

Les mouvements du serpent

Par Jean-Yves

Pour "justifier" ce titre. Dans plusieurs documents j'ai parlé du "boudin" d'eau pour décrire la quantité d'eau liquide mise en mouvement dans la canalisation d'un moteur pop-pop. Les anglo-saxons parlent du water snake. Compte tenu de l'idée de mouvement je trouve que c'est mieux et dorénavant je parlerai du serpent d'eau.

Les mesures de P_{max} et P_{min} dans la chambre d'un moteur pop-pop nous ont montré que le cycle n'était pas symétrique (voir "Diaphragm engine"). La valeur absolue (au sens mathématique) de la pression effective (au sens physique) maximale est supérieure à celle de la pression effective minimale. En conséquence, l'analogie électrique faite avec une fonction sinusoïdale (Cf « Moteur pop-pop et analogie électrique ») est à revoir.

Plusieurs observations avec des impuretés ou avec un objet de densité 1 inséré volontairement dans une canalisation transparente ont montré que l'interface visible se déplaçait comme l'ensemble du serpent. Ceci est logique car la vaporisation ou condensation se produisant à l'interface ne concerne qu'une quantité très faible d'eau. On peut donc considérer en première approximation que le serpent est assimilable à un piston sur lequel s'exerce la pression de vapeur ; pression effective tantôt positive, tantôt négative.

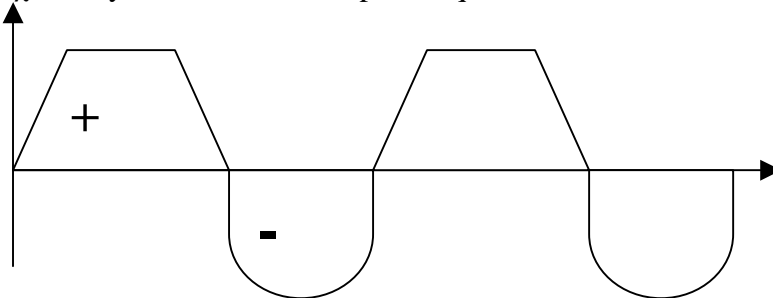
1. Considérations mathématiques générales

Soient :
 P la pression de vapeur
 S la section de la canalisation
 M la masse du serpent
 χ l'accélération
 V la vitesse du serpent
 y sa position

$$V_{(t+dt)} = V_{(t)} + \chi \cdot dt$$

$$y_{(t+dt)} = y_{(t)} + V_{(t)} \cdot dt$$

χ , V et y sont des fonction périodiques.



Pour que la primitive d'une fonction périodique soit elle-même périodique il faut que les aires positive (+) et négative (-) soient égales.

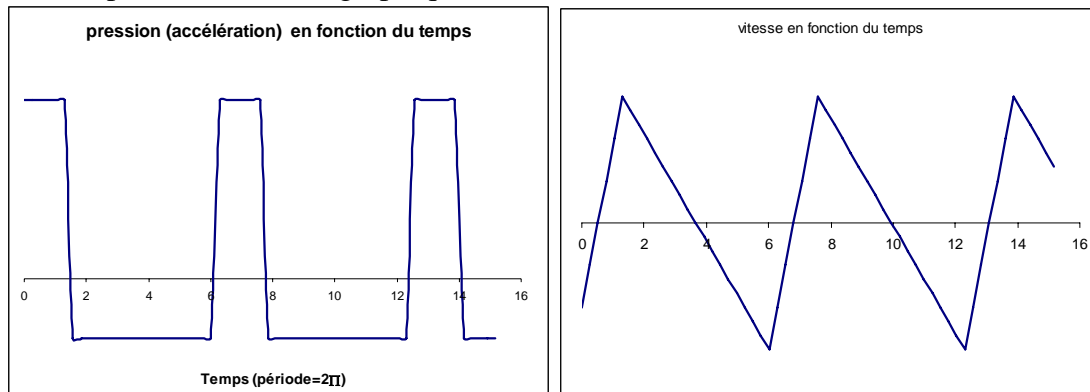
2. Modèle sinusoïdal

Le modèle sinusoïdal de pression (que nous appellerons modèle numéro 1) a déjà fait l'objet d'une étude à laquelle on pourra se reporter (voir "Propulsion pop-pop et quantité de mouvement"). Ce modèle étant trop simpliste, nous allons en examiner d'autres.

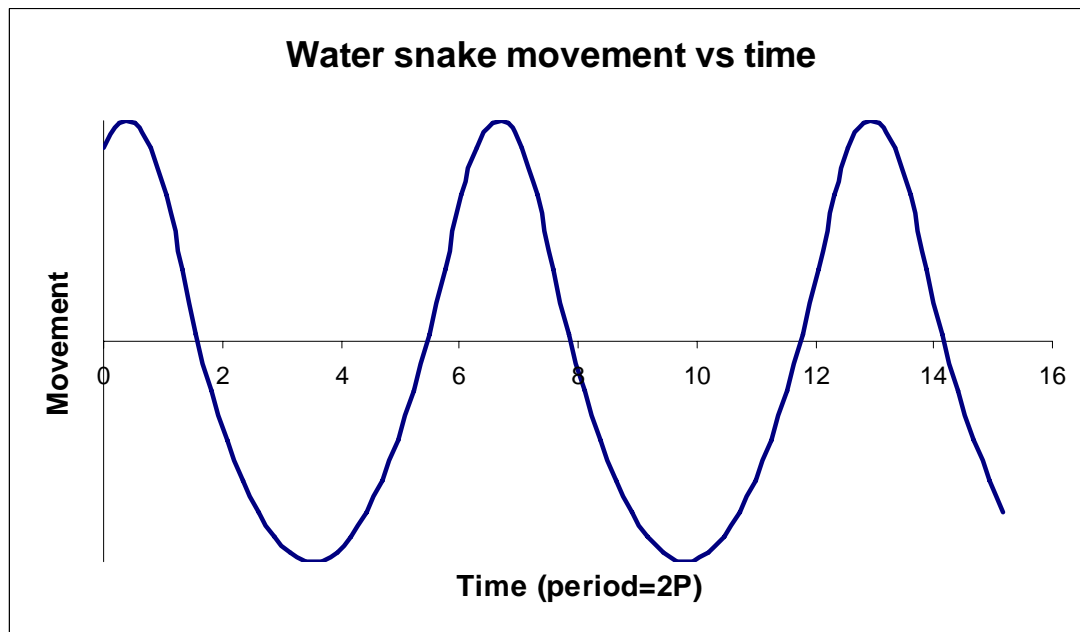
Pour que la dissymétrie soit flagrante, nous choisirons un rapport 3 entre $|P_{\max}|$ et $|P_{\min}|$.

3. Modèle numéro 2 : signal carré

Le rapport 3 que nous avons choisi sur les ordonnées impose un rapport cyclique de 1/3. On peut tout résumer graphiquement.



Et enfin le déplacement du serpent.



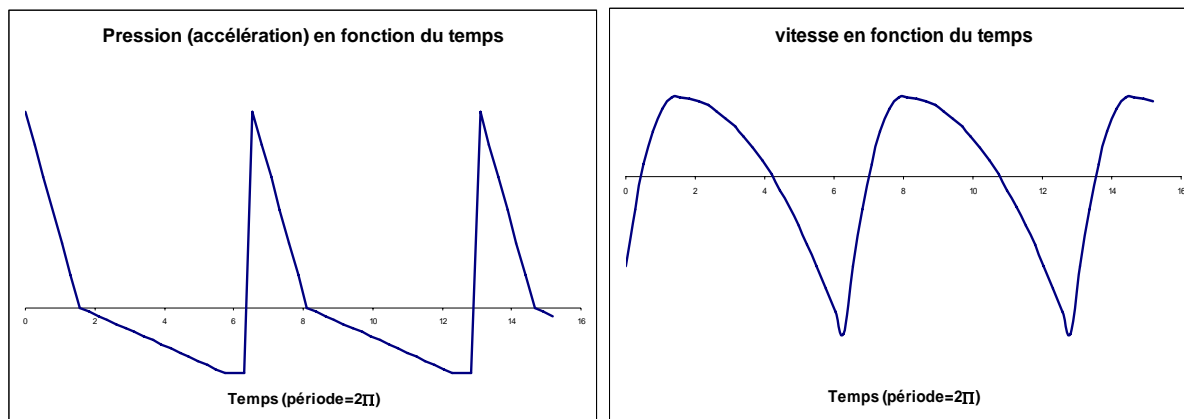
On peut voir que malgré les contraintes très fortes choisies (signaux de pression carrés) le déplacement n'est tout de même pas très éloigné d'une fonction sinusoïdale.

Nota pour les puristes:

Pour que la représentation graphique finale corresponde à la réalité physique, c'est-à-dire que le haut de la courbe corresponde au point mort haut du cycle, nous avons inversé le signe de la dernière fonction.

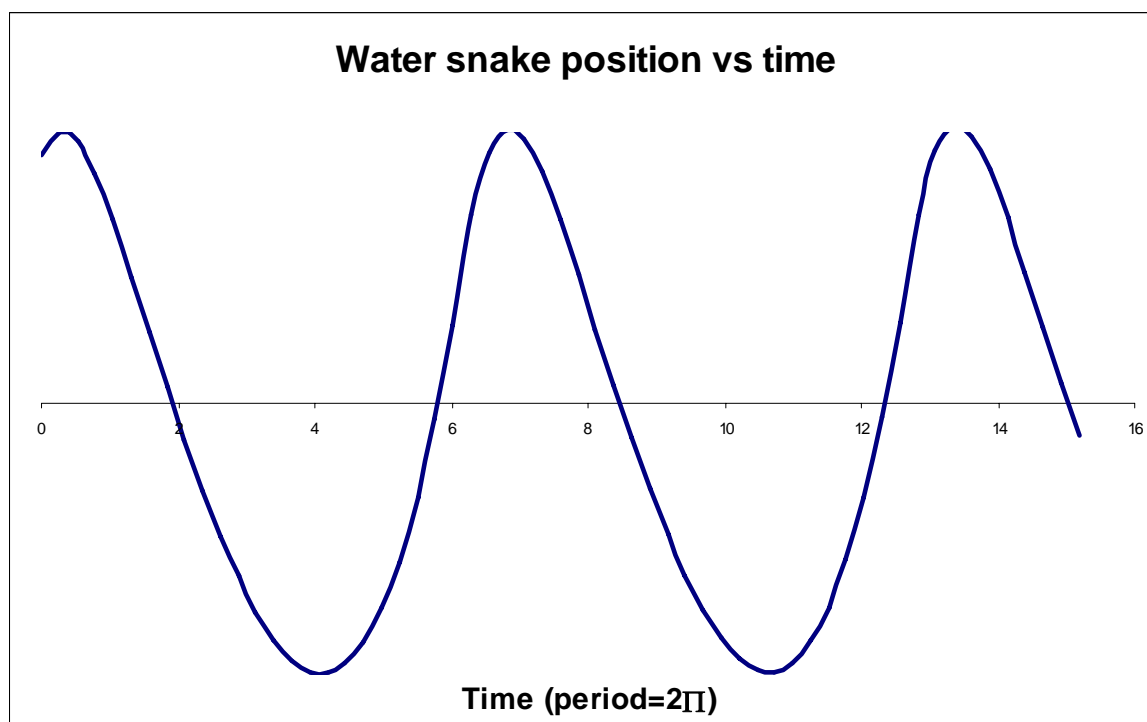
Le cycle n'est pas symétrique selon l'axe des x, mais il a des symétries en y ($y=\pi, 2\pi, 3\pi, \dots$). Cela signifie que pour toute position du serpent la vitesse de sortie est la même que celle de rentrée.

4. Modèle numéro 3 : signal triangulaire



Remarque: On ne cherche pas la cinquième décimale. Il s'agit juste d'une estimation rapide. Le front montant n'est pas vertical et le triangle inférieur est légèrement écrêté. D'une part ceci est justifié par un pas de calcul assez grossier. La période (2π) a été divisée seulement en 24 tranches pour l'intégration numérique. D'autre part, pourquoi pas un trapèze plutôt qu'un triangle ?...

Le résultat pour la position du serpent donne là aussi un résultat graphique pas très éloigné d'une fonction sinusoïdale



Comme dans le cas précédent le signe a été inversé pour que le haut du graphe corresponde au point mort haut.

En caricaturant on peut dire dans les deux cas choisis que l'eau passe plus de temps en bas qu'en haut ; ce qui n'a rien de surprenant puisque la dépression qui la rappelle est faible.

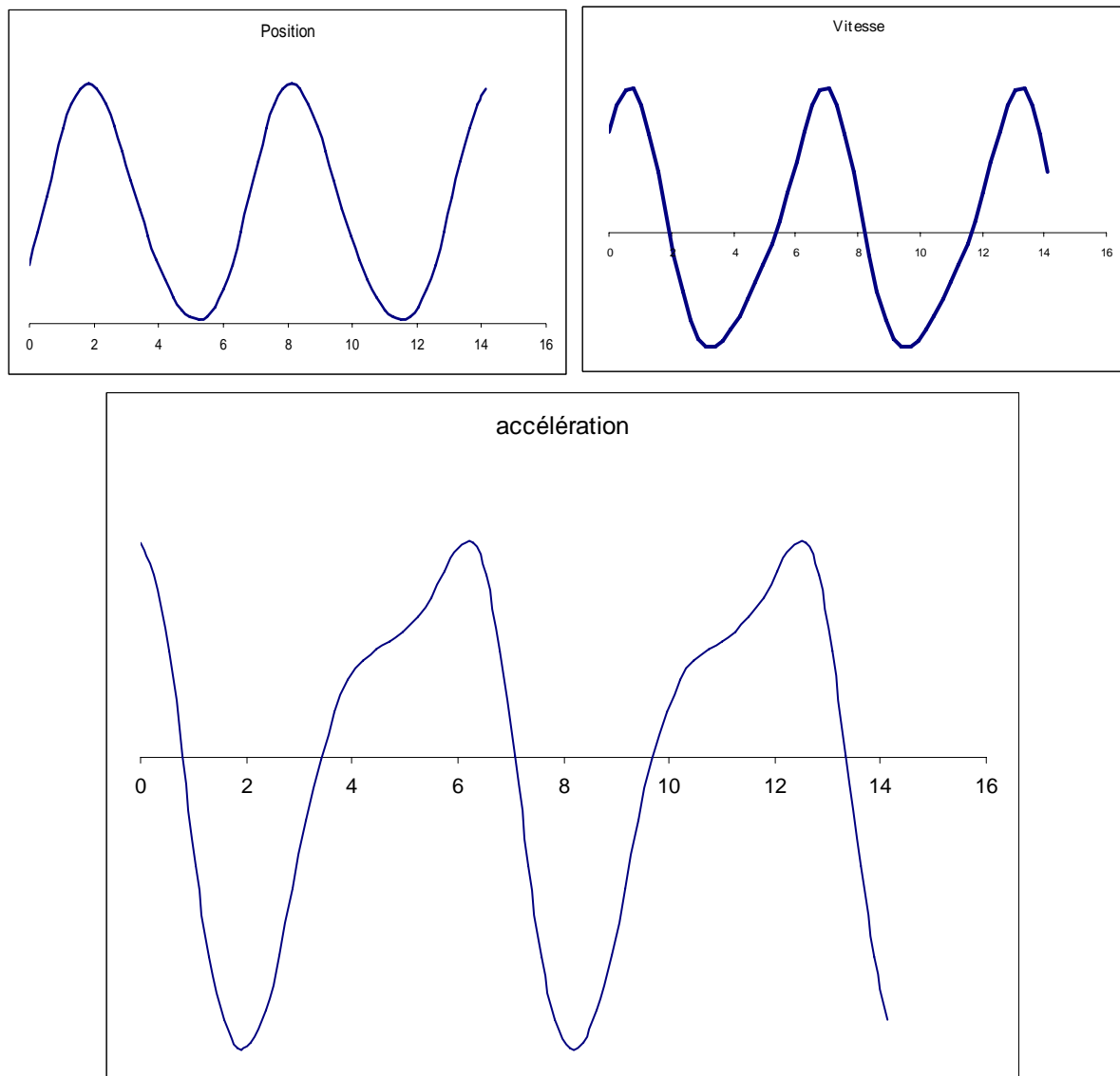
5. Autre approche...

Autre approche : comment générer mécaniquement (modification du banc de génération d'un hydrojet pulsé visible dans le doc "banc d'essai hydraulique") un mouvement d'eau dissymétrique ?

Nous allons voir trois solutions, et pour chacune la démarche chronologique sera l'inverse des précédentes : i) position, ii) vitesse, iii) accélération ou pression.

5.1. Modèle numéro 4

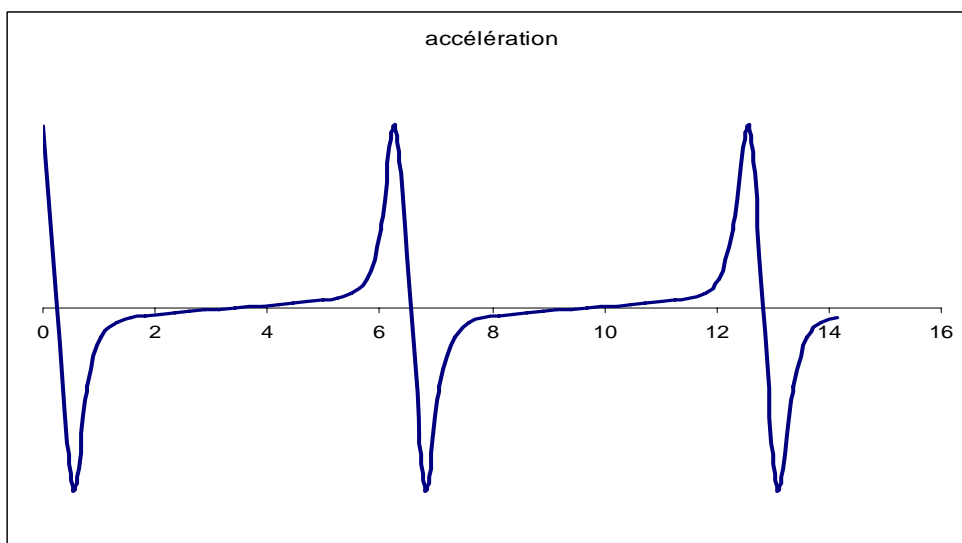
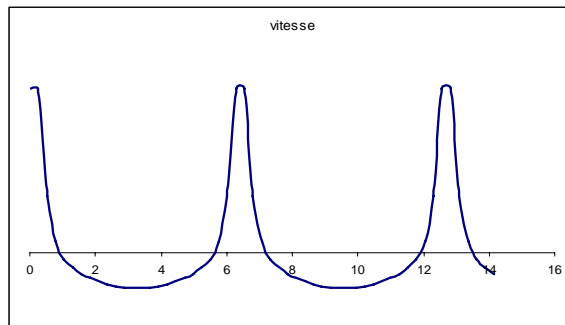
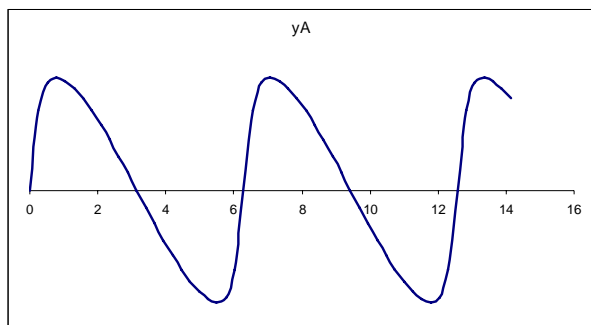
Par rapport à ce qui existe (se reporter au photos du doc susmentionné) : décalage transversal de l'axe de rotation par rapport à celui du piston.



Cette image de la pression montre une dissymétrie intéressante.

5.2. Modèle numéro 5

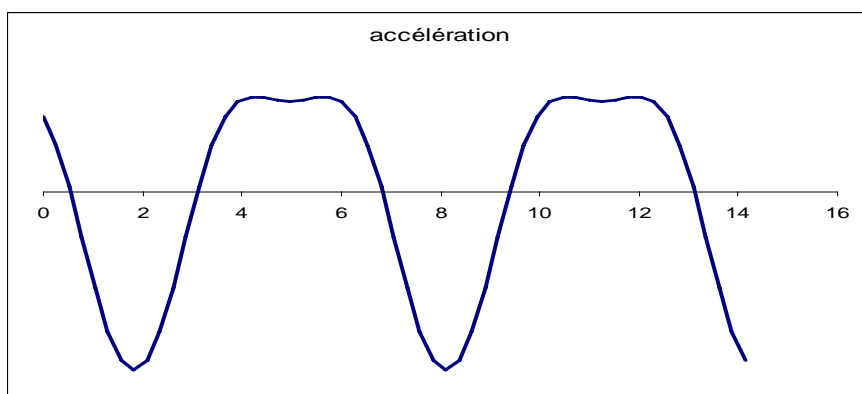
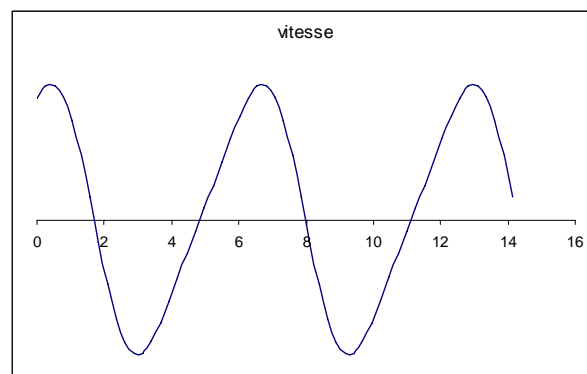
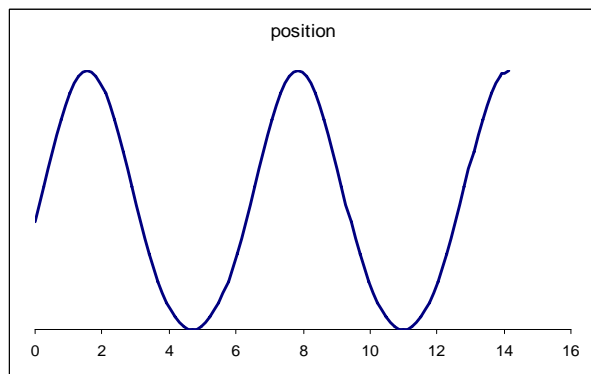
Bielle avec boutonnière.



Peu réaliste
quant à la
forme du
signal de
pression

5.3. Modèle numéro 6

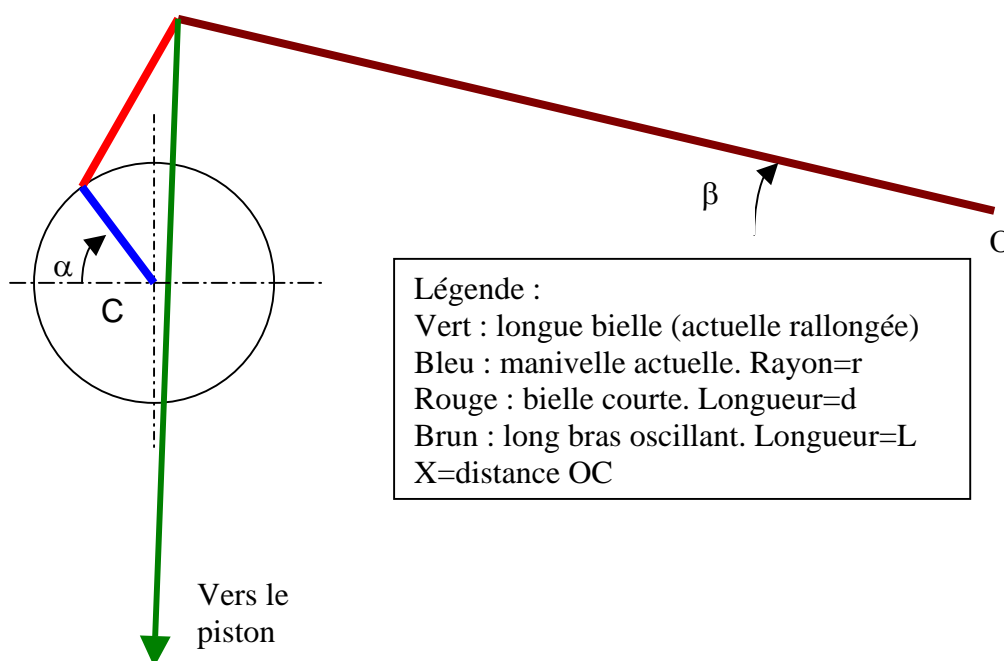
Bielle courte.



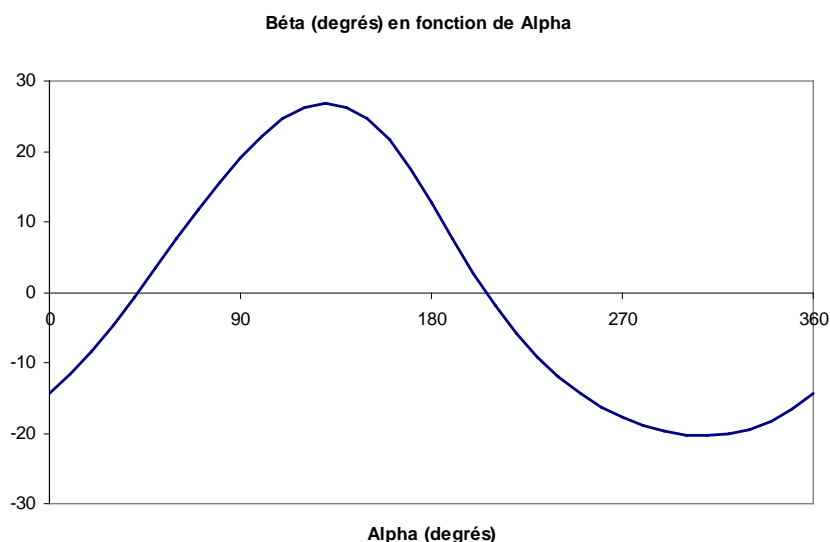
6. Conclusion quant à la modification du banc de génération d'un hydrojet pulsé

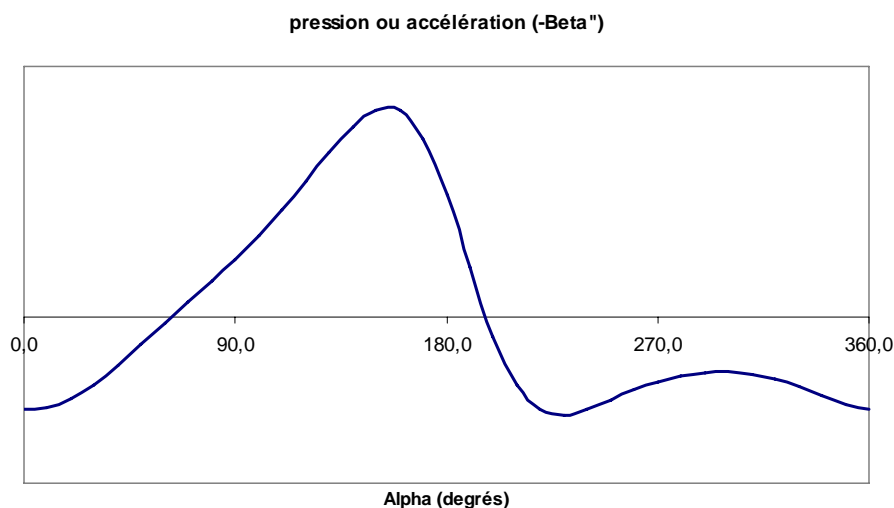
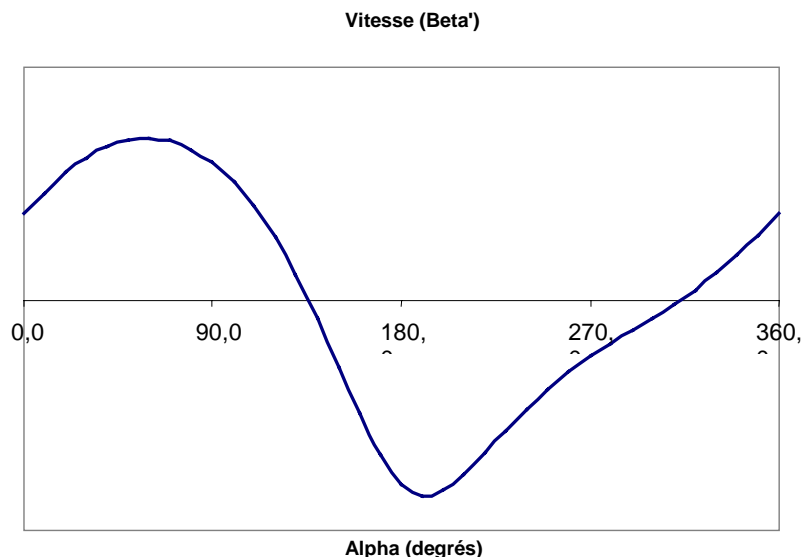
Le modèle numéro 6 semble le plus proche de la réalité. Le mouvement (position) est proche d'une sinusoïde et en première approximation l'accélération est plausible (Même s'il est peu probable que le mouvement réel présente une symétrie selon l'axe des y).

La longue bielle est indispensable pour la pompe elle-même. Ajouter une crosse entraînerait trop de jeu avec les moyens de bricolage à disposition. On préférera une articulation supplémentaire.



Nous avons étudié la fonction $\beta=f(\alpha)$ pour différentes valeurs de r, d, L et X et retenu les proportions suivantes : $L/r=2,5$; $X/r=3$; $d/r=2$.





On voit que la valeur absolue de la dépression extrême est la moitié de celle de la pression. Et avec un peu d'imagination, (en faisant tourner l'axe moteur dans le sens opposé ; c'est-à-dire en lisant le graphe de droite à gauche) on peut voir que la montée en pression est rapide. Ces deux critères correspondent à ce qu'on cherche.

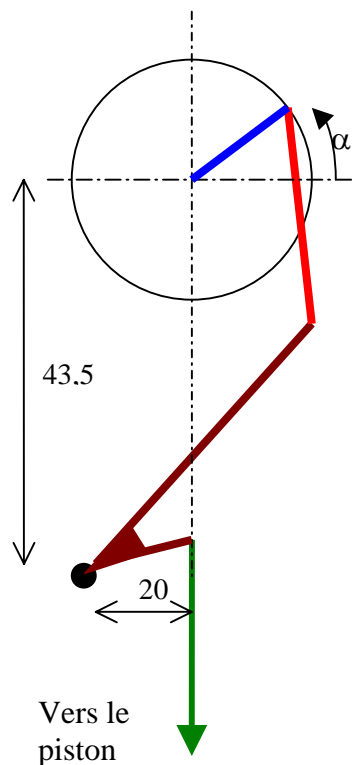
Application:

L'angle total d'évolution du bras oscillant sera $47,2^\circ$. Pour faire un compromis entre les forces d'inertie (pour pouvoir tourner assez vite) et les jeux relatifs, on choisira parmi les 4 rayons disponibles (8, 16, 24 et 32) $r=16\text{mm}$; ce qui fixe $X=48$, $L=40$ et $d=32$. Et pour obtenir la course qui nous intéresse pour le piston on fera jouer au bras oscillant le rôle de culbuteur avec un levier R tel que $8=R \cdot \sin(47,2/2)$; c'est-à-dire $R=20\text{mm}$.

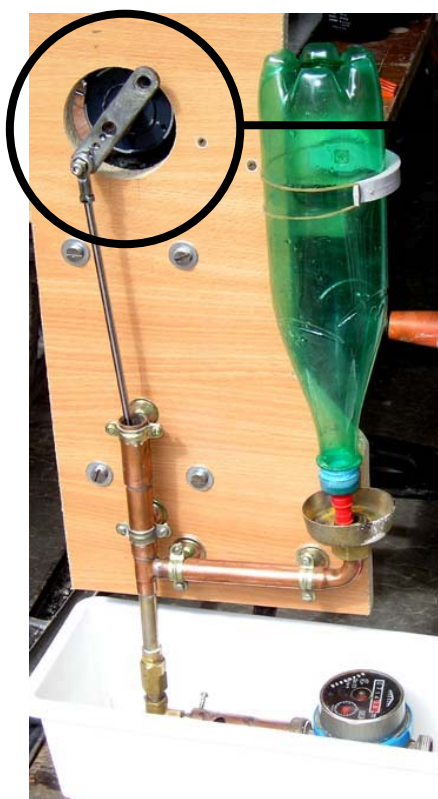
Raccourcir la longue bielle de

Mettre un axe à $43,5\text{mm}$ en dessous de C et à 20mm sur la gauche (compte tenu du sens de rotation).

Y articuler un culbuteur avec un bras de 40mm et l'autre de 20mm faisant un angle de $21,6^\circ$ avec le précédent (je passe sur les détails de trigonométrie...).



En photo cela donne :



Devient



Au PMH

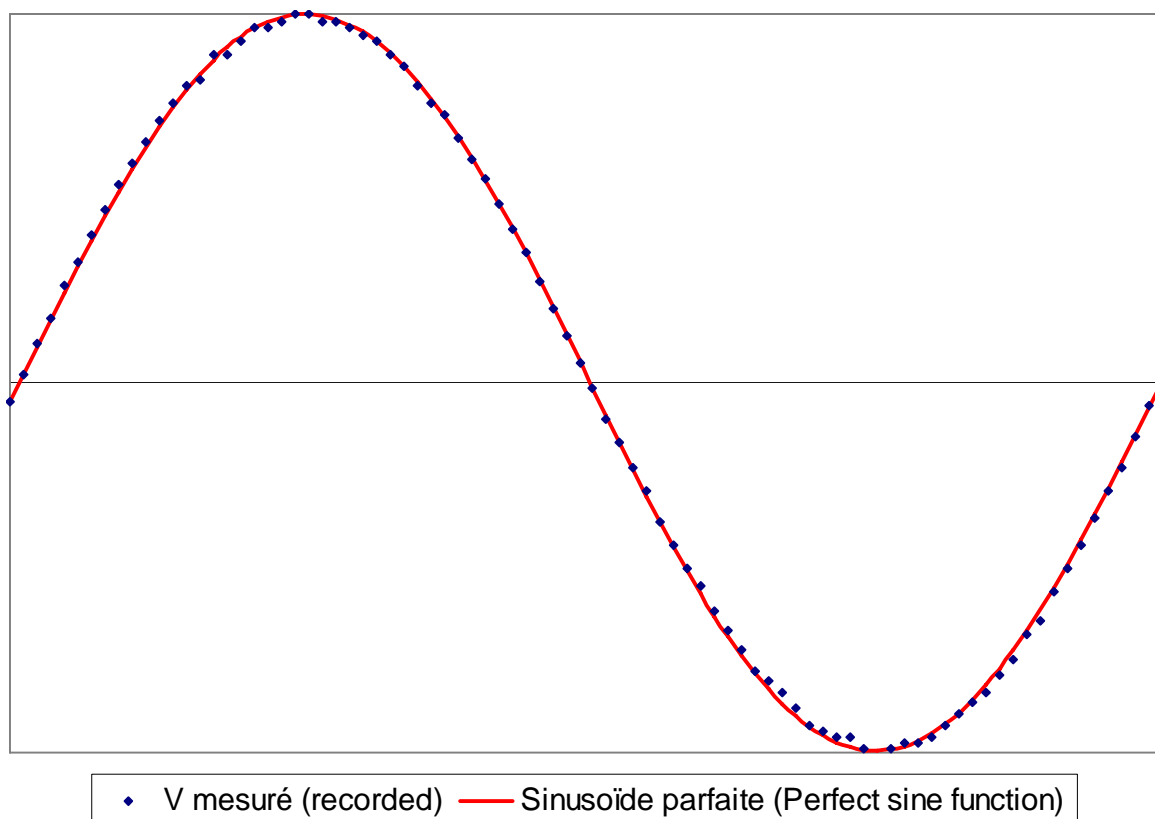


Au PMB

Voir le doc "simulateur hydraulique de pop-pop " pour les mesures de poussée/débit faites avec cette "pompe asymétrique".

Ce qui précède date de la période 2005-2006 et fin 2006 un simulateur a été réalisé avec ces hypothèses (voir « Simulateur hydraulique de moteur pop-pop »). Fin 2009 il est apparu que je m'étais donné du mal pour rien car le mouvement réel est très très proche d'une sinusoïde comme le prouve le diagramme qui suit enregistré le 5/12/2009.

Volume de gaz en fonction du temps (Gas volume vs time)



Les points bleus ont été mesurés et enregistrés par un data logger (voir "Diagramme PV expérimental d'un pop-pop"). La courbe rouge est une sinusoïde parfaite qui a été superposée. Le graphe a été représenté à grande échelle pour mettre en évidence le fait que les écarts entre les points et la courbe sont insignifiants.

Ce résultat valide les études telles que « Propulsion pop-pop et quantité de mouvement », qui supposaient un mouvement sinusoïdal.