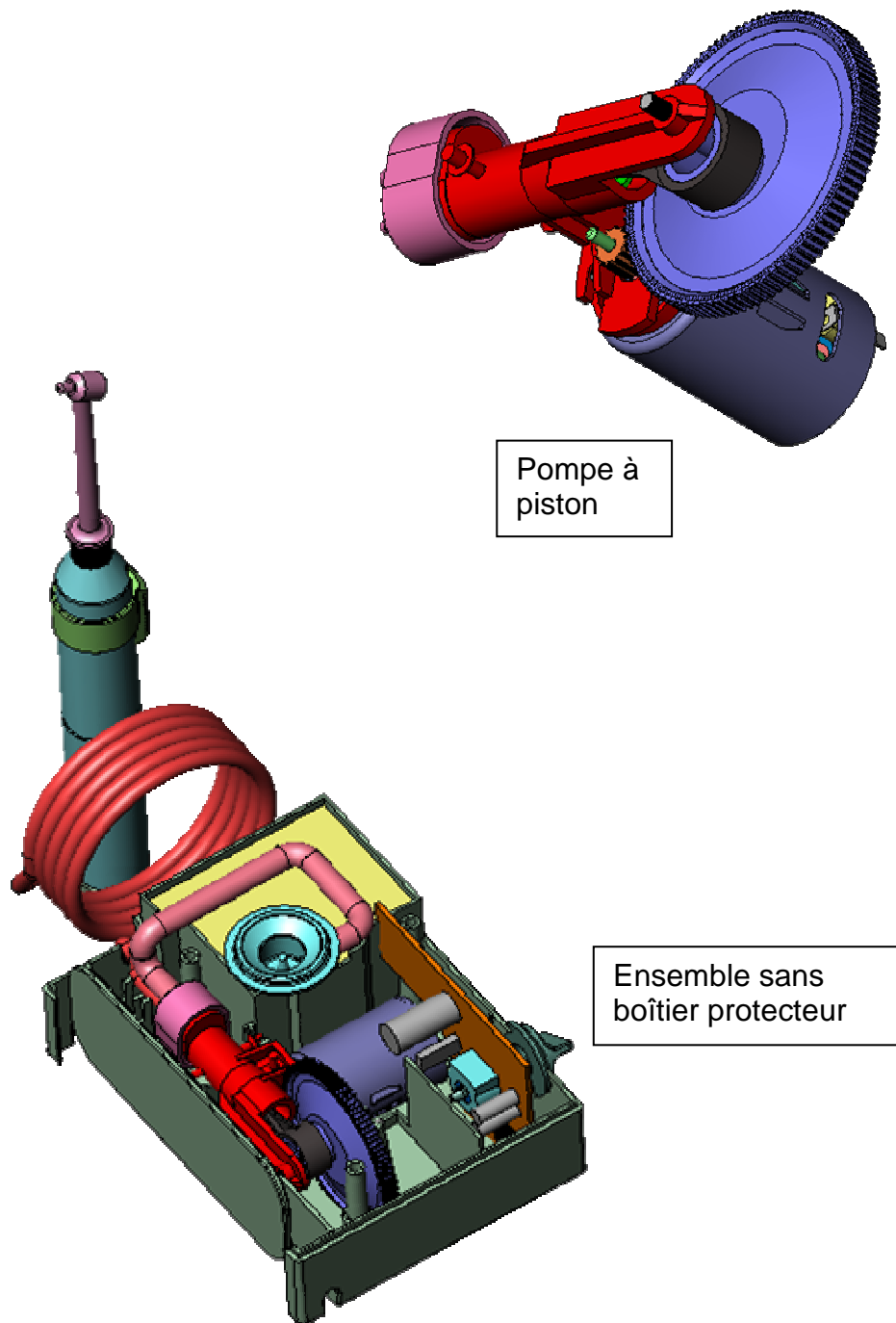


**Etude du comportement de la chaîne d'énergie de l'Hydropulseur (Jet dentaire)
BRAUN MD 31.**



Avant Propos

Ce document d'étude et les documents qui l'accompagnent sont destinés à l'élaboration de travaux pratiques en sciences de l'ingénieur de la seconde à la CPGE.

Ces contenus constituent des ressources utiles pour le professeur sciences de l'ingénieur qui peut extraire certains résultats, formules et modélisations informatiques afin de proposer des problématiques pertinentes à l'élève pour atteindre les objectifs pédagogiques.

Sommaire

Présentation	3
Description de l'appareil	3
Support mural	3
Commutateur	4
Modélisation	4
Schéma cinématique du mécanisme	5
Géométrie et paramétrage	5
Réducteur à engrenage	5
Effort du fluide sur le piston lors du refoulement	6
Vitesse du piston	6
Relation Force couple	6
Equation du mouvement (refoulement : $F > 0$)	7
Simulation du modèle sous Cosmosmotion	8
Résultats	10

Présentation

L'hydropulseur Braun Oral-B MD 31 débarrasse les interstices dentaires des résidus alimentaires, et effectue un massage efficace des gencives.

Caractéristiques techniques :

Tension : 220-240 Volts tension alternative, 50/60 Hz

Consommation : 17 Watts (possibilité de branchement sur prise rasoir)

Temps d'utilisation maximum : 20 minutes

Temps de refroidissement : 2 heures

Contenance : environ 500 cm³

La fréquence du jet est réglable électroniquement de 500 à 1050 pulsations par minute.

Description de l'appareil

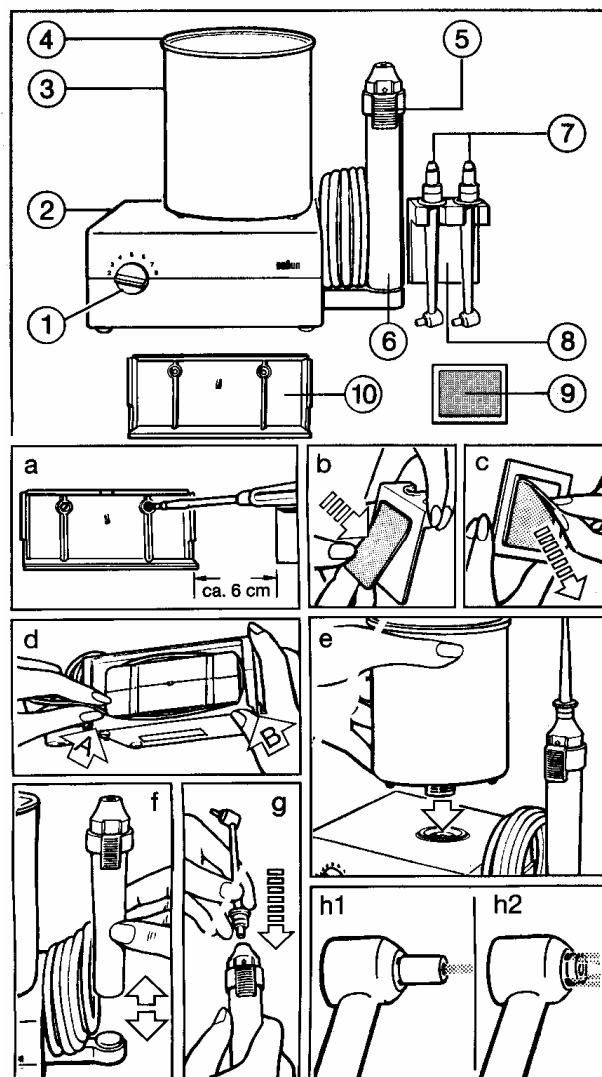
- ① Réglage de la pression
- ② Corps de l'appareil
- ③ Réservoir
- ④ Couvercle
- ⑤ Commutateur magnétique
- ⑥ Poignée (sur laquelle on fixe un embout)
- ⑦ 2 embouts emboîtables avec repères de couleur
- ⑧ Support
- ⑨ Adhésif
- ⑩ Support mural destiné à l'appareil

Support mural

La partie protégée contre les projections d'eau doit être fixée de telle façon qu'elle ne puisse pas tomber dans l'eau.

L'hydropulseur Braun-Oral B MD 31 est livré avec un support ⑩ destiné à l'appareil ②. Pour le montage, utilisez des vis tête ronde 30 x 3,5 mm avec les chevilles correspondantes (a). Glissez simplement l'appareil par le haut sur son support.

Le support ⑧ réservé aux embouts ⑦, peut être fixé au moyen de l'adhésif double faces ⑨. Nettoyez soigneusement la surface choisie avec de l'alcool. Retirez la pellicule de protection de l'une des faces de l'adhésif (b) et appliquez la face collante au dos du support. Retirez ensuite la pellicule de protection de l'autre face de l'adhésif (c) et appliquez le support sur la surface choisie en pressant fortement. Laissez passer environ 12 heures avant de placer les embouts dans leurs supports (vous obtiendrez ainsi un collage très résistant).



Commutateur

Le commutateur magnétique ⑤ permet la mise en marche et l'arrêt de l'appareil :

Arrêt : commutateur sous la flèche

Marche : pousser le commutateur vers le haut au-dessus de la flèche

Le réglage électronique de la pression ① est progressif :

Faible = 2, forte = 8.

Modélisation

Le système de pompage qui nous intéresse plus particulièrement utilise un système de transformation de mouvement : Le système bielle manivelle ou excentrique. Le pompage est effectué par les allers-retours d'un piston et d'un système de deux clapets à billes unidirectionnels.

Une représentation normalisée en phase d'admission en est donnée figure 1.

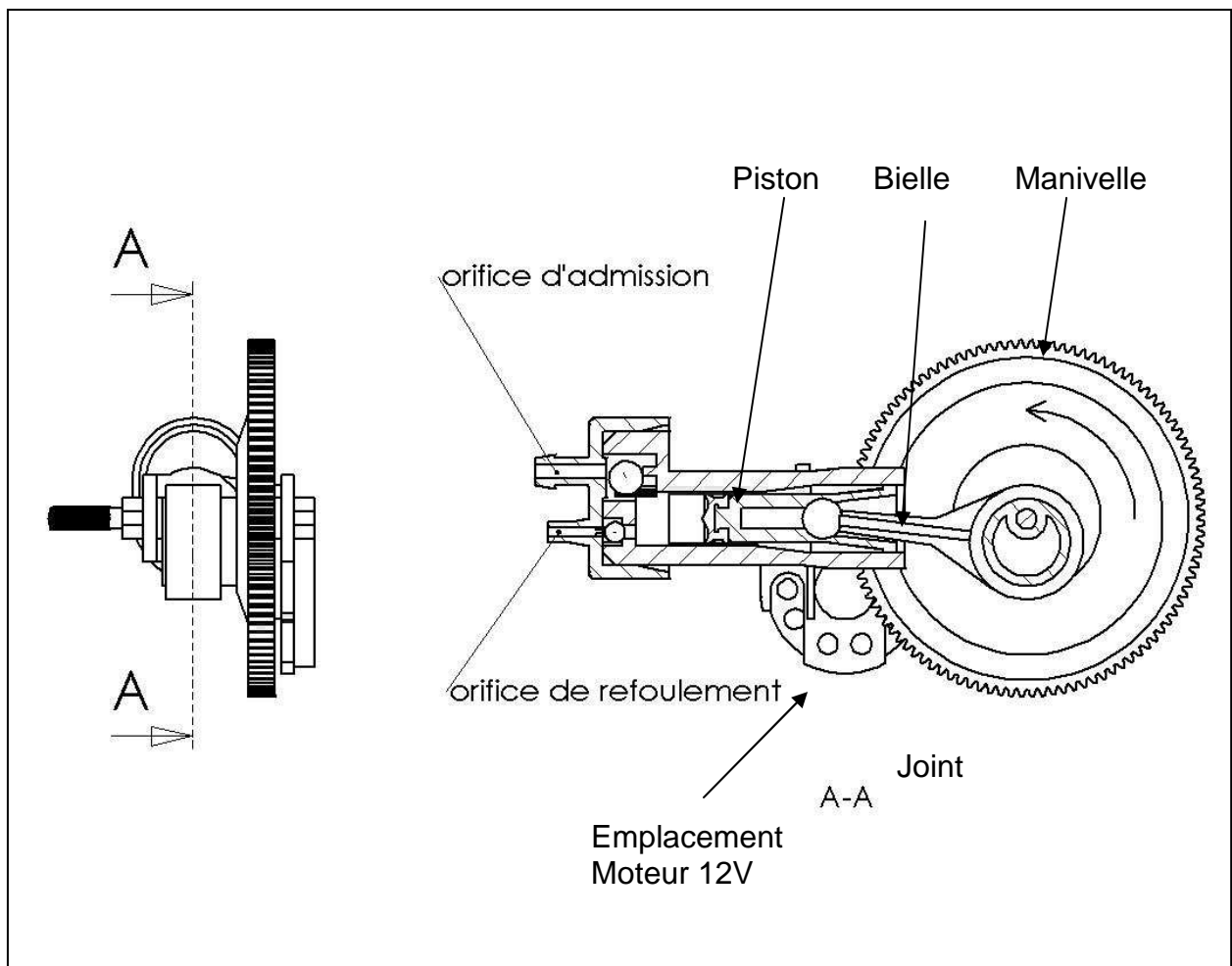
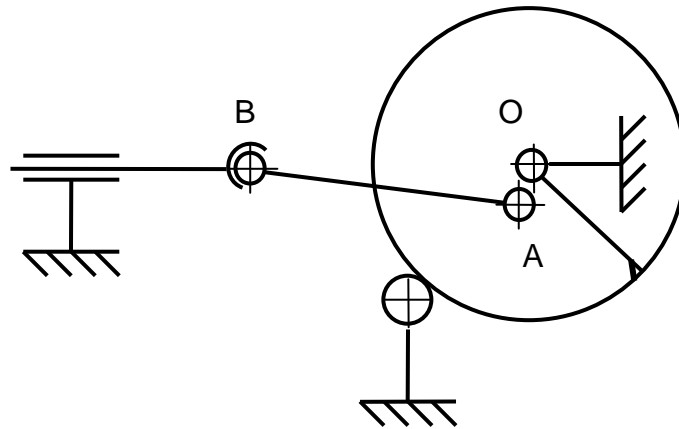
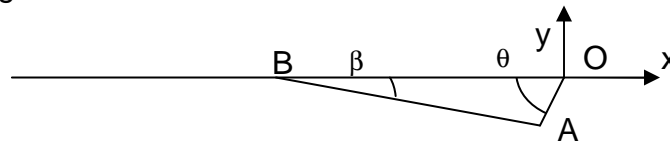


Figure 1

Schéma cinématique du mécanisme : figure 2



Géométrie et paramétrage : figure 3



Unités S.I.

$$AB = L = 30,5 \cdot 10^{-3}$$

$$OA = e = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

$$OB = x$$

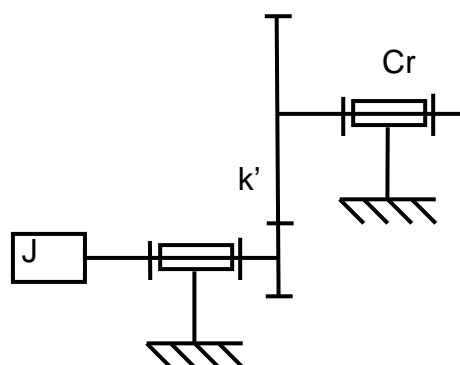
$$L \sin \beta = e \sin \theta$$

$$x = -e \cos \theta - L \cos \beta$$

Réducteur à engrenage

Pignon : $Z_p = 12$

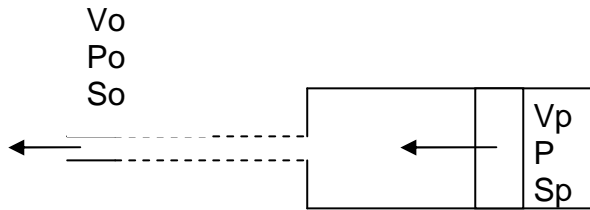
Roue : $Z_r = 104$



$$\text{Réduction : } k' = \frac{Z_r}{Z_p}$$

$$\text{Equation du moment dynamique de l'axe du moteur: } J \cdot \ddot{\theta} = \frac{Cr}{k'^2} + \frac{C_{mot}}{k'}$$

Effort du fluide sur le piston lors du refoulement



Fluide incompressible : $S_o V_o = S_p V_p$
 Régime laminaire : $P_o + \rho V_o^2 / 2 = P + \rho V_p^2 / 2$
 Force sur le piston : $F = -P S_p$
 En pressions relatives on obtient

$$F = -\frac{1}{2} \rho S_p V_p^2 \left(\frac{S_p^2}{S_o^2} - 1 \right) = K V_p^2, \quad K \in \mathbb{R}^+$$

Application numérique (SI): $S_p = \pi(7,3 \cdot 10^{-3}/2)^2$
 $S_o = \pi(1 \cdot 10^{-3}/2)^2$
 $\rho = 1000$

$$K = 59,4 \text{ (S.I.)}$$

Vitesse du piston

On pose $\lambda = \frac{L}{e}$

$$V_p = \dot{x} = e \dot{\theta} \left(\sin \theta + \frac{\sin 2\theta}{2\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right)$$

Relation Force couple

$$\vec{C} = \overline{OA} \wedge \vec{F} + \vec{C}_f = \begin{vmatrix} -e \cos \theta & F & 0 \\ -e \sin \theta & F \tan \beta & 0 \\ 0 & 0 & C_f \end{vmatrix} \quad \text{Cf est un couple de frottement}$$

supposé constant.

$$C = -e F \cos \theta \tan \beta + e F \sin \theta + C_f$$

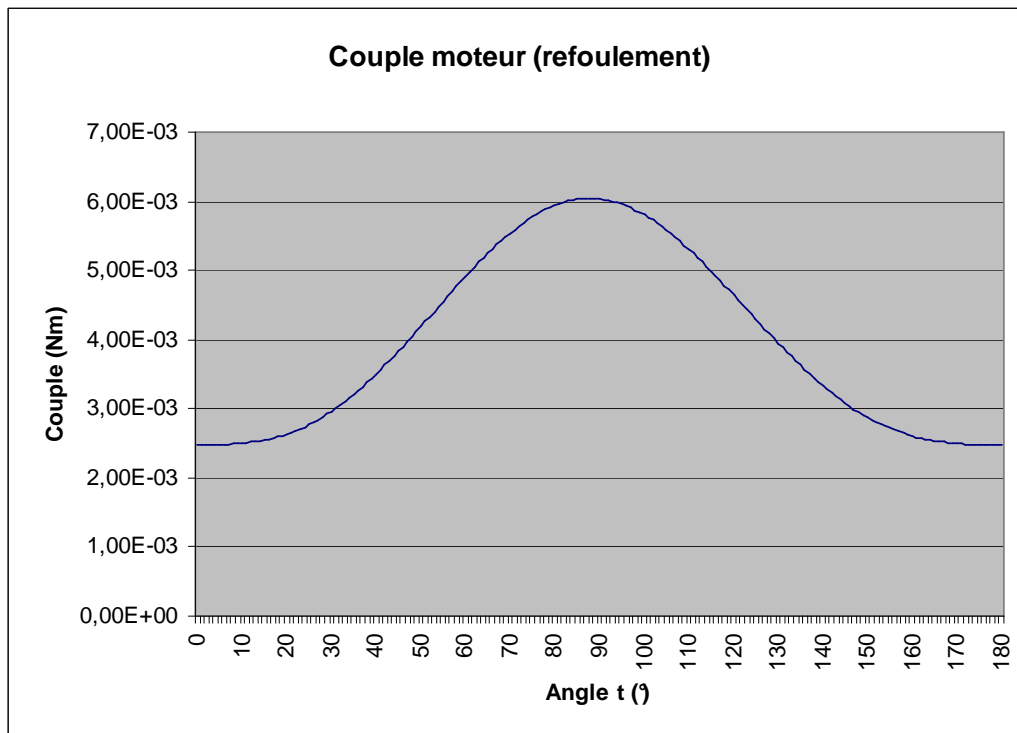
$$C = e F \sin \theta \left(1 - \frac{\cos \theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right) + C_f$$

Equation du mouvement (refoulement : $F > 0$)

$$J\ddot{\theta} - \frac{C_f}{k'^2} - \frac{C_{mot}}{k'} = \frac{1}{k'^2} e^3 K \dot{\theta}^2 \sin \theta \left(1 - \frac{\cos \theta}{\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right) \left(\sin \theta + \frac{\sin 2\theta}{2\sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \theta}} \right)^2$$

Hypothèse : La vitesse de rotation est constante, ce qui revient à supposer que J a une valeur suffisante pour négliger l'accélération angulaire.

On peut alors tracer $C_{mot}(\theta)$ si on a une valeur de C_f :



Le modèle conventionnel du moteur à courant continu est :

$C_{mot} = \eta k_2 I = \eta \frac{k_2}{R} (U - k_1 k' \dot{\theta})$, ce qui suppose que le couple est constant si la vitesse est constante. (Valeurs et notations précisées plus loin)

L'hypothèse de vitesse constante n'est donc pas applicable pour étudier le couple moteur en détail. On verra plus loin que ces valeurs ne sont pas correctes.

Il faut donc résoudre l'équation différentielle (non linéaire du deuxième ordre) du mouvement pour étudier plus en détail le comportement du système.

Des solutions numériques peuvent être trouvées en utilisant CosmosMotion avec des conditions dépendantes des résultats en vitesse et position.

Simulation du modèle sous Cosmosemotion

Constantes mécaniques

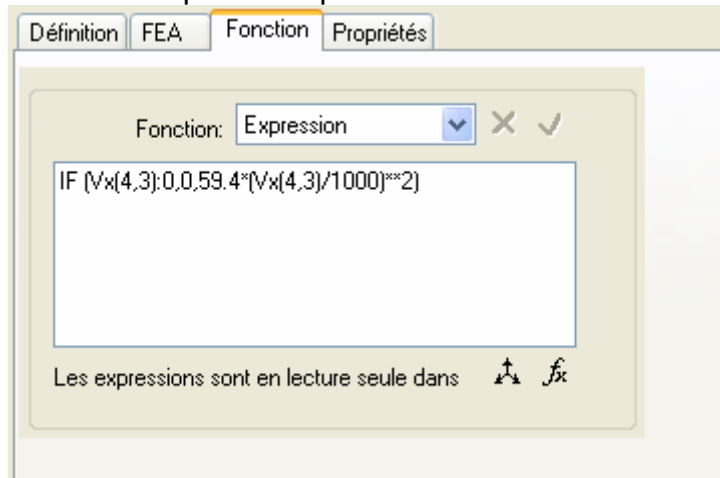
Accélération gravitationnelle	9,81	m/s ²			
Pression atmosphérique	101300	Pa			
Masse vol, liquide	1000	kg/m ³			
Diamètre piston	7,3	mm	Section	41,85	mm ²
Diamètre orifice sortie	1	mm	Section	0,79	mm ²
Diamètre orifice entrée	2,5	mm	Section	4,91	mm ²
ξ total	10				
Longueur tube de sortie	600	mm			
Diamètre tubulure de sortie	1,5	mm	Section	1,77	mm ²
Course	7	mm			
excentrique e	3,5	mm			
longueur bielle L	30,5	mm	$1/\lambda = e/L$	0,11	
Pulsations	1050	/min	ω roue =		rad/s
Z roue	104	dents			
Z pignon	12	dents			
Réduction k'	8,67				
Vitesse moteur		tr/min	ω moteur =		rad/s
Puissance hydraulique		W			
Puissance utile moyenne		W			
Couple moteur moyen		Nmm			
Débit moyen		l/min			
couple de frottement	2,51	Nmm			

Constantes électriques


Fréquence du courant moteur		Hz			
résistance de l'enroulement R	5	Ohm			
Rendement de conversion électromécanique η	0,64				
facteur k ($E_{moy} = k \times N \text{ mot}$)	0,0012	V/tr/min			
facteur k_1 ($E_{moy} = k_1 \times \Omega \text{ mot}$)	0,0112	V/rad/s			
facteur k_2 ($C_{mot} = k_2 \times I \text{ mot}$)	0,0112	Nm /A			
Inductance (effet négligeable)	0,3	mH			
Puissance électromagnétique		W			
Courant moyen dans l'induit		A			
Pertes joules		W			
Puissance absorbée moteur		W			
Tension d'alimentation	22,8	V			
Tension moyenne moteur U	12,94	V			
Rapport cyclique	0,57				
Fréquence du hacheur	10,3	KHz			

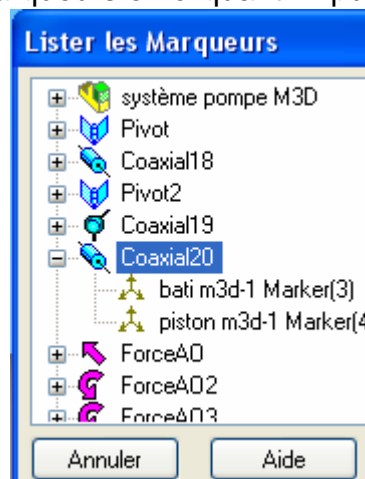
Force fluide :  ForceAO
 piston m3d-1

compléter l'expression de la force :



ou V_x est la vitesse de translation relative suivant x en mm/s du marqueur 4 par rapport au marqueur 3.

On trouve ces marqueurs en cliquant  puis en choisissant la liaison qui nous interesse :





La condition IF affecte 0 à V_x si $V_x < 0$ et KVp^2 si $V_x > 0$ et 0 si $V_x = 0$.

Couple moteur :  ForceAO2
 arbre moteur-1
 Moment - Amp-ForceAO2

Compléter l'expression du couple :

$0.64 * 0.0112 / 5 * (12.94 - 0.0112 * WZ(13,14)) * 1000$ ou WZ est la vitesse de rotation en rad/s (!?) du rotor par rapport au bâti et les marqueurs sont trouvés comme précédemment.

Le facteur 1000 donne les Nmm requis par le logiciel.

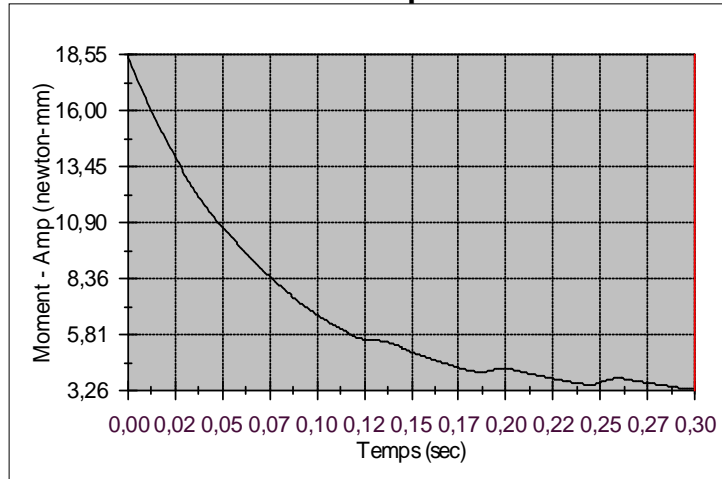
Couple de frottement :  ForceAO3
 arbre moteur-1 : On affecte 2,51 Nmm à l'arbre moteur (attention au sens opposé au couple moteur à imposer, ou utiliser la friction dans le pivot)

Résultats

Le régime transitoire du démarrage peut s'étudier sur 0,3 s avec toutes les conditions initiales nulles.

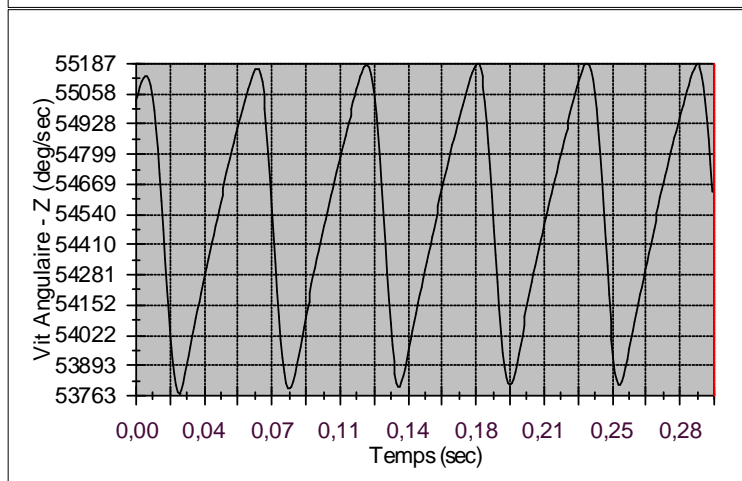
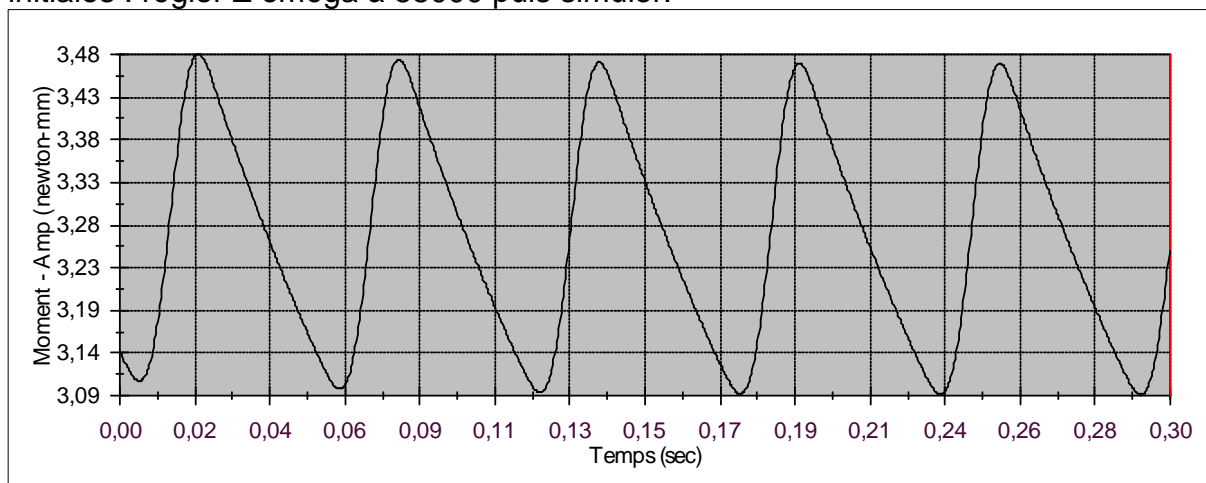
Le régime stabilisé peut s'obtenir en affectant une vitesse initiale au moteur, celle vers laquelle tend le régime transitoire ! (55000 %s ici)

Solution transitoire du couple moteur :



🔧 Pièces Mobiles

Solution stable : 📁 arbre moteur-1 Clic droit sur propriétés, onglet conditions initiales : régler Z oméga à 55000 puis simuler.



(Vitesse moteur)

Nota Bene :

Les propriétés de masse des pièces doivent être réglées correctement.

Pour le rotor qui est composite et de forme simplifiée, je propose les valeurs ci-dessous qui sont renseignées dans l'onglet masse des propriétés de l'arbre moteur.

Pour les autres pièces mobiles, on peut choisir un matériau standard (nylon ici).

On peut retrouver le moment d'inertie réel du rotor avec la fluctuation du courant mesuré (donc du couple) et des simulations successives (dichotomie).

Retourner Appliquer

Masse Conditions Initiales Propriétés

Materiau: Steel (Dry)

Densité

Densité Pièce Matériau Personnel

Densité: 4,5e-006 kg/mm³

Propriétés de Masse

Densité Pièce Personnaliser

Masse: 0,029232 kg

CM et Axes Principaux d'inertie dans le référentiel pièce

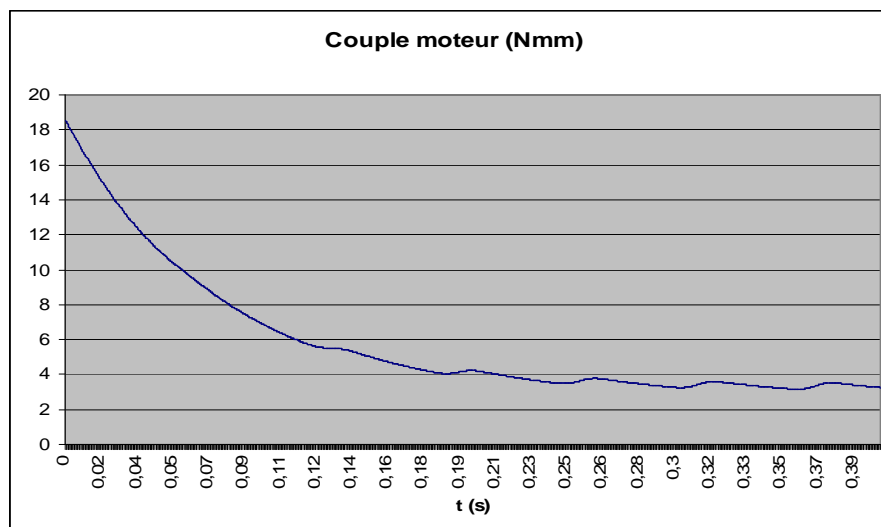
	X	Y	Z	
CM:	-5,681882	1,401780	28,98229	mm
Axe X:	1	0	0	
Axe Y:	0	1	0	
Axe Z:	0	0	1	

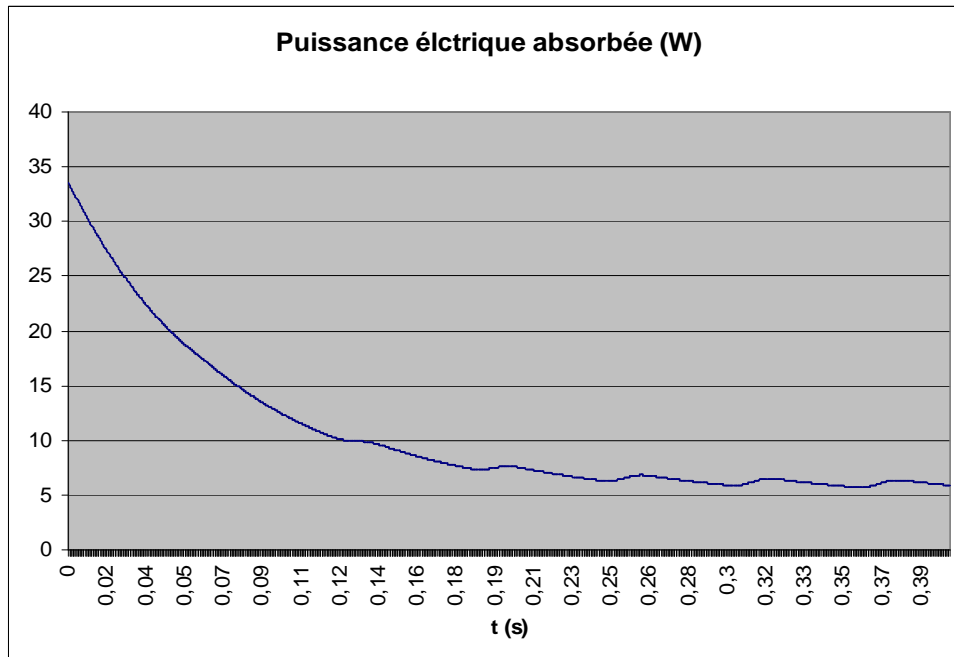
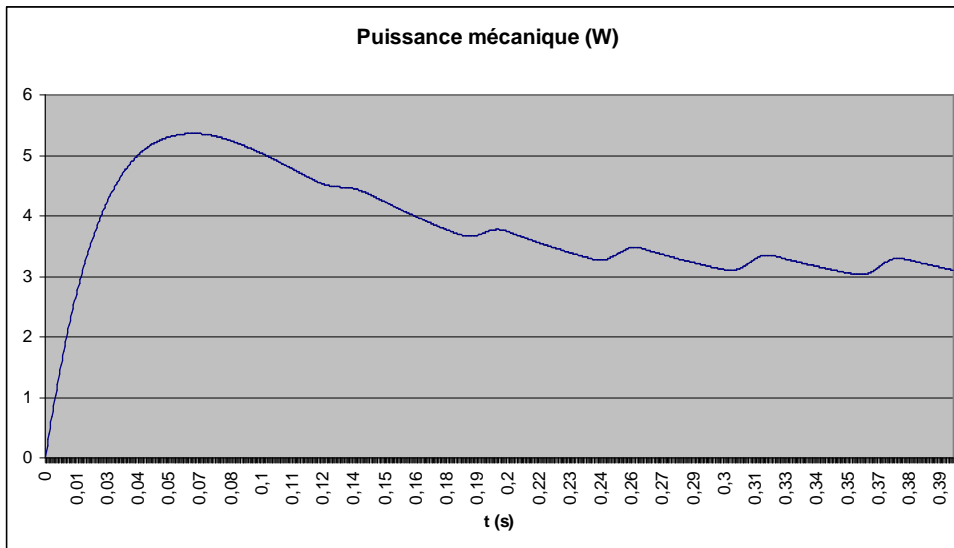
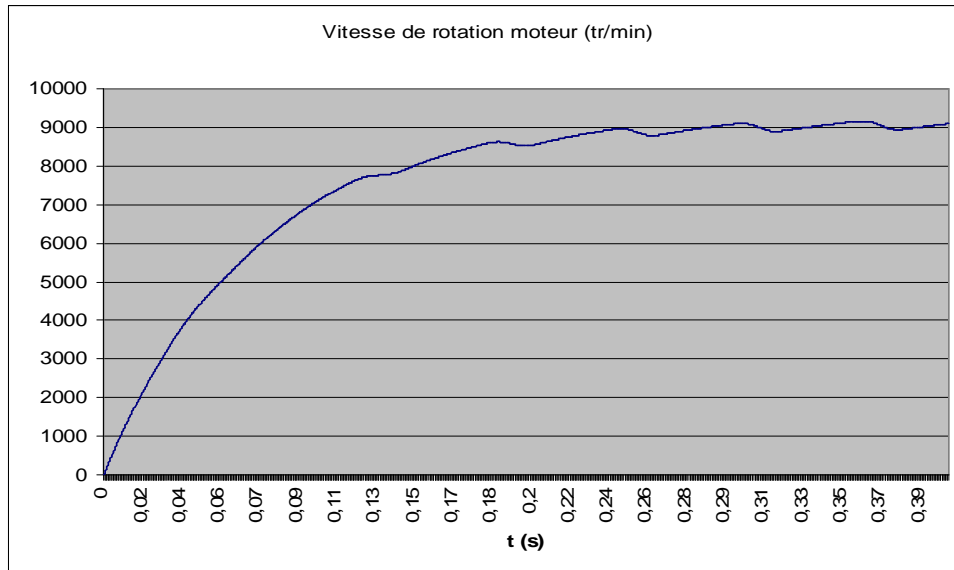
Editer...

Moments d'inertie: [kg-mm²]

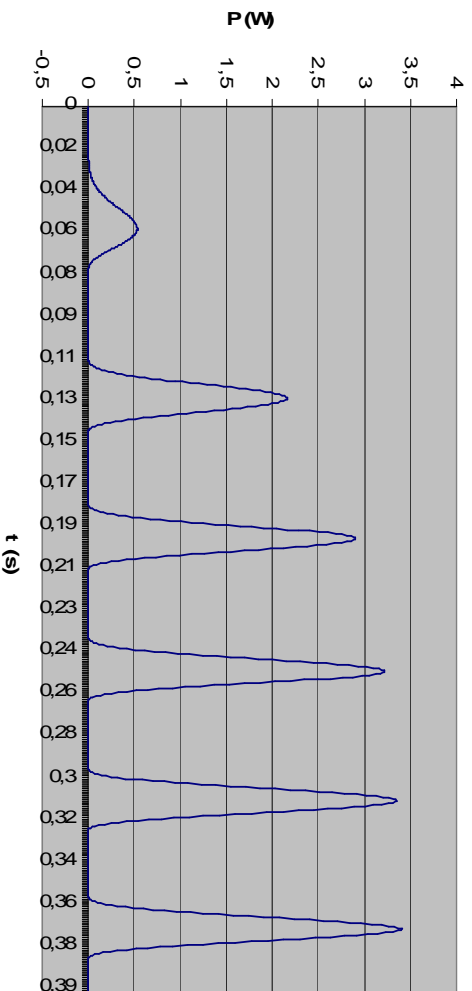
lxx 2,5466 lyy 2,5466 lzz 1,13412

Une simulation sur 0,4s départ arrêté et des calculs annexes sur tableur donnent les résultats suivants :

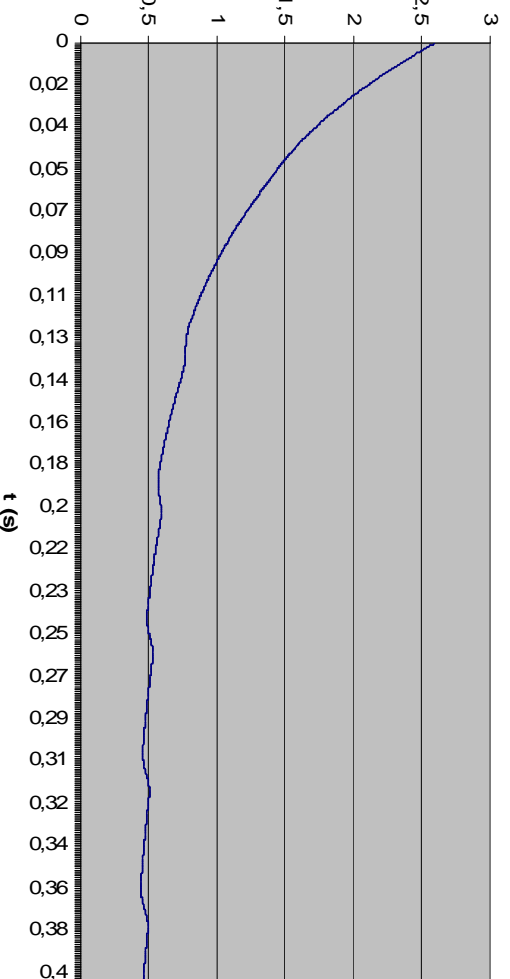




Puissance reçue par le fluide (W)



Courant dans l'induit (A)



Pression dans la pompe (bar)

