

LMECA1210 - Projet en construction mécanique 1

Dimensionnement d'une bielle

année académique 2014-2015



Groupe 1

CHANDELLE François, 3673-13-00

DISPAS David, 7189-12-00

PAQUET Arnaud, 3668-13-00

Chapitre 1

Réponse aux questions

1.1 Mesures

Le mécanisme qui nous intéresse est un système regroupant piston, bielle et manivelle. Notre groupe ayant reçu le vilebrequin d'une Audi A4 lors des séances de mesures, nous traiterons ici en particulier du moteur de cette voiture. De nos mesures, nous avons pu déduire la longueur R de la manivelle. Cette distance est égale à la moitié de la course du piston. Les groupes 12 et 16 nous ont donné respectivement la longueur de la bielle, L , et les longueurs des axes du piston (celui-ci a en effet une forme elliptique dans notre cas). Le grand axe du piston est égal à l'alésage D des cylindres. Il est possible de trouver la cylindrée unitaire V_c grâce à la formule suivante :

$$V_c = \frac{\pi D^2 R}{2}$$

En multipliant ce volume par quatre, le nombre de cylindres, nous obtenons la cylindrée du moteur. Les valeurs réelles de R , D et V_c nous ont été fournies dans un document annexe. Nous utiliserons ces données pour bénéficier d'une plus grande précision.

Pour finir, ne connaissant pas précisément le modèle de la voiture, nous ne pouvons qu'estimer le taux de compression, qui désigne le rapport du volume de la chambre de combustion lorsque le piston est au point minimum (en bas) sur le volume au point maximum (en haut). Une voiture dont le moteur fonctionne au diesel, a un taux de compression assez haut. Pour une Audi A4, il avoisine 19.5 dans le cas d'une cylindrée égale à 1896 (comme pour la série B5¹). Le résumé des mesures se trouve dans le tableau ci-dessous (voir figure 1.2).

1.2 Evolution de la pression dans le cylindre

Nous pouvons à présent analyser l'évolution de la pression dans le cylindre lors des différentes phases du moteur. Il est judicieux d'utiliser l'angle du vilebrequin θ comme variable de la fonction de pression, qui sera alors périodique de période

1. http://www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=4416

Longueur mesurée	Abréviation	Mesure	Distance réelle
Grand axe du piston	D	79.4mm	79.5mm
Rayon de manivelle	R	47mm	47.75mm
Longueur de la bielle	L	199.5mm	(non donné)
Cylindrée unitaire	V_c	465cc	474cc
Taux de compression	τ	/	19.5

FIGURE 1.1 – Les différentes mesures

4π (deux tours de vilebrequin). En partant de l'équation bien connue du premier principe de la thermodynamique nous pouvons la diviser par la différentielle de l'angle du vilebrequin, $d\theta$, et arriver sous forme simplifiée à

$$\frac{dp}{d\theta} = -\gamma \frac{p}{V} \frac{dV}{d\theta} + (\gamma - 1) \frac{1}{V} \frac{dQ}{d\theta}$$

Nous avons choisi d'utiliser une méthode de Runge Kutta d'ordre 2 pour intégrer numériquement cette équation. Cela ne se révèle utile que pour la phase de combustion, la seule où il y a un apport de chaleur non négligeable. Celui-ci est égal à $1650[kJ/kg] * V_{max} * \rho_{air}$. Les autres transformations sont considérées adiabatiques et la pression est trouvée simplement en considérant PV^γ constant. L'échappement se fait avec un terme de relaxation $\frac{dp}{d\theta} = -k(p - p_{atm})$ où $k = 2,5$ pour que la pression retombe à 1 bar après une rotation du vilebrequin d'approximativement 30° .

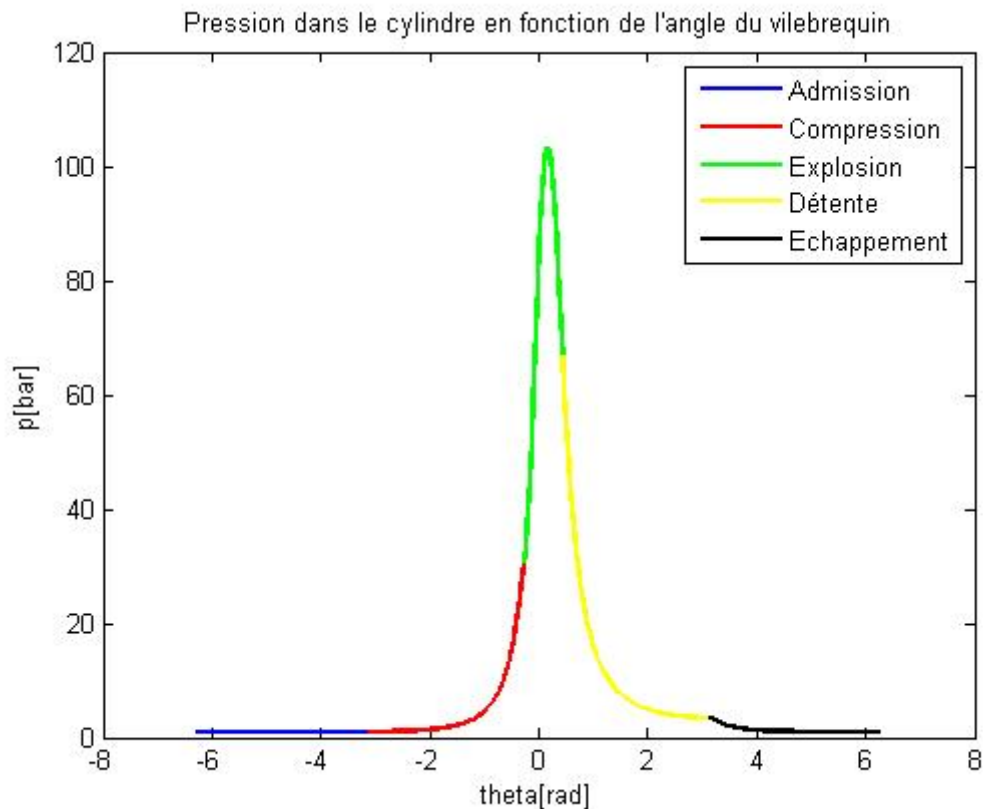


FIGURE 1.2 – Pression lors d'un cycle

1.3 Efforts sur la bielle

Le bilan des efforts sur la tête et le pied de bielle se mesure avec les deux formules ci-dessous.

$$F_{pied} = \frac{\pi D^2}{4} p(\theta) - m_{piston} R \omega^2 \cos(\theta)$$

$$F_{tete} = -\frac{\pi D^2}{4} p(\theta) + (m_{piston} + m_{bielle}) R \omega^2 \cos(\theta)$$

Voici les graphes représentant les efforts sur la bielle en fonction de l'angle du vilebrequin, à deux vitesses angulaires précises (2500rpm et 4000rpm) :

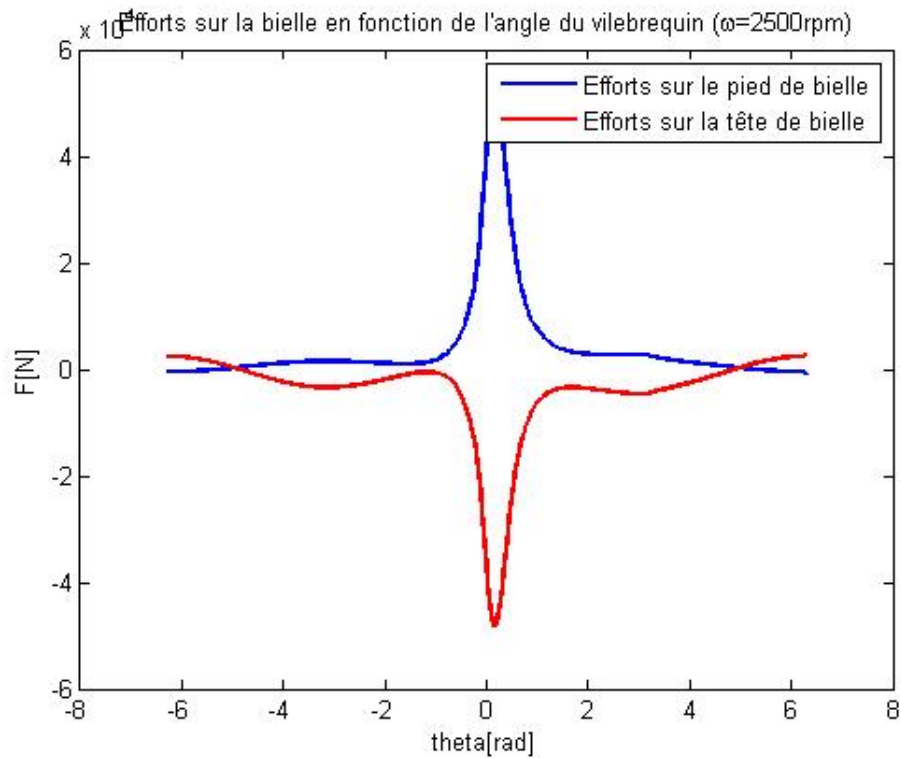


FIGURE 1.3 – Efforts lors d'un cycle, $\omega = 2500rpm$

	Forces maximales [kN]	Forces minimales [kN]
Pied de la bielle	50.225	-0.995
Tête de la bielle	2.931	-48.313

FIGURE 1.5 – Efforts maximaux et minimaux, $\omega = 2500rpm$

	Forces maximales [kN]	Forces minimales [kN]
Pied de la bielle	48.692	-2.547
Tête de la bielle	7.503	-43.798

FIGURE 1.6 – Efforts maximaux et minimaux, $\omega = 4000rpm$

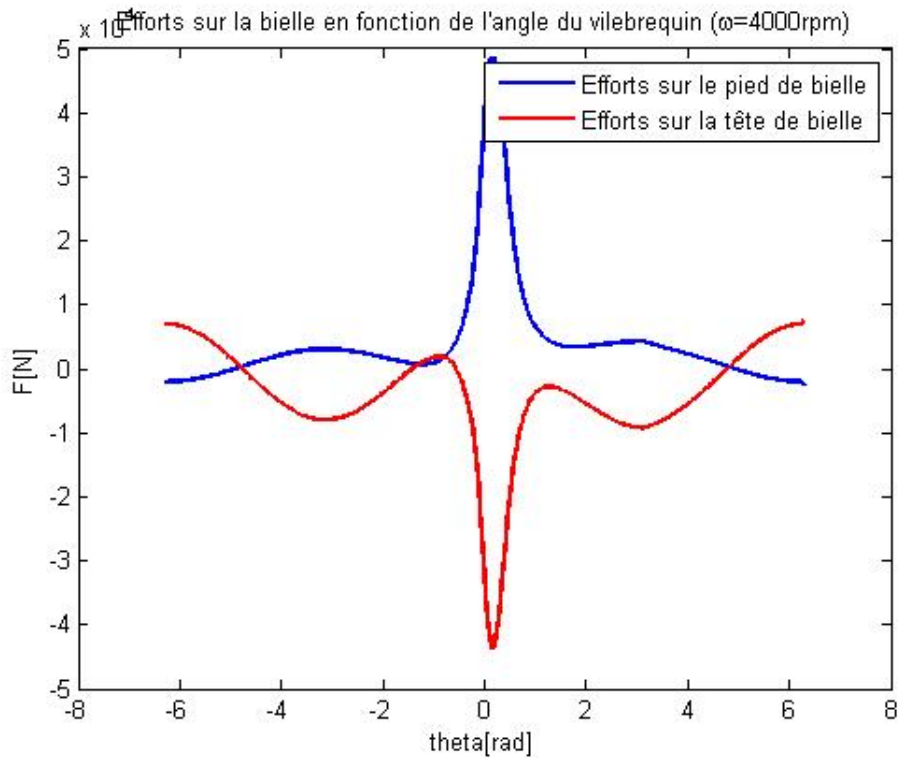


FIGURE 1.4 – Efforts lors d'un cycle, $\omega = 4000rpm$

Les efforts maximaux et minimaux à ces deux vitesses sont repris dans les tableaux ci-dessous :

1.4 Justification de la forme de la bielle

Pour le corps de la bielle, il faut trouver le juste compromis entre masse et résistance. Pour une même forme de section, une augmentation de sa taille va de paire avec une hausse de la résistante et du poids de la bielle. La section profilée

en I permet une résistance élevée au flambage tout en conservant une masse moins importante. Nous pouvons déterminer la force critique d'une poutre profilée en I grâce à la formule d'Euler : $F_{crit} = \frac{\pi^2 * E * I}{(l_k)^2}$ où E est le module de Young, I le moment quadratique de la bielle et l_k est la longueur de flambage de la poutre. Le module de Young étant propre au matériau et l_k l'entraxe de la bielle, le seul moyen de maximiser la force à partir de laquelle il y aura l'apparition du flambage est de trouver la forme pour laquelle le moment quadratique [unité : m^4] est maximal. Voici la formule du moment quadratique d'une poutre profilée en I : $\frac{t}{6} * h^3 * (1 + \frac{3s}{h})$ où t est la demi-largeur de l'âme, s la largeur de la semelle et h la hauteur de l'âme.

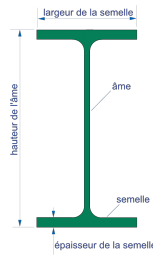


FIGURE 1.7 – Poutre profilée en I

1.5 Dimensionnement de la bielle

Il s'agit maintenant de déterminer les dimensions de la section profilée I du corps de la bielle. On sait grâce à la question 3, que la force maximale subie par la bielle au cours d'un cycle vaut 50,225 kN. Cette force étant celle à partir de laquelle la bielle est sujette au flambage, il faut prévoir une marge de sécurité. Nous décidons arbitrairement de prendre 25% de marge. Grâce à cela, en utilisant la formule d'Euler on peut isoler le moment quadratique. Puisque nous supposons que la bielle a été obtenue par moulage, nous connaissons E (=170.000 MPa) et l_k (=140,81 mm). Nous trouvons que $I = 6.6407 * 10^{-10} [m^4]$. Enfin, en partant de la formule du moment quadratique d'une poutre profilée I, nous obtenons une équation liant hauteur d'âme, largeur de semelle et demi-largeur d'âme. On peut donc avec une assez grande liberté du choix des dimensions, pour autant qu'elles soient réalistes ! (Par exemple, la hauteur d'âme ne peut être plus grande que le grand axe de l'ellipse du piston, sinon la bielle ne rentre plus dans le cylindre !) Afin de déterminer ces trois inconnues, nous avons ajouté deux équations : $\frac{2*s}{3} = s$ et $2t = \frac{s}{4}$.

A titre de comparaison, voici les résultats mesurés et ceux dimensionnés :

	Dimensions mesurées [mm]	Dimensions calculées [mm]
Hauteur d'âme	23	11.88
Largeur de la semelle	16.33	7.92
Epaisseur de l'âme	3.8	1.98

On observe que les dimensions réelles sont très proches du double de nos prévisions. Cela peut s'expliquer de plusieurs manières : il est fort probable que le constructeur a choisi de prendre une grande marge de sécurité pour assurer un bon

fonctionnement dans des conditions réelles, plus difficiles. De plus, la sécurité a une grande importance dans le secteur de l'automobile. On peut aussi estimer que le raisonnement suivi pour aboutir à nos résultats était simplifié et ne prenait pas compte de tous les paramètres, ce qui peut fausser les résultats.

Chapitre 2

Annexe

Code Matlab ?