

Propulsion par hydrojet pulsé

Sur wikipedia on peut lire (encore à la date où je rédige ce document) que *le pop-pop n'est pas un hydrojet*. Oh que si! HYDRO=eau et JET sans commentaire. Un moteur pop-pop projette de l'eau. Ce n'est pas un hydrojet continu, mais il s'agit bien d'un hydrojet. Un hydrojet pulsé.

Pour étudier le comportement de ce type de propulsion, en 2005 et 2006 j'ai construit des générateurs de jets pulsés avec des cinématiques plus ou moins compliquées.

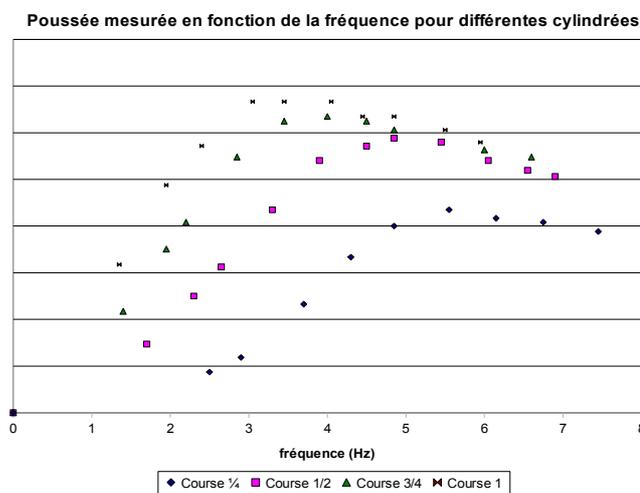
Mon premier simulateur était destiné à vérifier la relation entre un hydrojet continu et un hydrojet alternatif sinusoïdal. Pour ce faire j'ai utilisé la pompe à essence de ma vénérable 309. J'ai supprimé les clapets et relié les deux orifices à un tube unique relié à un bac muni d'un mesureur de poussée.

Le mouvement sinusoïdal était généré par une came entraînée par un moteur à vitesse variable. A très basse fréquence j'ai obtenu une poussée évoluant comme le carré de la fréquence. Super! Mais au-delà de quelques hertz la poussée augmentait moins vite que prévu, puis passait par un maximum et décroissait. Le résultat n'était pas à la hauteur de mes espérances. J'ai alors sacrifié la pompe pour comprendre...et découvrir qu'elle était munie volontairement d'une cavité servant d'amortisseur pneumatique. Cela suffisait à expliquer la courbe obtenue.



Le graphique ci-contre représente les mesures obtenues avec cette pompe pour 4 cylindrées différentes. Pour les petites cylindrées et les basses fréquences les points sont à peu près sur des paraboles. Mais dès que le produit $C \times F$ (c'est-à-dire la Vitesse ou le Débit) dépasse une certaine valeur on voit que ça ne suit plus.

J'ai alors bricolé (avec le régulateur d'un chauffe-eau à gaz. Photo ci-contre) une pompe à membrane déroulante telle qu'elle ne pouvait pas emprisonner d'air. Le résultat a été un peu meilleur, mais à haute fréquence c'est la membrane elle-même qui, compte tenu de son élasticité, jouait le rôle de filtre passe bas.



Le 5/12/2006 j'ai rendu visite à Mr Le Bot, l'homme du renouveau du pop-pop en France. Il m'a présenté son "Abeille Whisky", la maquette d'un supply vessel équipée d'une électro-pompe à membrane. Sur un moto-réducteur du commerce il avait adapté une pompe à membrane de sa fabrication. (En rouge sur la photo).

Il m'a montré la version française d'un article qu'il pensait publier dans Model Engineer. Je lui ai proposé de relire mais il ne souhaitait pas divulguer le secret avant parution. Résultat: en mai 2007 son article a été publié dans Model Engineer n°4300...avec une conclusion fautive. La courbe que Mr Le Bot avait enregistrée était semblable à celles de mes deux premières pompes. Par la suite, j'ai échangé plusieurs mails avec Mr Le Bot pour lui expliquer qu'une pompe à membrane en caoutchouc ne suivait pas en fréquence. Il fallait une cylindrée rigoureusement proportionnelle au déplacement. Trop tard. L'article était paru.



Entre temps, après mes premières déconvenues, je m'étais lancé dans la fabrication de pompes à piston. La première avec piston sphérique n'était pas assez étanche. J'ai alors ajouté une crosse pour pouvoir utiliser un piston cylindrique avec joints d'étanchéité. Pour être étanche, elle

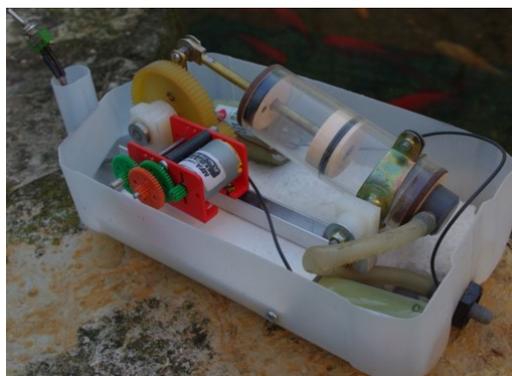
était étanche! L'ajustement était tellement serré qu'il a fallu un gros moteur pour l'entraîner...mais c'était juste pour quelques heures d'essais. J'avais prévu une garde d'eau alimentée comme un abreuvoir à oiseaux pour éviter la moindre entrée d'air. Cette précaution s'est révélée inutile.



Détail de la pompe. Le piston se déplace dans le tube en laiton du bas. Au-dessus, une crosse se déplace dans le tube en cuivre. On aperçoit en partie haute la bielle reliant la manivelle à la crosse. Sur la droite, la garde d'eau.

Fin 2011 grâce au forum Bloooo j'ai fait la connaissance de Gérard qui de son côté a aussi réalisé un hydrojet pulsé sinusoïdal. Et le sien a l'avantage de flotter...même si (doux euphémisme) les formes de carène ne sont pas optimisées.

Le piston de la seringue transparente de Gérard est animé d'un mouvement quasiment sinusoïdal. Son hydrojet pulsé propulse le flotteur et met en évidence ce que la science nous apprend...même si ce n'est pas intuitif: lorsque le jet sort, il propulse. Lorsque l'eau est aspirée, l'effet est négligeable.





Au début moi aussi j'ai travaillé avec un mouvement quasi-sinusoïdal. Bielle très longue entraînée par une manivelle sur laquelle le maneton pouvait être mis dans 4 positions différentes. (Photo ci-contre). Cela permettait de simuler 4 cylindrées. Et l'entraînement à vitesse variable permettait de simuler toutes les fréquences possibles.

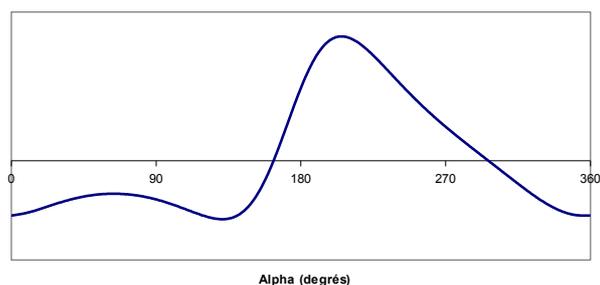
Ce simulateur m'a permis de tracer des courbes de poussée en fonction de la cylindrée et de la fréquence, et... de vérifier que les lois de la physique déterminées par d'illustres savants s'appliquent aussi à la propulsion pop-pop.

Puis, ne sachant pas si le mouvement de l'eau dans un moteur pop-pop était sinusoïdal j'ai compliqué la cinématique afin de forcer une expulsion d'eau plus rapide que l'aspiration.

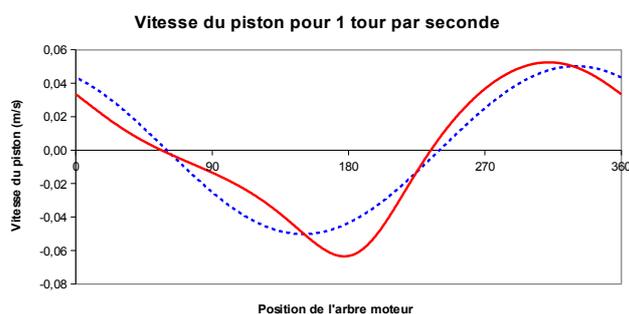
Avec cette cinématique j'ai obtenu pour le piston l'accélération suivante.



pression ou accélération (-Beta")



L'accélération étant le reflet de la pression dans un moteur pop-pop ($P=F/S$ et $F=M\chi$) cela correspondrait à une montée rapide de la pression et à une détente progressive.



Malgré une accélération très dissymétrique, la vitesse ne s'écarte pas énormément d'une sinusoïde comme le montre le graphique ci-contre.

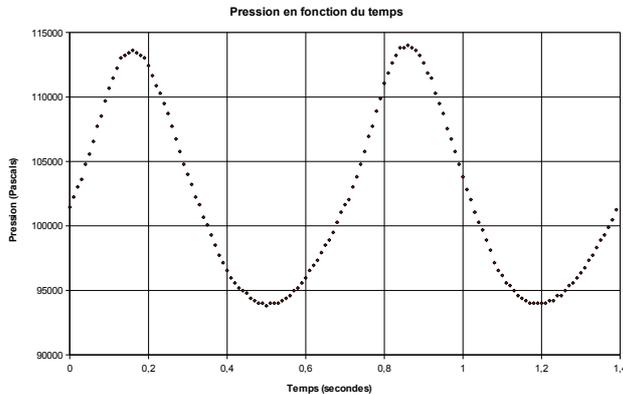
Nota: Dans un moteur pop-pop, la pression la plus forte correspondant approximativement au point mort haut (longueur maxi de la colonne d'eau) pour une pression semblable à celle simulée, la vitesse serait

plus proche d'une sinusoïde.

Au point où j'en étais j'ai fait tourner ce simulateur à l'envers pour le cas peu probable où il se serait révélé plus tard que l'amplitude de la dépression dans un moteur pop-pop est plus forte que celle de la surpression.

Dans tous les cas relatés ci-dessus (et dans les autres), la poussée mesurée a été proportionnelle à la quantité de mouvement calculée. (Intégration du carré des vitesses instantanées positives sur un cycle).

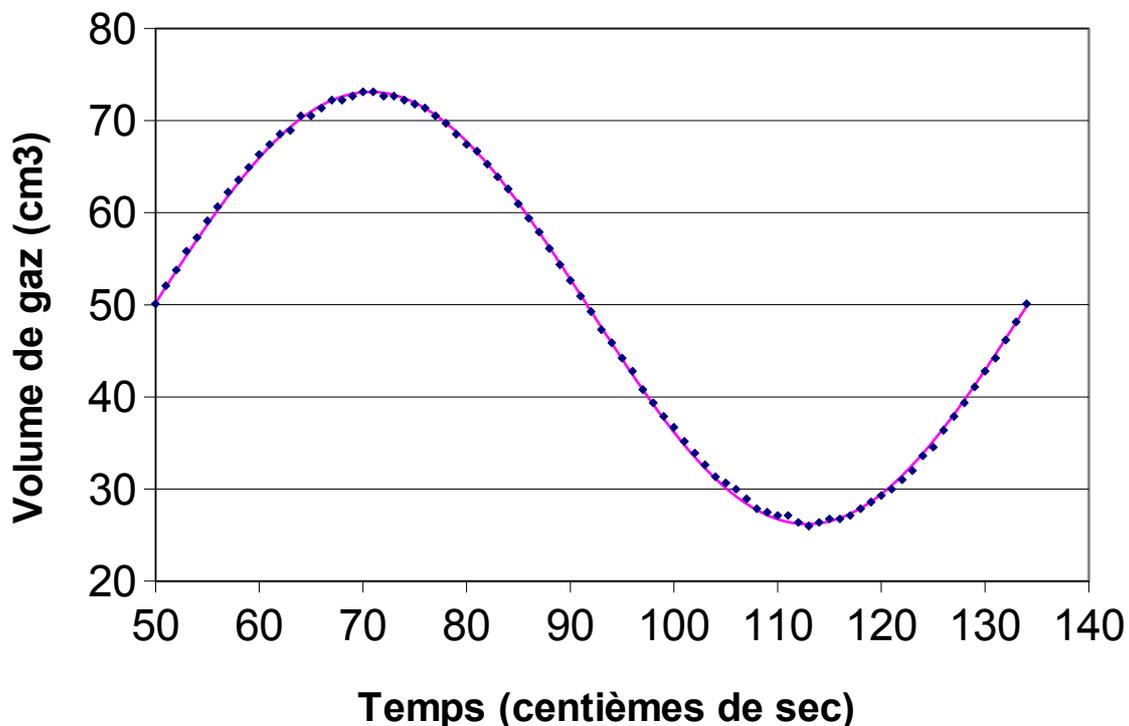
3 ans plus tard (fin 2009) j'ai réussi (première mondiale?) à enregistrer le cycle d'un moteur pop-pop. Pression et volume de gaz en fonction du temps.



On peut voir sur l'enregistrement de la pression (ci-contre) qu'elle évolue approximativement comme si le cycle était adiabatique...mais cela est une autre histoire.

Intéressons-nous au déplacement de la colonne d'eau! Et celui-là je le mets en grand format car il est intéressant.

Volume de gaz en fonction du temps



◆ V mesuré — V sinusoïdal

Il apparaît qu'avec mes simulateurs hydromécaniques je m'étais bien torturé pour pas grand chose. Le mouvement de l'eau dans les tubes d'un moteur pop-pop est quasiment sinusoïdal. Sur le graphique les points bleus sont les mesures faites au cours d'un cycle avec un enregistreur numérique. La courbe rose est une sinusoïde parfaite. Cherchez les différences!

Notes perso. Réf des fichiers sources des graphiques:

.../Pop-pop/Pop-pop en français/Comparaison jet pulsé

.../Pop-pop/Pop-pop en français/simulateur pop-pop

.../Pop-pop/En cours ou à faire/Cycle pop-pop/Pression (extrait de Rec.31)

.../Pop-pop/En cours ou à faire/Cycle pop-pop/Mouvement sinusoïdal.