



PicoJoule
Energie renouvelable pour tous et toutes

JUIN 2022
DAMIEN RONCIN

Adaptation de brûleurs Butane/Propane au Biogaz



Brûleur de chauffage fonctionnant au biogaz



Gazinière fonctionnant au biogaz

Introduction

Ce document présente les principales différences entre des brûleurs fonctionnant au propane/butane ou gaz de ville et ceux au biogaz. Un brûleur est un dispositif permettant de produire de la chaleur en assurant un mélange entre combustible (ici gaz) et un comburant (ici l'air). Dans ce tuto, nous présentons la modification de brûleurs de chauffage d'appoint et de cuisinière. La chaleur est utilisée pour chauffer l'air d'une pièce dans le premier cas et une casserole (ou autre ustensile de cuisine) dans l'autre. Nous présentons les différences physiques et chimiques de ces gaz qui impliquent des changements de designs. Dans un premier temps, nous présentons l'aspect théorique de la combustion et des éléments composants un brûleur, puis nous présentons le travail expérimental que nous avons effectué sur un brûleur de chauffage et ceux d'une cuisinière. Une compréhension fine de la partie théorique n'est pas nécessaire à la réalisation de l'adaptation de brûleur au biogaz. Il est cependant conseillé de comprendre les enjeux principaux qui y sont évoqués. À titre d'exemple, l'adaptation du chauffage au biogaz a été réalisée avant que la partie théorique ne soit formulée.

Sommaire

1	Théorie	3
1.1	Différence Butane / Propane / Gaz de ville / Biogaz	3
1.2	Architecture et fonctionnement typique d'un brûleur	4
1.3	Modification a apporter sur le brûleur	5
1.3.1	Injecteur	5
1.3.2	Entrée d'air primaire	6
2	Pratique	7
2.1	Cuisinière	7
2.2	Chauffage	9

Partie 1

Théorie

1.1 Différence Butane / Propane / Gaz de ville / Biogaz

Les gaz que nous utilisons dans les usages domestiques, le butane, propane ou méthane (gaz de ville) sont des gaz purs (à plus de 95 %), ce ne sont pas des mélanges de gaz. Ce qui est une première différence avec le biogaz qui, lui, est un mélange de gaz. En effet, le biogaz est composé à 60 % de méthane (CH_4) et 40 % de dioxyde de carbone (CO_2) en volume, il y a également des traces de H_2S qui sont filtrés en sortie de digesteur. Tout le biogaz n'est pas combustible, le CO_2 ne brûle pas. De plus, le méthane, le Butane et le Propane n'ont pas les mêmes PCI (puissance calorifique inférieure). Ceci impacte la puissance de combustion associée à chaque gaz, pour un même volume de butane, propane ou méthane brûlé la puissance thermique générée n'est pas la même. Les PCI de ces différents gaz sont présentés dans le tableau suivant, qui donne l'énergie de chaque gaz pour un Normal mètre cube ¹. Le biogaz étant également composé de CO_2 , gaz inerte, le PCI du biogaz est moins élevé que celui du méthane.

Les variations d'énergie entre les gaz sont dues à leurs compositions chimiques, concrètement le butane à une chaîne carboné plus grande que le propane, qui lui même en a une plus grande que le méthane. Le méthane contient qu'un seul carbone par molécule, il est donc le plus petit. L'énergie calorifique de la combustion provient de la rupture des liaisons entre les atomes des molécules combustibles et de leurs recompositions en autres molécules, plus les molécules ont de longues chaînes carbonées, plus leur combustion générera de l'énergie.

Ceci implique que si nous voulons faire fonctionner un brûleur à une même puissance avec du butane ou biogaz, il faudra un débit plus important de biogaz. Il faut $\frac{PCI_{Butane}}{PCI_{Biogaz}} = 5,29$ fois plus de biogaz que de butane pour fournir une puissance de feu équivalente.

La combustion n'est pas seulement la rupture des molécules, mais c'est, aussi, l'oxydation de ces molécules, par ce que l'on appelle un comburant, qui est de l'air dans la grande majorité des cas. Les relations de combustions des gaz dont il est question ici sont présentés ci-dessous (figure 1.1). Plus il y a d'atomes à oxyder lors de la combustion, plus il faut de comburant pour que la combustion

¹un mètre cube de gaz à pression atmosphérique

Gaz	PCI (Kwh/Nm)	masse volumique à $15^\circ C$ a 1 bar
Butane (C_4H_{10})	30,5	2,51 kg/m^3
Propane (C_3H_8)	23,7	1,88 kg/m^3
Methane (gaz naturel ou gaz de ville)	9,6	0,678 kg/m^3
Biogaz (60% methan (CH_4) et 40 % CO_2)	5,76	1,21 kg/m^3

Table 1.1: PCI et masse volmique associées aux gaz utilisées à des usages domestiques

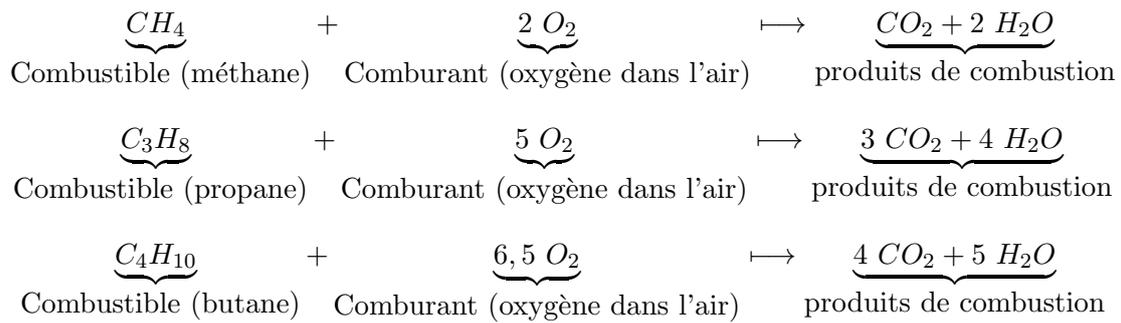


Figure 1.1: Réaction de combustion des principaux gaz utilisés aux usages domestiques

soit complète, c'est ce qui est décrit dans la Figure 1.1.

Les relations de combustion présentées dans la Figure 1.1 sont stoechiométriques, c'est-à-dire que toute la matière pouvant être oxydé l'est. Ce sont ces réactions que nous cherchons à produire avec nos brûleurs. Il faut respecter l'équilibre entre les quantités de matières de combustible et de comburant. S'il n'y a pas assez de comburant (d'air) la combustion est incomplète, alors il y a création de monoxyde de carbone (CO). **Les combustions incomplètes se caractérisent par des flammes jaunes.** Contrairement aux jolies flammes entièrement bleues de combustions complète, générant plus de chaleurs au passage. Au contraire, **s'il y a trop d'air, la combustion sera instable, la flamme peut même s'éteindre.** Ce sont les principaux éléments à prendre en compte quand nous modifions les injecteurs.

La fonction du brûleur est d'assurer cet équilibre entre les débits de comburant et combustible. La modification de brûleur de butane/propane vers biogaz peut être sensible, car il faut un plus grand débit de combustible (biogaz par rapport à butane) mais un plus petit débit de comburant (air) pour obtenir des puissances de feux équivalents.

1.2 Architecture et fonctionnement typique d'un brûleur

Un Brûleur est constitué d'un injecteur, pièce par laquelle est injecté le gaz. C'est elle qui détermine le débit du combustible, et ainsi la puissance de feu. C'est cette pièce que nous modifions en premier. Le débit de gaz qui sort de l'orifice de l'injecteur varie en fonction de la pression à laquelle le gaz est injecté dans les tuyaux, ici nous travaillons à 20 mbar, ce qui est la pression la plus courante pour du gaz de ville en sortie de compteur. Les détendeurs que nous utilisons sont souvent ceux qui étaient utilisés pour des bouteilles de butane propane, ces détendeurs ont une pression de sortie de 37mbar². Le gaz en sortant de l'injecteur rentre dans la chambre de mélange (aussi appelé troat ou gorge ou venturi en fonction de sa forme et de la langue utilisé). En sortant de l'injecteur, le gaz crée une dépression due à l'effet venturi, ce qui aspire l'air environnant. Ainsi, la taille de l'injecteur détermine le débit de gaz à brûler, mais également la puissance de l'appel d'air. La seconde chose à modifier pour utiliser notre brûleur avec du biogaz est la taille de l'entrée d'air permettant à l'air primaire de se mélanger au gaz (Voir Figure 2.10). S'il y a trop d'air par rapport à la quantité de gaz à brûler alors la flamme sera instable. Toutes les entrées d'air primaire ne sont pas forcément accessible, c'est par exemple le cas pour les brûleurs de gazinière. Cette question ne se pose pas pour ces brûleurs. Enfin, de nombreux brûleurs sont équipés d'entrée d'air modulable à la main, ce qui facilite l'opération.

²Un détendeur est un mécanisme utilisé pour faire passer un gaz stocké (Bouteille de gaz) à une certaine pression, vers une pression inférieure constante.

Le gaz et l'air se mélangent dans le tube mélangeur pour pouvoir brûler de manière optimale au niveau des orifices du brûleur. Au niveau de ces orifices, il peut y avoir un apport d'air secondaire pour que la combustion soit totale. C'est au niveau de ces orifices que les flammes doivent apparaître. La quantité de gaz injecté doit être dimensionnée en fonction de l'aire de flamme (la somme de tous les orifices du brûleur). Les gaz ont une vitesse de flamme, c'est-à-dire que la combustion prend un certain temps à se faire. Si la vitesse du mélange gaz/air au niveau des orifices du brûleur est plus grande que la vitesse de flamme du gaz alors la flamme sera instable. Ceci détermine la taille maximale de l'injecteur à ne pas dépasser.

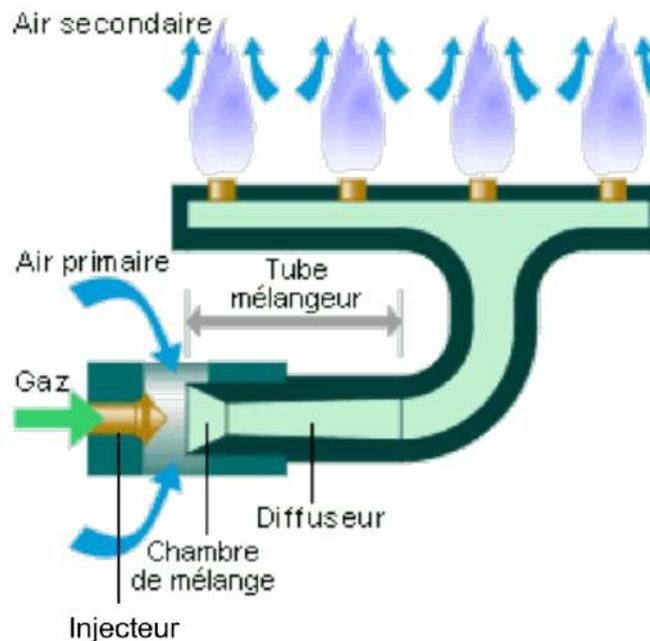


Figure 1.2: Schéma d'un brûleur type

Tous les brûleurs n'ont pas cette forme, certains n'ont pas d'entrée d'air primaire comme sur les cuisinières classique par exemple, voir section Cuisinière. Sur ces architectures de brûleur, l'apport de comburant se fait exclusivement par l'air secondaire.

1.3 Modification à apporter sur le brûleur

1.3.1 Injecteur

Nous désirons avoir un débit de biogaz plus grand que celui que nous avons de butane ou gaz de ville. Nous travaillons à une pression d'entrée similaire quelque soit le gaz, c'est à dire à 20 mbar. Nous modifions la taille de l'orifice de l'injecteur, nous l'agrandissons. D'après des calculs de mécanique de fluides et le très complet document "Biogas Stove Design A short course" de David Fulford [1].

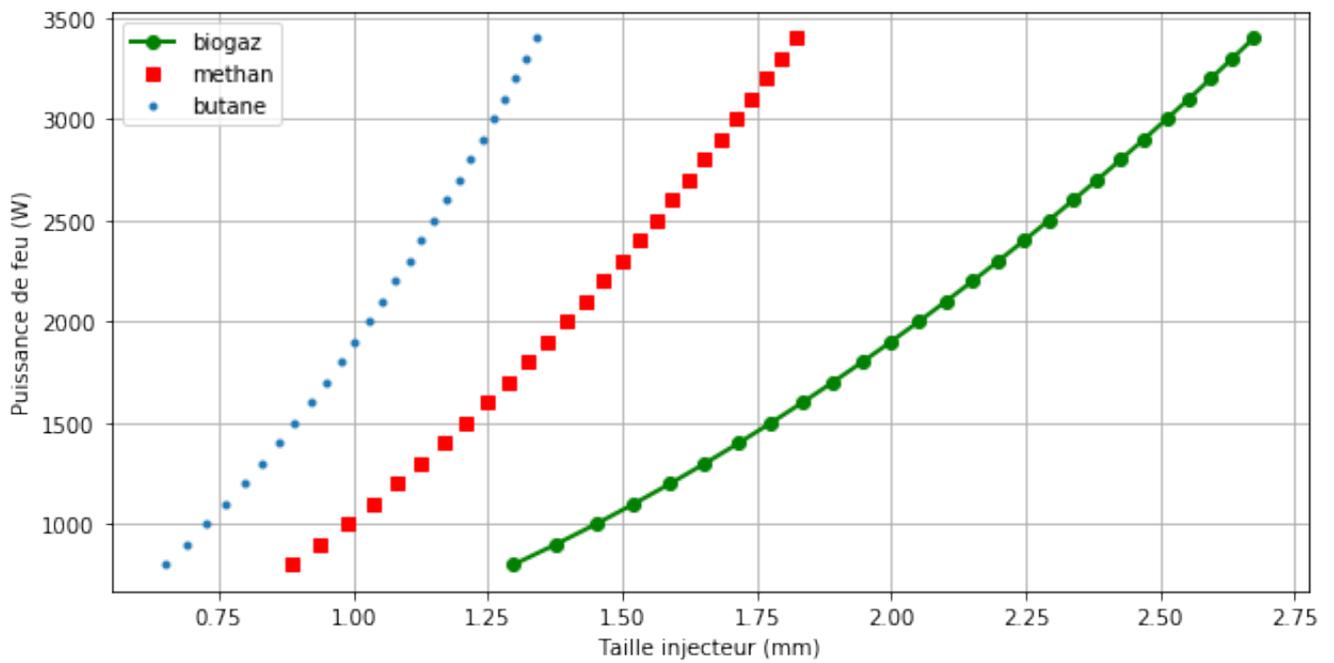


Figure 1.3: Taille de l'orifice de l'injecteur en fonction de la puissance de feu voulue et du gaz utilisé. Pour une pression d'entrée de 20 mbars

1.3.2 Entrée d'air primaire

Partie complexe, qui n'as pas besoin d'être traité de manière théorique pour pouvoir adapté un brûleur au biogaz. Se référer à la partie pratique.

Partie 2

Pratique

Cette partie peut être prise indépendamment de la partie théorique : elle est pensée comme **un tuto**.

2.1 Cuisinière

Pour la modification de la cuisinière, il faut considérer ses deux types de brûleurs, ceux pour les feux de cuisson sur le dessus et celui du brûleur du four.

Les feux du dessus de la cuisinière n'ont pas d'entrée d'air primaire, l'unique apport de comburant se fait dans la zone de flamme. Ainsi, il faut juste modifier la taille de l'injecteur pour adapter le fonctionnement de la cuisinière du Butane au Biogaz. Avec l'aide des courbes présentées dans la figure 1.3 et quelques ajustements nous sommes arrivés aux diamètres d'injecteurs suivants :

Feu de 5.5 cm de diamètre \mapsto injecteur de 1 mm
Feu de 7.5 cm de diamètre \mapsto injecteur de 2 mm
Feu de 10 cm de diamètre \mapsto injecteur de 2.5mm



Figure 2.1: Exemple de cuisinière fonctionnant au gaz.

En utilisant la courbe 1.3, nous avons adapté nos injecteurs à la taille adaptée pour l'utilisation du biogaz. Par exemple, la taille initiale de l'injecteur du feu de 1000 w était de 0.75 mm pour une utilisation butane, nous avons utilisé une mèche de 1,5 mm pour l'adaptation du feu à une utilisation biogaz.

Il vaut mieux grossir l'injecteur petit à petit, il est plus facile de grossir l'injecteur que de le reboucher.



Figure 2.2: Injecteur du feu d'un diamètre de 7,5cm de diamètre adapté au butane (0,75mm de diamètre)



Figure 2.3: Même injecteur adapté au biogaz (2mm de diamètre)

Nous avons modifié les injecteurs en fonction des tailles d'air de flammes. Ainsi, les tailles écrites dans cette partie ne correspondent pas exactement aux informations que des courbe de la figures 1.3. Le débit que nous utilisons ici (37 mbar) est plus élevé que celui utilisé pour le calcul la courbe (20 mbar), ainsi le débit de gaz est plus grand que ce qui est calculé théoriquement. Malgré ceci, nous avons dû agrandir les injecteurs plus que ce qui est calculé théoriquement. Nous avons fait ceci par paliers.

Par exemple l'injecteur présenté dans les figure 2.2 et 2.3 a d'abord été agrandi à 1,5 mm. Cette dimension est la bonne théoriquement. Mais une fois celui-ci monté nous nous sommes retrouvé devant la situation représentée dans la photo (Figure 2.4). Nous pouvons observer des flammes qui ne remplissent pas l'entièreté de l'air de flamme. Ceci est dû au manque de gaz à brûler, il faut donc un débit de gaz plus grand pour que l'entièreté du brûleur soit en flamme. Nous avons donc agrandi la taille de l'injecteur.

Malheureusement, les feux de la cuisinière et le four ne peuvent pas fonctionner simultanément dans la configuration dans laquelle nous nous trouvons. La quantité d'énergie disponible pour un même débit de gaz en sortie de détendeur de la bouteille est beaucoup plus faible pour du biogaz que pour du butane. **Il n'y a pas un débit d'énergie suffisant pour faire fonctionner simultanément le four et les feux du dessus de la cuisinière.** Il faudrait un débit plus grand ou travailler à plus grande pression.

Les brûleurs que nous modifions n'ont pas une seule puissance de fonctionnement. On peut adapter leur puissance de feu. Le bouton d'adaptation de la puissance de feu modifie le débit de gaz injecté avant l'injecteur. Il faut essayer de trouver la taille de l'injecteur la plus adéquat pour la fourchette de feu proposé permis par ce réglage de feu.



Figure 2.4: feu instable stable car l'injecteur est trop petit

2.2 Chauffage

Les locaux de Picojoule étant souvent un peu frais l'hiver, il nous a semblé sympathique d'avoir un chauffage d'appoint. Nous avons récupéré un chauffage de caravane fonctionnant au Butane pour le faire fonctionner au Biogaz. Ce chauffage est un Trumatic SL 3002. Le chauffage est constitué de deux brûleurs, d'une chambre de combustion avec des radiateurs (W sur le schéma) et d'une sortie des gaz de combustion.

Nous avons démonté le radiateur pour avoir accès aux brûleurs.

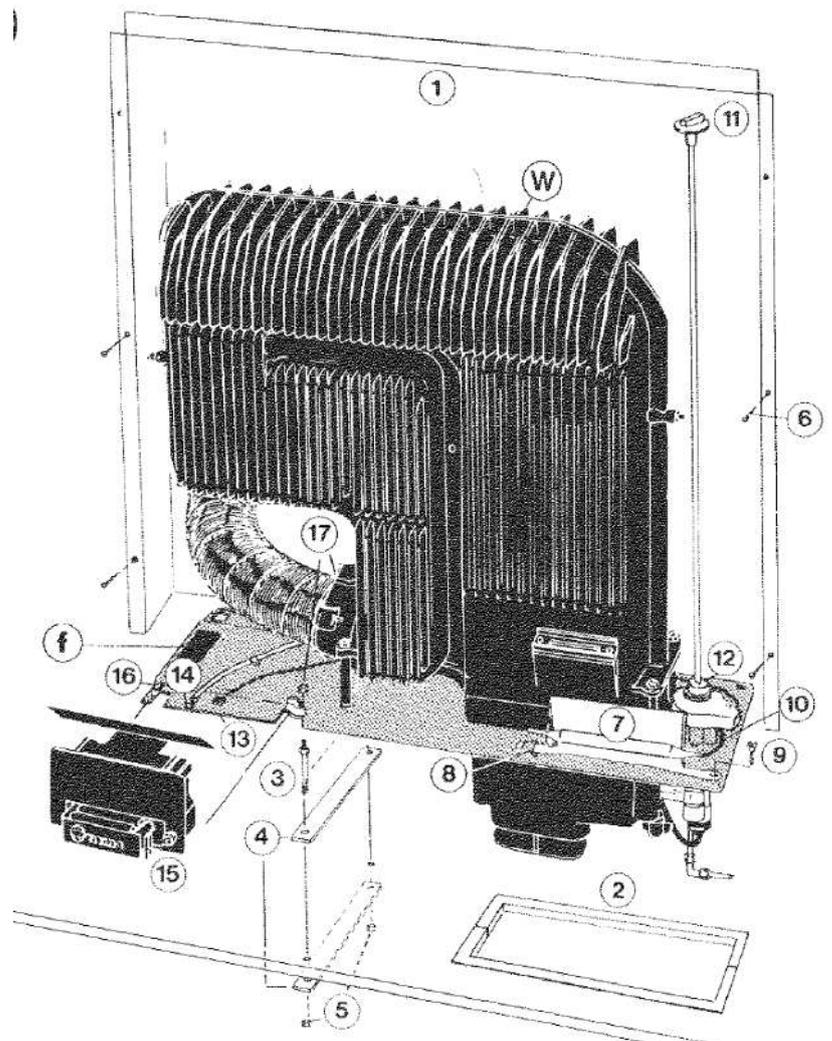


Figure 2.5: Schéma du radiateur que nous avons modifié

Il y a deux brûleurs, un pour la veilleuse et un pour le plus gros brûleur.

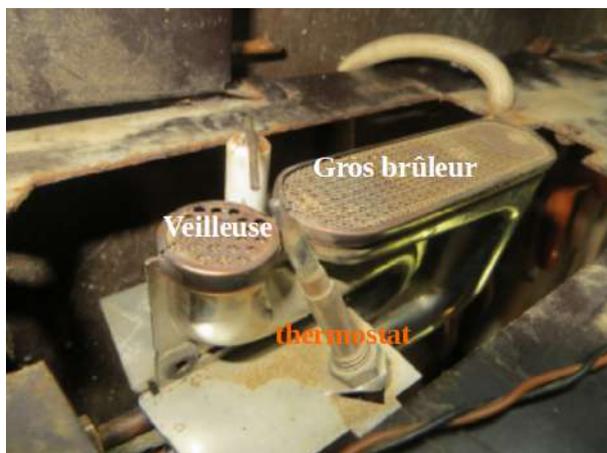


Figure 2.6: Brûleurs du radiateur que nous avons modifié



Figure 2.7: Injecteur radiateur que nous avons modifié

La première partie de la modification est l'élargissement des injecteurs. Nous n'avions pas d'abaques diamètre d'injecteur – débit de gaz voulu (ce que nous avons fait ensuite et qui est présent dans la partie 1 voir la figure 1.3). L'injecteur de la veilleuse a été dans un premier temps élargi, pour finalement être rebouché en partie (avec une brasure à l'étain) car le débit de la veilleuse était trop fort. Notre démarche ici était empirique. Pour déterminer si le débit est bon, **il faut que les flammes, de la veilleuse et du gros brûleur, tiennent dans le temps soient bleue et au niveau des brûleurs.** C'est sur ces 3 indicateurs que nous nous sommes basés pour déterminer si l'équilibre entre la taille des trous des injecteurs et entrées d'air était bonne. Les entrées d'air doivent également être modifiées, car le combustible que nous utilisons (méthane dans le biogaz) à besoin de moins de comburant (oxygène dans l'air) que le combustible pour lequel le radiateur a été dimensionné (butane ou propane).

Il y a un équilibre à garder entre les deux injecteurs. L'injecteur de la veilleuse doit être toujours allumé, car il y a une sécurité sur la veilleuse. Cette sécurité est un thermostat, qui obstrue l'entrée de gaz lorsque la veilleuse est éteinte. Si le trou de l'injecteur de la veilleuse est trop gros, il y aura trop de débit lorsque l'on utilise le chauffage à puissance élevée, dans cette configuration, la flamme de la veilleuse ne tient pas et s'éteint, le thermostat refroidit et le gaz se coupe.

L'autre point est qu'il faut que l'appel d'air créé par le débit de gaz qui sort de l'injecteur ne soit pas trop fort. Pour que l'équilibre entre comburant et combustible soit correct; nous avons bouché les entrées d'air avec du papier aluminium collant. Puis nous y avons effectué quelques trous, dans cette configuration, la combustion est complète et les flammes sont stable.



Figure 2.8: entrées d'air modifiées

L'allumage automatique du chauffage ne marchait plus, nous l'avons donc changé par un allume-feu électrique à pile acheté dans le commerce. L'anode et la cathode de l'allume-feu ont été connectées.



Figure 2.9: raccord allume feu au radiateur



Figure 2.10: Magnifique étincelle censée allumer le chauffage

Finalement, l'étincelle ne suffit pas à allumer le chauffage quand ce dernier est froid, mais pour le rallumer quand il est chaud cela fonctionne. Pour parer à ce problème, nous avons fait un trou dans la chambre du brûleur pour allumer le chauffage avec un chalumeau, de cette manière, nous pouvons utiliser notre radiateur sans soucis, même quand il fait froid.

Bibliography

- [1] David Fulford (1996) *Biogas Stove Design, A short course*, Kingdom Bioenergy Ltd.