

## **Propulsion automatisée de légumes par déflagration : Design et dimensionnement mécanique d'un patator**

**Etudiants :****Ainsley DECLERCK Manal EL MOHANI****Pierre HASLEE Ilyasse MIR****Julien RUCQUOY Sophie STEVENSON****Enseignant-responsable du projet :****Clément BRUNET**

Date de remise du rapport : **15/06/2020**

Référence du projet : **STPI/P6/2020 – 041**

Intitulé du projet : ***Propulsion automatisée de légumes par déflagration – Design et dimensionnement mécanique d'un patator***

Type de projet : ***Expérimental***

Objectifs du projet :

- Définir un design sécuritaire (raccords, soupape, électrovannes, bougie ...)
- Modéliser l'ensemble par CAO ;
- Estimer une tension de claquage ;
- Estimer les coûts en respectant un budget de 100 euros ;
- S'adapter aux contraintes posées par les autres groupes du macro-projet.

Mots-clefs du projet : ***Tension de claquage, déflagration, CAO, tubercule***

## TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	5
2.	METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL .....	6
3.	TRAVAIL REALISE ET RESULTATS	7
3.1.	Présentation du patator .....	7
3.1.1.	Éléments clés du patator .....	7
3.1.2.	Sécurité.....	7
3.2.	Aspects techniques, augmenter la performance .....	8
3.2.1.	A travers le design et le dimensionnement.....	8
3.2.2.	Autres pièces du patator .....	10
3.2.3.	Etude de l'allumage par arc électrique.....	13
3.2.4.	Etude résistance des matériaux .....	17
3.3.	CAO (+support).....	19
3.4.	Etude balistique .....	21
3.5.	Coût .....	24
4.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	25
5.	BIBLIOGRAPHIE	26

## NOTATIONS, ACRONYMES

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation ingénieur nous avons travaillé sur le design d'un patator, un lanceur artisanal utilisé pour éjecter des petits projectiles (pommes de terre en général) sur une grande distance. Sachant que ce projet est notre premier vrai projet scientifique ce sujet semble intéressant pour ses divers processus physiques et chimiques interconnectés, à savoir la combustion, la turbulence et la résistance des matériaux. De plus le patator est facile à fabriquer et le coût de production reste faible (< 100€).

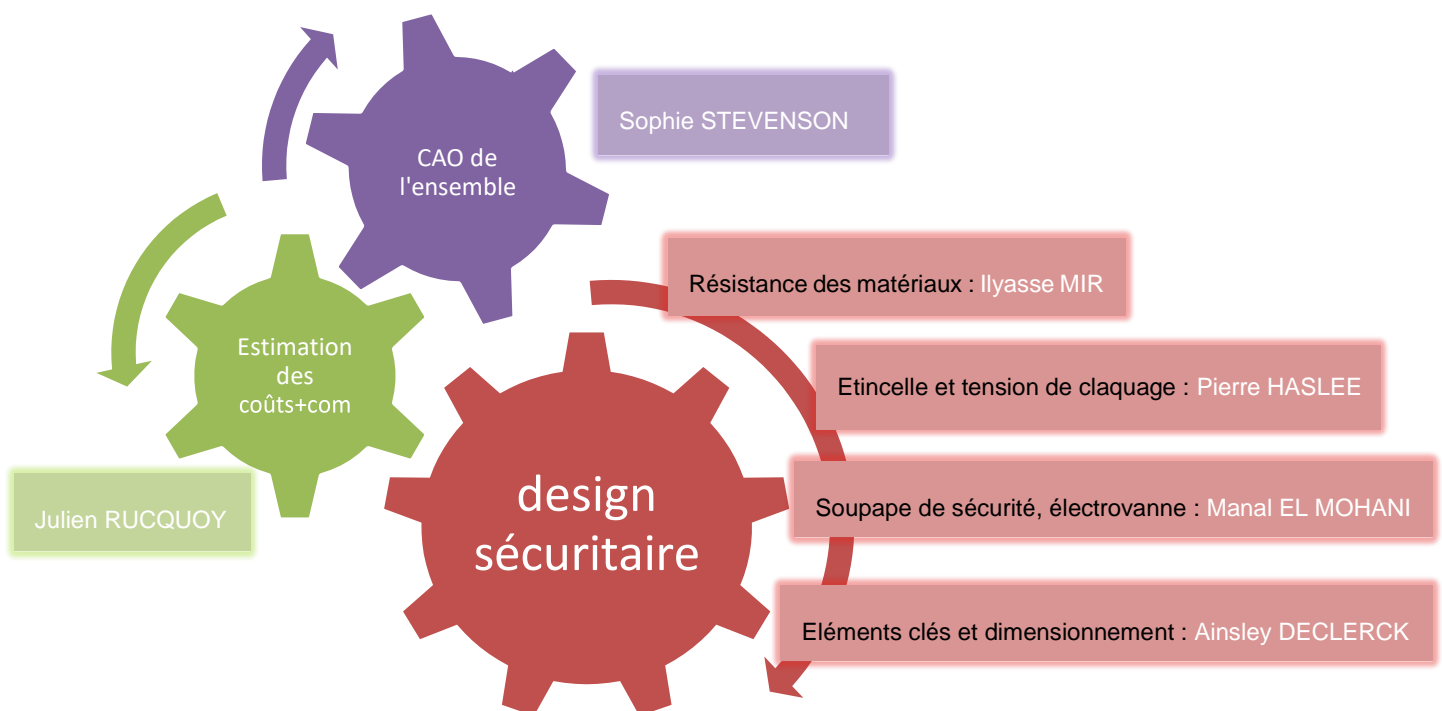
Initialement nous en savions très peu sur le patator, c'est ainsi que nous avons commencé par étudier son fonctionnement, déterminer les éléments clés et ses dispositifs de sécurité pour ensuite définir un design sécuritaire. Une fois ce design établi, nous avons articulé notre projet en trois autres tâches à réaliser : produire une CAO de l'ensemble, donner une estimation des coûts et adapter notre design aux contraintes posées par les autres groupes.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour l'organisation, nous avons mis en place plusieurs dates limites pour les tâches à réaliser. Notre premier point à traiter était de définir un design pour le 31 mars, puis de produire un CAO mi-avril et d'effectuer les tests de tir en mai.

Au début, nous cherchions ensemble un par un les éléments clés. Cependant nous nous sommes rendu compte que cette méthode n'était pas la plus efficace et qu'on gagnait du temps en travaillant chacun sur une pièce clé du patator. De plus, Sophie possédait des compétences en CAO plus poussées, elle s'est donc occupée de cette partie du projet. La figure ci-dessous présente le détail des tâches réalisées et des étudiants concernés. Cependant, il est important de noter qu'il arrivait plutôt souvent qu'un membre vienne en aide à un autre en cas de difficulté.

Le début du confinement a entraîné un changement d'organisation. Manque de matériel, nous n'avons pas pu commencer l'assemblage du patator. Nous avons dû rester sur la partie théorique.



### 3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

#### 3.1. Présentation du patator

Il existe deux principaux types de patator : patator à combustion et à air comprimé. Chacun a ses avantages et ses inconvénients. Par exemple, pour le patator à combustion il faut prendre en compte l'expansion des gaz mais les patators à air comprimé sont plus complexes techniquement. Cependant le principe des deux patators reste le même : l'expulsion du projectile à travers un canon sous la pression d'un gaz.

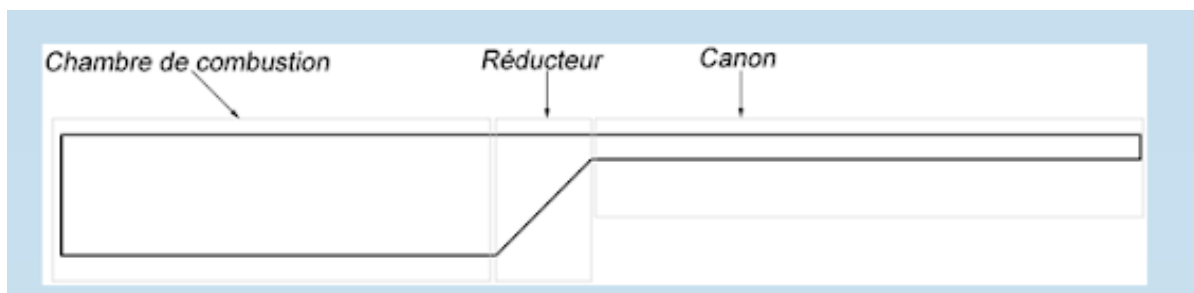
Pour notre projet nous avons ainsi opté pour un patator à combustion. [1]

##### 3.1.1. *Éléments clés du patator*

Le patator se décompose en trois parties majeures : la chambre de combustion, le réducteur et le canon.

À l'intérieur de la chambre de combustion on injecte un mélange gazeux hautement inflammable. Grâce à une étincelle on crée alors une explosion qui expulse le projectile hors du canon.

Le réducteur a pour but de faire le lien entre les deux parties. Pour éviter des problèmes de pression au niveau des angles, il est préférable d'en utiliser un de forme conique comme ci-dessous.



*Figure 1 : Structure d'un patator*

D'autres pièces sont nécessaires au fonctionnement du patator comme nous avons déjà évoqué l'injecteur et la bougie, parmi d'autres.

##### 3.1.2. *Sécurité*

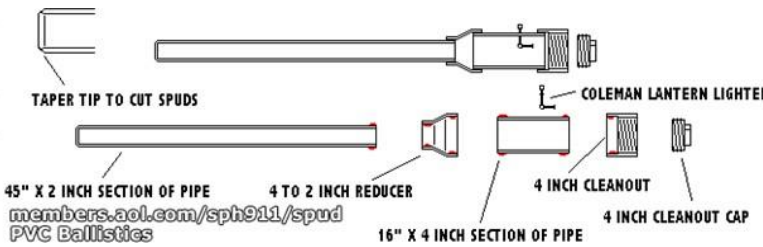
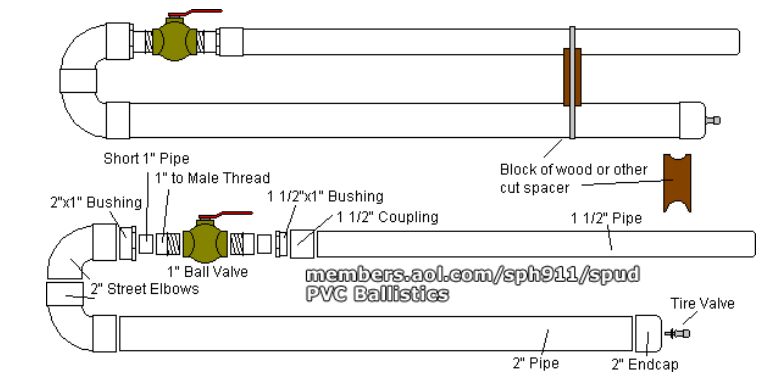
Le patator est considéré en France comme une arme de catégorie 7. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir un permis, mais il y a cependant quelques éléments de sécurité à prendre en compte. En effet nous voulons empêcher toute brûlure à cause des gaz de combustion ou des blessures dues à l'explosion éventuelle du patator. Le bruit de l'explosion peut aussi entraîner un traumatisme auditif. Le moyen de prévention le plus simple consiste donc à faire des tirs à distance en utilisant une télécommande, tout en prenant soin de n'avoir personne dans le champ de vision, et éventuellement utiliser des protections auditives.

### 3.2. Aspects techniques, augmenter la performance

#### 3.2.1. A travers le design et le dimensionnement

##### 3.2.1.1 Etude de différents designs

Afin de construire le patator idéal nous avons comparé différents modèles de patator existants pour en tirer le meilleur. Les deux modèles les plus simples étant le patator simple et le patator coudé.

Modèles : Patator droit et coudé	Avantages	Inconvénients
 <p><i>Figure 2 : patator droit</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas d'angles donc meilleure résistance</li> <li>- Assemblage facile</li> <li>- Plus de stabilité pour l'utilisation à distance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Design plus volumineux</li> <li>- Prise en main difficile</li> <li>- Risque d'engrassement</li> </ul>
 <p><i>Figure 3 : patator coudé</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beaucoup plus compacte</li> <li>- Plus facile à manipuler à la main.</li> <li>- Plus long donc plus puissant</li> <li>- soupape à l'avant donc plus de sécurité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus difficile à mettre en place</li> <li>- Difficile de trouver un support adapté</li> </ul>

À la suite de cette étude, nous avons opté pour le design simple car, bien qu'il soit moins puissant, il offre une plus grande stabilité et une plus grande sécurité.

##### 3.2.1.2 Ratio chambre/canon pour une performance optimale

Le dimensionnement de la chambre de combustion et du canon est très important. Un canon dimensionné au bon rapport avec la chambre de combustion permet au projectile de continuer à gagner en vitesse sur toute la longueur du canon.

Par exemple, un ratio canon-chambre de 0,2 :1 entraînera le ralentissement du projectile à cause des forces de frottement et d'une pression trop petite.

A l'inverse, pour un ratio canon-chambre de 1,4 :1, le projectile n'aura pas le temps d'atteindre sa vitesse maximale. C'est à l'intérieur du canon que le projectile augmente en vitesse.

On constate ces effets à vitesse de mélange constante, c'est à dire que la puissance est fonction des dimensions de la chambre et du canon.



Le 'ratio parfait' est largement débattu. Certains affirment qu'un ratio (0,5 :1) chambre/canon est idéal car celui-ci est le plus popularisé par les amateurs de construction de patator. D'autres affirment que le ratio parfait est (0.8 :1), valeur déterminée dans une étude de BurntLatke. [2]

Remarque : nous utiliserons l'abréviation anglophone C : B pour se référer au ratio chambre/canon (en anglais : Chamber/Barrel).

Nous allons donc étudier plus en détail cet étude de BurntLatke.

Latke a examiné l'effet réel de la modification du rapport C : B sur la vitesse de sortie du projectile du canon pour un patator typique incliné d'un angle de 45 degrés. La chambre est de taille fixe et on fait varier la longueur du canon.

Ces conditions d'étude se rapprochent à ce que nous aurions pu faire expérimentalement car il suffit de changer la longueur du canon entre chaque tir test et voir à quelle distance se trouve le projectile après un tir en chronométrant le temps. On peut alors déterminer la vitesse de sortie  $v=d/t$ .

Les données de Latke fournissent la meilleure preuve que le rapport CB devrait être d'environ 0,8 pour obtenir une performance optimale du patator (voir figure ci-dessous).

En ordonnées la vitesse de sortie est en fbs foot per second (1 fbs = 0,3048)

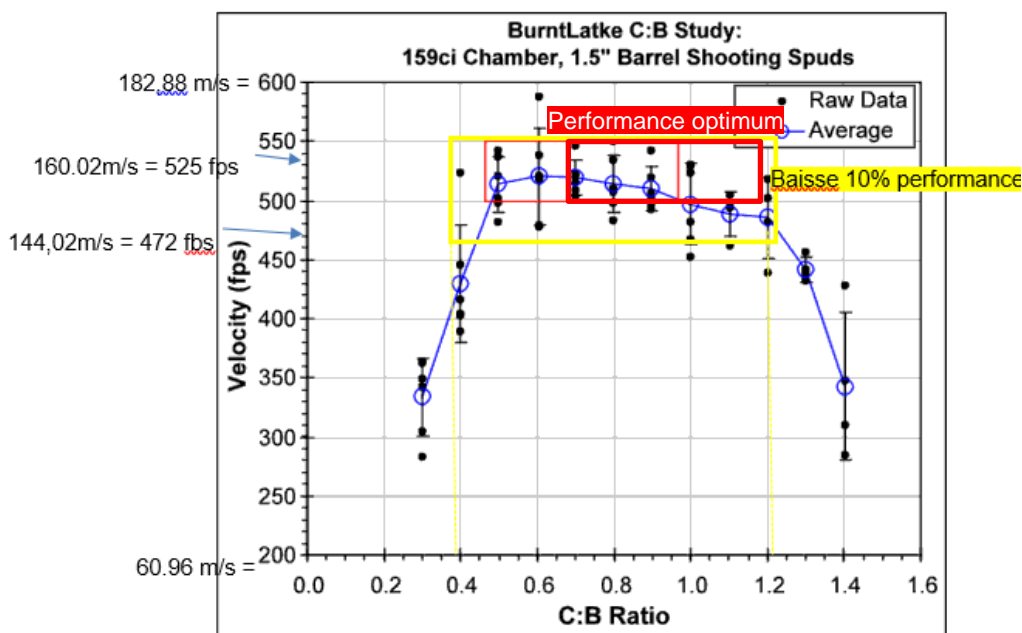


Figure 4 : graphique représentant la vitesse de sortie du projectile en fonction du rapport C : B

Les études de Latke ont non seulement identifié le rapport CB optimal, mais elles fournissent également une mesure de l'évolution des performances du patator avec des longueurs de canon non optimales. En effet si on tolère une baisse de performance de 10%, soit 144,02 m/s le C : B peut varier de 0,4 à ~ 1,2.

Pour le dimensionnement du patator, nous allons donc chercher à avoir un ratio C : B compris entre 0,4 et 1,2

### 3.2.1.3 Dimensionnement

Grâce au logiciel en ligne « SpudToolOnline » [3] nous avons pu effectuer le dimensionnement du patator, Ce logiciel permet de calculer le diamètre du canon et la longueur de la chambre en rentrant les valeurs du diamètre de la chambre et la longueur du canon avec le ratio C : B voulue.

Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

	Diamètre (en mm)		Longueur (en mm)		Volume (en $cm^3$ )
Chambre de combustion	100		350		$V = \pi r^2 * h = 2749$
Canon	60	50*	750	1080*	V = 2120

\* les nouvelles dimensions du patator en fonction du matériel disponible.

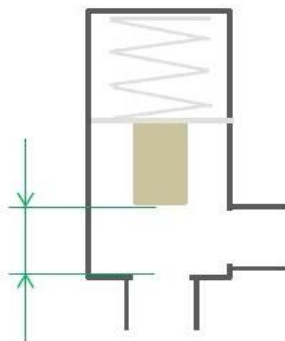
Or, en cherchant des références pour nos pièces nous nous sommes rendus compte qu'il est difficile d'acheter un réducteur 100/60 mm mais les réducteurs 100/50 sont facilement accessibles. Nous avons donc adapté nos valeurs en allongeant la longueur du canon.

La visualisation de notre patator et des dimensions sera détaillée dans la partie 3.3 CAO et support.

Nous allons maintenant étudier les autres pièces essentielles au fonctionnement du patator, à savoir la soupape de sécurité et l'électrovanne.

## 3.2.2. Autres pièces du patator

### 3.2.2.1 Soupape de sécurité



#### But de la soupape de sécurité

Une soupape permet d'évacuer du fluide surcomprimé vers l'extérieur lorsque la pression atteint la valeur limite pour laquelle elle a été tarée, ce qui permet de garder en bon état de fonctionnement tout le circuit, et d'éviter surtout les ruptures de matériaux.

Figure 5 : soupape en pleine ouverture

#### Fonctionnement de la soupape de sécurité

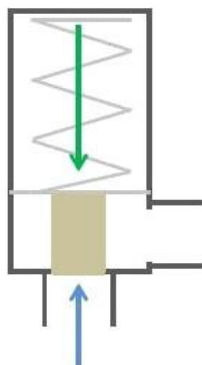


Figure 6 : soupape de sûreté avant ouverture

En condition nominale, la soupape de sécurité est fermée ; le système est alors étanche. La pression amont (flèche bleue) est en dessous de la pression de tarage. Par conséquent, la résultante de la pression applique sur la surface de détection (flèche bleue) est inférieure à l'effort du ressort (flèche verte). Le clapet est maintenu en place sur son siège par le ressort et ne peut se soulever.

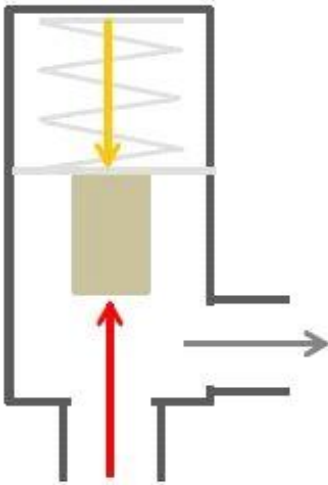


Figure 7 : soupape de sûreté après ouverture

La pression du circuit (flèche rouge) est supérieure ou égale la pression de tarage. La pression du ressort (flèche jaune) ne permet plus de maintenir le clapet sur son siège. La soupape de sûreté est ouverte et la surpression s'évacue (flèche grise).

Lorsque, la soupape de sécurité est complètement ouverte, elle est dite en pleine ouverture. La pression amont en pleine ouverture peut aller jusqu'à 110% de la pression de début d'ouverture. Cette pleine ouverture désigne la course maximale de levée de clapet. Le débit max d'évacuation de l'équipement est défini à cette pression.

A l'issue de l'ouverture de la soupape de sûreté, une chute de pression se crée en amont. La pression à l'entrée diminue jusqu'à atteindre la pression de fermeture étanche. Cette pression résulte de la valeur de l'hystérésis, qui est limité par l'ISO 4126. Le clapet se repositionne sur son siège. La soupape de sécurité est à nouveau étanche.

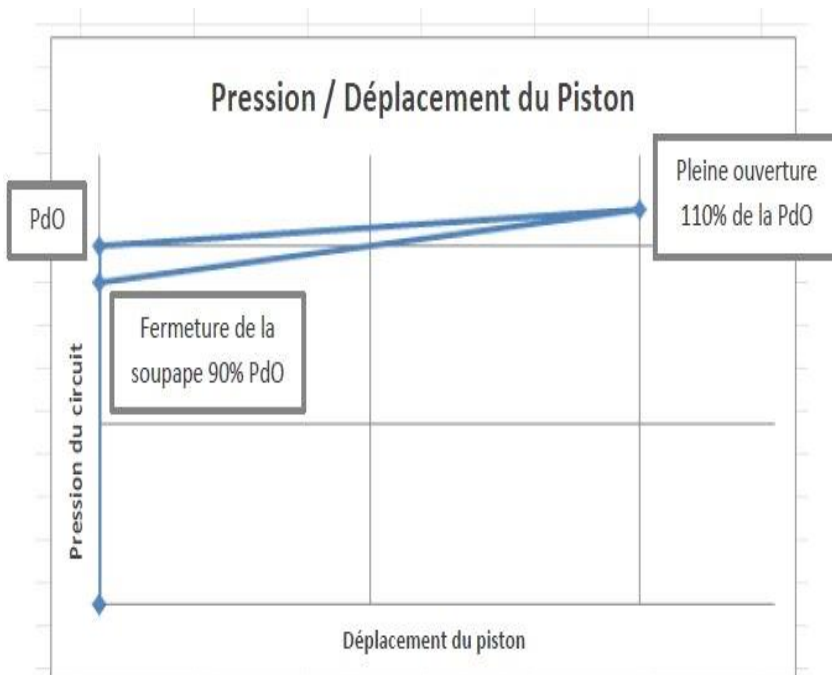


Figure 8 : Courbe de caractérisation d'une soupape

### Pression limite d'enclenchement de la soupape de sécurité

Après concertation avec le groupe de simulation de combustion, la pression maximale de combustion est de 9 bars, et la pression maximale applicable au PVC est de 10 bars ; ainsi ; afin de protéger le mécanisme, ainsi que l'utilisateur, il faut que la pression d'enclenchement de la soupape de sécurité soit comprise entre 9 et 10 bars.

### Position dans le patator

La soupape de sécurité a été placée au niveau de la partie arrière de la chambre de combustion : en effet, il est plus simple de la mettre dans cet endroit-là étant donné que le bouchon est plat, ce qui facilite donc son montage dans le patator.

### 3.2.2.2. Electrovanne

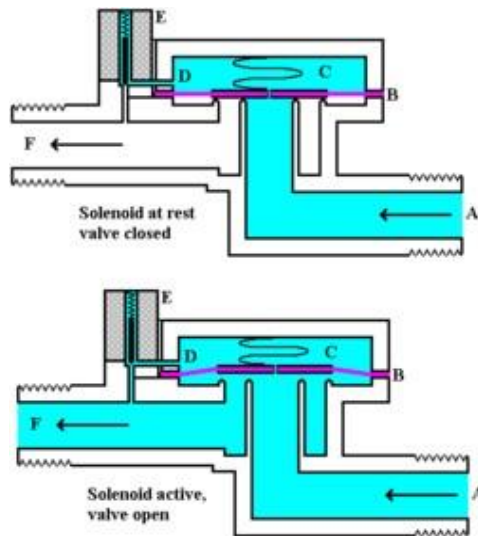


Figure 9 : schéma d'électrovanne

#### But des électrovannes

Une électrovanne ou électrovalve est une vanne commandée électriquement. Grâce à cet organe, il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique. C'est donc cet organe qui va permettre l'introduction du gaz au sein de la chambre de combustion de manière automatique.

#### Choix de l'électrovanne

Après consultation avec le groupe qui s'occupe de la commande à distance, le type d'électrovanne dont nous avons besoin est une électrovanne tout ou rien, normalement fermée, 24V.

#### Fonctionnement des électrovannes tout ou rien

Une électrovanne s'ouvre et se ferme en fonction des ordres qu'elle reçoit du programmeur et est positionnée au départ de chaque réseau.

Les électrovannes dites tout-ou-rien ont deux états possibles

- Entièrement ouvertes
- Entièrement fermées

L'état change suivant qu'elles soient alimentées électriquement ou non. Il existe deux sortes d'électrovannes tout ou rien :

- Les électrovannes dites normalement ouvertes, qui sont entièrement ouvertes en l'absence d'alimentation électrique (absence de tension) et qui se ferment lorsqu'elles sont alimentées électriquement.
- Les électrovannes dites normalement fermées, qui sont entièrement fermées en l'absence d'alimentation électrique et qui s'ouvrent lorsqu'elles sont alimentées.

Dans la position fermée, le fluide passe par l'orifice calibré et vient remplir la chambre supérieure. La surface du diaphragme étant importante et réalisée dans une matière souple, celle-ci vient se plaquer sur le siège du diaphragme maintenant ainsi la vanne fermée.

Pour ouvrir l'électrovanne, il est nécessaire que le solénoïde reçoive un courant électrique, celui-ci va créer un champ magnétique qui relèvera le noyau plongeur. De cette manière, le fluide va s'écouler par l'orifice de décharge. Le fluide de la chambre supérieure est évacué et ainsi la pression chute.

Le fluide du réseau contenu en amont de l'électrovanne pourra ainsi comprimer le ressort du diaphragme et autoriser le passage du fluide.

L'électrovanne restera ouverte tant que le solénoïde restera alimenté. Lorsque le programmeur coupe l'alimentation en courant, le noyau du solénoïde est libéré, venant l'orifice de décharge, le fluide remplit à nouveau la chambre supérieure et vient fermer la vanne.

La plupart des électrovannes peuvent ainsi s'actionner manuellement. Ce principe est basé sur une purge qui libère le fluide, la pression diminuant, le diaphragme se soulève et le fluide circule.

### *Résistance de l'électrovanne aux gaz combustibles*

La pression maximale de combustion est de 9 bars, ainsi, la pression maximale, que doit supporter l'électrovanne pour son bon fonctionnement est de 9 bars.

### *Temps de réponse des électrovannes*

Le temps de réponse des électrovannes proportionnelles est de l'ordre de quelques millisecondes. Elles réagissent très rapidement aux variations du signal électrique d'entrée.

## **3.2.3. Etude de l'allumage par arc électrique**

Afin de trouver le meilleur moyen d'allumer un mélange de gaz, nous avons initialement pensé nous inspirer des objets du quotidien utilisés habituellement : le briquet et l'allume-gaz. Nous nous sommes très rapidement rendus compte qu'ils n'étaient pas convenables pour ce projet, dans la mesure où le silex du briquet nécessiterait une action mécanique en plus à considérer, et que les pierres piézoélectriques demandent également un choc assez conséquent, plus difficile à produire sur un petit système à distance.

### **3.2.3.1. Première version et implémentation au corps du patator**

Dans un premier temps, nous nous sommes inspirés d'une bougie de voiture. Il fallait donc des électrodes séparées par un isolant puissant. Lors de la conception virtuelle de ce système, nous n'avions pas encore recherché la tension nécessaire à la production d'une étincelle.

Pour que le système d'allumage tienne en place et soit pratique à modifier, nous avons pensé à ajouter sur le flanc de la chambre de combustion un embout PVC bouchon mâle, et faire passer notre bougie par des trous dans le bouchon. Ainsi serait-il beaucoup plus simple d'avoir un accès rapide et efficace aux électrodes à l'intérieur du patator.

### **3.2.3.2. Tension de claquage**

Afin de connaître la tension de claquage de notre système, il fallait connaître le champ disruptif (kV/m) de l'environnement dans lequel nos électrodes sont plongées.

Celui de l'air étant de 3600 kV/m, pour 1 mm d'écart entre les électrodes il faudrait 3600 V, cependant nous sommes dans un mélange de méthane et nous n'avons pas trouvé de document indiquant le champ disruptif pour le méthane (dans quelque état qu'il soit).

Comme point de départ pour connaître une tension de claquage en fonction de différents paramètres d'un gaz, nous avons utilisé la loi de Paschen.[4]

$$V_B = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln\left[\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma_{se}}\right)\right]}$$

Paschen a découvert que la tension de claquage était décrite par l'équation ci-dessus avec:

**V**: tension de claquage en volts

**p**: pression en kilopascals

**d**: distance entre les deux électrodes en centimètres

**γ**: coefficient d'émission d'électrons secondaires (le nombre d'électrons secondaires produits par un ion positif incident) =0,5

**A**: l'ionisation de saturation dans le gaz en (kPa.cm) <sup>-1</sup>

**B**: constante lié aux énergies d'excitation et d'ionisation en V/(kPa.cm)

### 3.2.3.3 Version finale du système d'allumage

Afin de réaliser l'allumage du gaz présent dans notre chambre de combustion, nous avons donc opté pour deux électrodes courbées ou inclinées l'une vers l'autre (avec une distance d'1 mm au bout).

Pour que l'étincelle se déclenche au bout (1 mm) nous avons pu voir que la tension d'allumage se situera autour de 4000 V.

Si les électrodes sont écartées à la base de 2 cm, avec un champ disruptif de 3950 kV/m, une étincelle ne pourrait se former qu'avec 79 000 V. Ainsi paraît-il futile d'utiliser un matériau isolant entre les électrodes, l'étincelle se formant forcément au bout de celles-ci.

Il faudra maintenir un degré de précision élevé au niveau de la position des électrodes puisqu'elles doivent être écartées d'1 mm au bout. Pour pallier cela nous pouvons utiliser une tension légèrement supérieure de sorte à ce que même avec un écart de 2 mm, le claquage survienne (8000 V par exemple).

Heureusement le fait qu'elles soient facilement accessibles via un bouchon devrait nous permettre de les réajuster en cas de dysfonctionnement.

Comme nous pouvons le voir cette équation dépend de nombreux constantes et paramètres que nous avons essayé d'analyser plus en détail.

La pression :

Quelle est l'influence de la pression sur la tension de claquage ?

Il est intéressant d'étudier l'influence de la pression sur la tension de claquage pour vérifier si la loi de Paschen reste applicable dans toutes les conditions de pression. Dans les conditions actuelles, il n'était pas possible de faire des tests nous-mêmes. Nous avons donc regardé des résultats d'expériences préexistantes. Des documents de recherche du Queen Mary's College montrent que la tension de claquage augmente avec la pression. [5]

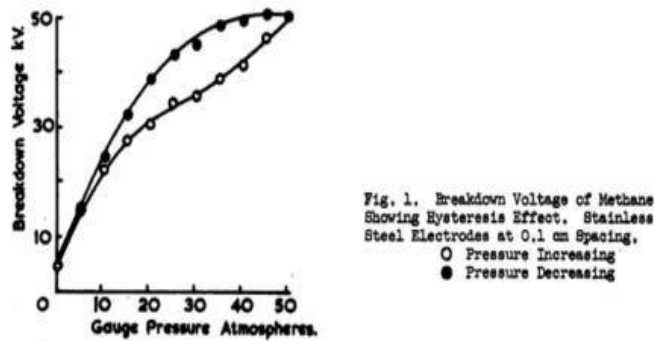


Figure 10 : Graphique représentant la tension de claquage en fonction de la pression

L'expérience a été menée avec deux électrodes en acier inoxydable séparés d'une distance  $d=1\text{mm}$ . Une recherche rapide montre que le coefficient d'émission d'électrons secondaires de l'acier est compris entre 0 et 1 électrons/ion.

Les constantes A et B standards (c'est-à-dire pour l'air) valent respectivement  $112.501(\text{kPa}\cdot\text{cm})^{-1}$  et  $2737.50 \text{ V}/(\text{kPa}\cdot\text{cm})$  avec :

$$A = \frac{\sigma_n}{kT_n} \quad B = AV_i \quad [10]$$

$\sigma$ : section de collision

$k$ : constante de Boltzmann

$T$ : température des atomes

$V$ : potentiel d'ionisation

Ces constantes varient en fonction du gaz utilisé. Si on suppose la température et la section de collision constantes pour l'air et le méthane, il reste le potentiel d'ionisation à comparer. Or d'une manière générale, les énergies d'ionisation décroissent le long d'une colonne du tableau périodique des éléments et croissent de gauche à droite le long d'une période de la table. Le méthane et l'air sont principalement constitués d'éléments à gauche de la table périodique, le potentiel d'ionisation est donc quasi-identique. A partir de la loi de Paschen on devrait donc obtenir une estimation réaliste de la tension.

Nous pouvons vérifier si la loi de Paschen reste applicable par exemple pour une pression de  $1 \text{ atm}=100 \text{ kPa}$

$$V_B = \frac{2737,50 * 100 * 0,1}{\ln(112,5 * 100 * 0,1) - \ln\left(\ln\left(1 + \frac{1}{0,5}\right)\right)}$$

$$= \frac{27375,0}{\ln(1125) - \ln(\ln(3))}$$

$$V_B \approx 3950 \text{ V}$$

Cette valeur semble valider l'expérience de l'étude. En effet, pour 1 atm la tension de claquage se rapproche de 5000 V.

Quelle est l'influence de la température sur la tension de claquage ?

En plus de l'influence de la pression, il serait également très intéressant de se pencher sur l'influence de la température. Nous avons encore une fois dû nous appuyer sur des papiers scientifiques pour essayer de trouver un résultat concluant. Nous avons trouvé quelques pistes encourageantes, nous n'avons pas trouvé de résultats applicables à notre situation. La figure ci-contre, tirée d'un papier du British Journal of Applied Physics [6] montre une très légère augmentation de la tension de claquage avec la diminution de la température des électrodes. Si l'on regarde attentivement, nous ne pouvons pas utiliser ce résultat pour différentes raisons.

Premièrement, les électrodes étaient sous vide, et non dans un mélange de gaz. Deuxièmement, les températures étudiées étaient celle de l'azote liquide et celle de la pièce. Il aurait fallu une étude avec les températures de la pièce et une autre avec la température du gaz brûlé. Enfin, une autre raison pour laquelle cette étude ne fonctionne pas est que la distance entre les deux électrodes n'est pas du tout du même ordre de grandeur.

Sur l'étude, la distance était de l'ordre du millièmètre, alors que nous cherchions des résultats de l'ordre du millimètre. En conclusion, il y a beaucoup trop de différences majeures entre les deux conditions expérimentales.

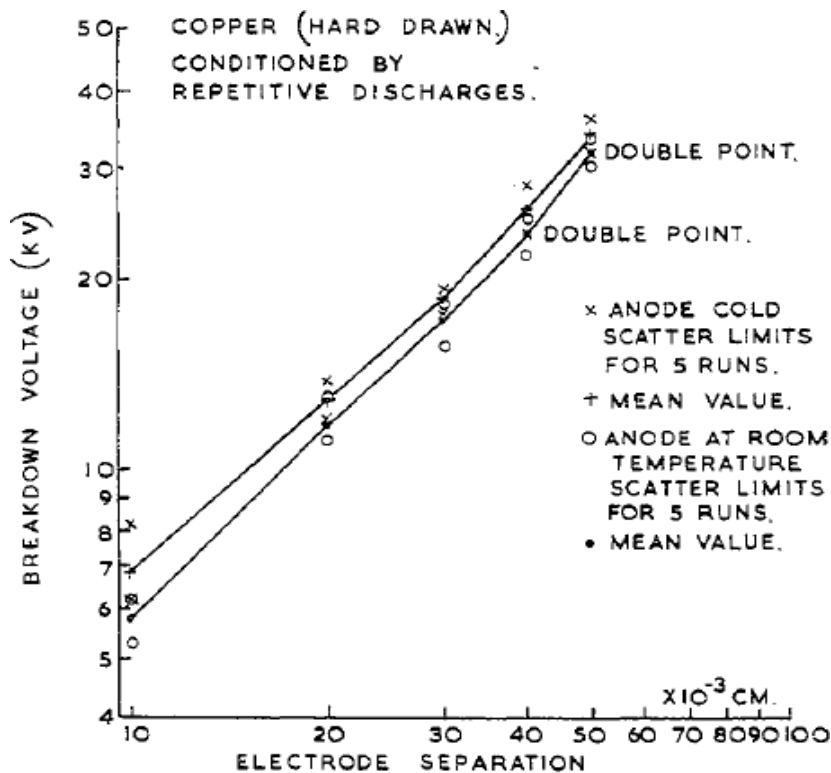


Figure 11 : Effet refroidissement de l'anode avec de l'azote liquide



### **3.2.4. Etude résistance des matériaux**

Afin de concevoir un patator résistant et assurant au mieux la sécurité de l'utilisateur, le choix du matériau est crucial. En effet, au cours de nos recherches, nous avons étudié plusieurs patators différents par leur design, mais deux matériaux semblaient revenir assez souvent : il s'agit de l'ABS et du PVC. Nous les avons alors comparés pour choisir le matériau adéquat.

#### **3.2.4.1 PVC**

Le polychlorure de vinyle, appelé PVC, est un polymère thermoplastique, dont la principale application est la production de tuyaux.

Ce matériau est à des caractéristiques très intéressantes. En effet, il est réputé pour sa bonne solidité mécanique (résistance à la traction et à la compression), mais aussi pour sa résistance à un large nombre d'agents chimiques.

Par ailleurs, le PVC est rigide jusqu'au voisinage de sa température de transition vitreuse, qui est comprise entre 75 et 80° C. C'est dire qu'à température ambiante, il est rigide, et qu'au-dessus de 90° C, il est caoutchouteux. Cependant, il est plus fragile en deçà de 5 degrés Celsius, ce qui le rend vulnérable aux chocs à basses températures.

Ainsi, l'utilisation de ce matériau est optimale entre 10 et 60 degrés Celsius. On peut malgré cela faire une combustion dans un tube en PVC car même si la flamme atteint une température de 2900K, celle-ci est instantanée et n'affectera pas le matériau sur une longue durée. On peut anticiper, cela dit, une dégradation sur le long terme après des utilisations répétées du patator.

Enfin, le PVC est peu coûteux, et on peut en trouver à n'importe quel magasin de bricolage.

#### **3.2.4.2. ABS**

L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) est aussi un polymère thermoplastique. Comme le PVC, une de ses principales applications est la fabrication de tuyaux.

Ce matériau fonctionne de façon optimale entre -20 et 80 degrés Celsius. Cependant, s'il est exposé au Soleil de façon prolongée, il subit une dégradation.

Sa rigidité et sa résistance aux chocs sont ses propriétés mécaniques les plus importantes. Contrairement au PVC, qui pourrait se fissurer après un choc, l'ABS peut se déformer légèrement puis revient à son état initial.

Enfin, notons que l'ABS est plus dur à trouver en France que le PVC, nous en avons fait l'expérience au cours de nos recherches.

### 3.2.4.3. Choix du matériau

Ainsi, les deux matériaux sont plutôt durables, et ont des propriétés mécaniques similaires. Intéressons-nous alors aux pressions qu'ils peuvent subir tout en fonctionnant normalement.

Maximum operating and required minimum bursting pressures at 73°F (23°C) for PVC pipe fittings according ASTM D1785 "Standard Specification for Poly Vinyl Chloride (PVC) Plastic Pipes Schedules 40 and 80 are indicated in the diagram and table below:

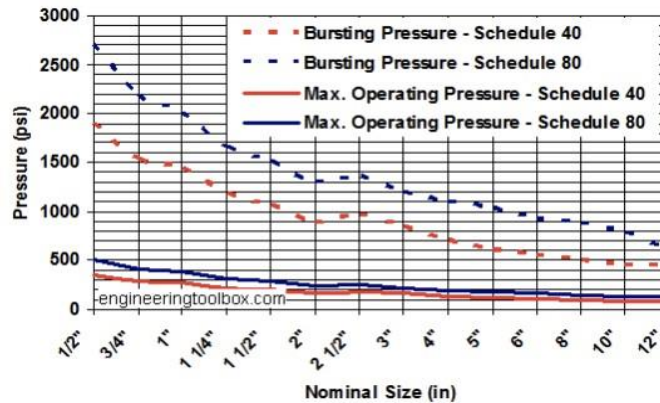


Figure 12 : Graphique représentant les pressions maximales en fonction des dimensions des tuyaux [7]

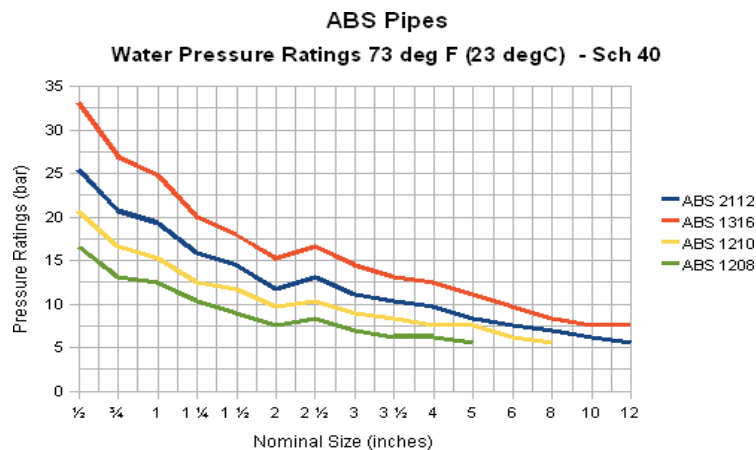


Figure 13 : Graphique représentant la pression recommandée en fonction des dimensions des tuyaux [8]

Tout d'abord, ces études ont été menées à température ambiante (23 degrés Celsius). Rappelons que la pression maximale diminue avec la température.

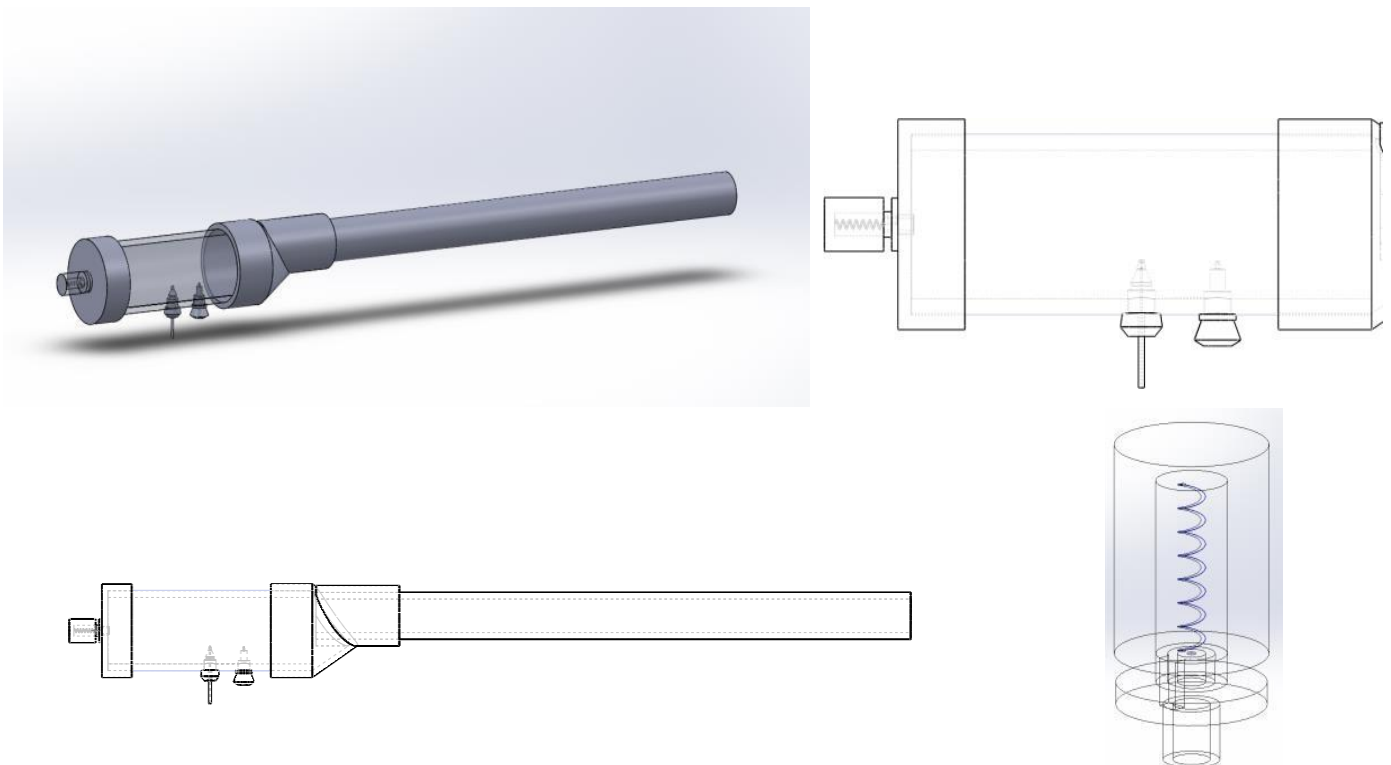
Ainsi, on remarque que la pression maximale, pour l'ABS le plus résistant est de 7,5 bars, atteinte pour une longueur de près de 30 cm. Alors que pour le PVC, celle-ci est de près de 9,6 bars, pour la même longueur. On en conclut que le PVC est plus résistant que l'ABS. D'autre part, ce dernier est moins cher (25 à 30%).

En somme, les deux matériaux présentent des propriétés similaires, ils ont une bonne durée de vie et aucun des deux n'est toxique. Cela dit, l'ABS résiste mieux que le PVC à la chaleur et au froid, tandis que le PVC a une plus grande pression maximale. De plus, la pression maximale de combustion est de 9 bars, donc on peut conclure que le matériau le plus adapté à nos conditions expérimentales est le PVC.

### 3.3. CAO (+support)

Afin de concevoir notre lance-patate, nous avons utilisé le logiciel de CAO : Solidworks. De plus au vu des circonstances, comme nous n'avons pas pu le fabriquer, cette modélisation permet de visualiser le design et le dimensionnement mécanique du patator.

Voici le lance-patate que nous aurions fabriqué, accompagné de quelques plans sur des éléments-clés :



*Figure 12 : CAO lance-patate*

Les parties transparentes permettent de voir les particularités de chaque éléments (le ressort par exemple au niveau de la soupape de sécurité afin de comprendre le principe).

Les pièces représentées sont celles trouvées sur internet que nous aurions achetées.

Nous avons voulu prévoir le comportement du patator une fois sur un support après éjection de la patate. Pour cela, nous avons modélisé deux différents supports qui nous paraissaient être les plus adaptés à notre patator. Grâce au logiciel nous avons pu assembler le lance-patate et son support ensemble à l'aide de diverses liaisons.

Voici nos deux supports :



*Figure 13 : CAO supports lance-patate*

Ici sur la photo à gauche, nous utilisons des barres métalliques perforées fixées sur une plaque en bois. Ce support a des avantages comme il permet de régler l'angle de tir, de plus il est très facile à mettre en place. Cependant on peut noter des désavantages comme l'arrière n'est pas dégagé et que le recul après le tir risque d'endommager le patator.

Le second support qui est un peu plus cher est un trépied avec rotule ce qui permet de modifier l'angle de tir très facilement. Contrairement à l'autre support l'arrière est dégagé ici, mais ce support risque de faire basculer le lance-patate lors du tir.

Ne pouvant pas expérimenter le tir de patate, nous concluons sur ces supports en présentant leurs avantages et désavantages.

### 3.4. Etude balistique



---

#### Structure de l'arme à feu

Lors de l'explosion de la charge propulsive, l'accélération de la balle résulte de la production de gaz sous haute pression. Le canon permet aussi de guider la balle vers la cible voulue.

#### Mécanismes de l'arme à feu moderne :

Dans le canon se trouve la chambre, située à l'opposé de l'ouverture du canon appelée « la bouche ». Cette partie doit être résistante et épaisse car s'y produit le processus de mise à feu de la charge propulsive qui va dégager des gaz à très haute pression contenue dans un endroit petit et confiné. Le canon doit aussi être étanche.

L'arme est aussi composée d'une culasse, section mobile qui avance et recule après l'explosion de la charge. Ce glissement permet de réarmer l'arme et aussi d'éjecter la douille de la balle tirée. Dans le cas des armes de poing de modèle revolver, il n'existe pas de culasse mais un renforcement sur toute la longueur du canon.

La queue de détente est directement reliée au chien, aussi appelé marteau, cette pièce en métal a pour mission de frapper violemment l'amorce de la balle et donc indirectement de la propulser.

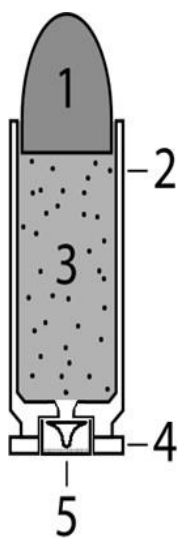
L'arme est aussi composée d'une crosse, qui permet de la tenir. Sur certaines armes, il peut y en avoir deux pour ainsi accroître la stabilité de la visée et donc la précision du tir. De plus, sur certaines armes de poing, comme les pistolets, les chargeurs se trouvent dans la poignée de l'arme.

Le chargeur ou magasin contient les munitions, il peut prendre différentes formes selon l'arme utilisée (barillet ou magasin rectangulaire amovible). Dans un chargeur de pistolet, les munitions sont continuellement poussées vers la chambre par un système de ressorts. Le nombre de

munitions peut varier en fonction de l'arme. Les fusils de chasse possèdent rarement un chargeur, ils ont seulement deux canons avec des munitions à insérer manuellement dans la chambre en séparant le percuteur et la chambre.

Les armes possèdent d'autres éléments comme une sécurité pour éviter de faire feu sans le vouloir, une mire (organe de visée), un sélecteur de mode de tir pour choisir la cadence de tir et bien d'autres dispositifs nécessaires à leur bon fonctionnement.

*Figure 14 : Anatomie d'une munition*



1 : la balle

2 : la cartouche

3 : poudre

4 : le culot

5 : l'amorce

Une munition se compose d'une **douille**, creuse, remplie d'une poudre. Il existe plusieurs types de poudres. Sur cette douille est sertie une balle, c'est ce qui va être propulsé. Il existe différents types de munitions, la différence principale entre elles étant la forme de la balle.

La balle est expulsée après une réaction chimique se produisant au sein de la poudre, après que cette dernière se soit enflammée. On peut alors s'interroger sur ce qui enflamme la poudre.

Il s'agit de l'**amorce**, un procédé pyrotechnique complexe. Sur les balles modernes, l'amorce est communément sertie à l'arrière de la balle. Dans les cartouches annulaires, ce n'est pas l'amorce mais le fond de la cartouche qui contient le mélange explosif instable mettant le feu à la poudre. Le percuteur vient frapper l'amorce, ou le pourtour de la cartouche pour une balle à percussion annulaire. L'arme à feu comporte donc un percuteur, qui est une petite tige ou un marteau venant frapper l'amorce ; ce percuteur est mis en marche par la pression de la détente par l'utilisateur. De la chambre où elle est initialement contenue, la balle est propulsée dans le canon par la combustion de la poudre. La cartouche désormais vide, quant à elle, est éjectée pour faire place à une nouvelle cartouche. La poudre, en brûlant, produit une grande quantité de chaleur et de gaz. Le volume ainsi généré est ce qui pousse la balle en dehors du canon de l'arme.

### Différences et similitudes entre notre patator et une arme à feu :

Il existe beaucoup de différences mais aussi de similitudes entre notre patator et une arme à feu. En effet, le principe est toujours le même : la propulsion d'un objet à grande distance par déflagration.

#### Similitudes :

La structure du patator et du pistolet à premier abord est la même : présence d'un canon, d'une chambre de combustion et finalement d'un projectile.

La projection dans notre patator se fait grâce à la présence d'un gaz sous haute pression, ce qui est à peu près similaire au pistolet, qui grâce à la poudre se trouvant dans la douille et une étincelle, se produit une réaction chimique qui libère des gaz à haute pression

#### Différences :

La première différence entre le patator et une arme à feu réside dans le but de chacun des deux : le pistolet a pour but de blesser et de tuer autrui. Pour se faire, il faut une grande précision et stabilité.

Cette différence se traduit dans la structure du canon, qui est créé d'une manière à donner le plus d'impulsion et de stabilité à la balle.

De plus, vu la dangerosité des armes à feu, il existe des dispositifs de sécurité que nous n'avons pas pris en considération dans notre patator, comme par exemple la présence du marteau pour libérer la balle et la faire déplacer vers le canon.

Dans un patator, la chambre de combustion et le canon sont distincts l'un de l'autre et sont séparés par un réducteur. Dans un pistolet, la chambre de combustion et le canon ne font qu'un.

### 3.5. Coût

Dès le début de ce projet, nous savions que l'une des contraintes les plus importantes serait celle du coût du patator. Il nous a été demandé de respecter un budget d'environ 100€, pour l'ensemble de l'objet. Cette contrainte nous a contraint à quelques sacrifices au niveau des fonctionnalités à ajouter. Pour vous donner un exemple, nous aurions aimé ajouter un capteur de pression à l'intérieur de la chambre, dans le but de connaître la quantité exacte de gaz à l'intérieur de la chambre, et ainsi, obtenir un meilleur mélange, et donc une déflagration plus optimisée. C'était assez frustrant, mais après réflexion, cela nous a fait nous rendre compte de l'importance de ce critère. Dans une entreprise, il est très important de n'utiliser que ce qui est nécessaire pour la réalisation d'une tâche, pour maximiser le chiffre d'affaires. Dépenser sans compter, en plus d'engendrer une perte d'argent inutile pour l'école, entraînerait en plus une surconsommation, qui n'est pas souhaitable, dans une démarche de conscience environnementale et responsable. Cette pièce n'étant pas essentielle à la sécurité du patator, nous l'avons retiré.

Pour trouver les différents composants, nous devrions tout d'abord nous orienter vers des magasins de bricolage traditionnels, pour la structure de l'objet, c'est-à-dire les deux tubes de PVC, les deux bouchons et le réducteur, ainsi que la colle à PVC. Toute la tuyauterie étant très peu coûteuse, nous pourrions en avoir pour une dizaine d'euros. La colle est déjà plus chère, avec environ 7 euros pour un petit tube, plus que suffisant étant donné la taille du patator.

Les pièces plus sophistiquées, devront quant à elles, être achetées en ligne. La soupape de sûreté coûte aux alentours des 15 euros, le système d'allumage, constitué de simple tiges de métal ne coûte presque rien, car basé sur de la récupération. L'électrovanne coûte environ 15€, comme la soupape de sûreté. [11][9]

Pour ce qui est du support, il s'agit seulement de 2 barres métalliques plates perforées et d'une planche en bois pour assurer un bon équilibre. L'ensemble coûte dans les 20 euros.

Au final, nous terminons avec un coût d'environ 100€. Il est cependant important de noter que certains éléments de la tuyauterie étaient moins chers chez un magasin par rapport à un autre, mais que la différence de prix est tellement mince qu'il semblerait absurde de se rendre dans deux magasins différents, sans compter les coûts engendrés par la logistique (voiture, carburant). C'est pour cette raison que ce prix est une approximation. Il est également important de noter que nous ne prenons pas en compte le coût des munitions (pomme de terre) et des bouteilles de méthane. Néanmoins, il s'agit d'une estimation plutôt élevée, étant donné le fait que certains composants comme ceux du support peuvent facilement être récupérés.



#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Durant ce semestre nous avons réalisé un projet de GRANDE envergure, en collaboration avec plusieurs autres équipes travaillant en parallèle. Nous avons dû communiquer non pas seulement au sein de notre groupe mais également de manière plus large afin de faire circuler les informations utiles à tous. La complexité d'un tel projet ne nous aura pas ralenti, cependant la crise sanitaire du SARS CoV 2, éloignant les élèves, les enseignants mais également les laboratoires fut la plus grande difficulté. La communication fut rétablie très vite grâce au moyens informatiques et les groupes ont pu fonctionner de manière presque normale (malgré quelques incidents techniques indépendants de notre volonté comme les problèmes de connexion ou de matériel informatique), mais certains groupes destinés à la construction en dur tel le nôtre furent impactés.

Dans ce cadre exceptionnel, nous dûmes nous atteler à une tâche plus théorique que pratique, détaillant au mieux les différentes composantes du patator. Cela tant grâce aux talents de CAO des membres du groupe, que grâce aux recherches de formules dérivées d'expériences physiques dans le cas de la tension d'allumage.

Bien que nous n'ayons pu mettre en application ce travail en amont, nous avons tout de même pris soin de rester dans le domaine du concret en cherchant la faisabilité de toutes nos idées, au niveau du prix comme de la complexité. De cette manière notre rapport est tout à fait similaire à celui que nous aurions rendu si nous devions passer à la construction le lendemain.

De la réalisation de ce projet nous avons su tirer des enseignements essentiels de communication auxquels nous n'avons que rarement été confrontés, notamment en ce qui concerne la gestion de plusieurs groupes œuvrant simultanément à la réalisation d'un objectif commun. Ce fut l'occasion également de mettre en pratique des compétences apprises à l'INSA comme la CAO mais aussi de se pencher sur des papiers scientifiques complexes desquels nous avons dû tirer le maximum d'informations. Le plus difficile dans le cas de l'étude de papiers scientifiques, c'est qu'il faut porter une très grande attention aux conditions expérimentales de chaque étude, et se soucier de la transposabilité de chacune d'entre elle.

Si le projet se poursuit, nous avons hâte de faire la transition de nos graphiques et estimations au réel, de confronter notre travail à l'expérience. Cela sera l'occasion de travailler avec les autres équipes sur le terrain et de voir prendre vie la collaboration que nous avons établie.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Site Spudfiles pour les informations générales :  
[https://www.spudfiles.com/spud\\_wiki/index.php?title=Main\\_Page](https://www.spudfiles.com/spud_wiki/index.php?title=Main_Page) (valide à la date du 13/06/2020)
- [2] Etude BurntLakte (ratio chamber/canon) : <http://www.burntlatke.com/launch.html>
- [3] Outil dimensionnement <http://www.advancedspuds.com/SpudToolonline.htm> (valide à la date du 13/06/2020)
- [4] Loi de Paschen [https://en.wikipedia.org/wiki/Paschen%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Paschen%27s_law) (valide à la date du 13/06/2020)
- [5] Graphiques d'influence de pression sur le champ disruptif du méthane :  
<https://books.google.fr/books?id=KGErAAAAYAAJ&pg=PA103&lpg=PA103&dq=paschen%20law%20propane&source=bl&ots=3kvES8Zqke&sig=ACfU3U3rjXhDPY1A1v3JjTW6zl95BZ78Wg&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwjYjbO1-MbpAhWCxoUKHbEbCVwQ6AEwDnoECAoQAQ#v=onepage&q&f=false> (valide à la date du 13/06/2020)
- [6] A H Cookson, B W Ward and T J Lewis, "Townsend's first ionization coefficient for methane and nitrogen", *British Journal of Applied Physics*, Volume 17, Number 7, 1966
- [7] Pressions maximales supportées par le PVC : [https://www.engineeringtoolbox.com/pvc-cpvc-pipes-pressures-d\\_796.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pvc-cpvc-pipes-pressures-d_796.html) (valide à la date du 13/06/2020)
- [8] Pressions maximales supportées par l'ABS : [https://www.engineeringtoolbox.com/abs-pipes-pressure-ratings-d\\_1594.html](https://www.engineeringtoolbox.com/abs-pipes-pressure-ratings-d_1594.html) (valide à la date du 13/06/2020)
- [9] Coût soupape de sécurité : [https://www.manomano.fr/p/soupape-de-securite-ce-prodif-542567?model\\_id=542567](https://www.manomano.fr/p/soupape-de-securite-ce-prodif-542567?model_id=542567)
- [10] Paschen's law in air and noble gases, L.F. Berzak, S.E. Dorfman, S.P Smith, Avril 2006
- [11] Coût électrovanne :  
[https://fr.rs-online.com/web/p/electrovannes/1762073?cm\\_mmc=FR-PLA-DS3A--google--CSS\\_FR\\_FR\\_Plomberie\\_et\\_canalisations\\_Whoop--\(FR:Whoop!\)+Electrovannes--1762073&matchtype=&pla-340752453511&gclid=CjwKCAjwL2BRA\\_EiwAacX32c2DSGE0HeRUjBasXySiGd633ciocKjk1yoddFRV8Va4XAr6aHpMcxoCKI8QAvD\\_BwE&qclsrc=aw.ds](https://fr.rs-online.com/web/p/electrovannes/1762073?cm_mmc=FR-PLA-DS3A--google--CSS_FR_FR_Plomberie_et_canalisations_Whoop--(FR:Whoop!)+Electrovannes--1762073&matchtype=&pla-340752453511&gclid=CjwKCAjwL2BRA_EiwAacX32c2DSGE0HeRUjBasXySiGd633ciocKjk1yoddFRV8Va4XAr6aHpMcxoCKI8QAvD_BwE&qclsrc=aw.ds)