

## Remarques préliminaires

1. On a tendance à projeter notre expérience quotidienne du réel pour expliquer des phénomènes physiques. Cela induit des biais voire des erreurs importantes. La bonne échelle de temps pour étudier un moteur vapeur qui tourne à 1000 ou 2000 tours est le centième de seconde. Par ailleurs c'est un gaz compressible et condensable, essentiellement composé de vapeur d'eau si tout se passe bien, qui circule. Le comportement de ce mélange n'est pas intuitif. Donc prudence avec les analogies.
2. Si pour la commodité on peut utiliser une vitesse moyenne de parcours de l'arc par la lumière du cylindre, dans les faits cette vitesse n'est pas constante. Cela est dû à la course de la manivelle du vilebrequin. La vitesse angulaire diminue autour des points morts hauts et bas et augmente à l'approche de l'inclinaison maximale du cylindre oscillant
3. Pour des raisons d'encombrement le moteur de la Byers proposé dans l'étude est plus trapu que les moteurs que je qualifierai de classiques. Les lumières du sabot sont donc très rapprochées et de petit diamètre. Le pointage d'usinage doit donc être soigné. Le moteur est un simple effet.

## Géométrie du moteur

*Par convention on supposera que le moteur tourne dans le sens horaire, que l'admission est à gauche sur le dessin. Le zéro angulaire est au PMH.*

Les lumières du sabot fixe sont placées sur un cercle de 14,40 mm de diamètre.

Le piston de diamètre 8mm épaisseur 5mm est figuré par un rectangle

La distance (fixe) entre le dessus du piston et l'axe du maneton est de 23,80mm. Cette longueur est le maximum admissible et il semblerait prudent de la diminuer de 0,4 à 0,5mm

La distance axe de pivotement- axe de vilebrequin est de 23,20 mm

La volée de maneton est de 11,20 mm

La cylindrée brute est de 0,563 cm<sup>3</sup>

Le diamètre des lumières du sabot (fixe) est de 1,3 mm soit 1,33 mm<sup>2</sup> de section

Le diamètre de la lumière du cylindre (mobile) est de 1,5mm soit 1,77 mm<sup>2</sup> de section

La longueur de l'arc décrit par la lumière du cylindre pour un demi tour de vilebrequin est de 27,94°

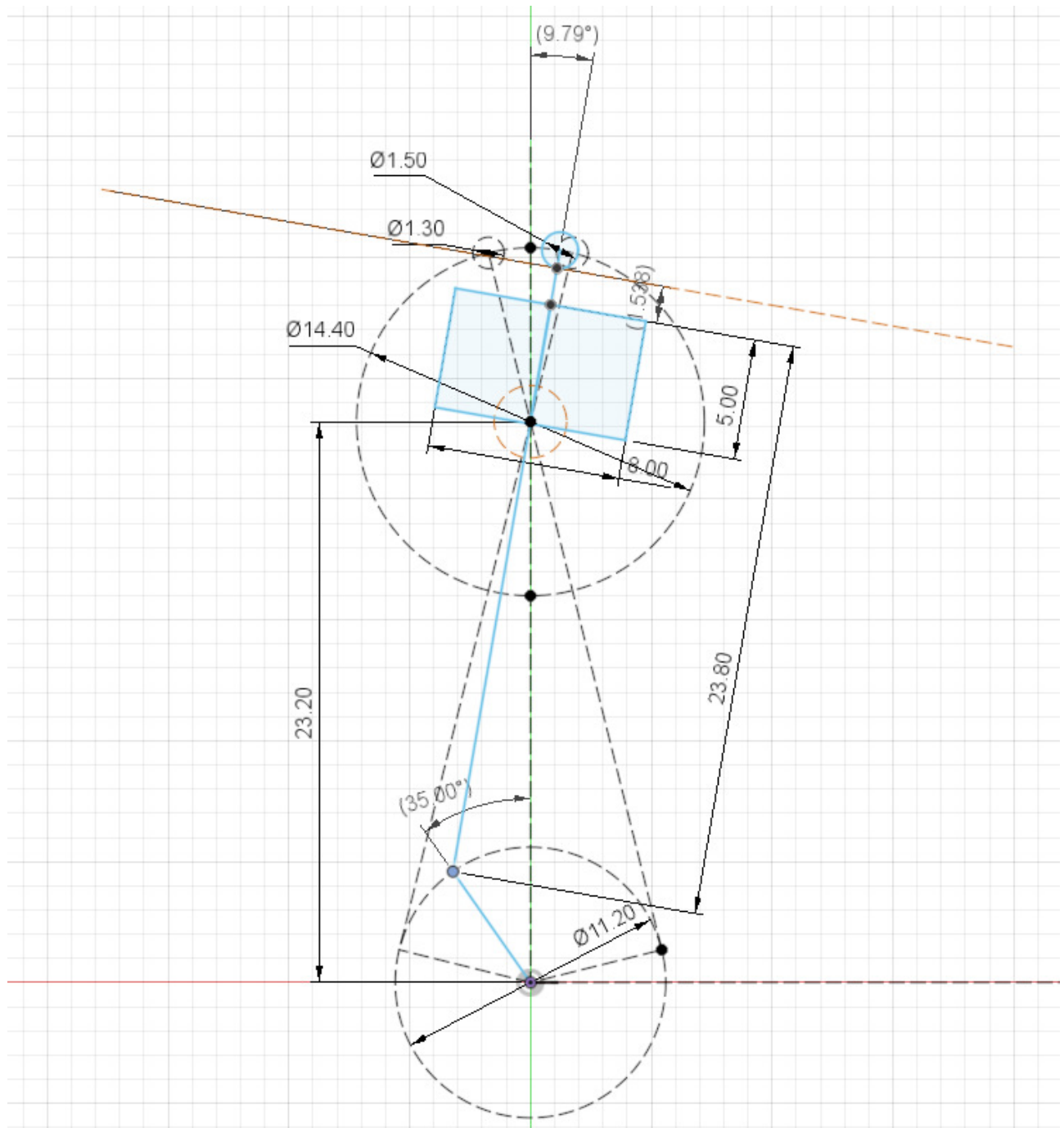
La longueur d'arc pendant laquelle la lumière de cylindre est aveugle est 5,62°

Pour le vilebrequin :

- L'échappement débute à 194,53° pour se terminer à 351,09° soit 156,56°
- L'admission débute à 8,91° et se termine à 165,47° soit 156,56°

**A priori ce moteur va être assez peu économe car avec la géométrie choisie on fonctionne quasiment à pleine vapeur, la coupure d'admission étant très tardive.**

Cependant l'hypothèse que je fais est que la quantité réelle de vapeur pouvant être admise pendant l'ouverture de la lumière d'admission fera que le cylindre ne pourra pas complètement se remplir de vapeur à pression nominale. Donc cela agira comme si il y avait eu coupure d'admission. Le gaspillage de vapeur ayant subi une détente partielle devrait être plus réduit



# Etude du découvert lumières

## Durée de découvert

Ce point est important à bien appréhender. Lorsque le vilebrequin fait un tour, soit une rotation de  $360^\circ$ , alors la lumière du cylindre parcourt deux fois son arc de trajectoire entre admission et échappement soit en tout  $27,94 \times 2 = 55,88^\circ$

Raisonnons sur un exemple. Imaginons un moteur qui tourne à 1200 trs/mn, soit 20 trs/s. On voit la lumière du cylindre décrire sur le cercle de diamètre 14,40 mm ses  $55,9^\circ$  d'arc 20 fois par secondes. Soit une vitesse angulaire de 1117,6  $^\circ/s$ . Sur ce cercle de  $D=14,40$  mm la lumière du cylindre aura à parcourir  $22,16^\circ$  depuis le début de découvert de la lumière du sabot fixe jusqu'à sa fermeture. Donc à cette vitesse la durée de découvert d'une lumière est de  $22,16/1117,6 = 0,019$  s

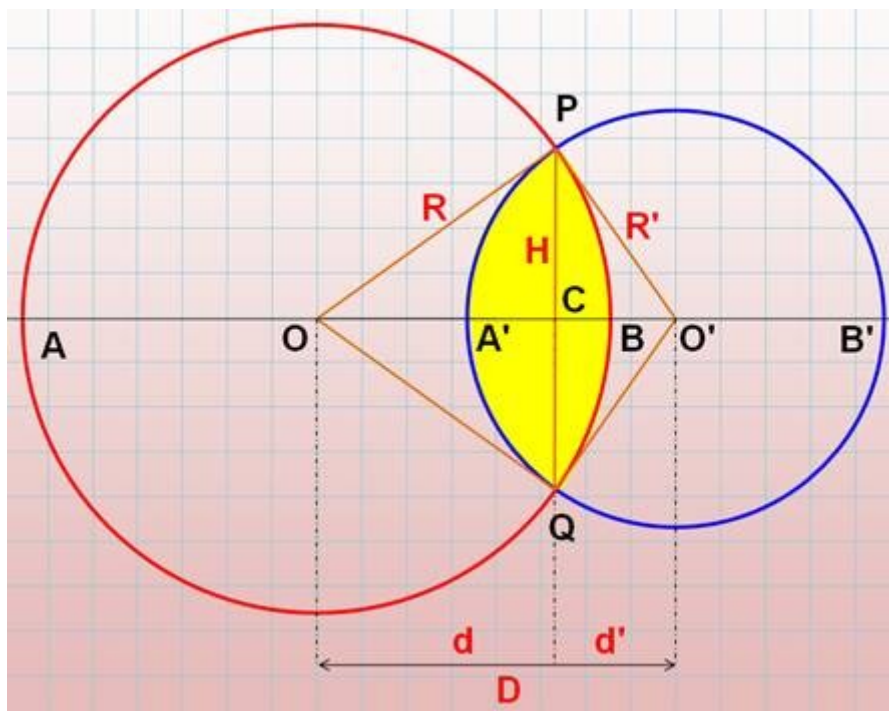
Si on prend comme hypothèses que la vapeur passe dès le début de l'ouverture et remplit complètement le cylindre sa vitesse d'écoulement moyenne devrait être de :

$V_{\text{vapeur}} = 0,563/0,0133/0,019 = 2232,3$  cm/s soit 22 m/s. Ce sont des valeurs élevées mais courantes de vitesses de vapeur. Jusqu'à 30 m/s il n'y a pas lieu de trop s'affoler.

## Surface découverte

La surface découverte par l'intersection de la lumière du cylindre (mobile) avec l'une des lumières du sabot (fixe) est nommée lentille en géométrie.

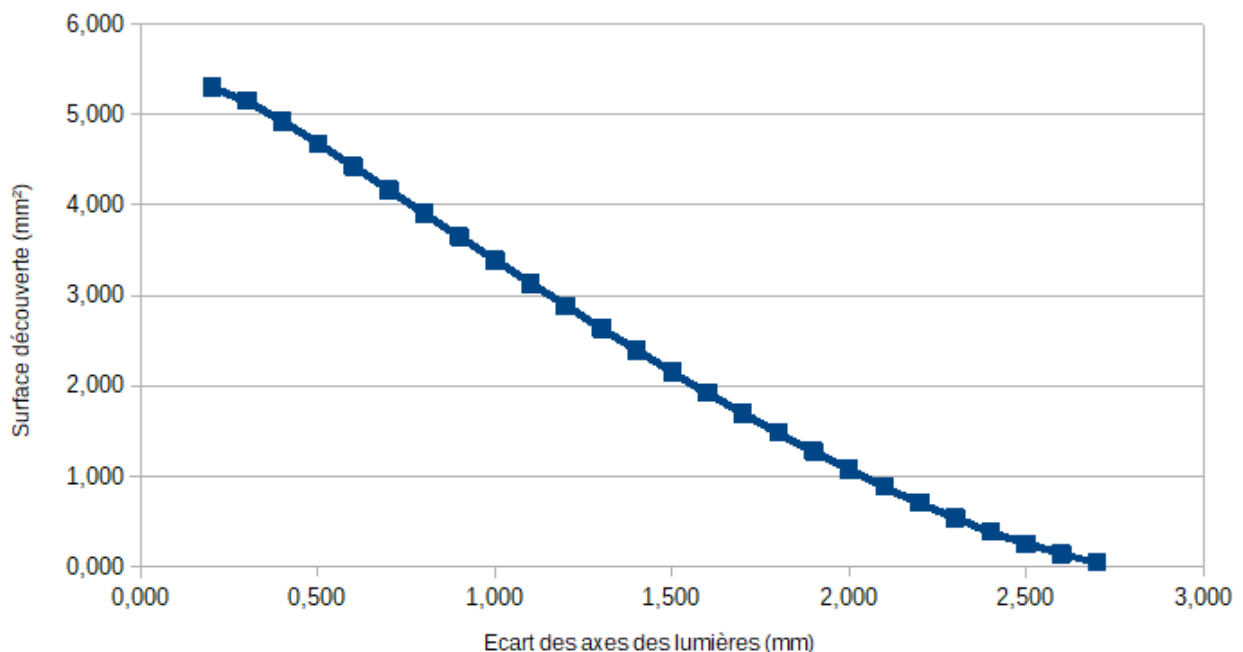
On peut calculer la surface découverte, intersection des 2 cercles, même si la formule faisant intervenir des fonctions angulaires est malaisée à manipuler. La surface de la lentille est la somme  $A_L = A_S + A'_S$



<http://villemin.gerard.free.fr/GeomLAV/Cercle/aaaAIRE/Lentille.htm>

Soit la valeur de d et d'.	$d = \frac{R^2 - R'^2 + D^2}{2D}$ et $d' = D - d$
Segment – Formule générale	$\mathcal{A}_S = R^2 \arccos\left(\frac{h}{R}\right) - h \sqrt{R^2 - h^2}$
Dans les triangles rectangles OPC et O'PC	$H^2 = R^2 - d^2 = R'^2 - d'^2$
Segment lié au cercle (O, R)	$\mathcal{A}_S = R^2 \arccos\left(\frac{d}{R}\right) - d \cdot H$
Segment lié au cercle (O', R')	$\mathcal{A}'_S = R'^2 \arccos\left(\frac{d'}{R'}\right) - d' \cdot H$
<b>Application numérique (voir figure)</b>  R = 6,6 R' = 4,7 D = 8	d = 5,3418750 d' = 2,6581250 H = 3,876128 $\mathcal{A}_S = 6,637$ $\mathcal{A}'_S = 11,117$ $\mathcal{A}_L = 17,754$

En plaçant ces formules dans une feuille de calcul avec R=1,5mm et R'=1,3mm puis en faisant varier pas à pas la distance entre les centres des deux lumières, cylindre mobile et sabot fixe, on peut tracer la courbe de l'aire dégagée par la lentille. On pourrait relier la distance des centres à leur écart angulaire si on le souhaite, mais inutile de trop compliquer la démonstration.



Bien que cette surface découverte ne varie pas proportionnellement à la distance OO' des centres des cercles on peut admettre que la courbe est proche d'une droite<sup>1</sup>.

Pour des raisons physiques, perte de charge et dynamique des gaz, la durée effective d'admission et d'échappement est plus réduite que ne prédit l'étude du découvert géométrique. Autrement dit pour des raisons physiques la vapeur ne se met pas à circuler dès que la lunule commence à se former.

## Recompression de vapeur

On a deux phases de recompression du mélange gazeux :

- en fin d'admission lors de la remontée du piston pour l'échappement
- en fin d'échappement lorsque l'on va passer en phase d'admission.

La première recompression est la plus préjudiciable, même si elle participe à l'efficacité du vidage du piston.

Pour évaluer l'ampleur de cette recompression on va utiliser une forme simplifiée d'une des lois des gaz parfaits (loi Boyle-Mariotte) en assimilant par approximation notre mélange gazeux à un gaz parfait évoluant à température constante. L'approximation de cette loi permet d'écrire que :

$P_i \cdot V_i = P_f \cdot V_f$ ; autrement dit la pression dans un gaz multiplié par le volume occupé par ce gaz est une constante lorsque la température du gaz est constante et ...qu'il n'y a pas de fuites.

On va la réinterpréter en disant que le rapport  $P_{\text{finale}} / P_{\text{initiale}}$  est égal au rapport  $\text{Volume}_{\text{initial}} / \text{Volume}_{\text{Final}}$ .

Comme la section est strictement constante, le rapport des variations de volume est fonction de la course du piston entre la position initiale et la position finale.

## Recompression post-admission

Au PMB le piston est à 11,45mm de la lumière du cylindre ; au début de l'ouverture de l'échappement il est à 11,305 mm. La course de remontée en recompression est de 0,145mm

$$V_i = S \cdot 11,45 ; V_f = S \cdot 11,305 ;$$

$$P_f / P_i = 11,45 / 11,305 = 1,013 .$$

La recompression est très faible. Il n'y a pas lieu de s'inquiéter

## Recompression post-échappement

La course de remontée du piston entre la fin de l'échappement et le PMH est de  $0,339 - 0,25 = 0,089$  mm. On a une recompression insignifiante comme précédemment mais la minuscule poche de gaz comprimé va restituer un travail moteur lors du déplacement du PMH à la lumière d'admission.

Le pertuis de passage de la vapeur dégagé par cette lentille est trop faible en début ou en fin de découvert pour que celle-ci puisse passer. Il faut évidemment majorer les valeurs théoriques précédentes car il est impossible par calcul de savoir quand le

---

1 Histoire de chipoter un courbe mieux adaptée est un polynôme du 3ème degré

mélange gazeux va vaincre les pertes de charge et se frayer un chemin à travers la lentille .

En conclusion le moteur qui sert d'exemple ne présente pas de risque de blocage par recompression vapeur.