

Représentation du cycle eau-vapeur d'un moteur pop-pop

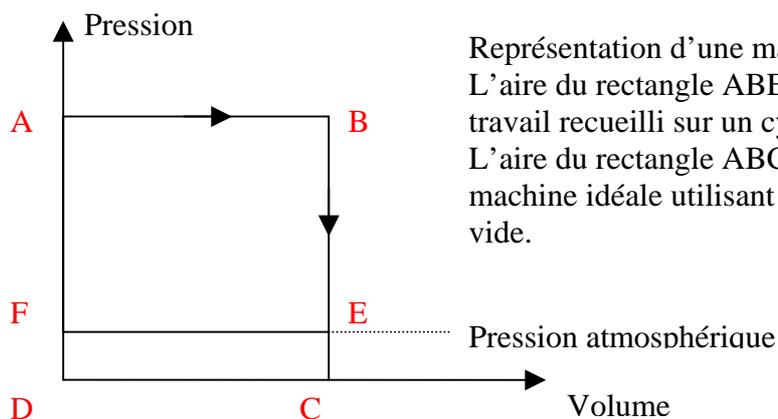
Par Jean-Yves

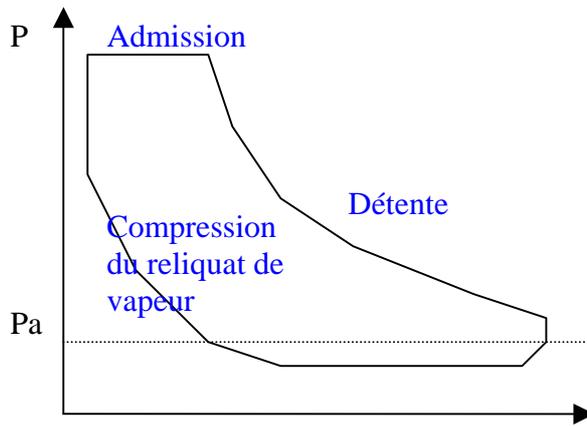
Il est d'usage pour une **turbine à vapeur** de représenter le cycle sur un diagramme de Mollier. Ceci se justifie par le fait que pour chaque régime et en tout point du cycle les conditions (pression, température, débit) sont stables. Cette représentation permet de faire des bilans et d'optimiser le cycle. On peut vulgariser en disant que toute molécule de H_2O décrit le cycle complet, ce qui donne, en terme de "vaporiste" : bûche alimentaire → pompe alimentaire → chaudière (réchauffeur, vaporisateur, surchauffeur) → turbine → condenseur → bûche alimentaire. Pardon pour les puristes ! Dégazeur, bouilleur, soutirages... sont volontairement omis.

Pour un **moteur diesel** on représente classiquement le cycle dans un diagramme pression-volume, le volume étant celui de la chambre de combustion ; c'est-à-dire celui qu'engendre le piston.

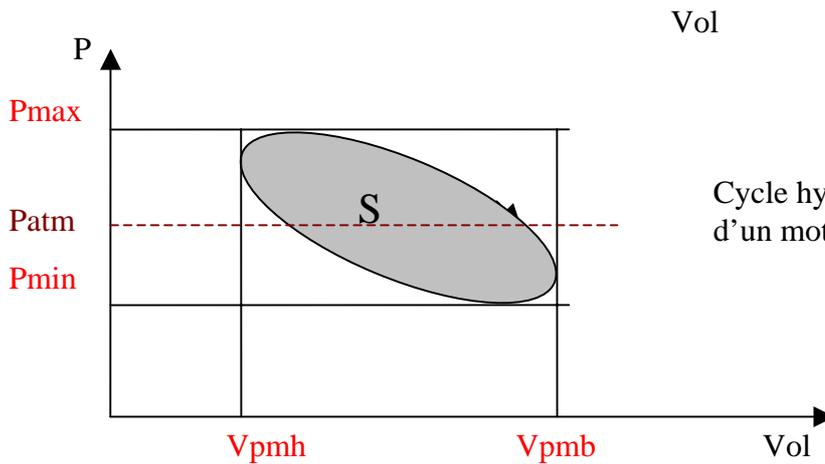
Pour une **machine alternative à vapeur** (les moteurs à vapeur avec piston, il ne s'en construit pratiquement plus) il était courant de représenter le cycle – comme pour un moteur diesel – dans le diagramme pression-volume. Noter au passage que cette machine à combustion externe a été abandonnée à cause de son rendement très faible. De l'ordre de 10%.

Lorsque le **moteur pop-pop** est réalisé sous forme d'un tube (enroulé ou non), ou lorsque le ballon est en cuivre et qu'il ne contient que de la vapeur en régime établi, on peut considérer que l'interface eau-vapeur est un piston et donc utiliser la représentation dans le diagramme pression-volume.





Cycle pratique d'une machine alternative à vapeur avec condenseur



Cycle hypothétique d'un moteur pop-pop

Définition de P_e , P_i et P_c :

Puissance effective P_e : C'est la puissance mécanique développée à l'extrémité de la tuyère.

Puissance indiquée P_i : C'est la puissance développée sur le piston liquide par la vapeur.

$P_i = S \cdot F$ avec F = fréquence du cycle en s^{-1} (= Hz) et S = aire du cycle en $Pa \cdot m^3$ (= N.m)

La puissance effective est égale à la puissance indiquée diminuée des pertes par frottement de la colonne liquide.

Puissance circonscrite P_c : C'est la puissance que développerait un moteur virtuel parcourant le cycle défini par le rectangle circonscrit.

Estimation de P_i :

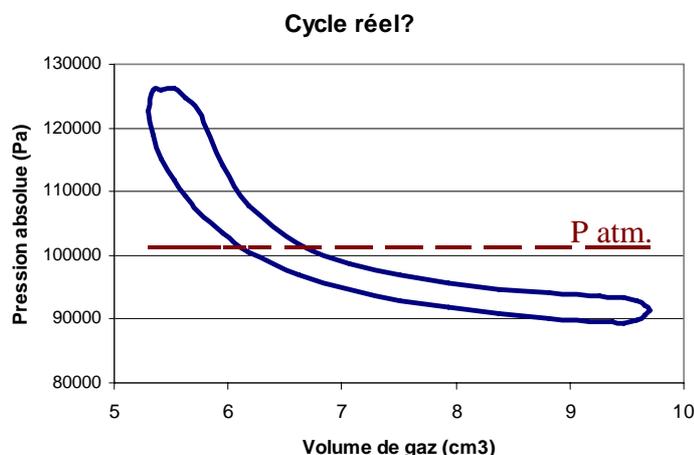
Nous ne connaissons pas la forme exacte de la patateïde d'aire S . Cependant, on peut connaître le rectangle circonscrit. Application au moteur que je connais le mieux : moteur "PPVG" avec canalisation unique de 6mm, sur base de mesure réelles (Pop-pop à "géométrie variable", constitué d'éléments boulonnés et non soudés pour pouvoir en changer les caractéristiques facilement).

$$P_{max} = P_{atm} + 24917 Pa, \quad P_{min} = P_{atm} - 11870 Pa,$$

$$V_{pmh} = 5,3 cc = 5,3 \times 10^{-6} m^3, \quad V_{pmb} = 9,7 cc = 9,7 \times 10^{-6} m^3, \quad F = 5,1 Hz$$

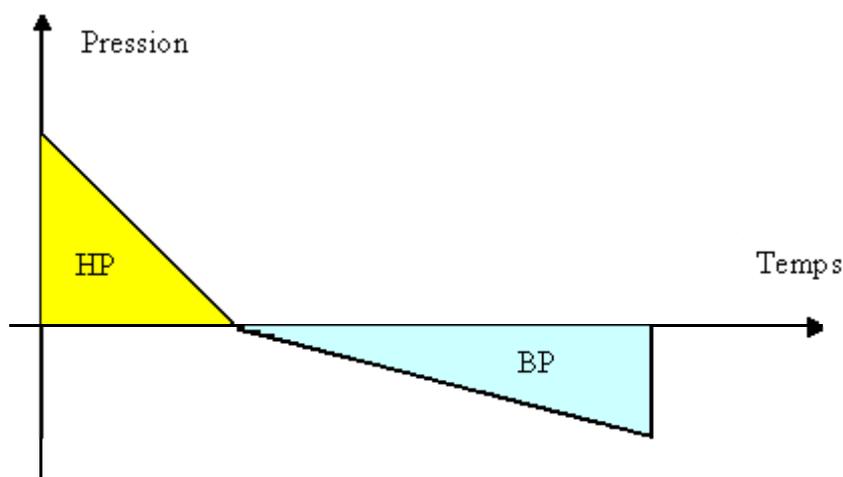
$$\rightarrow (P_{max} - P_{min}) \times (V_{pmb} - V_{pmh}) = 36787 \times 4,4 \times 10^{-6} = 0,162 J \quad \text{et} \quad P_c = 0,162 \times 5,1 = 0,83 W$$

Pi est nécessairement inférieure à Pc et supérieure à Pe. On sait calculer Pe. (Voir « moteur pop-pop et quantité de mouvement »). Il s'agit dans ce cas de 0,0465 W. C'est 18 fois moins que la puissance circonscrite (0,83 W). Une estimation rapide (et très grossière) des pertes de charge par frottements visqueux donne 0,1W ; c'est-à-dire que la puissance indiquée (Pi) est environ 0,15 W. Cela signifie que la patatoïde est très écrasée. Ensuite, difficile de dire si compression et détente sont plutôt isentropiques ou adiabatiques ou isothermes. Intuitivement je dirais que c'est entre tous ces modèles. Et une chose est sûre : c'est que la pression mini effective étant en valeur absolue inférieure à la pression maxi effective, le diagramme présente une concavité générale vers le haut et la droite, sinon à chaque cycle le serpent d'eau descendrait un peu plus bas et le moteur s'arrêterait très vite*. Le cycle réel aurait donc (le conditionnel est volontaire car je n'ai pas d'autre argument pour le prouver) l'allure ci-contre.

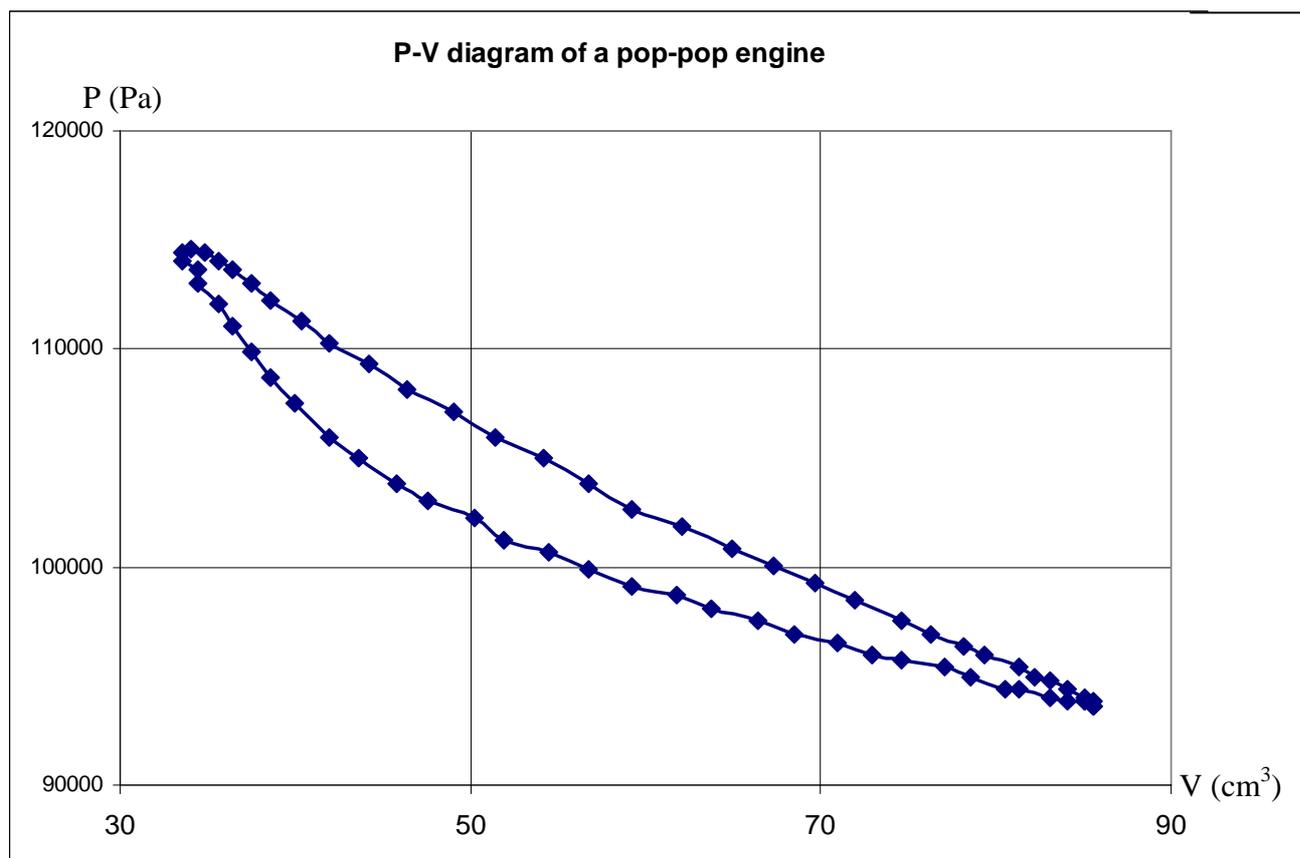


*) Pour simplifier supposons que la pression moyenne dans le ballon soit la pression atmosphérique et ne raisonnons qu'en pression effective. Quand un gouttelette d'eau se vaporise il y a une pression (relativement) élevée. Par exemple 0,2 bar. L'autre extrême est une pression négative, quand, du fait de son inertie, le serpent d'eau "tire au vide" le ballon. Ce vide est en valeur absolue moins important (car en surface de l'eau chaude se vaporise). Par exemple -0,1 bar. J'ai mesuré sur deux moteurs différents que la valeur absolue de la HP était supérieure à celle de la BP.

Raisonnement par l'absurde. Si entre ces deux extrêmes la variation de pression était linéaire, la pression moyenne serait +0,05 bar donc le serpent se dirigerait vers la sortie et au mieux en quelques secondes il n'y aurait plus que de la vapeur. Pour que la pression moyenne (sur l'ensemble du cycle) soit nulle, il faut que le temps passé en pression positive soit plus court que celui passé en dépression.



Tout ce qui précède a été écrit avant le printemps 2008. Fin 2009 on a réussi à enregistrer la pression et le volume en fonction du temps sur un moteur pop-pop. Ces données nous ont permis de tracer le diagramme P-V à différentes puissances. En voici un exemple :



Il correspond à un moteur plus gros que le moteur PPVG utilisé pour les calculs précédents. Cependant, il donne confirmation de la forme globale du cycle: patatoïde écrasée et avec une concavité vers le haut et la droite.