Projet multidisciplinaire

BARBECUE À GAZ DE BOIS

Département : TIN

Unité d'enseignement : ProjMulti

Auteurs : **Carvalho Dos Santos Jorge Eric / Mabboux-Fort Marin / Buloncelli Michele / Räss Loïc**

Enseignants : **Baillifard Marc-André / Ropp Julien**

Salle de laboratoire : **U32 (St-Roch)**

Date : **15.06.21**

Table des matières

1 INTRODUCTION 3

2 FONCTIONNALITÉS 3

2.1 TLUD 3

2.2 MODES DE CUISSON 4

2.3 MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR 4

2.4 CUISSON 4

2.5 MOBILITÉ 5

2.6 SYSTÈME DE VENTILATION AJUSTABLE 5

2.6.1 Théorie 5

2.6.2 Pratique 6

2.6.3 Circulation de l'air 7

3 CONTRAINTES 8

3.1 BOIS 8

3.2 TEMPS D'ALLUMAGE 8

3.3 TEMPÉRATURE 8

3.4 OUVERTURE FACILE POUR LA RECHARGE 8

3.5 EVACUATIONS 8

3.5.1 Fumées 8

3.5.2 Cendres 9

3.6 GESTION DES GRAISSES 9

4 EXPÉRIMENTATIONS 10

4.1 TESTS TLUD AVEC 6 CM DE HAUTEUR DE PELLETS 10

4.2 PREMIER TEST AVEC UNE CUISSON DE VIANDES ET COPEAUX DE BOIS 11

4.3 TEST AVEC VENTILATEUR ET PELLETS 12

4.4 TEST AVEC VENTILATEUR, PELLETS ET PLAQUE INOX 13

5 ESTIMATION DES COÛTS DU PROTOTYPE 13

6 CONCLUSION 14

7 LISTE DES FIGURES 15

8 ANNEXES 15

8.1 DONNÉE DU PROJET 15

8.2 SOURCES 16

8.3 PLANS 16

1 Introduction

Le projet à réaliser porte sur la conception d'un barbecue fonctionnant au gaz de bois, ayant les mêmes avantages qu'un barbecue au gaz, à savoir rapidité d'allumage et régulation. Il faudra donc concevoir un prototype fonctionnel avec toutes les options utiles pour gérer les déchets et les dégagements de fumée. Il faudra également trouver un bon combustible, une plancha, des roues, etc. sans dépasser le budget de 300.- CHF mis à disposition.

2 Fonctionnalités

Nous avons plusieurs fonctionnalités à respecter, afin d'obtenir un résultat propre et fonctionnel.

2.1 *TLUD*

La source de chaleur du barbecue sera un TLUD, un gazéifieur à tirage ascendant à allumage par le haut. Un TLUD pyrolyse des matières organiques, puis les brûle pour éliminer les sous-produits volatils de la pyrolyse. Sa particularité étant de brûler le combustible sans fumée et avec une grande efficacité. Ce concept a été développé dans les années 1990 par le Dr Thomas B Reed et l'architecte norvégien Paal Wendelbo.

Un TLUD est généralement construit avec deux récipients cylindriques concentriques comme sur la Figure 1. Le cylindre intérieur est le pot de combustible. Sa base est percée de trous, qui constituent l'entrée d'air primaire. Il a également des trous sur le col, qui servent d'entrée d'air secondaire qui, étant au-dessus de la couche de combustible, aide à brûler le gaz de bois. Le cylindre extérieur a des trous près du fond sur les côtés. Pendant la combustion, l'air entre dans ces trous, soit par tirage naturel, soit par ventilation forcée à l'aide d'un ventilateur à courant continu, selon les besoins et le modèle de construction.

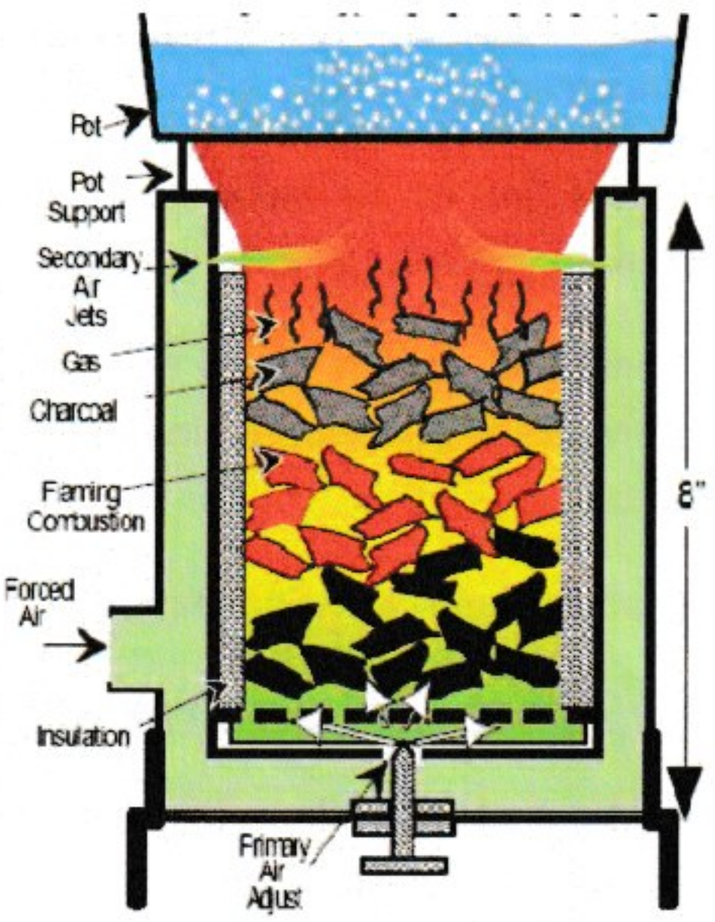


Figure 1 : Eléments d'un TLUD

Toute biomasse contenant moins de 20 % d'eau peut être utilisée comme combustible. L'utilisateur remplit le pot de combustible jusqu'au col, juste en dessous des trous d'entrée d'air secondaire, puis allume la couche supérieure du combustible pour que la pyrolyse commence. L'air entre alors par les entrées d'air primaire et secondaire. L'entrée primaire permet au gaz de bois pyrolysé de s'écouler vers le haut, tandis que l'entrée d'air secondaire souffle l'air chaud au moment où il fait le tour du pot de combustible.

2.2 *Modes de cuisson*

Il existe trois modes de cuisson : direct, indirect et fumage aux copeaux de bois (fumage à chaud).

La première méthode consiste à cuire directement au-dessus de la source de chaleur. C'est la méthode la plus rencontrée et la plus rapide. On arrive à atteindre une température de 250°C mais il faut faire attention à ce que les flammes ne touchent pas les aliments, au risque de les brûler.

La deuxième méthode consiste à chauffer un côté d'une planche et cuire les aliments de l'autre côté, c'est-à-dire sans contact direct entre la source de chaleur et les aliments. C'est identique à la cuisson au four.

La dernière méthode consiste à utiliser des copeaux de bois comme source de chaleur. Les aliments seront ensuite en contact avec les gaz de cette source et pourront cuire. Cependant, la température atteinte ici est plus petite et varie entre 90-120 °C. Le temps de cuisson en sera prolongé. Cette méthode correspond à un barbecue smoker. Celui-ci donnera un goût unique aux aliments, en les fumant.

2.3 *Modes de transfert de chaleur*

Il existe également trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convexion et le rayonnement.

La conduction est un mode de transfert provoqué par une différence de température entre deux milieux en contact. La matière n'est pas déplacée, par opposition à la convexion.

La convexion est un mode de transfert qui implique le transport des particules du fluide, en l'occurrence le gaz de bois, ainsi que l'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact.

Animation d'une convexion naturelle :

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Convection.gif#/media/Fichier:Convection.gif

Il existe également la convexion forcée. Celle-ci se caractérise par une circulation artificielle (ventilateur) d'un fluide (gaz de bois). Le transfert s'en trouve accéléré. C'est ce type de mode de transfert qui servira au bon fonctionnement du barbecue.

Le rayonnement est un mode de transfert généré par l'agitation des particules de la matière. Lorsqu'on cuit sur les braises, le mode de transfert de chaleur est le rayonnement.

2.4 *Cuisson*

Le but principal d'un barbecue est de pouvoir cuire n'importe quel aliment avec une source de chaleur. Deux options s'offrent à nous : La cuisson à la plancha ou la cuisson style grill, c'est-à-dire avec une grille comme support.

La plancha est plus sécuritaire que la grille car elle empêche que le gras des bouts de viande tombe dans le feu et ravive la flamme. Des risques de brûlure sont alors évités et les flammes ne brûleront pas les aliments à la place de les griller. La méthode qui correspond à ceci est la cuisson indirecte.

La grille, quant à elle, permet d'utiliser les deux autres méthodes. Il n'y aura pas besoin de chauffer un élément solide pour transmettre la chaleur. Toutefois, les graisses des viandes pourraient raviver la flamme ce qui entrainerait le contact direct de la flamme avec les aliments.

Il existe également le style de cuisson à la broche. Celui-ci utilise, tout comme la cuisson sur les braises, le rayonnement comme mode de transfert. C'est une chauffe séquentielle et la chaleur pénètre progressivement à l'intérieur et cuit l'aliment.

2.5 *Mobilité*

Une option intéressante est d'ajouter des roues sous le barbecue. Ceci le rendra mobile et permettrait de le déplacer sans le porter. Par chance, M. Baillifard a réussi à mettre la main sur une carcasse de barbecue, avec roues. Celle-ci a donc été remise sur pieds (nettoyée et améliorée) pour l'utiliser comme prototype intermédiaire et final.



Figure 2 : Barbecue avec deux roues à l'arrière

2.6 *Système de ventilation ajustable*

Un ventilateur est utilisé pour accélérer le processus du chauffage du bois. Il permet de forcer l'arrivée d'air primaire pour augmenter la génération de bois par pyrolyse afin que la combustion ait lieu plus rapidement. L'ajustement de la vitesse de rotation de celui-ci permet de chauffer plus ou moins rapidement en régulant la puissance de combustion.

2.6.1 Théorie

Le diagramme des puissances thermiques de la combustion utilisée pour le raisonnement théorique est un modèle simplifié, notamment au niveau du calcul des pertes. Le modèle est le suivant :

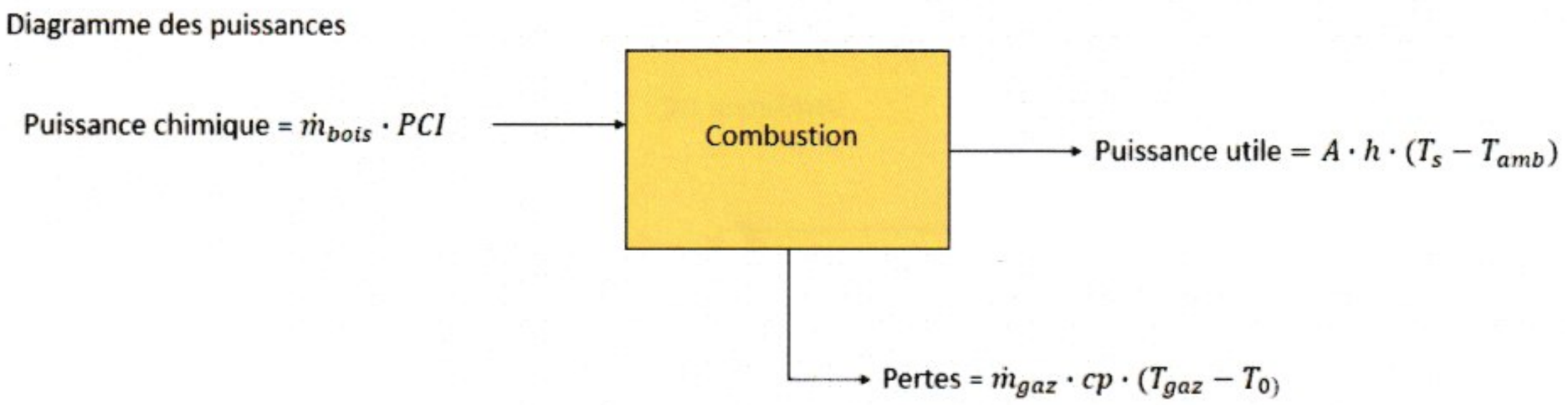


Figure 3 : Diagramme des puissances thermiques

La puissance chimique est celle apportée par le combustible. La puissance utile est celle nécessaire à maintenir la plaque à la température T_s, elle compense les pertes de chaleur par convexion. Les pertes dans la Figure 3 représentent les gaz chauds qui s'échappent par l'espace entre la plaque et le TLUD.

Pour augmenter la puissance de combustion, il faut augmenter le débit des gaz de combustion qui va augmenter la puissance utile mais aussi les pertes. Il faut donc augmenter le taux de pyrolyse en augmentant l'air primaire fourni. A cette fin, on peut utiliser l'excès d'air λ. Ce facteur exprime l'air en plus du minimum nécessaire à la combustion. La contribution de l'excès d'air peut se résumer à l'aide de la formule suivante :

$$\dot{m}_{combustible} + \lambda \cdot \dot{m}_{comburant} = \lambda \cdot \dot{m}_{gaz\ de\ combustion} \quad (1)$$

On voit qu'on peut augmenter le débit des gaz de combustion en augmentant le débit d'air à l'aide de λ. Le débit d'air se divise en deux parties, l'air primaire et l'air secondaire, comme décrit au schéma ci-dessous.

Schéma de principe de la combustion

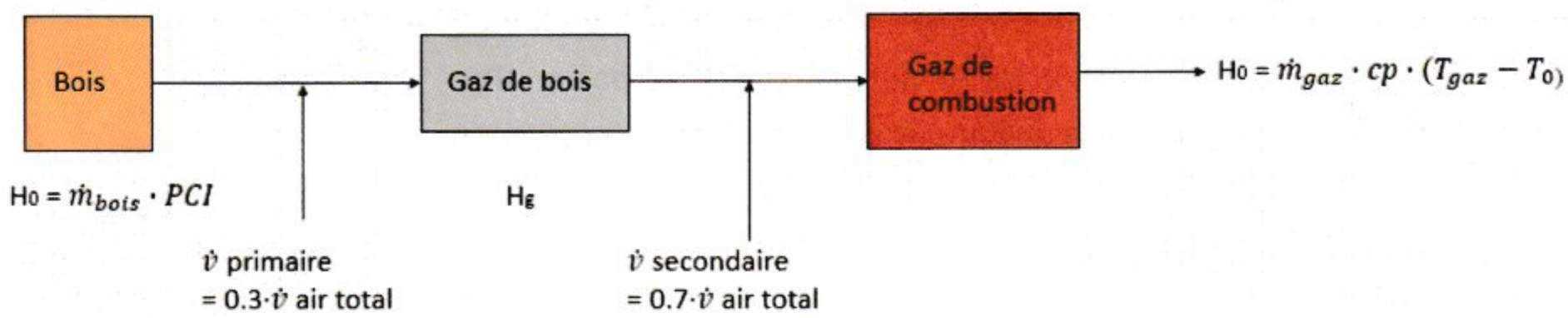


Figure 4 : Principe de la combustion

2.6.2 Pratique

En pratique, c'est avec le ventilateur que nous allons apporter le débit d'air. Le schéma de principe de la régulation de la puissance est le suivant :

Schéma de principe de la régulation de puissance de combustion

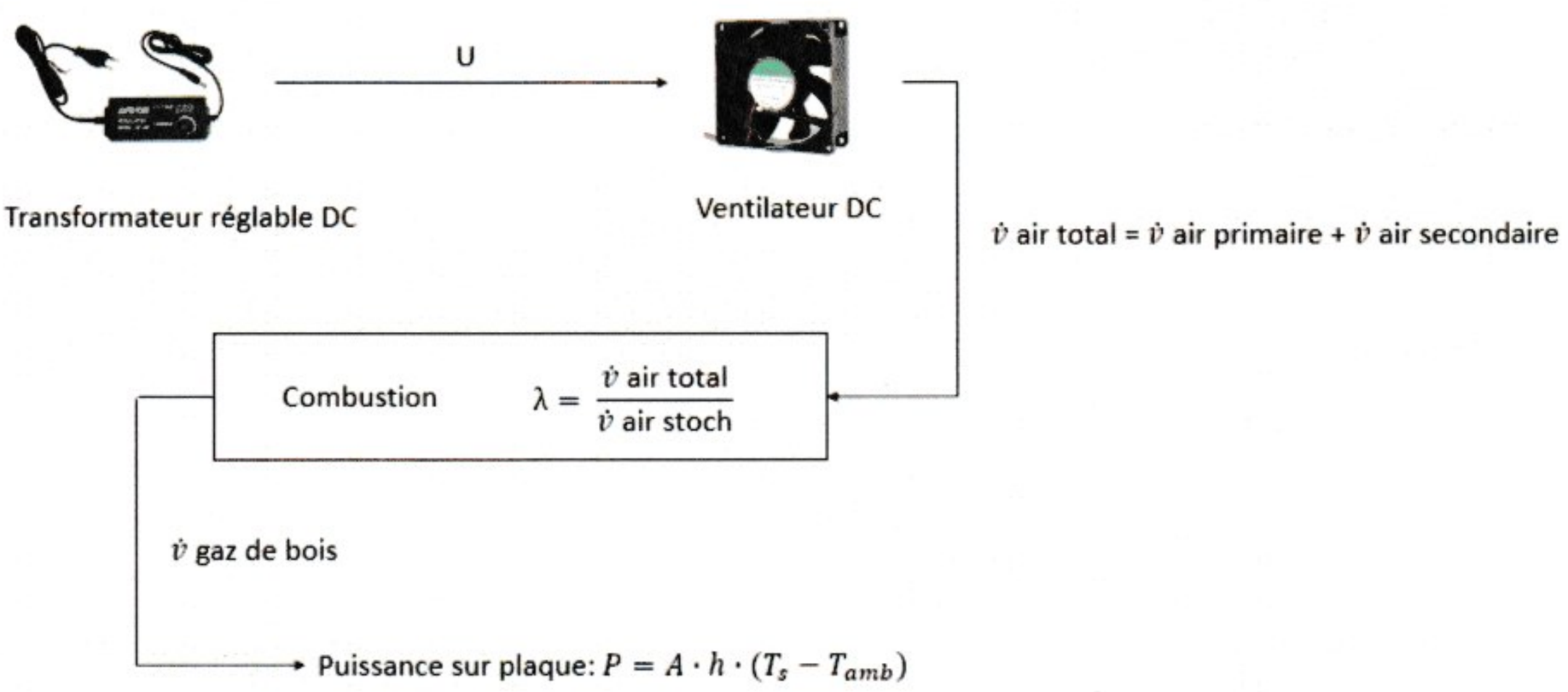


Figure 5 : Schéma de principe de la régulation

2.6.3 Circulation de l'air

Lors de la conception du TLUD, il faudra avoir une attention particulière au dimensionnement des trous pour l'air primaire et secondaire. Pour obtenir une circulation comme à la Figure 6 ci-dessous, il faut s'assurer que les pertes de charge soient plus élevées en 1 qu'en 2 pour que la majorité de l'air passe en secondaire. Ceci est réalisable lorsque les trous en 1 sont plus petits qu'en 2.

Schéma de principe de la circulation de l'air

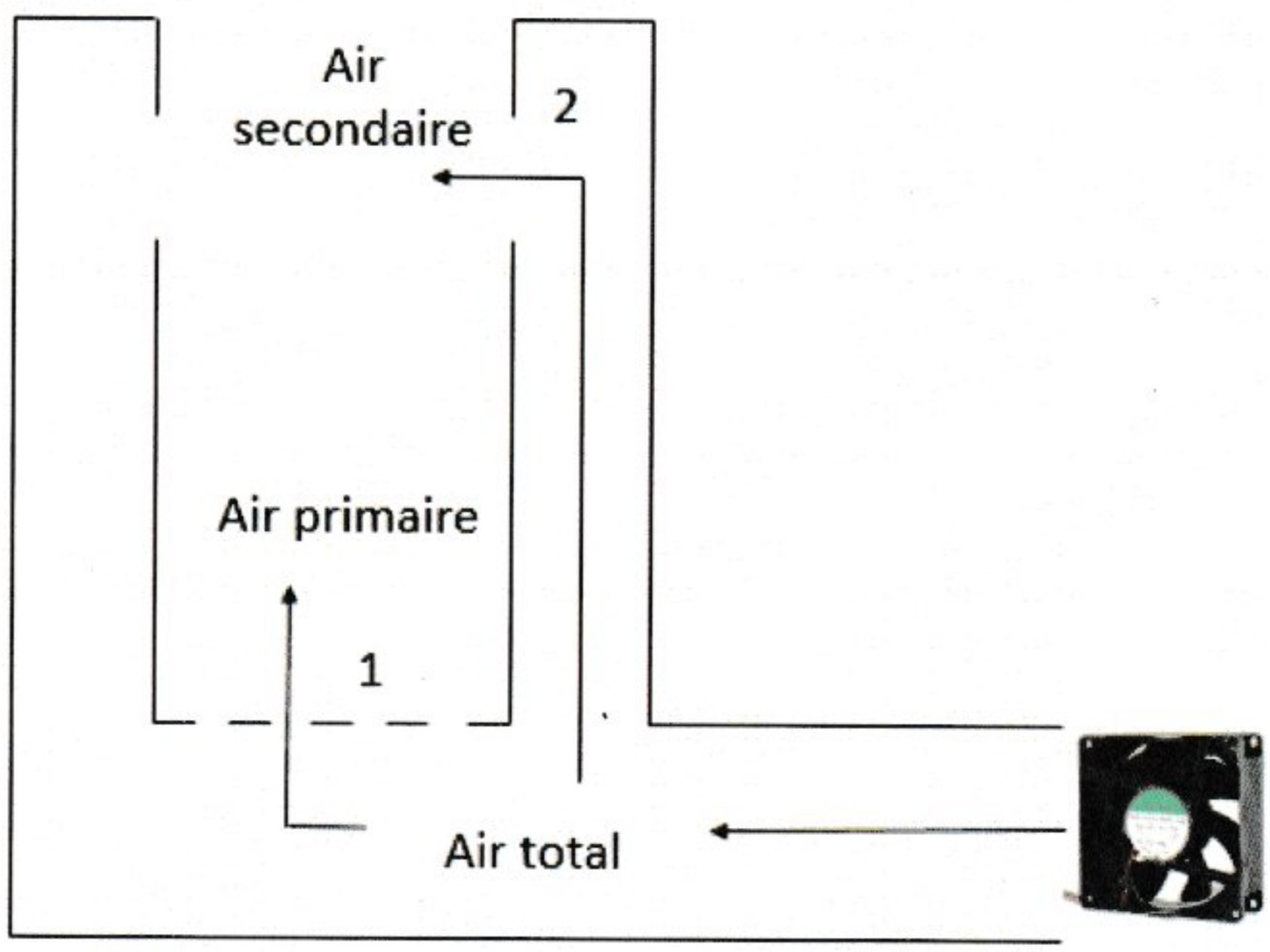


Figure 6 : Schéma de la circulation de l'air

3 Contraintes

3.1 *Bois*

Il faut faire attention à quel type de bois utiliser car certains dégagent des fumées nocives pour la santé. Mais ce n'est pas le cas pour tous. Par exemple, le bois naturel bien brûler ne dégage pas de fumée nocive, mais sa teneur en eau n'est pas bien définie. En revanche, les pellets de bois semblent être la meilleure source de bois car ils possèdent une teneur en eau bien définie. Ils ont également un très bon PCI.

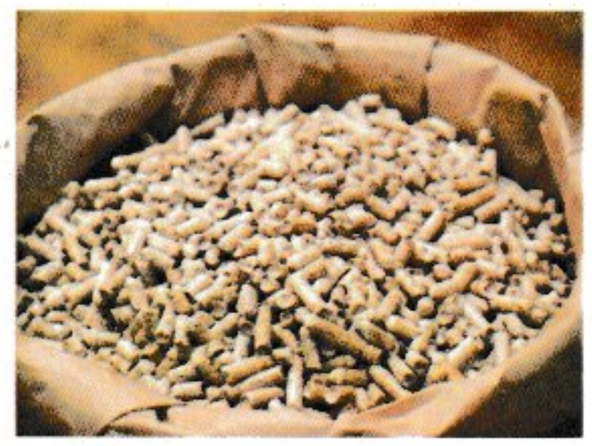


Figure 7 : Pellets de bois

3.2 *Temps d'allumage*

Un des défis à relever est d'allumer le barbecue en moins de 10 minutes et pouvoir cuire directement après. Un petit paquet de paille sera utilisé comme allume-feu et le bois commencera à se consumer par la suite. Un chalumeau permettra de mettre le feu à ce combustible.

3.3 *Température*

Il est primordial d'assurer une bonne température pour cuire ses aliments et ne pas se retrouver avec des morceaux mi-cuits ou pas du tout.

3.4 *Ouverture facile pour la recharge*

Un seul chargement de copeaux de bois ne sera pas suffisant pour garder une température d'environ 100 °C pendant 30-45 min, c'est pourquoi il faudra concevoir une ouverture pratique pour recharger lorsque tous les copeaux seront en cendres.

Cette idée d'ouverture facile a été abandonnée. Une alternative moins pratique a été mise en place pour recharger le barbecue. Pour s'assurer de repartir à 0 pour le processus complet, tous les pellets et charbons doivent être consumés. C'est seulement ensuite que la plaque peut être retirée et de nouveaux pellets ajoutés avec un allume-feu.

3.5 *Evacuations*

3.5.1 Fumées

Les fumées dégagées de la combustion du bois seront coincées dans le barbecue (si on utilise un couvercle). Il faudra réussir à les évacuer sans devoir enlever la plancha. Une première idée est de percer des trous autour du barbecue pour qu'elles se dissipent dans l'air.



Figure 8 : Illustration des dégagements de fumées

Le réel système mis en place est le suivant : quatre tiges filetées ont été fixées à la carcasse du barbecue aux quatre coins avec écrous et rondelles. Deux équerres, plus longues que la plancha, ont été percées pour être fixées sur les tiges filetées. La plancha se pose alors simplement dessus et ne peut

pas tomber sur les côtés mais peut juste être glissée pour l'enlever. L'espace entre le trou dans la carcasse pour la flamme du TLUD et la plaque permet aux fumées/gaz de s'échapper.

3.5.2 Cendres

Les copeaux créeront des cendres lorsqu'ils seront totalement consumés et elles prendront de la place si elles ne sont pas évacuées. Une première idée est de créer des « étages » qui peuvent s'ouvrir manuellement à l'aide d'un levier ou bouton. Les cendres seraient récoltées tout en bas dans un bol.

L'idée du bol a été gardée et s'est transformée en tiroir imbriqué dans une boîte rectangulaire. Les étages ont été abandonnés et une boîte les remplacera. Cette boîte, fixée en bas du TLUD sur ces pieds, possède un perçage en son toit du diamètre du petit trou du TLUD où les cendres tombent. Le tiroir permettra de les récupérer.

3.6 *Gestion des graisses*

Les graisses produites par les morceaux de viande pourraient s'avérer dangereuses si elles entraient en contact avec les flammes. Celles-ci se raviveraient et brûleraient les aliments ainsi que nous au pire des cas. En cas d'utilisation d'une grille, il faudrait « récupérer » celles-ci en dessous de la grille. Une première idée est de placer une pièce métallique en dessus de la source de chaleur pour protéger des chutes de graisses. Celle-ci serait conçue avec des trous orientés de manière à laisser passer les gaz de bois tout en évitant le contact direct entre feu et graisses.

L'idée de récupération des graisses a été abandonnée car une plancha est utilisée à la place d'une grille.

4 Expérimentations

4.1 *Tests TLUD avec 6 cm de hauteur de pellets*

La Figure 9 illustre l'allure que prend la température au fil du temps en sortie du TLUD.

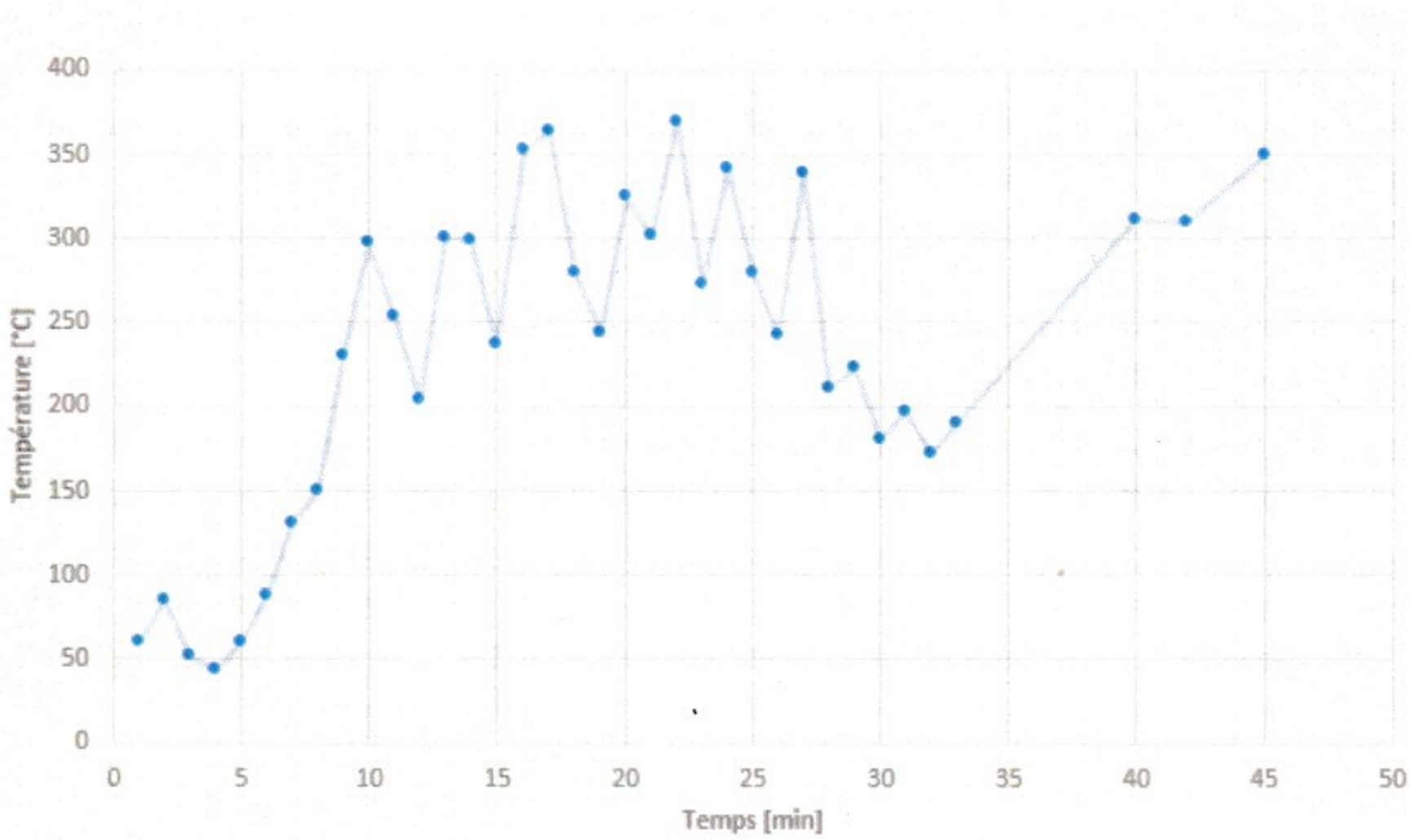


Figure 9 : Graphe de la température

La première expérience s'est déroulée pendant plus de 45 min. Ceci est dû à la hauteur des pellets qui était beaucoup trop grande (h = 6 cm). Malgré le démarrage rapide (6 mins), le barbecue était disponible pendant plus de 40 mins, ce qui est trop long pour notre application.

La hauteur considérée lors des prochains tests sera de 3 cm.

Les spécifications quant à cette expérience sont les suivantes :

ECIFICATIONS
mps allumage : 6min
lets commencent à brûler : 3 min et 30 sec
mbustion totale air secondaire : 12 min et 30 sec
s de flamme avec l'air secondaire : 33 min. La température varie entre 310 - 330 pendant 4 min, varie ensuite entre 230 - 270 pendant 3 min et on arrive finalement à 300 -320
:une production de fumée
:ention : allume - feu qui reste
nensions paille : longueur 9 cm, diamètre 2.5- 3 cm

Figure 10 : Spécifications/caractéristiques de la première expérience

4.2 *Premier test avec une cuisson de viandes et copeaux de bois*

La Figure 11 montre comment la température évolue dans le temps sur le bord de la plaque de cuisson.

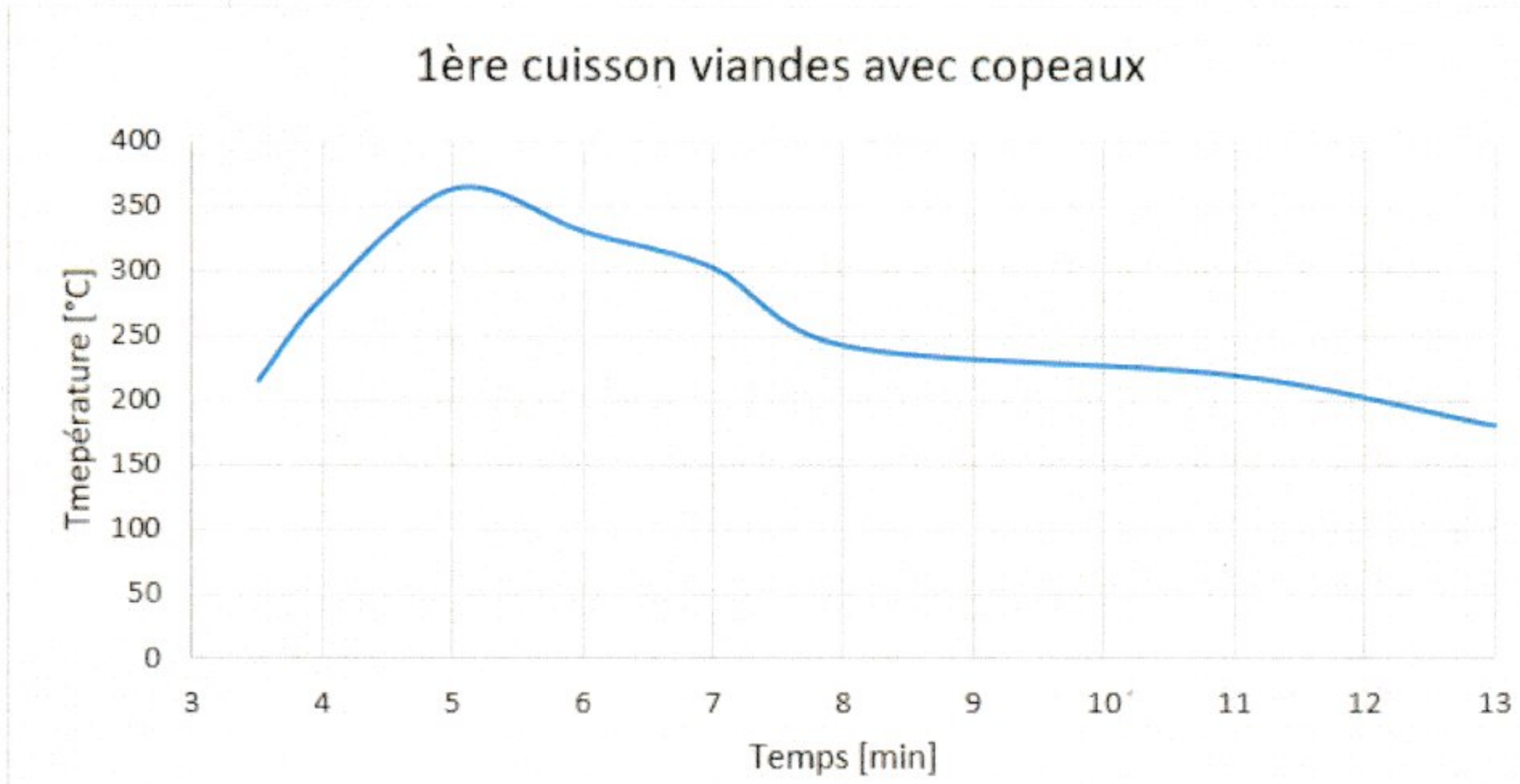


Figure 11 : Allure de la température prises sur le bord de la plaque

Cette expérience est réalisée avec un tuyau entre le TLUD et le barbecue. Celui-ci permet d'augmenter le volume d'air en dehors du TLUD et engendre des très grandes flammes et de très grandes températures (plus de ressources d'air, donc la pyrolyse se multiplie davantage).

Dans un premier temps, la hauteur du combustible est baissée à 3 cm pour assurer d'arriver jusqu'aux cendres de bois. C'est pour cela que le temps total est divisé par trois.

Concernant cette expérimentation, la température monte trop vite. Ceci engendre de grandes flammes et cela brûle plus les viandes que la chaleur ne les cuit à l'intérieur. Les températures plus grandes que 300 °C sont à éviter pour garantir une cuisson linéaire et correcte.

L'ajout d'un tuyau n'est pas une bonne idée, ceci résulte à des très grandes températures qui ne sont pas nécessaires pour un barbecue.

4.3 *Test avec ventilateur et pellets*

La Figure 12 indique la courbe que prend les valeurs de la température avec un ventilateur comme aide au démarrage.

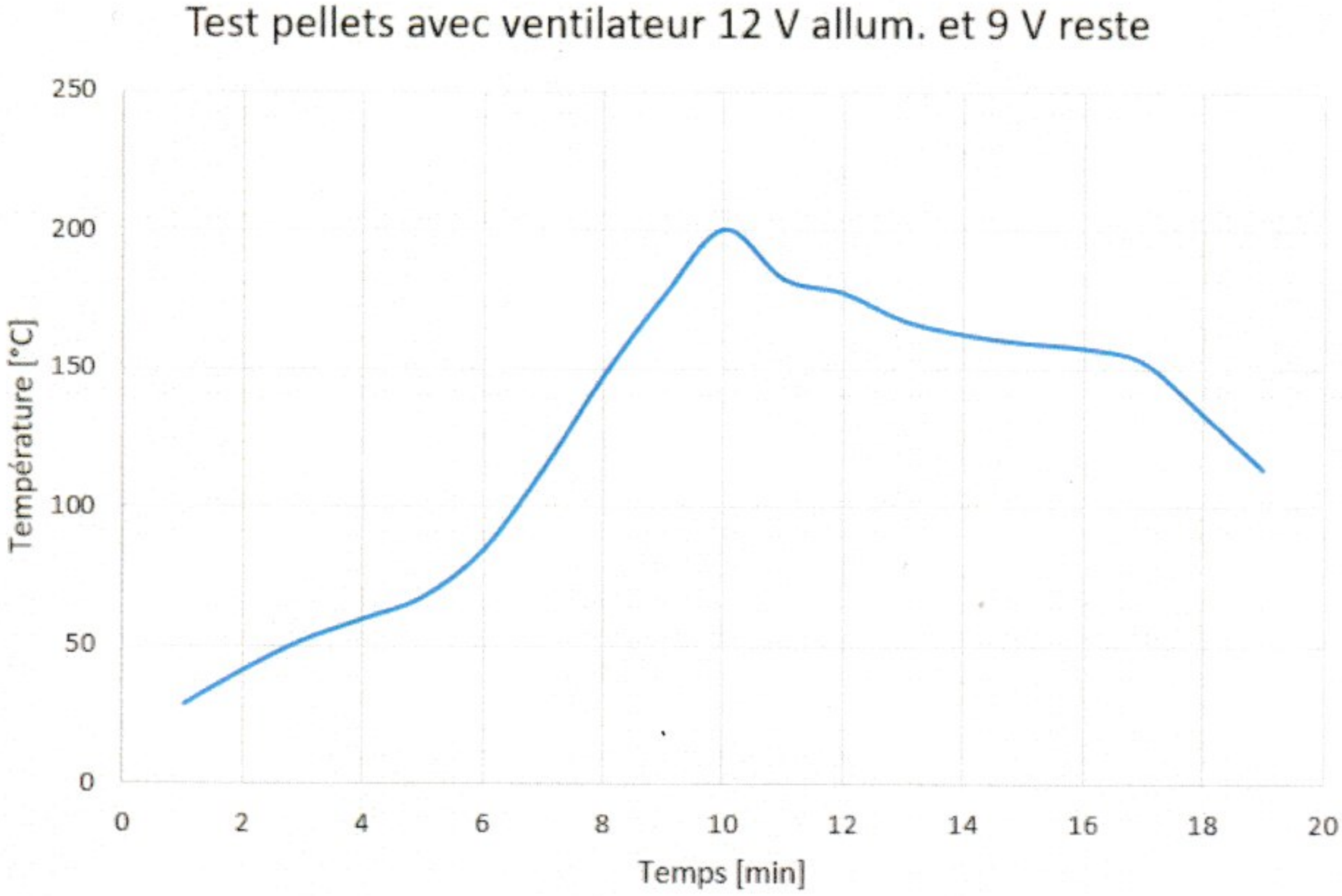


Figure 12 : Courbe de la température avec un ventilateur comme boost au démarrage

Ce test-là fait appel au ventilateur comme aide au démarrage. Celui-ci permet d'accélérer l'entrée d'air primaire et secondaire. Cela accélère donc le processus d'échappement des gaz de bois et la pyrolyse.

On remarque qu'avec une hauteur de 3 cm de combustible est une aide au démarrage, le temps d'allumage est de 6 mins. Ce temps de démarrage est dans notre plage acceptable de l'allumage du barbecue. De plus, les températures ne dépassent pas les 200 °C, ce qui permet de ne pas brûler les viandes. Bien qu'elles ne soient pas trop élevées, plus de temps est nécessaire pour la cuisson complète des aliments (jusqu'aux derniers pellets non consumés).

4.4 *Test avec ventilateur, pellets et plaque inox*

La Figure 13 présente la courbe que produit les valeurs de la température avec un ventilateur et une plaque en inox.

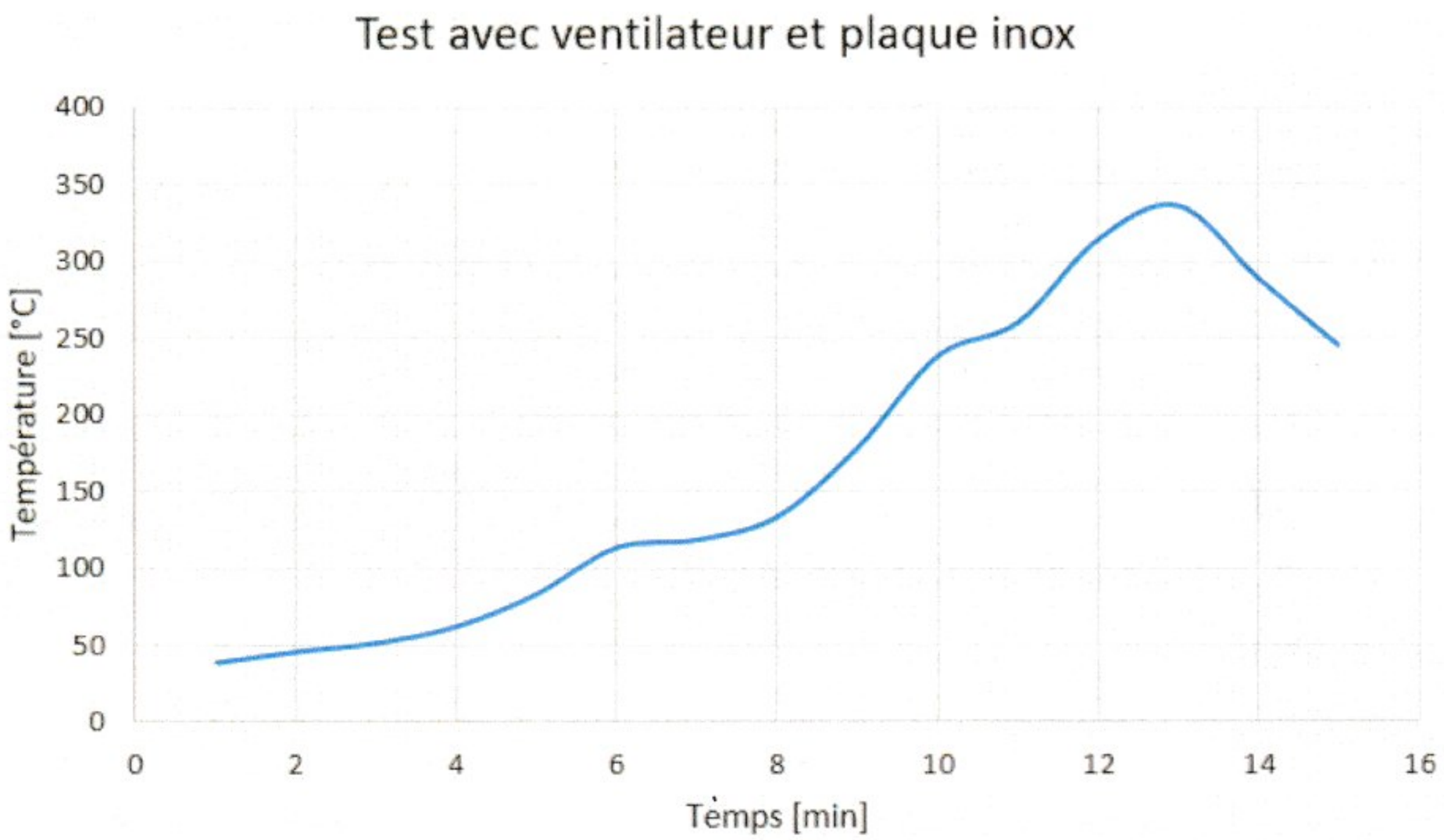


Figure 13 : Allure de la température avec un ventilateur et une plaque en inox

Cette expérience montre que le ventilateur est utile pour réduire la durée de démarrage (atteinte de 250 °C) et d'augmenter les températures lors de la cuisson. En effet, le temps de démarrage est réduit à 5 mins, ce qui permet de cuire les viandes pendant plus de temps. Les températures avoisinent les 350 °C mais uniquement pendant un cours laps de temps. Ceci n'endommage donc pas la cuisson et les viandes, car celles-ci cuisent déjà depuis une dizaine de minutes.

En revanche, cela permet d'ajouter une deuxième fournée qui peut cuire durant la fin de la phase de cuisson (jusqu'au dernier pellets non consumé).

5 Estimation des coûts du prototype

			Nb heures	Taux horaire [CHF/h]	Total [CHF]
Ingénieur HES			128	200	25600
Mécanicien (incl. matière, amortissement)			8	180	1440
Pièces achetées					
	Ventilateur 12 V DC		1	10	10
	Transformateur 12 V DC		1	40	40
	Pièces divers				20
Total [CHF]					27110

Tableau 1: Estimation des coûts

6 Conclusion

Notre prototype répond aux spécifications précisées dans le fichier : ProjMulti_-_Specifications.pdf. Ce projet a été intéressant car il nous a permis d'approfondir nos connaissances en thermique et mécanique des fluides. Il a également fait appel à nos connaissances professionnelles que nous avions pu développer lors de nos apprentissages respectifs. Nous sommes satisfaits du travail accompli, même si quelques points seraient à améliorer :

1. Pose d'une poignée pour le tiroir du bac à cendres
2. Fixation du bac à cendres à la structure du barbecue
3. Fixation de la boite de raccordement du ventilateur au bac à cendres
4. Ajout d'une sonde de température avec affichage digital
5. Mécanisme de rotation de la grille d pot de combustion du TLUD
6. Extension de la prise d'alimentation du transformateur
7. Agrandir le trou supérieur du bac à cendre à la même dimension que le TLUD
8. Incliner le trou du pot de combustion du TLUD de sorte que les cendres tombent dans le bac
9. Améliorer le support de la plaque de cuisson

Bon appétit !

Yverdon-les-Bains, 15.06.2021

CARVALHO DOS SANTOS Jorge Eric

MABBOUX-FORT Marin

BULONCELLI Michele

RÄSS Loïc

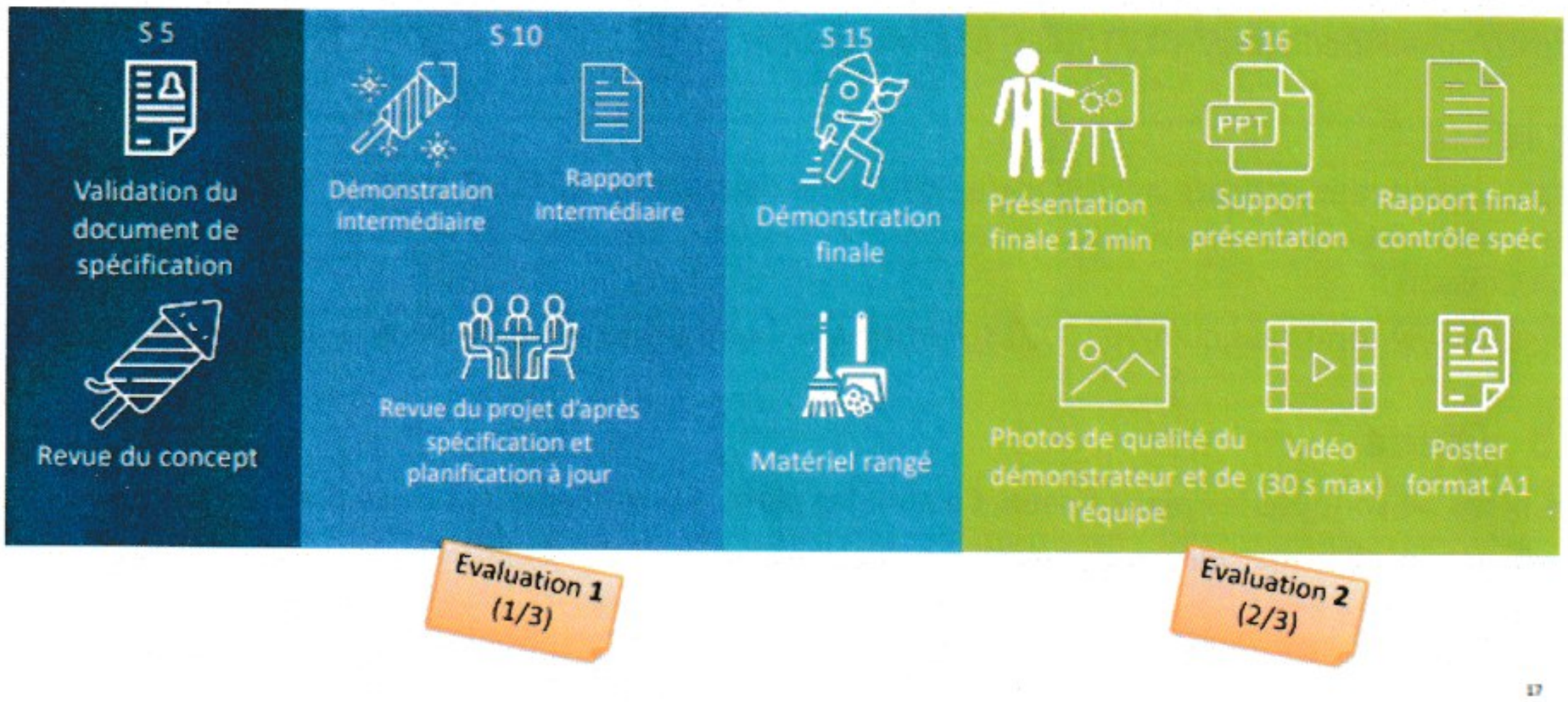
7 Liste des figures

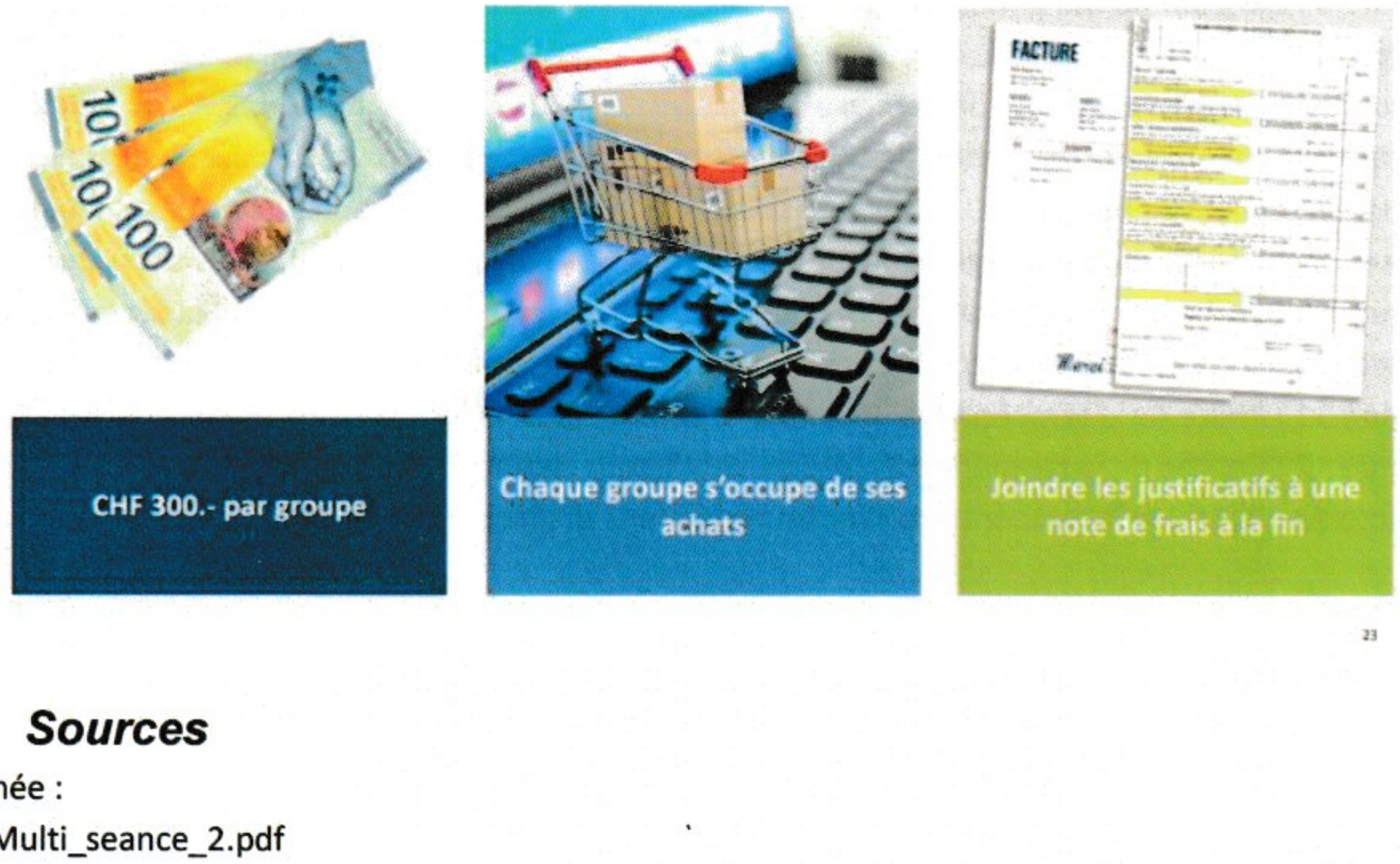
Figure 1 : Eléments d'un TLUD 3
Figure 2 : Barbecue avec deux roues à l'arrière 5
Figure 3 : Diagramme des puissances thermiques 5
Figure 4 : Principe de la combustion 6
Figure 5 : Schéma de principe de la régulation 6
Figure 6 : Schéma de la circulation de l'air 7
Figure 7 : Pellets de bois 8
Figure 8 : Illustration des dégagements de fumées 8
Figure 9 : Graphe de la température 10
Figure 10 : Spécifications/caractéristiques de la première expérience 10
Figure 11 : Allure de la température prises sur le bord de la plaque 11
Figure 12 : Courbe de la température avec un ventilateur comme boost au démarrage 12
Figure 13 : Allure de la température avec un ventilateur et une plaque en inox 13

8 Annexes

8.1 *Donnée du projet*

Livrables





8.2 *Sources*

Donnée :

ProjMulti_seance_2.pdf

Disponible sur : https://cyberlearn.hes-so.ch/course/view.php?id=14691

§2.1 TLUD :

https://en.wikipedia.org/wiki/Top-lit_updraft_gasifier

Figure 1 :

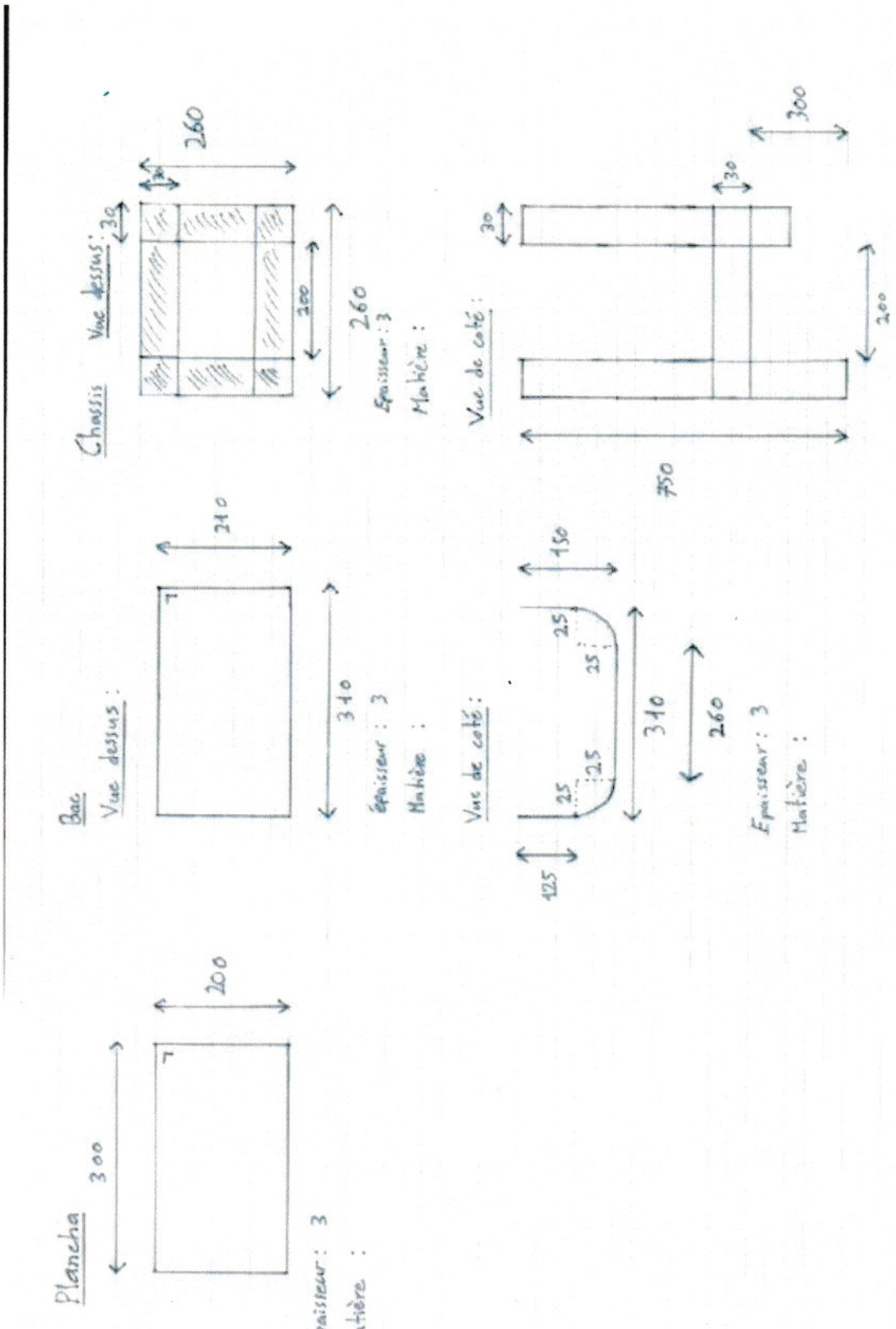
https://www.researchgate.net/figure/a-Schematic-description-of-TLUD-stove-8_fig4_283644530

§2.4 Cuisson :

https://www.tompress.com/A-10001364-rotir-a-la-broche-bien-plus-facile-que-le-barbecue.aspx

8.3 *Plans*

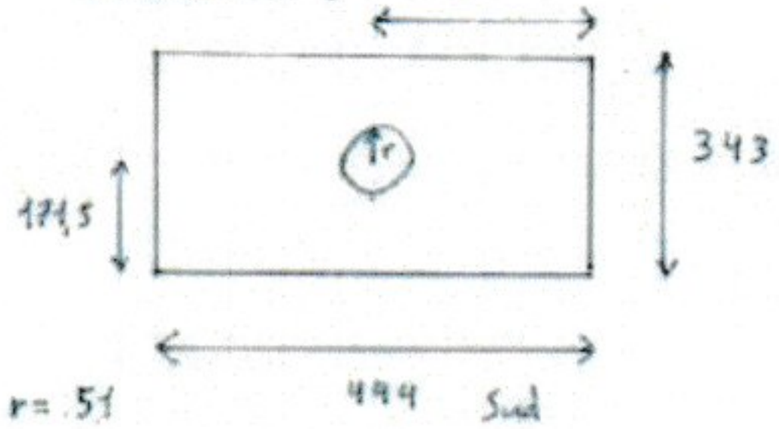
Ces plans ne sont pas les plans finaux. Ce sont les plans « prototypes », car les plans finaux ont été gardé par l'atelier mécanique de l'HEIG. Le dernier plan est celui du pot de combustion.


Chassis
Vue dessus:
260
30
300
200
Epaisseur: 3
Matière :
Vue de coté:
30
200
750
Bac
Vue dessus:
240
340
épaisseur : 3
Matière :
Vue de coté:
150
25
25
25
340
260
125
Epaisseur: 3
Matière :
Planche
300
200
épaisseur : 3
Matière :

Boite :

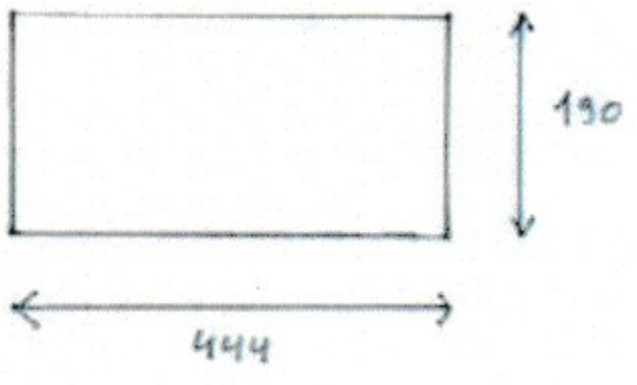
Nord

Vue dessus : 0



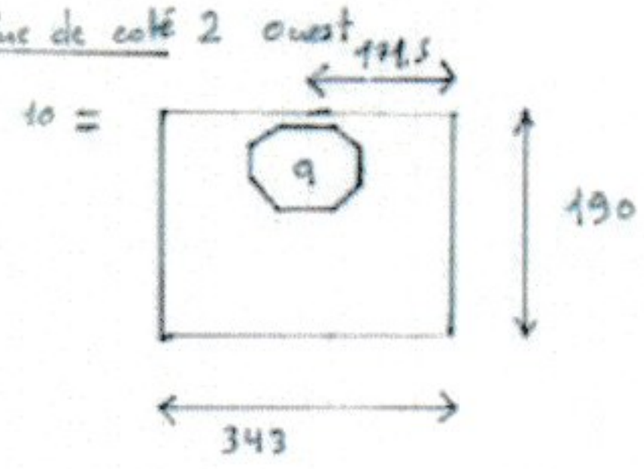
Epaisseur : 1,5 mm
Matière : Inox

Vue coté 1 Sud

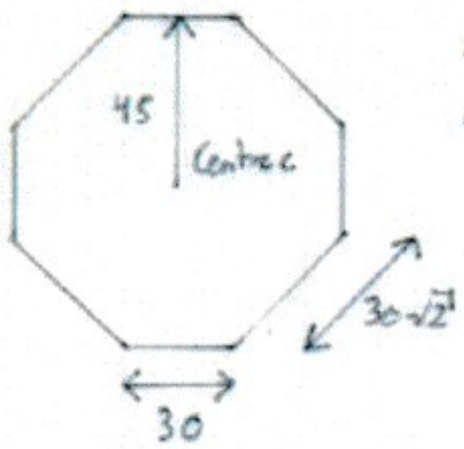


Epaisseur : 1,5 mm
Matière : Inox

Vue de coté 2 ouest



a)

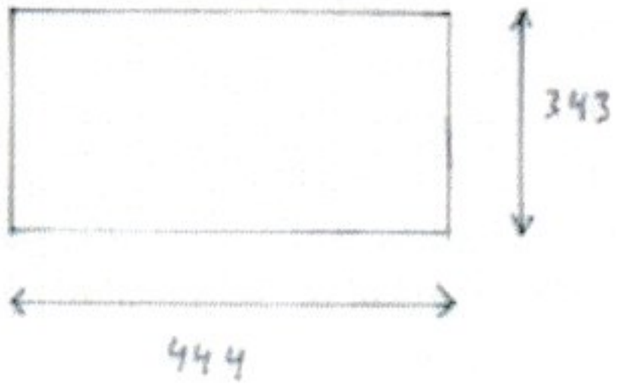


Epaisseur : 1,5 mm
Matière : Inox

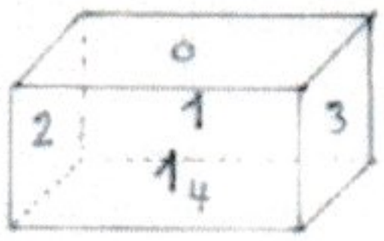
Vue de coté 3 Est

ø

Vue de dessous : 4

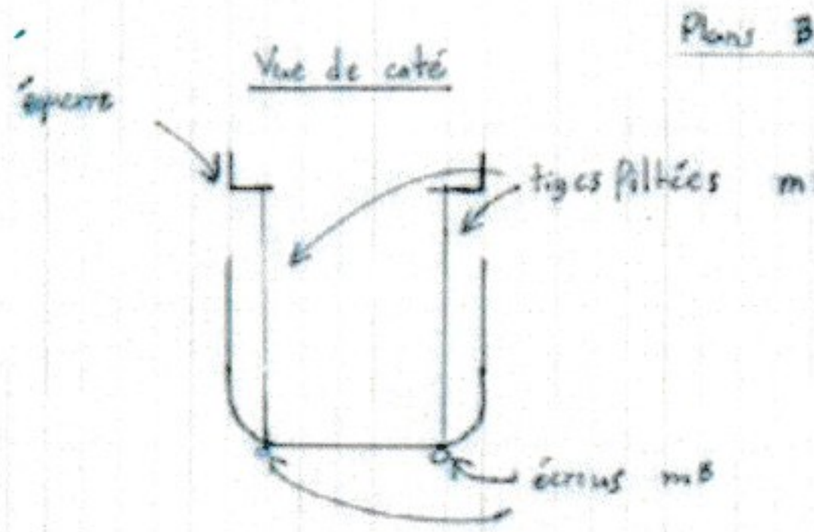


Epaisseur : 1,5 mm
Matière : Inox

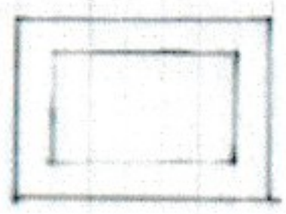


Plans BAC + filtres

Vue de coté



Vue dessus

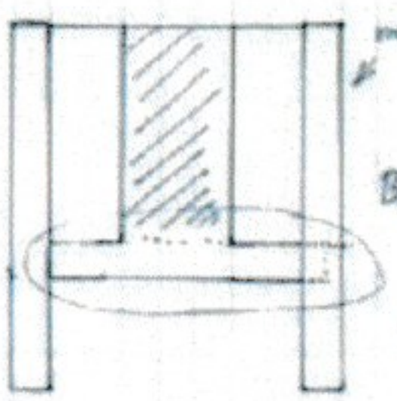


■ = équerre

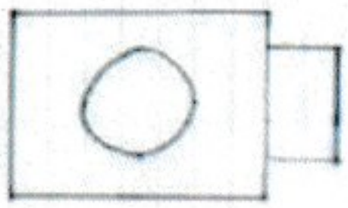
o = tige filtrée

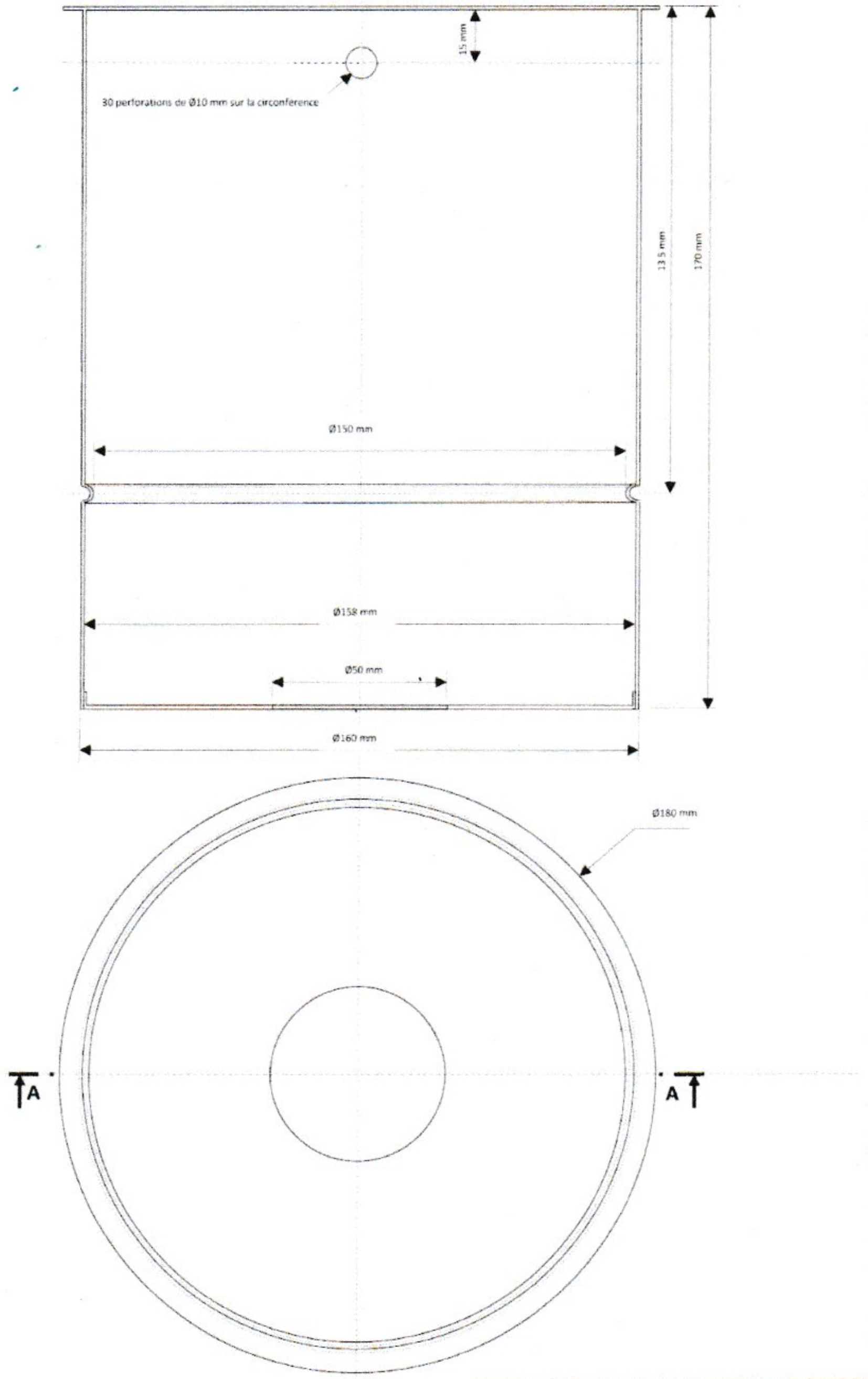
BAC:

Vue de coté



Vue dessus





GREEN FIRE 06/01/2016

PIECE PRINCIPALE INTERNE Matière : Inox