retraite, et je décidai de ne pas l'attendre pour renouer avec une vieille passion, remettre les mains dans la terre et la terre dans le feu. J'ai donc entrepris de reconstruire un four de poterie ("re" parce-que je fus potier professionnel pendant quelque temps au début des années 80). Pour le seul loisir, je n'avais pas à l'époque l'intention d'en tirer un quelconque revenu.

Un four à gaz, bien sûr, et pouvant atteindre 1300 °C pour cuire du grès et de la porcelaine. Par chance, j'ai suffisamment de place à la maison.

<b>1 Conception générale</b>	<b>2</b>
1.1 Architecture . . . . .	2
1.2 Volume . . . . .	3
1.3 Gaz naturel . . . . .	3

<b>2 Brûleur</b>	<b>3</b>
2.1 Conception . . . . .	3
2.1.1 Ouvreau . . . . .	4
2.1.2 Mélangeur . . . . .	4
2.1.3 Alimentation . . . . .	4
2.2 Fabrication . . . . .	5
<b>3 Carcasse</b>	<b>9</b>
<b>4 Montage des réfractaires</b>	<b>9</b>
<b>5 Évacuation des fumées</b>	<b>11</b>
<b>6 Cuissons manuelles</b>	<b>13</b>
6.1 Cuisson de réglage . . . . .	13
6.2 Cuisson de dégourdi . . . . .	13
6.3 Cuisson d'email . . . . .	14
<b>7 Cuissons partiellement automatiques (2017) [À COMPLÉTER]</b>	<b>16</b>
7.1 l'idée générale . . . . .	16
7.2 les pistes abandonnées . . . . .	16
7.2.1 servo-vannes . . . . .	16
7.2.2 allumage par bougie . . . . .	16
7.2.3 flamme pilote . . . . .	17
7.3 réalisation . . . . .	17
7.4 bilan de l'automatisation . . . . .	18
<b>8 exemples de courbes de cuisson</b>	<b>18</b>
<b>9 conclusion</b>	<b>18</b>

# 1 Conception générale

## 1.1 Architecture

Évidemment, c'est un four à gaz qu'il me faut! en contrôlant précisément le rapport air/gaz, on peut obtenir en fin de cuisson une atmosphère sans oxygène et avec des traces d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Cette atmosphère dite « réductrice », permet d'obtenir des couleurs très différentes de celles de l'atmosphère « oxydante » d'un four électrique. Un four à gaz peut réaliser aussi une atmosphère oxydante semblable à celle d'un four électrique, il est polyvalent.

L'utilisation de matériaux fibreux légers et très isolants permet de limiter l'accumulation et la transmission de la chaleur dans les parois, et contribue à une faible consommation de gaz.

J'ai choisi une épaisseur de paroi de 150 mm, et une puissance de 40 kW. ces choix proviennent de l'expérience (mon four d'autrefois et ceux que j'ai fait pour des amis) et de calculs de conduction instationnaire (voir <http://didierdescamps.fr/four/conduc-insta.pdf>).

Un brûleur à air soufflé et à très grande vitesse de sortie de la flamme provoque une convection forcée importante dans le four. On peut ainsi réaliser des cuissons rapides et obtenir une très bonne égalité des températures dans tout le volume du four, même avec un seul brûleur. Ce type de brûleur est souvent appelé « brûleur jet ».

Le brûleur est placé au plafond près d'un mur, la sortie des fumées se fait par le bas par une double cloison réalisée en briques légères. On évite ainsi la formation d'une zone froide rayonnant vers l'extérieur.

## 1.2 Volume

Quelle difficulté de définir la bonne taille! En loisir un four ne doit pas être trop grand pour éviter des cuissons trop rares ou à vide, mais il doit permettre de cuire de grandes pièces.

Il me restait une dizaine de plaques d'enfournement de 500 × 300, cela m'a aidé à trancher : côte à côte elles permettent la cuisson d'un plat de  $\varnothing$  450 mm. Et 700 mm de hauteur utile. Ce qui fait hors tout un cube de 1 m<sup>3</sup>...

## 1.3 Gaz naturel

La plupart de fours à gaz sont en zone rurale et fonctionnent au propane. Mais j'habite en ville et 40 kW supposent un débit de 4 m<sup>3</sup>/h de gaz naturel compatible avec un abonnement normal. Le gaz naturel a de gros avantages :

- plus léger que l'air, vitesse de déflagration plus faible que celle du propane, pas de stock, tout cela contribue à la sécurité;
- pas de changements de bouteilles, de remplissage de citerne, de manipulations;
- le prix, d'autant que le compteur, la chaudière et la gazinière existent déjà.

Mais il a un inconvénient : avant compteur le gaz est détendu à 28 kPa effectifs, cette très basse pression est difficilement compatible avec un brûleur jet. On pourrait essayer de recomprimer ou de négocier une plus forte pression avec le distributeur. J'ai préféré concevoir un brûleur adapté.

# 2 Brûleur

## 2.1 Conception

Un brûleur se compose de deux parties, le mélangeur air-gaz et l'ouvrage en béton réfractaire dans lequel a lieu la combustion.

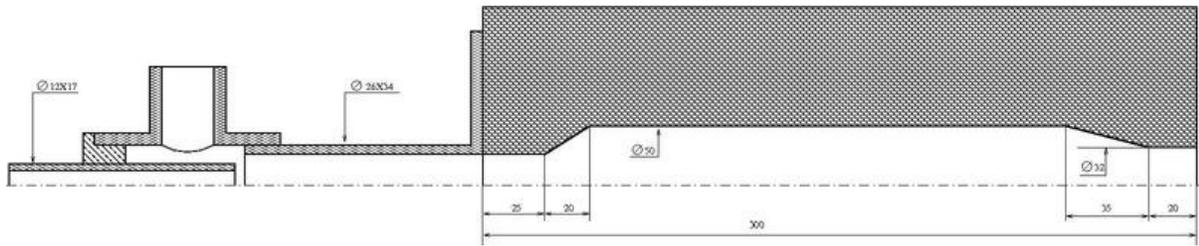


FIGURE 1 – plan du brûleur

### 2.1.1 Ouvreau

Extérieurement, c'est un parallélépipède  $150 \times 150 \times 300$ . Intérieurement, la chambre est cylindrique avec une sortie  $\varnothing 32$  et une entrée  $\varnothing 25$

Une estimation grossière (Bernoulli, loi des gaz parfaits...) donne pour 40 kW une sortie des gaz brûlés à 110 m/s, ce qui implique une pression dans la chambre de 1080 Pa. Dans ces mêmes conditions l'entrée est à 25 m/s, cinquante fois plus que la vitesse de déflagration. Le brûleur peut donc accepter une très faible puissance sans risque de remontée de flamme dans la boîte de mélange. Appréciable pour les débuts de cuisson et les très grosses pièces.

### 2.1.2 Mélangeur

Dans l'ouveau la pression doit atteindre 10 kPa, au compteur elle n'est que de 28 kPa. Même si les pertes dans les conduites sont faibles, ça va faire juste!

Dans un brûleur atmosphérique classique (gazinière, etc.) le gaz est injecté au centre d'un tube et entraîne l'air comburant en lui transmettant sa quantité de mouvement.

Ici, c'est le contraire, c'est l'air qui est injecté à grande vitesse au centre, par la conduite  $\varnothing 12 \times 17$  et qui provoque une forte aspiration du gaz entrant par le côté (jusqu'à -10 kPa). Tout se passe comme si on avait augmenté d'autant la pression au compteur. Je dois humblement avouer que je suis assez fier de cette idée.

Cela suppose une forte pression de l'air que fournit difficilement un ventilateur centrifuge classique, mais il existe des « soufflantes à canal latéral » bien adaptées à ce débit et à cette pression. Voir [http://www.transmission-expert.fr/pdf\\_fabricant/00006303.pdf](http://www.transmission-expert.fr/pdf_fabricant/00006303.pdf)

La soufflante, comme tout ventilateur, est assez bruyante. À mettre dans un autre local, pour moi le sous-sol.

### 2.1.3 Alimentation

Il faut pouvoir régler et mesurer les débits d'air et de gaz. Pour le réglage du gaz, un simple robinet à boisseau sphérique dont j'ai allongé la manœuvre pour plus de précision<sup>1</sup>. Pour la

1. Dès que possible je changerai les robinets de la colonne gaz pour des NF gaz, pour me conformer à la réglementation.



FIGURE 2 – lignes d'air et de gaz

mesure, un robinet entrouvert dont j'ai retiré la manœuvre et deux prises de pression de part et d'autre. Le débit est proportionnel à un coefficient et à la racine carrée de la perte de pression, que je mesure avec un manomètre différentiel numérique. Un compteur de gaz permet de régler ce coefficient et aussi de mesurer la consommation totale d'une cuisson. L'air est réglé pour qu'une combustion neutre soit obtenue avec une même perte sur le gaz et sur l'air. Le réglage du débit se fait en jouant sur la fréquence d'alimentation électrique de la soufflante. Voir figure 2.

## 2.2 Fabrication

Le modèle en tubes PVC et plâtre à modeler en figure 3

Le moule en plâtre pour faire le noyau en plâtre et tubes en figure 4

Le coffrage pour couler le béton autour du noyau en figure 5

Après plusieurs jours de séchage et après avoir retiré les tubes PVC, un petit four provisoire pour cuire l'ouvrage (figure 6). Le plâtre restant se désagrège ensuite facilement

Les premiers essais « sur table » en figure 7. On voit la soufflante et le variateur qui génère du triphasé (mon compteur est monophasé).

La boîte de mélange en figure 8.

Le brûleur à son poste, maintenu par deux cornières et deux tiges filetées, avec des rondelles « Belleville » pour la dilatation (fig. 9).



FIGURE 3 – modèle



FIGURE 4 – moule



FIGURE 5 – coffrage



FIGURE 6 – petit four provisoire



FIGURE 7 – montage sur table



FIGURE 8 – boîte de mélange



FIGURE 9 – brûleur en place

### 3 Carcasse

Je ne suis pas bien équipé, je possède juste une meuleuse et un poste à souder. De plus ma vue est devenue très mauvaise et j'ai maintenant de grosses difficultés à souder à l'arc. Je me suis offert le luxe de dessiner et faire faire par un chaudronnier. Quel plaisir!

En 2 mm, je n'ai pas trouvé l'acier A42CP préconisé pour les fours. j'ai du prendre de la tôle ordinaire.

### 4 Montage des réfractaires

Ici aussi, l'entreprise qui m'a fourni les matériaux s'est proposée de les mettre en œuvre pour un supplément de prix négligeable. Et je n'aurais jamais pu faire aussi bien! ah, l'expérience...

La première couche du sol et les steuds inox soudés (fig 10). premières couches de fibre



FIGURE 10 – steuds soudés

aux murs, et les briques du sol (fig 11). Début de la « double cloison » du départ des fumées (fig 12). La porte et le toit sont garnis de fibre selon une autre technique (fig 13).



FIGURE 11 – premières couches de fibre

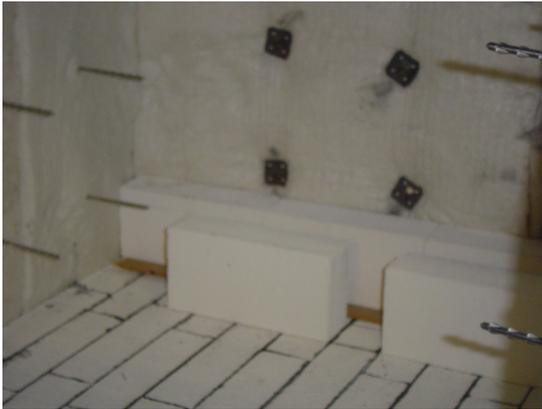


FIGURE 12 – cloison



FIGURE 13 – porte

## 5 Évacuation des fumées

Le four est installé dans un local, un conduit de sortie des fumées est indispensable.

L'acier inox étant très coûteux, surtout en double paroi, j'ai choisi l'aluminium. Évidemment l'alu résiste beaucoup moins bien à des températures élevées, mais on peut malgré cela l'utiliser en sécurité : en choisissant un diamètre suffisant et en montant un coupe-tirage (une hotte), on dilue les fumées dans suffisamment d'air frais pour que la température maximale subie par l'alu ne dépasse pas 160°C.

La sortie du four et le coupe tirage (que je n'ai trouvé qu'en inox) supporté par 4 tiges filetées sont en figure 14. Les tiges sont maintenant remplacées par une potence reprise sur le mur.



FIGURE 14 – hotte

La conduite simple paroi en alu de diamètre  $\varnothing$  180 mm avec passage dans un entresol avec 2 coudes à 45° est visible en figure 15. Les étiquettes papier m'ont servi à « viser » avec un thermomètre sans contact (l'émissivité de l'alu est trop faible pour qu'une mesure directe soit fiable) Et la sortie est en figure 16.

Vous trouverez dans <http://didierdescamps.fr/combustion/combustion.pdf> des aides au dimensionnement de ces conduites.

Petit problème, de l'eau rentre en cas de vent fort et de pluie. Je couvre la sortie avec un sac imperméable entre deux cuissons pour y remédier... en attendant une meilleure idée.



FIGURE 15 – conduit de fumée



FIGURE 16 – sortie des fumées à l'extérieur

## 6 Cuissons manuelles

### 6.1 Cuisson de réglage

Pour la toute première cuisson, j'ai chargé le four classiquement (plaques d'enfournement sur quilles) mais avec des briques réfractaires à la place des pièces. Au delà de 1000°C, si la combustion est réductrice, les gaz s'enflamment à la sortie du four au contact de l'air frais. On peut donc facilement repérer la combustion neutre et régler les robinets de débit. J'ai arrêté la montée à 1050°, le four était trop chargé et, les réglages faits, il était inutile de gaspiller du gaz...

### 6.2 Cuisson de dégorge

Souvent et bizarrement appelée « cuisson de biscuit », c'est la première cuisson de la terre sans émail, jusqu'à 950°, et en atmosphère oxydante (fig. 17).



FIGURE 17 – dégorge

Le fichier [2011-04-21-degorge.gnumeric](#)2011-04-21-degorge.gnumeric montre ma première cuisson de dégorge. On y voit que j'ai eu un peu de mal à maîtriser les tous débuts, et deux pièces épaisses ont cassé.

La consommation de gaz est d'environ 10 m<sup>3</sup>, l'équivalent de 8 kg de propane.

### 6.3 Cuisson d'émail

La « vraie » cuisson, à 1280°C, en réduction à partir de 980°.  
Le fichier [2011-04-28-email.gnumeric](#)2011-04-28-email.gnumeric décrit cette première cuisson d'émail.

Le four avant cuisson (qui aurait pu être mieux rempli), avec des montres fusibles un peu partout pour apprécier l'isothermie (fig. 18).



FIGURE 18 – avant la cuisson d'émail

La consommation de gaz est d'environ 20 m<sup>3</sup>

Et le lendemain...(fig. 19).

À l'examen des montres (7 à 10, soit 1230, 1250, 1280 et 1300°) on voit qu'on est monté presque partout à plus de 1300°C, et que l'isothermie n'est pas parfaite. La prochaine fois, je ralentirai davantage entre 1260 et 1280°C (fig. 20).

et entre temps, je créerai un regard qui me permettra de voir ces montres durant la cuisson<sup>2</sup>.

---

2. je me relis en 2017, c'est fait depuis longtemps, heureusement!



FIGURE 19 – après la cuisson d'émail



FIGURE 20 – montres fusibles

\*

## 7 Cuissons partiellement automatiques (2017) [À COMPLÉTER]

Le potier qui cuit dans un four électrique moderne tapote quelques boutons sur un programmateur, lance la cuisson et peut aller se coucher, le four suit automatiquement la courbe de température programmée en l'absence du maître. Par contre le four à gaz demande en général d'être conduit manuellement; la cuisson est alors un travail plutôt ennuyeux, surtout dans sa première partie.

En 2017 j'ai acheté un programmateur pour automatiser en grande partie les cuissons gaz et les rendre moins fastidieuses. Partiellement seulement parce que le budget est (très) limité et que le problème est plus compliqué qu'avec l'électricité. Je ne peux donc toujours pas m'absenter de l'atelier (sécurité!) et je dois encore continuer à faire quelques interventions quand un « beep » se déclenche, mais j'ai maintenant l'esprit libre pour faire tout autre chose pendant les cuissons.

### 7.1 l'idée générale

Avant ces modifications, je suivais la courbe de cuisson et, dès que je prenais du retard sur la courbe prévue, j'agissais sur les débits d'air et de gaz et augmentais peu à peu la puissance. Donc contrôle toutes les 2 à 3 minutes, trop court pour faire autre chose mais assez long pour s'ennuyer ferme, surtout en début de cuisson.

Maintenant je règle un ralenti et une forte puissance, puis je lance le programme qui suit au mieux la courbe prévue en alternant les périodes de ralenti et de puissance. Pour cela j'ai installé sur chacune des deux lignes (air et gaz) une électrovanne et une dérivation qui la contourne. La puissance est obtenue en ouvrant ces électrovannes, le ralenti est obtenu en réglant les vannes manuelles des dérivations quand les électrovannes sont fermées (fig. 21).

### 7.2 les pistes abandonnées

#### 7.2.1 servo-vannes

J'aurais pu monter une servo-vanne sur chaque ligne, et ainsi reproduire au plus près une conduite manuelle. Cela aurait supposé l'achat de deux servo-vannes de diamètres 1" et 3/4" ainsi que de deux manomètres différentiels avec sortie électrique... refus catégorique du ministre des finances!

#### 7.2.2 allumage par bougie

Si on pouvait allumer de façon sûre et automatique le brûleur, on pourrait remplacer le ralenti pas une extinction complète et se passer des dérivations.



FIGURE 21 – électrovannes et dérivations

Les piezos qu'on trouve sur certaines vieilles chaudières et sur des plaques de cuisson supposent une intervention manuelle incompatible avec un automatisme.

J'ai trouvé une bougie de cyclomoteur avec un pas de vis suffisamment petit (10×1) pour être montée sur le brûleur, et le transfo d'allumage qui l'alimente. Mais je n'ai obtenu qu'un allumage du brûleur peu fiable et souvent en retard de plusieurs secondes sur celui de la bougie. Solution momentanément abandonnée par manque de sécurité.

### 7.2.3 flamme pilote

Ça serait sûrement une très bonne solution, un ralenti très faible et très stable pourrait être obtenu, et une cellule UV facilement montée... si cette solution n'était pas si compliquée à mettre en œuvre sur un ouvrage existant qui n'a pas été prévu pour ça dès sa conception.

Pour mon prochain four, sûrement!

## 7.3 réalisation

Un « Régulateur-Programmeur-Enregistreur 8 Voies » a été acheté à [www.aspic-sarl.com](http://www.aspic-sarl.com) avec un module 4 relais statiques, un module d'entrée pour thermocouple S, le tout entièrement câblé dans un coffret ABS. Je n'ai eu qu'à faire quelques trous dans ce coffret pour passer les câbles d'alim générale (230V), du thermocouple et de commande des électrovannes, manips de base pour bricoleur.

J'ai fait une description détaillée de la conduite manuelle de mon four à ASPIC qui m'a fourni en retour les programmes permettant de la reproduire au mieux. Quelques échanges de courriels nous ont permis de peaufiner tout ça.

La première voie « sécurité » se contente de surveiller la température, et de couper l'alim de l'électrovanne gaz principale si elle dépassait 1300°C, ce qui ne devrait normalement jamais arriver.

La deuxième voie assure le déroulement du programme, à savoir :

- une rampe à 350°C/heure jusqu'à 950°C (150°C/h pour un dégourdi) ;
- à 900° une sonnerie retentit, j'appuie sur un bouton et je mets la puissance maximale tout en passant en réduction ;
- à 1220° la sonnerie se fait à nouveau entendre et je baisse la puissance pour homogénéiser la température haut/bas, en réduction toujours ;
- à 1270° environ j'éteins le tout, sous le contrôle du petit cône pyrométrique n° 7.

## 7.4 bilan de l'automatisation

En toute logique capitaliste, c'est nul et ça n'est pas à faire! J'ai dépensé beaucoup d'argent et passé beaucoup de temps pour réaliser cette modification, et cela pour gagner un peu de temps à chacune de mes huit cuissons/an en moyenne. Le retour sur investissement doit se compter en dizaines d'années!

Mais j'ai appris plein de choses et je me suis fait vraiment plaisir, et je ne retiens que ça. Si c'était à refaire, je referais de suite.

Je recommande vivement ASPIC SARL, ils sont très réactifs et à l'écoute, je me suis senti très en confiance.

## 8 exemples de courbes de cuisson

Voyez vers la fin d'un autre de mes documents : [http://didierdescamps.fr/emaux/notions\\_emaux.pdf](http://didierdescamps.fr/emaux/notions_emaux.pdf)

## 9 conclusion

En concevant et fabriquant mon four moi même, j'ai atteint plusieurs objectifs :

- un four très économique en investissement, environ 4100 € en 2011, plus 1350 € en 2017 pour la régulation ;
- un four très économique à l'usage ;
- le gaz naturel est le seul utilisable en ville où le propane est heureusement interdit, et je ne connais pas de fournisseur « clef en main », surtout en basse pression ;
- j'ai pris mon pied à le faire.

Si c'était à refaire? tout pareil ou presque! Un deuxième brûleur dans le coin opposé devrait permettre une très bonne égalité de la température finale sans avoir besoin de baisser la puissance avant d'éteindre (actuellement je m'en sors bien avec un petit pseudo-palier en fin de cuisson).