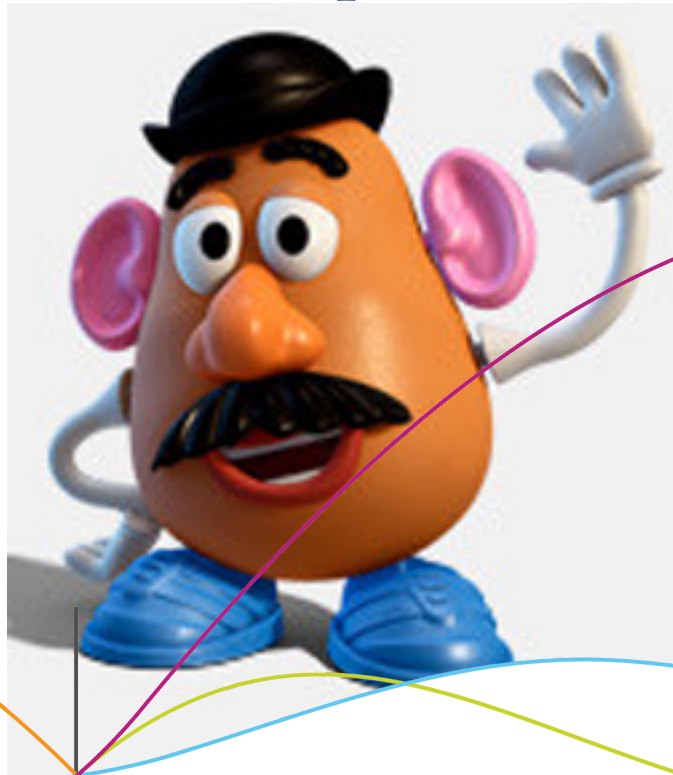


## Lance-patate : bureau d'étude et conception



Enseignant responsable  
Julien LEMETEYER

Étudiants :  
Alexandre LEVACHER  
Bastien RAGE

Olivier PETIT  
Quentin RENU



**Date de remise du rapport :** 16/06/14

**Référence du projet :** STPI<sup>1</sup>/P6/2014 – 43

**Intitulé du projet :** Lance-patate : bureau d'étude et conception

**Type de projet :** expérimental

**Objectifs du projet :** Conception et réalisation d'un lance-patate avec les contraintes suivantes :

- une portée entre 90 et 110m
- une déviation horizontale inférieure à 5°
- un système de fixation avec mesure angulaire
- une longueur maximale du lance-patate de 2m
- une combustion à gaz

# Table des matières

<b>Notations</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1 Méthodologie, organisation du travail</b>	<b>6</b>
<b>2 Travail réalisé et résultats</b>	<b>7</b>
2.1 Partie théorique . . . . .	7
2.1.1 Calcul de la vitesse . . . . .	7
2.1.2 Choix du gaz . . . . .	8
2.1.3 PFD et hypothèse sur le volume de la chambre . . . . .	9
2.1.4 Étude de la réaction : partie itérative . . . . .	9
2.2 Partie expérimentale . . . . .	10
2.2.1 Choix du matériel et construction . . . . .	10
2.2.2 Sécurité . . . . .	11
2.2.3 Tests et analyses . . . . .	11
<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>13</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>14</b>
<b>A Organisation détaillée</b>	<b>15</b>

# Notations et Acronymes

**Patator** : lance-patate

**PFD** : Principe Fondamental de la Dynamique

# Introduction

Dans le cadre de notre formation au métier d'ingénieur, l'INSA de Rouen demande à ses étudiants de réaliser différents projets, notamment un projet de physique au cours du semestre 4 de STPI.

Ce travail de groupe nous a permis de découvrir un sujet connu de tous par son aspect « divertissant », le lance-patate, sous un angle physique. La difficulté résidait alors dans l'étude de domaine qui nous était inconnu, notamment les questions de combustion que nous n'avions pas vu en cours.

Une autre partie intéressante de ce projet fut la combinaison de la théorie et de la pratique. En effet, toute la théorie des cours de physique proposés par l'INSA n'est pas expérimentée, seuls quelques sujets sont proposés sous forme de TP. Pour une fois, nous avons travaillé pendant plusieurs semaines sur l'intégralité de la partie théorique d'un objet afin de pouvoir ensuite le construire et réaliser plusieurs expériences avec.

Enfin, ce projet est le premier à l'INSA proposé sur le long terme avec un groupe construit aléatoirement : contrairement aux projets informatique et mathématique du semestre 3 où nous formions les groupes de notre choix, nous avons du travailler avec des personnes que nous ne connaissions pas, situation qui pourrait tout à fait nous arriver dans l'avenir en société.

Dans un premier temps, nous aborderons la démarche théorique afin de déterminer le volume de butane nécessaire à la combustion pour utiliser le lance-patate, puis nous nous attarderons sur la construction et les essais réalisés afin d'aboutir sur la corrélation entre les résultats obtenus par les tests et la théorie.

# Chapitre 1: Méthodologie, organisation du travail

Afin d'être efficace et de rendre le projet dans les temps, il nous semblait évident d'établir un planning pour la répartition des tâches. De ce fait, nous avons constaté que le sujet se divisait en deux blocs bien distincts : le premier concernait la partie théorique, et le second la construction et les tests du lance-patate. Cependant, afin de connaître le volume du canon et de la chambre du patator pour la construction, il fallait réaliser la partie théorique avant de s'attaquer au reste.

Nous avons donc décidé de travailler ensemble la partie théorique en salle de physique à l'aide de deux ordinateurs, mais aussi par l'intermédiaire des réseaux sociaux. Cet échange en dehors des cours privilégiait aussi bien la mise en forme du dossier, comme celui-ci a été réalisé sur  $\text{\LaTeX}$ , que l'avancement des calculs et raisonnement.

Cependant, après avoir étudié plusieurs semaines la démarche à suivre pour trouver le volume de butane nécessaire à l'utilisation du lance-patate, notre enseignant responsable nous a conseillé de suivre une autre démarche car la notre se basait sur la formule de Torricelli pour le calcul de la vitesse, formule qui ne pouvait être utilisée dans le cas présent. Nous avons donc revu la résolution du problème afin de trouver le volume de la chambre.

Une fois la partie théorique achevée, nous nous sommes consacrés à l'achat des pièces pour le lance-patate, à sa construction, à la partie expérimentale et enfin à l'exploitation des résultats obtenus. <sup>1</sup>

TABLE 1.1 – Organisation du travail

Dates	Réalisations
Séances 1 et 2	Découverte du sujet et documentation
Séances 3 à 6	Calculs et prévisions
Séances 7, 8 et 9	Achat du matériel et montage du lance-patate
Séance 10	Essais de tir
Séances 11 et 12	Rédaction du rapport

---

1. Organisation détaillée séance par séance en Annexe

# Chapitre 2: Travail réalisé et résultats

## 2.1 Partie théorique

Afin de construire le lance-patate idéal pour obtenir un tir compris entre 90 et 110 mètres, nous devons passer par une étude théorique permettant de trouver le volume du réservoir de gaz.

La démarche est la suivante : on raisonne en faisant une hypothèse sur la volume de la chambre. On commence par calculer la vitesse, puis on effectue un PFD sur la patate dans le canon. On effectue alors l'hypothèse et on effectue une suite d'itérations afin de converger vers la valeur réelle du volume de la chambre.

### 2.1.1 Calcul de la vitesse

Connaissant la portée du projectile, et en négligeant les frottements de l'air, nous trouvons la vitesse avec la formule et les paramètres suivants :

$$d = \frac{v \times \cos\theta}{g} \times (v \cdot \sin\theta + \sqrt{(v \cdot \sin\theta)^2 + 2 \cdot g \cdot y_0})$$

- $g$  : champ de pesanteur (approximativement  $9.81 \text{ m/s}^2$  à la surface de la Terre);
- $\theta$  : angle de projection par rapport à l'horizontale;
- $v$  : vitesse de déplacement initiale (vélocité) du projectile;
- $y_0$  : hauteur initiale du projectile par rapport à l'horizontale;
- $d$  : distance horizontale totale parcourue par le projectile (portée);

La hauteur initiale  $y_0$  étant relativement faible, nous considérons que le lancé a lieu au niveau de l'horizontale. L'équation devient alors :

$$d = \frac{v \cdot \cos\theta}{g} \times (v \cdot \sin\theta + v \cdot \sin\theta)$$



$$d = \frac{v \cdot \cos\theta}{g} \times (2v \cdot \sin\theta)$$

Or on sait que  $2\sin\theta \times \cos\theta = \sin(2\theta)$

Donc :

$$d = \frac{v^2 \cdot \sin(2\theta)}{g}$$

Ainsi, l'expression de la vitesse est la suivante :

$$v = \sqrt{\frac{d \cdot g}{\sin(2\theta)}}$$

Dans le cas de notre expérience :

- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  ;
- $d = 110$  (distance maximale pouvant être atteinte) ;
- pour que  $v$  soit maximale, il faut que  $\sin(2\theta)$  soit égale à 1, donc  $\theta = 45^\circ$  ;

Ainsi

$$v = \sqrt{d \times g}$$

$$v = \sqrt{110 \times 9.81} = 32.8 \text{ m/s}^2$$

### 2.1.2 Choix du gaz

Pour obtenir la quantité de matière  $n$  du gaz nécessaire, on utilise pouvoir calorifique inférieur du gaz. Le pouvoir calorifique, aussi appelé chaleur de combustion, est l'enthalpie de réaction de combustion d'un matériau par unité de masse dans les conditions standard de température et de pression. Il s'agit de l'énergie dégagée sous forme de chaleur et est exprimé le plus souvent en kJ/kg. Il existe deux types de pouvoir calorifique : le pouvoir calorifique supérieur (PCS) et le pouvoir calorifique inférieur (PCI). Nous utilisons ici le PCI.

Pour effectuer nos calculs, nous faisons l'hypothèse que le gaz est un alcane, c'est-à-dire un hydrocarbure saturé. Les principaux alcanes utilisés dans la vie quotidienne (et donc facilement trouvables pour notre expérience) sont le méthane, l'éthane, le propane et le butane.

TABLE 2.1 – Pouvoir calorifique inférieur des gaz choisis

Combustible (Alcanes)	MJ/kg	kJ/mol
Méthane	50.01	802.27
Ethane	47.794	1437.11
Propane	46.357	2044.13
Butane	45.752	2653.6

Le gaz ayant le meilleur pouvoir calorifique inférieur molaire, c'est-à-dire la plus haute énergie par quantité de matière, est le butane avec 2653.6 kJ/mol.

### 2.1.3 PFD et hypothèse sur le volume de la chambre

Pour effectuer le PFD, il faut faire un bilan des forces qui s'appliquent à la patate dans le canon :

- $\vec{P}$  : le poids
- $\vec{f}$  : les frottements dans le canon
- $\vec{R}_n$  : la résistance du support

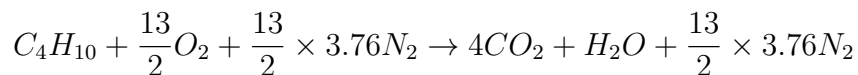
Ce dernier nous donne  $P_{f_2}$ , la pression derrière la patate. On se base ensuite sur la rapidité de la réaction pour estimer que la détente est adiabatique. On utilise alors la relation de Laplace  $PV^\gamma = cte$  pour avoir  $P_{f_1}$ , la pression en sortie de canon :

$$P_{f_1} = P_{f_2} \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$$

Avec  $V_1$  le volume de la chambre et  $V_2$  le volume de la chambre plus le volume du canon. Pour pouvoir faire ce calcul on fait une hypothèse sur  $V_1$  et la partie itérative commence à partir de cette étape.

### 2.1.4 Étude de la réaction : partie itérative

La réaction de combustion est la suivante :



Pour la réaction, on suppose que le mélange est un gaz parfait, de plus on note  $T_i = T_{atm} = 293K$ ,  $P_i = P_{atm} = 101300Pa$  et  $V_i = V_1$ . En notant  $x$  le nombre de mole de butane, on a 31.94x moles de réactifs pour 33.44x moles de produits. En utilisant la loi des gaz parfaits, on a :

$$n = \frac{P_i V_i}{RT_i}$$

D'où

$$x = \frac{n}{31.94}$$

On a donc ensuite  $n_f = 33.44x$  que l'on utilise afin d'obtenir la température finale obtenue par la relation suivante :

$$T_f = \frac{P_{f_1} V_1}{R n_f}$$

Les calculs de  $n_f$  et  $T_f$  permettent de calculer ensuite la quantité de chaleur  $Q$  en ayant en plus les capacités thermiques molaires, le nombre de moles et les températures, ce qui donne :

$$Q = n_f C_{vm} T_f - n_i C_{vm} T_i$$

Enfin, dernière étape de notre itération, on calcule le nombre de moles de butane à partir de  $Q$  et du pouvoir calorifique :

$$n_{C_4H_{10}} = -\frac{Q}{\Delta H_C} = x$$

A partir de ce  $x$ , on recalcule le volume de la chambre et on recommence l'itération jusqu'à ce que l'on converge vers une valeur de  $x$  donc vers un volume de chambre.

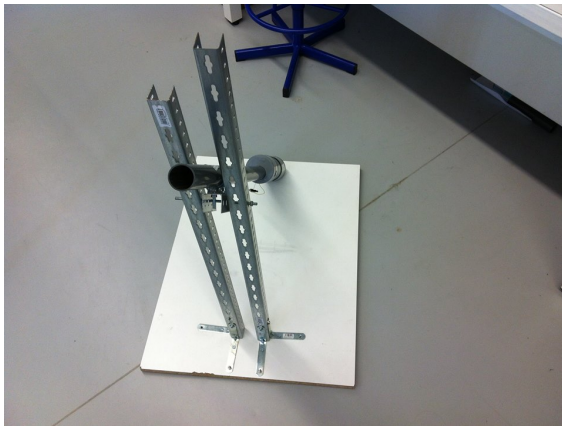
## 2.2 Partie expérimentale

### 2.2.1 Choix du matériel et construction

Afin de réaliser le lance-patate, nous avons décidé d'utiliser des matériaux solides pour le canon et la chambre mais avec un prix raisonnable. Nous avons donc opter pour des tuyaux en PVC, trouvables dans tous les magasins de bricolage, qui mêlent parfaitement ces deux critères.

Pour le canon, nous avons acheté un tuyau de 1 mètre que nous avons coupé à 0,8 m ; pour ce qui est de la chambre, elle devait contenir 1,41 L de gaz, donc nous avons réduit un second tuyau de 1 m à 32 cm. Pour relier la chambre au canon, nous avons choisi un tampon réduction 80/40 mm en PVC, ce qui permet d'emboîter très simplement ces deux pièces. Un tampon de visite (=bouchon) de 80 mm de diamètre a servi à fermer la chambre.

En ce qui concerne le pied, servant à poser le lance-patate au sol, nous avons fixé deux barres métalliques dans une plaque de bois à l'aide de 4 équerres. Ensuite, entre les deux barres, nous avons passé une tige métallique supportant une plaque avec un collier afin de reposer le canon du patator dessus. Les barres métalliques comportant des trous alignés, il a suffi de passer la tige métallique avec la plaque et le collier dans des trous de différents niveaux afin de modifier la hauteur du canon, et ainsi l'angle.



### 2.2.2 Sécurité

Pour des raisons de sécurité, nous avons utilisé un allumage à distance en rallongeant d'une vingtaine de centimètres les fils branchés pour l'arc électrique. De plus, la mise en place d'un pied était à double usage : tout d'abord pour permettre de mesurer facilement l'angle de tir, mais surtout pour s'abstenir de porter le patateur et donc éviter tout risque possible. En effet, l'allumage du lance-patate peut s'avérer très dangereux à cause de la combustion du butane avec l'oxygène : la température s'élève instantanément, ce qui provoque un fort dégagement de chaleur. Les tuyaux en PVC utilisés pour la construction transmettent cette chaleur : le risque de brûlure est donc important. D'ailleurs, comme nous l'avons vu lors des tests, le ruban adhésif maintenant les fils dans leur position a fondu à plusieurs reprises.

### 2.2.3 Tests et analyses

**Tests :** Lors de la séance 10 nous sommes allés faire des tests de tirs avec le lance-patate. Nous en avons effectués seulement que cinq. En effet, nous avons rencontré des problèmes au niveau du système d'allumage qui nécessitait des ajustements. En réalité, la longueur des fils était trop importante et ainsi ne permettait pas de créer d'arcs électriques. Cela malgré un dispositif qui semblait fonctionner lors du montage.

De plus, les conditions extérieures ont posé problème. Lors des tests, il y avait du vent qui balayait la zone de tir. Nous pouvions nous attendre à ce que la pomme de terre soit déviée et freinée. Cet élément est important à prendre en compte étant donné que nous devons respecter une distance de tir et un angle de déviation minimum.

Finalement nous obtenons le tableau de données suivant indiquant, pour des angles différents les distances obtenues :



FIGURE 2.1 – Le vent dévie la pomme de terre

Angle (°)	Distance (m)
70.2	44
59	63.5
45.7	89
44.9	96

**Analyses** Initialement, selon le cahier des charges, notre lance-patate devait être en mesure de tirer à une distance comprise entre 90 m et 110 m avec un angle initial de 45°. Après avoir effectué des tests sur la mesure du gaz introduit, nous nous sommes rendu compte que la quantité de gaz était trop faible pour pouvoir l’insérer correctement dans la chambre. Nous avons donc augmenté l’angle à 70° et évidemment la quantité de gaz pour compenser.

Le premier lancer respecte un angle d’environ 70° mais nous remarquons que la distance est faible. Nous sommes à la moitié de celle souhaitée ! C’est pour cette raison que nous avons diminué l’angle pour les tests suivants. Nous atteignons la distance souhaitée pour un angle d’environ 45°.

Les résultats ne concordent pas réellement avec les calculs théoriques. Mais il ne faut pas oublier le vent ainsi que l’injection peu précise du gaz. En effet, le vent freinait considérablement la pomme de terre, de plus malgré les calculs réalisés sur la quantité de gaz à introduire dans la chambre, il était presque impossible d’obtenir celle souhaitée. En prenant en compte les éléments extérieurs les résultats semblent s’expliquer. Pour confirmer nos calculs il faudrait une autre session de tirs mais nous pouvons dire que ces premiers résultats ne sont pas incohérents.

# Conclusion et perspectives

Ce projet nous a appris la démarche type d'un projet ingénieur. Ainsi, nous avons pu constater que la partie théorique prenait une place prépondérante dans la réalisation, ici, du lance-patate. Nous avons du apprendre à mettre en place un planning et une répartition des tâches afin d'améliorer notre efficacité. En effet une bonne organisation est primordiale pour la réussite d'un tel projet, tout comme une bonne communication entre les différents membres du groupe. L'expérience acquise suite à ce travail de groupe nous sera bien utile dans notre futur métier d'ingénieur. Dans l'ensemble les relations à l'intérieur du groupe ont été agréables, ce qui a rendu notre apprentissage encore plus fructueux.

Au terme de ce projet, nous pouvons constater que les exigences de départ ont été respectées. Ainsi, le lance-patate ne dépasse pas les 2 mètres (il mesure 1 m 15), et après tests nous savons qu'à 45° les projectiles atteignent la fourchette fixée, à savoir entre 90 et 110 m. Malgré tous les problèmes rencontrés, le projet est globalement une réussite : le lance-patate est fonctionnel.

Cependant, plusieurs points peuvent être améliorés afin de se rapprocher plus encore des exigences du cahier des charges. Tout d'abord, la quantité de gaz était difficilement mesurable et entraînait des difficultés de tir, à savoir la non-combustion du mélange mais aussi des différences de distance dans les tirs à même angle. De plus, nous n'avons pas pu mesurer la dérive des projectiles à cause du vent trop important lors des essais et de la distance. Enfin, l'arc électrique pourrait être amélioré, celui-ci nous ayant posé quelques problèmes lors des tests.

# Bibliographie

[1] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Formule\\_de\\_Torricelli](http://fr.wikipedia.org/wiki/Formule_de_Torricelli)

[2] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Balistique>

[3] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Patator>

[4] <http://poutwarriors.free.fr/divers/lancepatate.htm>

[5] <http://fr.wikihow.com/fabriquer-un-patator>

# Annexe A: Organisation détaillée

Date	Organisation
04/02/2013	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Première approche du projet</li><li>→ Recherche sur internet</li><li>→ Établissement des questions et points délicats du projet</li></ul>
11/02/2013	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Répartition des tâches (établissement du planning)</li><li>→ Début des calculs théoriques (trajectoire, énergie, etc.)</li></ul>
18/02/2013	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Partie théorique</li></ul>
11/03/2013	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Changement de méthode de résolution de la partie théorique</li></ul>
18/03/2013	<ul style="list-style-type: none"><li>→ Partie théorique</li></ul>



25/03/2013	→ Partie théorique
08/04/2013	→ Annulée, reportée au 17/04
15/04/2013	→ Partie théorique → Élaboration de la liste du matériel
17/04/2013	→ Fin de la partie théorique → Achat du matériel
13/05/2013	→ Construction du lance-patate
20/05/2013	→ Construction du lance-patate
27/05/2013	→ Tests
03/06/2013	→ Dossier papier

10/06/2013	→ Finalisation du dossier papier
------------	----------------------------------