

TABLE DES MATIÈRES

1	GÉNÉRALITÉS	5
1.1	MOTEUR À COMBUSTION INTERNE	5
1.1.1	Fonctionnement du moteur	5
1.1.2	Rendement du moteur	6
1.2	VUE D'ENSEMBLE DU SYSTÈME SEGMENTATION-PISTON-CHEMISE ET ÉTAT DE L'ART . .	7
2	MODÉLISATION DU SYSTÈME SEGMENT PISTON CHEMISE (SPC)	9
2.1	CARACTERISATION DE LA TOPOGRAPHIE DE LA CHEMISE	9
2.1.1	Méthodes des texturation des chemises	9
2.1.2	Paramètres de rugosités	10

TABLE DES FIGURES

1.1	Convertisseur	5
1.2	Partie du moteur	6
1.3	fonctionnement du moteur	6
1.4	Segmentation	7
1.5	Segments	8
1.6	Courbe de stribeck	8
2.1	Défaut géométrique du surfacee	10
2.2	surface texturée	10
2.3	profil surface	11
2.4	analyseRigosité	11

1.1 MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

EN quelques mots, le moteur à combustion interne peut être défini comme un convertisseur de l'énergie chimique (la chaleur) contenue dans le fluide de travail en énergie mécanique ici recueillie dans le couple de l'arbre moteur. nous allons donc en distinguer deux sortes : moteur à apport de chaleur externe et moteur à combustion interne.[8]

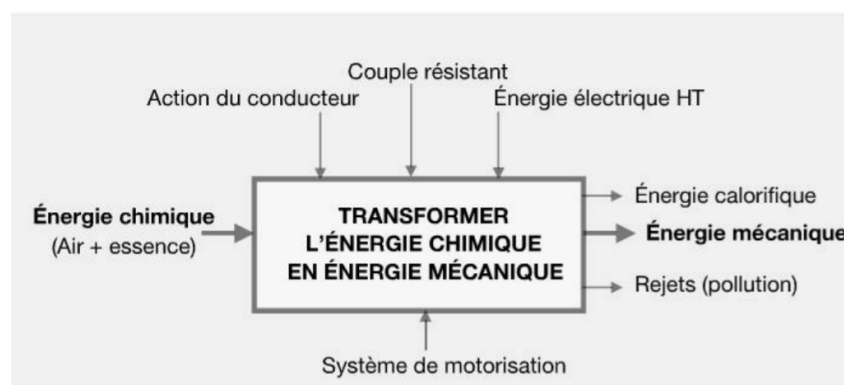


FIGURE 1.1 – Convertisseur d'énergie thermique en mécanique

1.1.1 Fonctionnement du moteur

On distingue deux types de moteurs dans la famille de moteur à combustion interne :

- Moteur à explosion (à essence) dans lequel la combustion du mélange air - carburant est amorcée par l'étincelle d'une bougie d'allumage. Ils possèdent donc un système d'allumage commandé.[7]
- Moteur à combustion interne (Diesel) dont la combustion est déclenchée par l'injection des gazes sous pression dans de l'air fortement comprimé. Il se produit une auto-inflammation.[7]

Tous les moteurs à combustion interne à mouvement alternatif se comportent de la même manière ; on y trouve essentiellement les mêmes éléments (voir l'image 1.2) : La **Chambre de combustion** qui est un volume où pénètrent et réagissent les gaz ; le **cylindre**, qui est le prolongement de la chambre de combustion ; le **piston**, qui se déplace dans le cylindre et fait varier le volume de la chambre de combustion ; le **Système bielle - manivelle**, qui est solidaire, à une extrémité, du piston et, à l'autre, du **vilebrequin**, et qui transforme le mouvement de va-et-vient du piston en un mouvement de rotation. le **bloc-moteur**, qui constitue l'enveloppe mécanique de l'ensemble.[1]

L'ingénieur français *Beau de Rochas* a défini, en 1862, le principe du cycle de fonctionnement des moteurs à combustion interne dont les phases sont :

1. Admission : aspiration d'air ou de mélange air-essence ;

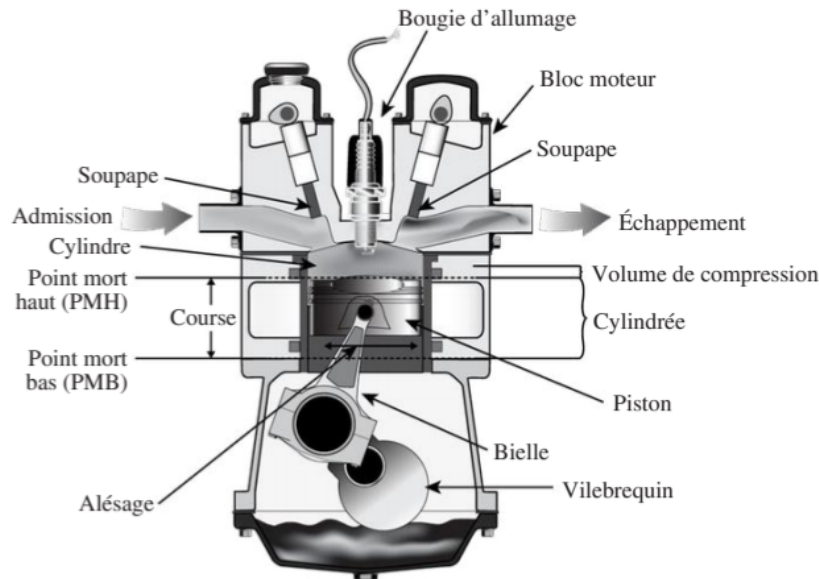


FIGURE 1.2 – Partie du moteur

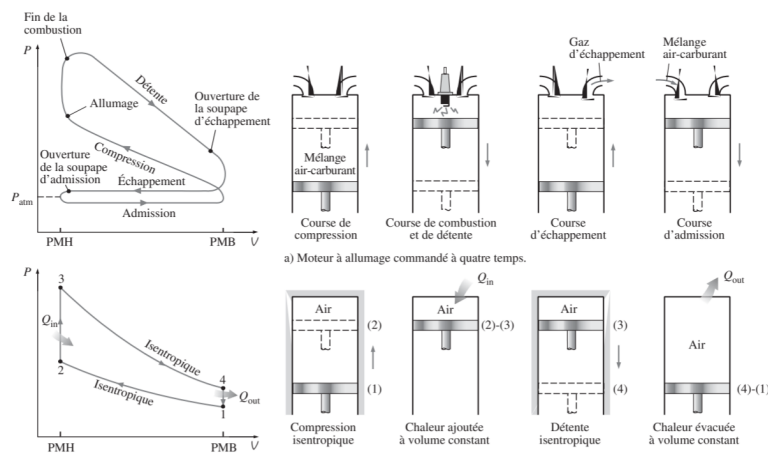


FIGURE 1.3 – Fonctionnement du moteur

2. Compression du mélange air-carburant ;
3. Combustion et détente du piston ;
4. refoulement des gaz de combustion.

Il existe dans le monde trois types d'applications de ce cycle, dont vois-ci :

- Moteur à quatre temps qui réalisent le cycle en quatre courses de piston et deux tours de vilebrequin ;
- les moteurs à deux temps qui réalisent le cycle en deux courses de piston et un tour de vilebrequin ;
- les moteurs rotatifs (walken) dont le mouvement rectiligne alternatif du piston classique est remplacé par la rotation d'un rotor qui réalise le cycle trois fois par tour.

Le fonctionnement théorique et réel du moteur est résumé dans l'image(1.3), permet de comprendre la situation analytique du rendement et les transmission des puissance.

1.1.2 Rendement du moteur

L'usage répandu du MCI dans diverses applications est dû à ses performances et à sa fiabilité.

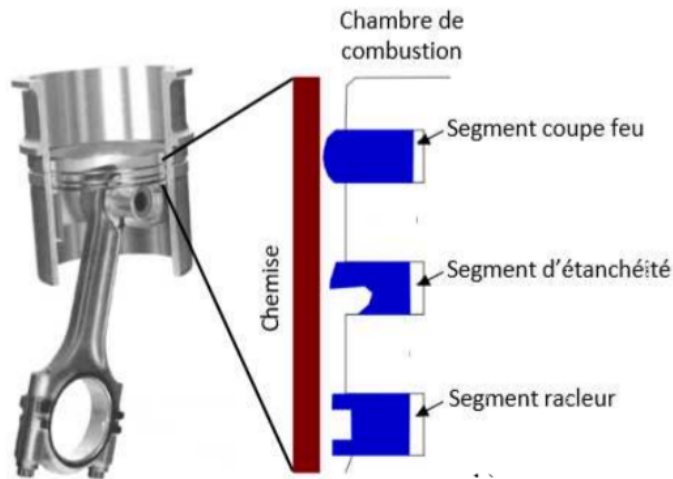


FIGURE 1.4 – Segmentation

1.2 VUE D'ENSEMBLE DU SYSTÈME SEGMENTATION-PISTON-CHEMISE ET ÉTAT DE L'ART

LES segments sont des anneaux brisés, de section carrée ou parallélépipédique, travaillant en extension. Ils doivent assurer des pressions radiales uniformes sur les parois du cylindre. La fonte douce qui les compose reçoit un chromage évitant une usure rapide par frottement. Leur position dans les gorges permet à la pression des gaz d'accentuer leur étanchéité.[7] Ils peuvent être au nombre de 2,3 ou 4 allant jusqu'à 5 sur les grands moteurs diesels suralimentés cela dépend du diamètre du piston. La fonction primaire de la segmentation c'est d'empêcher les fuites de gaz entre le piston et la chemise. Cependant, sans lubrification, ce contact étroit entre le segment et la chemise aurait comme conséquence de grandes pertes de puissance par frottement. En conséquence, l'autre objectif principal des segments est de distribuer efficacement le lubrifiant le long de l'interface segment/chemise, sans permettre à l'huile excessive de passer l'interface et de fuir vers la chambre de combustion où il pourrait être brûlé. Une troisième fonction des segments qui est particulièrement importante pour le segment supérieur est la dissipation de la chaleur du piston vers le cylindre, comme montre la (figure 1.4).

Afin que ce système puisse atteindre efficacement ces objectifs globaux, chaque segment a un rôle unique. Le segment de dessus « coup de feu » scelle l'interface segment/chemise afin d'empêcher le gaz à haute pression de s'échapper de la chambre de combustion vers le carter (Blow by). Le segment **racleur** règle la quantité d'huile qui passe du carter pour lubrifier les segments supérieurs. Un deuxième segment est également présent dans la plupart des moteurs **segment d'étanchéité**, ce segment érafle en bas l'huile excessive qui passe l'interface segment racleur d'huile/chemise et vient en aide au premier segment afin de chasser le reste des gaz fuyards. La deuxième interface segment **d'étanchéité/chemise** fournit ainsi une barrière contre l'écoulement d'huile dans la gorge supérieure, et des gaz pour les parties plus inférieures du piston, ce qui réduit la consommation d'huile. [2]

L'interaction entre les segments et la chemise est décrite par le comportement tribologique le plus compliqué dans les moteurs à combustion interne. Lors du glissement du piston dans la chemise, le contact est soumis à des variations cycliques importantes et rapides de pression, de vitesse et de température. Cette variation a pour conséquence de faire balayer le contact segment-chemise par tous les régimes de lubrification. Les régimes de lubrification sont souvent illustrés par la courbe de Stribeck, illustrée dans la figure 1.6. Même si la courbe de Stribeck a été initialement développée pour les paliers lisses, elle est considérée comme applicable à d'autres systèmes lubrifiés.[5] Car c'est une bonne représentation de la façon dont les régimes de lubrification dépendent de la vitesse, de la viscosité du lubrifiant et de la charge.

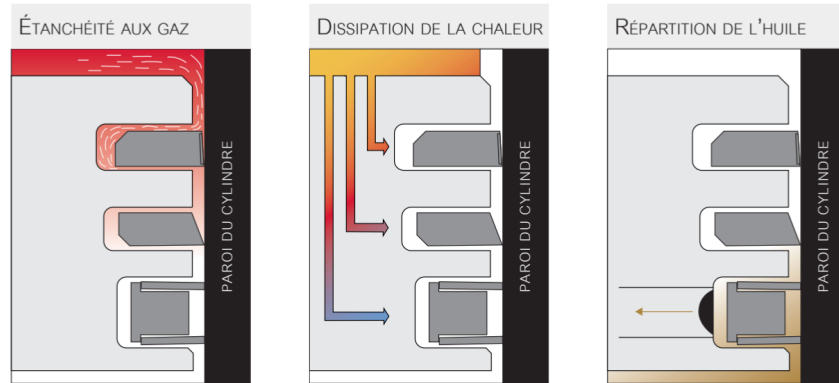


FIGURE 1.5 – segments

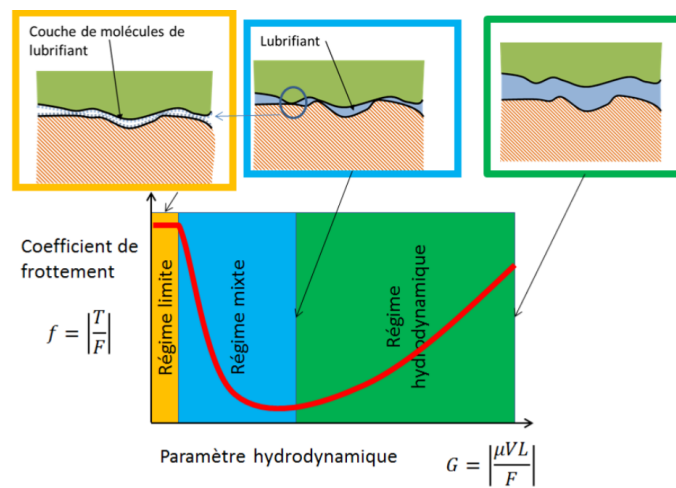


FIGURE 1.6 – Regime de lubrification courbe de Stribeck

CHAPITRE 2

MODÉLISATION DU SYSTÈME SEGMENT PISTON CHEMISE (SPC)

La compréhension du comportement des surfaces en contact dans les système *SPC*, a une importance capitale dans l'amélioration de performance du moteur à combustion interne. La lubrification qui se produit dans l'interface *SPC* impose une certaine forme assez particulière de mode de lubrification qui couvre le régime mixte, hydrodynamique et critique. Ainsi pour la représentation mathématique de ce système physique, doit prendre en considération chaque mode de lubrification que nous allons développer dans la suite.

2.1 CARACTERISATION DE LA TOPOGRAPHIE DE LA CHEMISE

La prise en compte de la caractérisation de la surface, influence en grande partie sur les performances du moteur. celle-ci influence la qualité de la séparation du contact mais aussi le transport du lubrifiant par les segments le long de la chemise. Dans la suite. Gardons à l'esprit que la prise en compte des effets de la rugosité en lubrification des corps en mouvement relatif, est un problème assez compliqué faisant intervenir de nombreux aspect ; entre autre le caractère changeant du domaine occupé par le fluide en mouvement relatif, ou la déformation de surface de corps en mouvement relatif. En outre les difficultés liées à la physique des fluides, qui peut être plus ou moins complexe suivant les cas ou la nature du lubrifiant : effets de compressibilité, effets piézo-visqueux, cavitation, couplage avec la thermique pour ne cité que ça. Aussi, une autre difficulté est liée à la différence nette entre l'échelle de grandeur de la rugosité et celle de l'ingénieur qui est généralement de de plusieurs ordres de grandeur plus grandes que celle de la rugosité (généralement inférieur à 0.001) [5]

Quelque soit le moyen de mise en oeuvre utilisé, les surfaces présentent des écarts géométriques par rapport à leur forme théorique. Ces défauts jouent un rôle primordial en tribologie. On peut classer les défauts en fonction de leur longueurs d'onde L Image 2.1 [5] :

- si L est de l'ordre de la taille de la surface, on parle de défaut de forme ;
- Lorsque $0.001m < L < 0.01m$, on parle de défaut d'ondulation ;
- les défauts de longueur d'onde inférieure sont appelés rugosité.

La rugosité est donc l'ensemble des irrégularités microscopique et macroscopique d'une surface. Toutes les surfaces, naturel ou fabriqué, ne sont pas parfaitement lisses. La surface la plus douce dans les corps normaux est celle du *mica*. Le *mica* a une rugosité approximativement de $0.002032microns$. [2]

2.1.1 Méthodes des texturation des chemises

La majeure partie des pièces de moteur vient de l'industrie métallurgique. Dans leur procédé de fabrication plusieurs méthodes de finissage de la surface sont employées. La principale étant l'abrasion

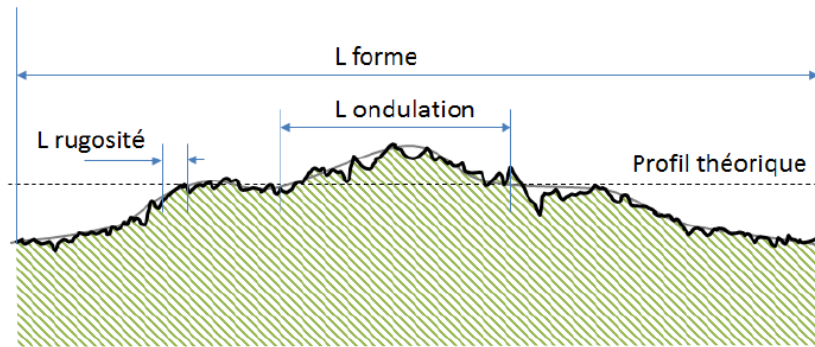


FIGURE 2.1 – Défaut géométrique du surface

par *galetage*¹ et *grenailage*² sont les premières opérations qui vont permettre une maîtrise de rugosité jusqu'à un ordre de grandeur de 0.5mm.[2] À partir de l'état de surface obtenu, on cherchera à introduire une "texturation" qui va permettre de créer une rugosité plus "précise" sur l'interface de la surface Image 2.2.

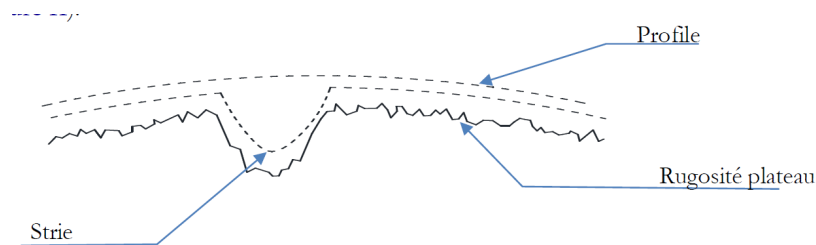


FIGURE 2.2 – Profil de rugosité de surface texturée

Texturation avec procédé chimique

DANS cette technique, un film protecteur est posé sur la surface de la pièce. Ce film est muni de motif par lequel un acide va s'infiltrer pour attaquer l'interface. La concentration utilisée et le temps laissé avant le rinçage déterminent la profondeur de la texture souhaitée. Cette technique a l'avantage de ne pas entraîner de déformation du matériau autour de la texture, de ne pas générer de débris pouvant subsister dans le contact, mais elle est très lourde à mettre en place sur une chaîne de production, car il faut isoler toutes les parties qui ne seront pas concernées par la texturation.

Texturation à l'aide d'un diamant

DANS ce procédé d'usinage, un diamant est utilisé pour réaliser la texturation, 3 paramètres permettent de contrôler la texture obtenue :

- La vitesse de déplacement verticale;
- La vitesse de rotation du rodage;
- La vitesse d'abrasion des diamants.

Ce procédé a plusieurs avantages : rapidité, bonne finition, peu coûteux, facile à mettre en place sur les chaînes de production, mais la surface s'en trouve légèrement déformée autour de la texture.

2.1.2 Paramètres de rugosités

LE Tout premier appareil de mesure du profil de la surface est le palpeur en diamant. Cette appareil se déplace longitudinalement sur la face en donnant généralement un ensemble des points n de variation de la hauteur z_i espacé d'une intervalle latéral δx . A partir de cette série, on peut calculer des paramètres

1. Technique de finissage de la surface qui peut avoir plusieurs objectifs comme le renforcement mécanique de la surface

2. c'est une technique qui consiste à projeter à grande vitesse des billes sur la surface d'un objet pour en modifier la structure superficielle, a fin d'améliorer l'aspect et les caractéristiques techniques.

d'amplitude. Le plus utilisé dans la communauté des mécaniciens est le R_a [5]. Pendant longtemps un seul paramètre était connu et utilisé R_a (Roughness Average), d'autres paramètres sont venus après comme RMS (Root Mean Square). Aujourd'hui, les paramètres de mesure de surface sont définis suivant plusieurs normes internationales où il y a même des variantes sectorielles (la sidérurgie ou l'automobile). On distingue trois groupes de paramètres de mesure utilisés selon le type de profil [2] :

- Paramètres de préfixe P calculés sur le **profil primaire** ;
- Paramètres de préfixe R calculés sur le **profil de rugosité** ;
- Paramètres de préfixe W calculés sur le **profil d'ondulation**.

Dans le cadre notre travail ; nous allons être indulgent envers nous-même en limitant notre travail dans l'étude de la surface par le préfixe de R du *profil de rugosité* pour simplifier le travail.

La figure 2.3 présente un exemple de profil de surface. L'échelle verticale est amplifiée par rapport à l'échelle horizontale pour que les rugosités puissent être discernées. En coupant le profil par une ligne horizontale, il est possible de calculer le pourcentage de points situés au dessus de la ligne. En balayant verticalement le profil avec la ligne horizontale, on obtient l'évolution de ce pourcentage en fonction de la hauteur z . La courbe obtenue est appelée *courbe de portance* ou *courbe d'Abbott* (Figure 2.4). Elle indique le pourcentage de points qui entrerait en contact avec un plan rigide situé à la hauteur z . [5]

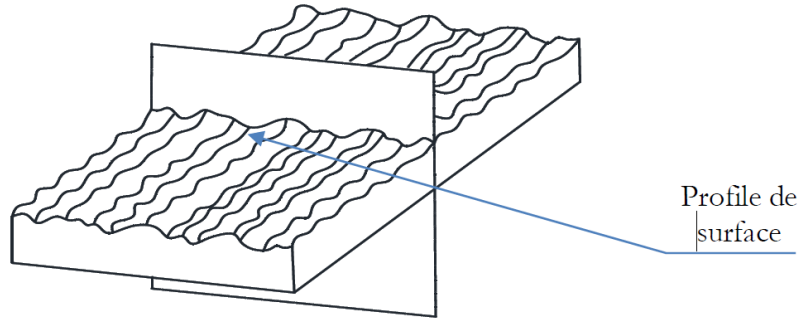


FIGURE 2.3 – Profil de surface

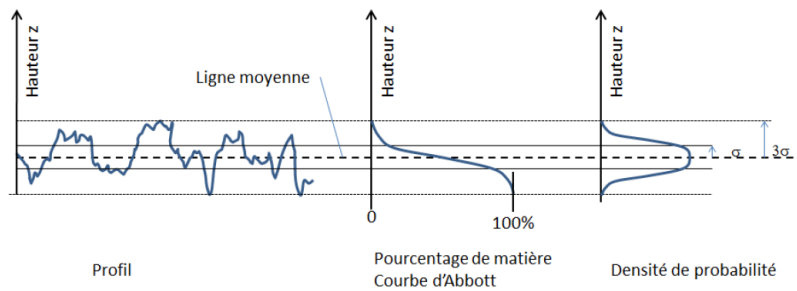


FIGURE 2.4 – Analyse de rugosité

Les paramètres d'évaluation de la topographie d'une surface sont référencés par une lettre majuscule R indicé d'une lettre minuscule propre au paramètre. Dans le soucis de la préservation de la tradition du métier de mécanicien, nous allons garder la même notation :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| \quad (2.1)$$

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx \quad (2.2)$$

On utilise également R_q ou RMS :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^a z_i^2} \quad (2.3)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2} \quad (2.4)$$

Ce paramètre R_q est équivalent à l'écart type, on utilisons aussi un paramètre de symétrie

$$RSk = \frac{1}{nR_q^3} \sum z_i^3 \quad (2.5)$$

$$RSk = \frac{1}{LR_q^3} \int_0^L z^3(x) dx \quad (2.6)$$

Une valeur positive de ce paramètre indique des pics plus marqués que les vallées. La situation inverse correspond à une valeur négative de RSk . Enfin, le paramètre d'étalement indique sur quelle étendue sont distribués les points de la surface :

$$RKu = \frac{1}{nR_q^4} \sum z_i^4 \quad (2.7)$$

$$RKu = \frac{1}{LR_q^4} \int_0^L z_i^4 \quad (2.8)$$

- [1] *THERMODYNAMIQUE, une approche pragmatique*. Chanelière éducation, 2014, ch. chapter 9.
- [2] AYAD, A. Etude du contact segment racleur/ chemise dans un moteur À combustion interne. Master's thesis, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2008.
- [3] BOOSER, M. M. K. E. R. *Applied Tribology, Bearing Design and Lubrification*. Wiley, 2017.
- [4] BRUCE, R. W. *HANDBOOK of LUBRICATION and TRIBOLOGY*. Taylor Francis, 2012.
- [5] BRUNETIÈRE, N. *Initiation à la tribologie*. Institut Pprime - Futuroscope, 2016.
- [6] CACIU, C. A. *Analyse et optimisation des surfaces des chemises de moteurs thermiques*. PhD thesis, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Fontainebleau, Soutenue le 15 Mai 2006.
- [7] HUBERT MÈMETEAU, B. C. *Technologie fonctionnelle de l'automobile*. Dunod, 2014.
- [8] SUMUNA. *MOTEURS ALTERNATIFS A COMBUSTION INTERNE*.