



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran «Mohamed Boudiaf»

FACULTE DE GENIE MECANIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

POLYCOPIE

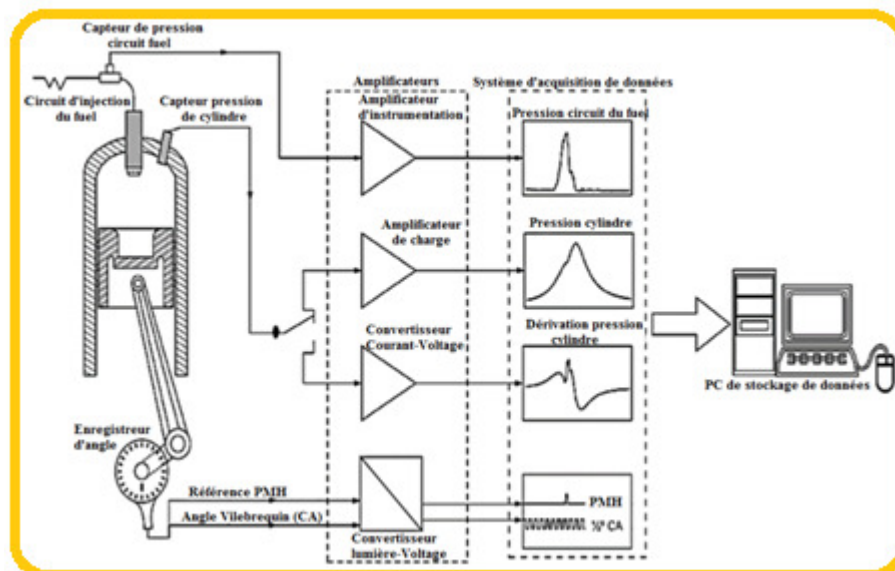
Performances Caractéristiques des MCI

(Ce polycopié est destiné aux étudiants de Licence 3 LMD, Energétique)

PRESENTE PAR

Dr. Mustapha Bordjane

(Maître de Conférences A)



ANNEE 2024

Sommaire

Page

Sommaire

Avant-propos

Chapitre I: Mesure et expérimentation en MCI

I-1) Problématique

I-2) Nécessité d'un banc d'essai moteurs

I-3) Types des bancs d'essai moteur thermique

I-3-1) Banc d'essai à régime stationnaire

I-3-2) Banc d'essai à régime transitoire

I-4) Objectifs des tests moteurs à combustion interne

I-5) Types des tests de moteur à combustion interne

I-5-1) Les tests commerciaux

I-5-2) Les tests thermodynamiques

I-5-3) Bilans thermiques

I-6) Performances des moteurs à combustion interne

I-6-1) Couple et puissance mécanique utile

I-6-2) Facteurs affectant le couple et la puissance du moteur

I-6-3) Travail indiqué par cycle

I-6-4) Puissance indiquée

I-6-5) Puissance de frottement

I-6-6) Puissance de route

I-6-7) Pression effective moyenne

I-6-8) Pression effective moyenne indiquée

I-6-9) Différents rendements du moteur

I-6-9-1) Rendement mécanique

I-6-9-2) Rendement volumétrique

I-6-9-3) Rendement global de conversion du fuel

I-6-9-4) Rendement thermique indiqué

I-6-9-5) Rendement de combustion

I-6-10) Consommation spécifique du fuel

I-6-11) Rapport Air-Fuel

I-6-12) L'énergie thermique évacuée par les gaz d'échappement

I-6-13) Poids et volume spécifiques du moteur

Chapitre II: Description du banc d'essai moteur

II-1) Introduction

II-2) Description générale

II-3) Principaux éléments du banc d'essai moteur

II-4) L'unité du banc d'essai et ses composants

II-4-1) Moteur à combustion interne

II-4-1-1) Dessin d'ensemble avec dimensions du moteur thermique

II-4-1-2) Fiche technique du moteur thermique

II-4-2) Moteur asynchrone

II-4-2-1) Types des freins dynamométriques

II-4-2-1a) Frein à frottement (de Prony)

II-4-2-1b) Frein hydraulique

II-4-2-1c) Frein électrique

II-4-2-1d) Frein à courant continu (à courant de Foucault)

Sommaire (suite)

II-4-3) Accouplement élastique	23
II-4-4) Réservoir de carburant	23
II-4-5) Contrôle de la vitesse de rotation du moteur	24
II-5) Instruments de mesure	24
II-5-1) Mesure de température	24
II-5-2) Mesure de débit de carburant	25
II-5-3) Mesure de débit d'air d'admission/ débit des gaz d'échappement	25
II-5-4) Mesure de la fréquence (vitesse de rotation ou régime moteur)	25
II-6) Boîtier de contrôle	26
II-7) Carte d'acquisition de données (DAB)	27
II-7-1) Bus PCI	27
II-7-2) Sous-systèmes de la carte d'acquisition de données	27
II-7-2-1) Systèmes d'entrée analogique	28
II-7-2-2) Systèmes de sortie analogique	28
II-7-2-3) Systèmes d'entrées/sorties numériques	28
II-7-2-4) Systèmes compteur/temporisateur	28
II-8) Logiciel d'acquisition et de contrôle	28
II-8-1) Logiciel SCADA	28
II-8-2) Ecran principal du logiciel SCADA	29
II-8-3) Diagramme du système	29
II-8-4) Possibilités opérationnelles du programme	29
II-8-5) Contrôle manuel des actionneurs	30
II-8-6) Capteurs	31
II-8-7) Configurations des graphes	31
II-9) Services requis	32
II-10) Instructions principales, consignes et précautions du travail	32
II-11) Maintenance du banc d'essai	32
II-12) Possibilités expérimentales du banc d'essai	33
Chapitre III: Acquisition et traitement de données	34
III-1) Introduction	34
III-2) Acquisition des données	34
III-3) Instruments et dispositifs intelligents	34
III-4) Systèmes de capteurs de mesure pour MCI	35
III-5) Mesure des fuites dans le carter moteur	36
III-6) Conditionnement du signal de jauge de contrainte	36
III-7) Boîtiers des capteurs et répartition des E/S	36
III-8) Mesure de la vitesse de rotation (régime du moteur)	37
III-9) Mesure de la pression	38
III-9-1) Capteurs électroniques de pression	38
III-9-2) Principe de fonctionnement du capteur piézoélectrique de pression	38
III-9-3) Circuit de base et fonctionnement de la chaîne de mesure de pression	39
III-10) Mesure de température-thermocouples	40
III-11) Format de l'enregistreur des tableaux de données (graphes)	41
III-12) Précision de conversion analogique-numérique (ADC)	41
III-13) Contrôle informatisé complet et acquisition de données	42
III-14) Traitement et interprétation de données	42
III-15) Démarche pratique à suivre	42

Sommaire (suite)

Chapitre IV: Présentation et interprétation des données	44
IV-1) Introduction	44
IV-2) Manipulations expérimentales de mesure	44
IV-2-1) Manipulation 01: Détermination des courbes caractéristiques du MCI (couple et puissance)	44
IV-2-2) Manipulation 02: Détermination de la consommation spécifique du fuel et le rendement du moteur	50
IV-2-3) Manipulation 03: Détermination du rendement volumétrique du moteur	52
IV-2-4) Manipulation 04: Détermination de la pression effective moyenne et le rapport air-fuel	53
IV-3) Conclusion	54
Bibliographie	

Avant propos

Généralement, il existe trois méthodes pour étudier un phénomène physique quelconque; méthode théorique, méthode expérimentale et la méthode numérique. La méthode expérimentale reste et pour toujours, la plus appropriée et la plus exacte.

Avant d'utiliser ce polycopié comme support de cours surtout par les étudiants de la spécialité Energétique ou même Construction, niveaux (Licence ou Master) pour leur travaux pratiques, spécifiques aux moteurs à combustion interne, un cours préliminaire ou une introduction descriptive pour les différents composants du MCI est indispensable aux étudiants de cette spécialité au niveau d'atelier du moteur à combustion interne. Le but de ce cours préliminaire est de décrire d'une manière générale, les principaux composants d'un moteur à combustion interne. Deux types d'organes relatifs aux MCI, sont à retenir: les organes fixes (bloc moteur, culasse,...etc.) et les organes mobiles (Piston, bielle, vilebrequin...etc.). Il est à souligner que le caractère architectural et le principe de fonctionnement de ces éléments (surtout les éléments spécifiques du MCI) restent presque les mêmes depuis longtemps et pour tous les moteurs de propulsion automobiles.

L'objectif principal des chapitres présentés dans ce polycopié, est l'obtention des performances caractéristiques d'un moteur à essence monocylindre à quatre temps refroidi à l'air. Ce moteur est monté sur un banc d'essai de marque « EDIBON », composé d'un système d'acquisition par ordinateur, boîtier de contrôle dont lequel se regroupe les différents capteurs (pour mesurer la vitesse du moteur, les différentes températures, les débits, et la pressions) et un moteur électrique comme dynamomètre (pour le freinage). Dans ce polycopié, les performances (courbes) caractéristiques du moteur thermique (couple, puissance, consommation spécifique) et d'autres paramètres thermodynamiques ont été établis et comparés à ceux fournis par le constructeur du moteur. L'allure des courbes entre les deux types de données (de mesure et de constructeur) est comparable mais les grandeurs se différencient en raison de la différence du banc d'essai et les conditions atmosphériques d'essai.

On propose ce polycopié, afin d'appliquer les notions de la thermodynamique et du transfert thermique aux systèmes énergétiques comme les moteurs à combustion interne. Selon les moyens disponibles et surtout le banc d'essai opérationnel, deux types de manipulations sont proposés, le premier concerne la détermination des courbes caractéristiques ou les performances relatives aux MCI (le couple, la puissance mécanique, le rendement et la consommation spécifique du fuel), le deuxième illustre la méthode de détermination du couple et de la puissance mécanique corrigée en fonction des conditions atmosphériques des essais en plus de certains paramètres comme le rendement volumétrique du moteur et le rapport air-fuel.

Chapitre I: Mesure et expérimentation en MCI

I-1) Problématique

Le moteur thermique est défini comme une combinaison d'éléments interconnectés ensemble pour produire une puissance désirée afin d'accomplir une tâche particulière. Le moteur thermique a été rénové au cours des années mais un sujet intéressant est encore persiste, l'énergie de la combustion n'est pas utilisée en plein potentiel (une partie considérable du fuel ne produit pas une énergie mécanique).

La puissance indiquée d'un moteur à combustion interne à un régime donné de moteur est proportionnelle à la masse d'air contenue dans le cylindre. Donc, introduire une masse d'air maximale à une large accélération (ou WOT, ouverture complète de la vanne papillon) et retenir cette masse dans le cylindre est l'un des objectifs majeurs de processus d'échange de gaz. Un objectif additionnel du processus d'admission est d'installer ou d'aménager le champ d'écoulement approprié (mélange homogène, turbulence...etc.) dans le cylindre. Les écoulements d'admission et d'échappement des moteurs à combustion interne jouent un rôle important pour la détermination des performances du moteur, le rendement et les émissions polluantes.

L'approche expérimentale a été largement utilisé dans ce domaine. D'autre part, les méthodes expérimentales deviennent coûteuses et longues en terme du temps. La majorité des moteurs thermiques utilisés en propulsion automobiles sont atmosphériques (à aspiration naturelle), une désignation propre du système d'admission, peut offrir l'avantage d'améliorer le couple de petites et moyennes séries en maintenant un rapport de compression adéquat pour un coût réduit des moteurs (SI). Deux objectifs doivent être achevés en désignant un système d'admission, le système ne doit pas avoir une chute excessive de pression et il doit être ajusté proprement pour fournir le rendement volumétrique désiré. Une désignation propre apporte (15%) de plus en rendement volumétrique.

Aujourd'hui, l'enjeu est de développer un moteur plus propre, plus compact et plus économique. Les plus importantes difficultés pratiques concernent le remplissage du cylindre en gaz frais et l'évacuation des produits de la combustion car, les conditions d'écoulement des masses gazeuses modifient les courbes théoriques du fait de l'inertie du gaz, des phénomènes pulsatoires régnant dans les tubulures, du frottement pariétal ainsi que des échanges de chaleur.

En raison de la variation temporelle de la section d'ouverture de la soupape et du volume de cylindre, les effets d'inertie des gaz et la propagation des ondes de pression dans les systèmes d'admission et d'échappement et en cylindre pendant ces processus d'échange de gaz varient de manière complexe. En pratique, ces processus sont souvent traités empiriquement en utilisant des paramètres globaux tel que le rendement volumétrique pour définir les performances des systèmes

d'admission et d'échappement. Les ondes de pression se produisent dans les tubulures des moteurs à combustion interne à cause de la nature périodique des processus d'admission et d'échappement.

Les paramètres déterminant le remplissage se divisent en deux sous ensembles: les paramètres statiques caractérisant le remplissage brut et les paramètres dynamiques déterminant le remplissage effectif net. La résultante de ces deux ensembles étant le rendement volumétrique global du moteur qui est directement proportionnel à la masse de gaz frais se trouvant dans le cylindre au début de la compression. Le remplissage brut peut se définir comme le produit de la section-temps par le coefficient de débit de l'organe d'admission, ce qui caractérise la perméabilité du système. Les facteurs dynamiques correspondent à l'utilisation efficace de l'inertie du fluide et des pulsations dans les tubulures d'admission et d'évacuation des gaz. Ceci débouche sur l'aérodynamique des tubulures qui doit permettre d'obtenir au moment du balayage autour du PMH une onde de pression à l'admission et une onde de dépression à l'échappement, ce qui est simultanément en rapport avec la vitesse de rotation et les diagrammes section temps.

Durant le processus d'admission, les pertes de pression se produisent lorsque le mélange passe à travers ou par chacune de ces composantes. Il y a aussi une chute de pression à travers le port et la soupape d'admission.

En principe les trois phases de la matière, passent à travers le système d'admission mais, dans le répartiteur d'admission l'air (gaz) est le constituant principal, par conséquent, les caractéristiques significatives de l'écoulement du gaz peuvent être simulés en résolvant les équations pour un écoulement de gaz dans un répartiteur d'admission du moteur thermique. Le principe fondamental de la conception des répartiteurs d'admission est d'alimenter chaque cylindre d'une même quantité de mélange carburé de même qualité.

I-2) Nécessité d'un banc d'essai moteurs

Le banc d'essais moteurs est l'élément indispensable aux constructeurs, aux équipementiers, aux pétroliers et aux préparateurs de véhicules, leur permettant d'assurer la majeure partie de leurs essais, qu'ils soient de recherche, de mise au point ou d'endurance. Aussi, le banc d'essai moteur est l'outil indispensable du motoriste. Il sert à déterminer les caractéristiques, les qualités et les défauts des moteurs prototypes, mais aussi à effectuer des essais de longévité, à tester ou roder les moteurs en sortie de production. Pour ce qui concerne les prototypes, il permet de définir les améliorations à apporter et de quantifier les effets des modélisations apportées. Il n'existe malheureusement pas de banc d'essais universel permettant de satisfaire à tous les types d'essais ; c'est pourquoi il est indispensable de bien définir ses besoins au travers d'un cahier des charges précis et détaillé. Tous les

bancs d'essais ont un certain nombre de fonctions communes, auxquelles il faut ajouter les spécifications propres à chaque type d'essai particulier.

Parmi les grandes familles de bancs d'essais moteurs, on distingue en général, cinq grandes familles d'essais de recherche (en combustion, sur les frottements mécaniques, en thermique, en vibrations et acoustiques et de visualisation (écoulements, combustion)).

On appelle banc d'essais moteurs l'ensemble des installations permettant la rotation autonome de moteurs thermiques dans les conditions optimales de travail, de sécurité et de confort; ces installations construites autour d'un frein moteur (dynamomètre), qui en est l'élément essentiel, comprenant également les moyens de mesure, de refroidissement, d'évacuation des gaz brûlés, ...etc.

Le banc d'essais moteurs est l'élément indispensable aux constructeurs, aux équipementiers, aux pétroliers et aux préparateurs de véhicules, leur permettant d'assurer la majeure partie de leurs essais, qu'ils soient de recherche, de mise au point ou d'endurance.

Le banc d'essais moteurs est un moyen complexe et onéreux qu'il convient de définir avec soin par un cahier des charges précis et dont la gestion devra être rigoureuse afin d'assurer un engagement maximal, la maintenance et l'organisation étant des éléments essentiels de cette gestion.

Généralement, les cellules d'essais sont fermées et équipées d'un seul banc, leur superficie importante (30 à 40 m²) permet l'installation de machines ou de montages d'essais particuliers. L'équipement d'une seule cellule permet: l'acquisition et le traitement partiel d'un grand nombre de paramètres (60 à 80 en permanence, avec la possibilité d'installer une ou plusieurs centrales d'acquisition portant le nombre de paramètres à 100 ou 200), avec une précision maximale tenant compte de la grande dynamique de mesure nécessaire; le réglage en température et en hygrométrie de l'air comburant. Les bancs d'essais de recherche en combustion et en frottements mécaniques sont équipés de génératrices permettant l'étude en régimes transitoires.

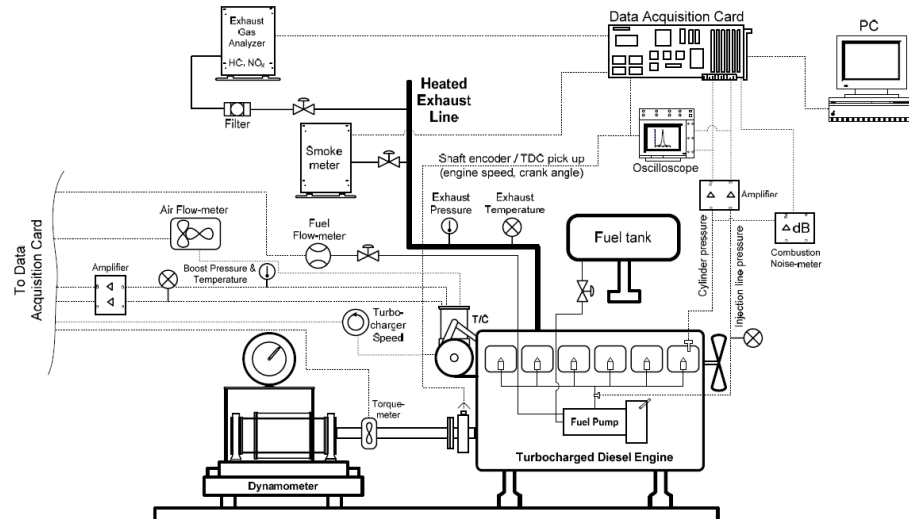


Fig.1-1: Schéma d'installation d'un banc d'essai pour expérimentation en régime transitoire sur un moteur Diesel suralimenté avec dynamomètre contrôlé électroniquement identifiant différents points de mesure et connexions [1]

I-3) types des bancs d'essai moteur thermique

I-3-1) Banc d'essais à régime stationnaire

Le banc d'essai permanent est accessible pour des mesures et analyses de performances à des points discrets, en fonction du régime moteur et de la charge de fonctionnement, en utilisant des équipements expérimentales appropriés. Dans ce cas, avant l'enregistrement des données, le moteur doit être aménagé (s'établir à nouveau) pour chaque point de mesure opérationnel. Un banc d'essai basique de mesures stationnaires souvent, comporte un moteur alternatif monocylindre et typiquement consiste en dispositifs suivants:

- Dynamomètre (frein moteur) pour le contrôle de la puissance de sortie;
- Débitmètre gravimétrique pour mesurer la consommation spécifique du fuel;
- Débitmètre pour mesurer l'air d'admission;
- Enregistreur optique pour mesurer la vitesse de rotation;
- Capteur piézo-électrique (refroidi par eau) encastré pour mesurer la pression cylindre;
- Capteur piézo-électrique (extensomètre ou jauge de contrainte) pour mesurer la pression de circuit d'alimentation du fuel;
- Analyseur des émissions de gaz d'échappement;
- Thermocouples (J ou K) pour mesurer la température des gaz d'échappement;
- Contrôle des températures de l'huile de lubrification et de liquide de refroidissement;
- Oscilloscope de stockage pour l'évaluation initiale des pressions de cylindre et de circuit d'alimentation du fuel;
- Logiciels pour le stockage des données capturées sur ordinateur;
- Contrôle du système d'acquisition de données par un code de calcul fonctionnel capable de traiter les données stockées.

Pour un banc d'essai à régime stationnaire plus sophistiqué, on peut citer aussi:

- Mesure de la levée d'aiguille de l'injecteur par capteur d'écart ou (système d'inductance variable, capteur à effet Hall) afin de détecter le calage d'injection dynamique;
- Manomètre pour mesurer la surpression au niveau du compresseur de suralimentation;
- Thermomètres pour mesurer les températures d'entrée et de sortie du compresseur et pour mesurer aussi, la température à la sortie de refroidisseur (intercooler);
- Stroboscope ou capteur optique pour mesurer la vitesse de rotation du compresseur;
- Thermocouples (J, K) pour mesurer la température à l'entrée de la turbine;
- Sonomètre (capteur de bruit) de combustion.

I-3-2) Banc d'essais à régime transitoire

Les tests en régime transitoire sont très demandés en raison de la rapidité d'acquisition de données et de contrôle; ils exigent des installations complexes, sophistiquées et coûteuses. Les procédures de tests en régime transitoire nécessitent l'ensemble; réponse rapide de la charge appliquée aussi bien que le maintien serré du point de consigne.

Les bancs d'essai en régime transitoire souvent intègrent des moteurs multicylindres suralimentés, des collecteurs d'échappement, interconnexion et interdépendance de cylindres en termes d'injection du fuel et d'admission d'air. Afin de quantifier les caractéristiques dynamiques du moteur en relation avec la réponse, les performances, les émissions et la consommation du fuel, l'instrumentation respective diffère de celle équivalente en régime stationnaire jusqu'à l'exigence de:

- Dynamomètre à réponse rapide commandé électroniquement à boucle fermée ou au moins, couple-mètre à jauge de contrainte dans le cas d'un moteur à frein mécanique, pour le contrôle continu du couple de charge;
- Débitmètre de fuel à réponse rapide (type d'équilibre gravimétrique);
- Capteurs de pression et thermocouples de température connectés aux amplificateurs appropriés pour la mesure de la surpression et de la température de suralimentation;
- Analyseurs à réponse rapide pour les émissions des gaz d'échappement;
- Débitmètres à réponse rapide pour analyser avec précision le dégagement de la chaleur de combustion;
- Cartes d'acquisition hautes fréquences (100 kHz, 16 bit);
- Grand espace de stockage pour le calculateur (100 à 1000) cycles moteur;
- Techniques de mesure cylindre-par-cylindre (en raison du mouvement continu de support mécanique de la pompe à injection, qu'est responsable à des différenciations dans la quantité de carburant injecté par cylindre au cours du même cycle).

A l'étape de désignation (de conception) et de développement, l'ingénieur pourrait désigner un moteur avec certains objectifs en tête. Les objectifs peuvent inclure des variables telles que; puissance indiquée, puissance au freinage, consommation spécifique du fuel au freinage, émissions d'échappement, refroidissement du moteur, fonctionnement sans maintenance...etc. Les autres tâches de l'ingénieur de développement est de réduire le coût et améliorer la puissance de sortie et la fiabilité du moteur. En essayant d'atteindre ces objectifs, il doit essayer plusieurs concepts de désignation. Après la désignation, les composants du moteur sont fabriqués avec dimensions et surfaces finales et peuvent être bien sûre avec certaines tolérances. Afin de vérifier le moteur désigné et développé, il doit passer aux tests et évaluation de performances.

Donc, en général, l'ingénieur de développement peut mener une large variété de tests pour le moteur en commençant par de simples mesures de débit d'air et de consommation du fuel jusqu'à l'obtention des diagrammes complexes de levée d'aiguille d'injecteur, contours de tourbillonnement (swirl) et photographies du processus de combustion dans la chambre de combustion. La nature et le type des tests conduits dépendent de plusieurs facteurs, dont certains sont: le degré de développement de la désignation en particulier, la précision exigée ou nécessaire, les fonds disponible, la nature de la compagnie de fabrication, et sa stratégie de désignation.

Le moteur à combustion interne produit la puissance mécanique à partir de la combustion d'un mélange air-fuel. La majeure partie de l'énergie produite, cependant est perdue en chaleur. C'est pourquoi, souvent, les moteurs thermiques ont de grandes radiateurs pour refroidir le moteur et évacuer la chaleur dégagée de la chambre de combustion (qui donne la puissance indiquée), seulement une partie de cette énergie est convertie en travail utile. Le reste est dissipée par frottement dans le moteur, et résulte en plus de pertes thermiques.

Beaucoup de recherches en ingénierie cherchent à améliorer le rendement global du moteur afin d'obtenir plus de travail utile pour certaine quantité de fuel brûlé. Ceci, peut être accompli par la réduction du frottement, ou améliorer la désignation thermodynamique du moteur pour augmenter le travail indiqué disponible.

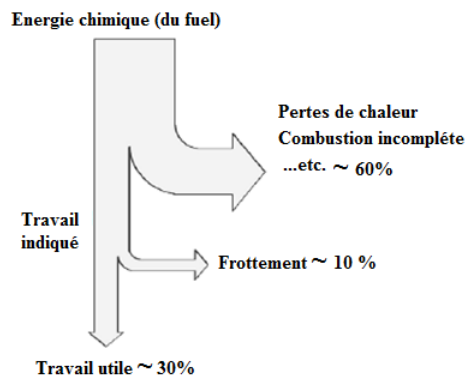


Fig. 1-2: Processus de conversion d'énergie en MCI [2]

I-4) Objectifs des tests moteurs à combustion interne

En général, les objectifs des tests ou expérimentation en moteur à combustion interne sont:

- L'obtention des informations sur les MCI, qu'on ne peut déterminées par calcul;
- La confirmation les données de constructeur, la validité des doutes;
- La satisfaction de l'utilisateur en ce qui concerne la puissance nominale avec la consommation de carburant garanties.
- La validation des résultats de simulation;
- La correction et amélioration des programmes ou codes de calcul;
- L'application des simulations et des programmes à d'autres cas et d'autres types de moteurs;
- Utiliser le banc d'essai pour l'avancement des recherches dans les laboratoires;
- Utiliser le banc d'essai pour l'encadrement des doctorants et des ingénieurs;
- Améliorer le contenu des cours de moteurs à combustion interne;
- Comprendre les différents paramètres de performances relatifs aux MCI;
- Calculer la vitesse, la consommation du fuel, le débit d'air...etc. des MCI;
- Evaluer les fumés et les émissions d'échappement;
- Différencier entre les performances des MCI-SI et les MCI-CI
- Le banc d'essai comporte plusieurs possibilités expérimentales pour l'analyse et la vérification des résultats de simulation et des codes de calcul;
- Faire une analyse comparative et l'étude de d'autres types de moteurs.

Les paramètres les plus importants à tenir en compte pour déterminer les caractéristiques moteur sont; le couple, la puissance et la consommation du fuel en fonction de régime moteur.

I-5) Types des tests moteur à combustion interne

On peut, subdiviser les tests moteur en plusieurs catégories:

I-5-1) Les tests commerciaux

La majorité des tests sur les moteurs à combustion interne est réalisée pour des objectifs commerciaux, afin de vérifier les paramètres suivants:

- La puissance nominale ou la puissance mécanique de freinage avec la consommation du fuel garantie (kg/kWh);
- La quantité de lubrifiant nécessaire à la puissance de freinage à la base de kWh;
- La quantité de liquide de refroidissement à la puissance de freinage à la base de kg/kWh;
- La stabilité ou la stationnarité du moteur avec la variation de la charge;
- Capacité de transport de surcharge du moteur

I-5-2) Les tests thermodynamiques

Les tests thermodynamiques complets sont totalement différents des tests commerciaux. Ils sont réalisés pour des objectifs de comparaison et de validation des performances théoriques ou idéaux. Pour ces tests, il est nécessaire de mesurer les pertes et la partie utile de l'énergie, et aussi, d'élaborer des bilans thermiques. Ces essais ont été la cause directe et l'incitation à l'amélioration des moteurs thermiques pendant la phase ou la période de développement. Ces intérêts exigent des enregistrements authentiques des performances du moteur, qui ne pouvaient être satisfaits que par des essais exhaustifs soigneusement observés et calculés. Les mesures nécessaires pour déterminer les rendements mécanique et thermique du moteur ainsi que l'élaboration des bilans thermiques sont:

- La puissance indiquée (si c'est possible);
- La puissance au freinage;
- Test de Morse pour le rendement mécanique dans le cas des moteurs multicylindres à haute vitesse;
- Taux de consommation du fuel et sa valeur calorifique;
- Taux de l'écoulement de fluide (liquide) de refroidissement et son augmentation de température, pour calculer la chaleur évacuée par le circuit de refroidissement;
- La chaleur évacuée par les gaz d'échappement. Cette dernière est estimée soit directement par un calorimètre des gaz d'échappement, soit par la mesure de: débit d'air consommé, température des gaz d'échappement et la température du local du banc d'essai.

I-5-3) Bilans thermiques

Dans les tests thermodynamiques pour un moteur à combustion interne, la distribution de la chaleur fournie par minute ou par heure est nécessaire. Ceci est apparaît en bilan thermique ou la quantification de chaleur. Afin d'établir une fiche d'un bilan thermique pour un cylindre de moteur à combustion interne, le moteur doit être testé sur période du temps sous les conditions de charge et vitesse constantes. Toutes les mesures énumérées ci-dessus doivent être prises à intervalles réguliers du temps.

Il y a de larges variations en proportions relatives des pertes, dépendantes de type, dimensions et conditions de fonctionnement du moteur sous considérations. Pour un moteur automobile fonctionnant selon le cycle Otto, les distributions de la chaleur peuvent être: chaleur convertie en travail utile; 25%, chaleur évacuée par liquide de refroidissement; 25%, chaleur dissipée par gaz d'échappement; 35%, chaleur dissipée par rayonnement et autres pertes; 15%. Pour un moteur diesel, les distributions de la chaleur peuvent être: chaleur convertie en travail utile; 30%, chaleur évacuée par liquide de refroidissement; 30%, chaleur dissipée par gaz d'échappement; 30%, chaleur dissipée par rayonnement et autres pertes; 10%.

I-6) Performance des moteurs à combustion interne

I-6-1) Couple et puissance utile (de freinage)

La figure (Fig. 1-3 a et b) montre le principe de de fonctionnement d'un dynamomètre. Le rotor est couplé électro-magnétiquement, hydrauliquement ou par frottement mécanique au stator qu'est supporté par paliers à faible frottement. Le stator est équilibré avec le rotor d'une manière stationnaire. Le couple exercé sur le stator avec la rotation du rotor est mesuré par l'équilibrage de stator avec des poids, ressorts ou des moyens pneumatiques.

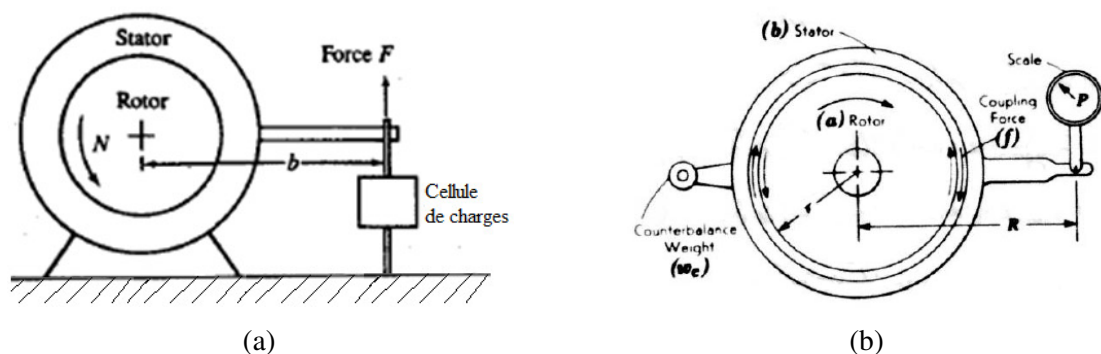


Fig. 1-3: Principe de fonctionnement d'un dynamomètre [3, 6]

En utilisant les notations de la figure (**Fig. 1-3, a**), si le couple par le moteur est T:

$$T = F \cdot b \quad (1-1)$$

La puissance développée par le moteur et absorbée par le dynamomètre est le produit du couple et de la vitesse angulaire:

$$P = 2\pi \cdot N \cdot T \quad (1-2)$$

Tel que; N: vitesse de rotation du vilebrequin.

Tout appareil permettant la mesure du couple et de la puissance d'un moteur est appelé dynamomètre. Il existe différents types de dynamomètres, tous fonctionnent selon le principe schématisé par la figure (**Fig. 1-3, b**). Le rotor (a) entraîné par le moteur sous test, est couplé (électriquement, magnétiquement, hydrauliquement ou par frottement) au stator (b). Pendant un tour de révolution de l'arbre moteur, le contour périphérique du rotor se déplace à une distance de $(2\pi r)$ contre la force du couplage f (force de résistance, de traînée). Par conséquent, le travail par révolution est donné par: $(W = 2\pi r \cdot f)$. Le moment extérieur qui est le produit de la charge P (poids) et le bras R, doit juste équilibrer le moment de rotation donné par: $(M_{ext} = r \cdot f = R \cdot P)$. Donc, le travail est donné par: $(W = 2\pi R P)$. Le travail par minute est donné par: $(W = 2\pi R P N)$. La puissance est donnée par: $(P_u = 2\pi R P N / 1000.60; [kW])$.

Noter que le couple est une mesure de l'aptitude d'un moteur à donner un travail; la puissance est le taux du travail donné par unité du temps. La valeur de la puissance mesurée comme décrit ci-dessus est appelée puissance mécanique au freinage (de freinage); P_b .

I-6-2) Facteurs affectant le couple et la puissance du moteur

Pré-allumage, détonation de la combustion, allumage retardé, mélange pauvre, charge de moteur, vitesse du piston, ordre d'allumage, arbre à cames avancé ou vilebrequin retardé, dégagements des poussoirs, variation du rapport de compression, calage de pompe d'injection du carburant et la suralimentation.

I-6-3) Travail indiqué par cycle

Les données (valeurs) de pression de gaz dans le cylindre sur un cycle de fonctionnement du moteur peuvent être utilisées pour calculer le travail donné par le gaz au piston. La pression du cylindre et le volume correspondant pendant le cycle du moteur, peuvent être tracés en diagramme p-V comme montré sur la figure (**Fig. 1-4**). Le travail indiqué par cycle et par cylindre (W_{ic}) peut être donné par:

$$W_{ic} = \oint p dV \quad (1-3)$$

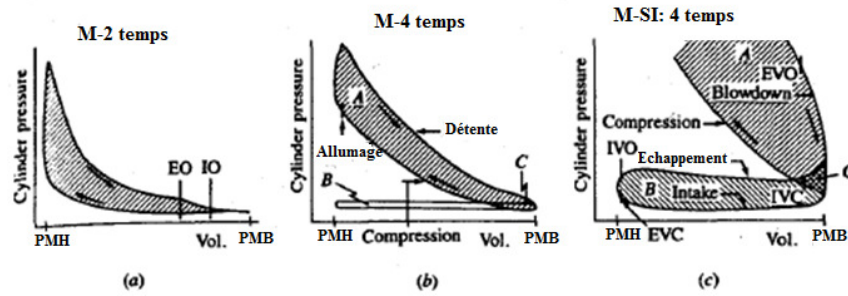


Fig. 1-4: Diagramme (p-V) pour: a) moteur à cycle 2 temps; b) moteur à cycle 4 temps; c) moteur (SI) à cycle 4 temps et temps d'échappement et d'admission à charge partielle [2]

I-6-4) Puissance indiquée (P_i)

C'est la puissance qui peut être disponible sur l'arbre moteur (vilebrequin) si un rendement mécanique de 100% est possible. Le terme indiquée est dérivé de l'utilisation des indicateurs (capteurs) de moteur et leur courbes relatives à partir desquels la puissance indiquée peut être calculée.

- La force totale moyenne par tour (pour un moteur à cycle de 4 temps) est donnée par:

$$F = \frac{(p_{mei}.A).n}{2} \quad (1-4)$$

- Le travail total par tour est donné par:

$$W = F . L \quad (1-5)$$

- La puissance indiquée(pour un moteur à cycle de 4 temps) est donnée par:

$$P_i = \frac{dW}{dt} = \frac{(p_{mei}.A).n.L.(N/2)}{60} \quad (1-6)$$

- La puissance indiquée(pour un moteur à cycle de 2 temps) est donnée par:

$$P_i = \frac{dW}{dt} = \frac{(p_{mei}.A).n.L.(N/1)}{60} \quad (1-7)$$

Tels que;

- ⇒ p_{mei} : pression effective moyenne indiquée [N/m^2]
- ⇒ A: l'aire de la tête du piston [m^2]
- ⇒ n: nombre de cylindre du moteur
- ⇒ L: course du piston
- ⇒ N/2: nombre du temps de puissance par minute et par cycle (pour un moteur à cycle de 4 temps)
- ⇒ N/1: nombre du temps de puissance par minute et par cycle (pour un moteur à cycle de 2 temps)
- ⇒ L.A.n: cylindrée totale du moteur [m^3]

I-6-5) Puissance du frottement

La différence entre la puissance indiquée (P_i) et la puissance mécanique au freinage (de sortie, sur l'arbre moteur, P_b) est la puissance de frottement (P_f) et c'est la puissance requise pour surmonter ou vaincre la résistance au frottement des pièces du moteur.

$$P_f = P_i - P_b \quad (1-8)$$

I-6-6) Puissance de route

Un niveau de puissance à charge partielle utile comme référence pour tester les moteurs automobiles est la puissance requise pour conduire un véhicule sur un niveau de route à vitesse stationnaire (constante). Cette dernière est appelée puissance de route, cette puissance vaincre les résistances au roulement (roulage) qui résulte du frottement des pneus et de la traînée aérodynamique du véhicule. La résistance de roulage et les coefficients de la traînée (C_D et C_R) respectivement, sont déterminées empiriquement.

Une formule approximative pour la puissance de route (P_r) est donnée par:

$$P_r = \left[C_R \cdot M_V \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_V \cdot S_V^2 \right] \cdot S_V \quad (1-9)$$

Tels que;

- ⇒ C_R : coefficient de la résistance de roulage
- ⇒ M_V : masse du véhicule
- ⇒ g : accélération de la gravité
- ⇒ ρ_a : densité d'air ambiant
- ⇒ C_D : coefficient de la traînée
- ⇒ S_V : vitesse du véhicule

I-6-7) Pression effective moyenne (pem)

Comme le couple est une mesure utile de l'aptitude pour certains moteurs particuliers à donner du travail, il dépend de dimensions du moteur, une autre mesure relative aux performances du moteur, plus utile est obtenue en divisant, le travail de cycle par le volume déplacé de cylindre par cycle. Le paramètre obtenue a l'unité de force par unité de surface et est appelé pression effective moyenne (pem), le travail par cycle est donné par:

$$W_c = \frac{P \cdot n_R}{N} \quad (1-10)$$

Où n_R , est le nombre de tours pour chaque temps de puissance par cycle (2 pour moteur à quatre temps et 1, pour moteur à deux temps). La pression effective moyenne est donnée par:

$$pem[kPa] = \frac{P \cdot n_R}{N \cdot V_d} \quad (1-11)$$

La pression effective moyenne peut être aussi, exprimer en fonction du couple par:

$$pem = \frac{6,28 \cdot n_R \cdot T [N.m]}{V_d [dm^3]} \quad (1-12)$$

I-6-8) Pression effective moyenne indiquée (pemi)

C'est une pression hypothétique que lorsqu'elle est appliquée sur le piston du moteur pendant le temps de puissance, résulte en travail indiquée du moteur. La pression (pemi), est une pression fictive

constante qui doit produire le même travail par cycle si elle est appliquée sur le piston pendant le temps de puissance (détente).

$$pemi = \frac{W_i}{V_d} = \frac{P_i \cdot n_R}{V_d \cdot N} \quad (1-13)$$

La pression ($pemi$), est un paramètre utile que le couple pour comparer les moteurs coté design et performances de sortie puisque elle est dépendante de la vitesse (N) du moteur et de la capacité (cylindrée, V_d) du moteur.

I-6-9) Différents rendements du moteur

I-6-9-1) Rendement mécanique (η_m)

Dans les moteurs à combustion interne, une partie du travail indiqué brut par cycle est utilisée pour évacuer les gaz d'échappement et admettre la charge fraîche. Une autre partie est utilisée pour vaincre les frottements dans paliers, roulements, pistons et autres composants mécaniques du moteur, et d'entraîner les accessoires du moteur. Toutes ces puissances prescrites, sont groupées ensemble et appelées puissance de frottement (P_f , éq.(1-8)).

La puissance de frottement est difficile à déterminer avec précision. L'approche la plus utilisée en moteurs à combustion interne à hautes vitesses est d'entraîner le moteur avec un dynamomètre (faire fonctionner le moteur sans combustion) et mesurer la puissance fournie par le dynamomètre pour vaincre les pertes par frottement. La vitesse du moteur, réglage de valve (papillon) des gaz, températures de lubrifiant et de liquide de refroidissement, et les conditions ambiantes sont gardées les mêmes pour le moteur entraîné sans combustion. Les sources d'inexactitude avec cette méthode, sont les forces de pression des gaz sur le piston et les segments qui sont faibles dans ce cas par rapport au moteur entraîné par combustion, et que la température de lubrifiant sur la paroi du cylindre est aussi basse dans ce cas.

Le rapport de la puissance au freinage (puissance utile) fournie par le moteur à la puissance indiquée est appelé rendement mécanique (η_m).

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i} = 1 - \frac{P_f}{P_i} \quad (1-14)$$

Depuis que la puissance de frottement comporte la puissance requise pour pomper les gaz vers et en dehors du moteur, le rendement mécanique dépend de la position du papillon des gaz aussi bien que la conception et la vitesse du moteur. A partir de la figure (**Fig. 1-5**), il est apparaît que la puissance indiquée (P_i) est quelque peu, supérieure à la puissance utile (au freinage, P_b) à travers la gamme (plage) du nombre de tours (N), mais pas proportionnellement plus.

Si la distance verticale entre les deux courbes est mesurée à chaque point de révolution, cette distance peut représenter la puissance perdue de pompage et de frottement à la vitesse du moteur.

Depuis que les pertes augmentent avec l'augmentation du régime moteur, par conséquent, la divergence entre les courbes de la puissance utile et la puissance indiquée augmente.

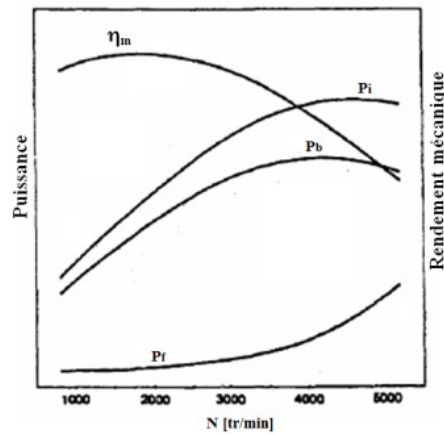


Fig. 1-5: Courbes des puissances et de rendement mécanique en fonction de N[tr/min]

I-6-9-2) Rendement volumétrique (η_v)

Le rendement volumétrique est seulement utilisé avec le moteur à cycle de quatre temps. Il est défini comme le rapport du volume d'air admis dans le cylindre, mesuré aux conditions libres d'air au volume balayé (cylindrée) du moteur.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_d} = \frac{n_R m_a}{\rho_a V_d N} \quad (1-15)$$

Tels que;

- ⇒ m_a : masse d'air admise dans le cylindre pour un cycle
- ⇒ \dot{m}_a : débit massique permanent de l'air vers le cylindre
- ⇒ ρ_a : densité d'air évaluée à l'entrée d'air au moteur
- ⇒ V_d : cylindrée du moteur
- ⇒ N: vitesse (régime) du moteur
- ⇒ n_R : nombre de tours pour chaque temps de puissance par cycle.

Le rendement volumétrique d'un moteur est affecté par plusieurs variables telles que; rapport de compression, calage des soupapes, l'admission et la conception des ports, nature de mélange, la chaleur latente d'évaporation du fuel, température de la charge admise, pression de cylindre, et les conditions atmosphériques.

I-6-9-3) Rendement global de conversion du fuel (η_{cf})

Le rendement global de conversion du fuel (parfois appelé; le rendement thermique utile ou de freinage) est le rapport de la puissance de sortie (utile) par l'énergie chimique du fuel consommé. L'énergie chimique du fuel consommé peut être calculée en multipliant le débit massique consommé du fuel par le pouvoir calorifique du fuel (Q_{HV}).

$$\eta_{cf} = \frac{P_b}{\dot{m}_f \cdot Q_{HV}} \quad (1-16)$$

I-6-9-4 Rendement thermique indiqué (η_{th})

Il est défini comme le rapport entre la puissance indiquée et le taux (variation) d'énergie chimique du fuel consommé.

$$\eta_{th} = \frac{P_i}{\dot{m}_f \cdot Q_{HV}} \quad (1-17)$$

I-6-9-5 Rendement de combustion

La durée de la combustion dans le cylindre est très courte donc, tout le carburant ne peut pas être consommé (brûlé) ou, les températures locales peuvent non pas supporter la combustion. Une petite partie ou fraction du fuel peut ne pas brûler et est expulsée avec les gaz d'échappement. Le rendement de combustion est défini comme étant le rapport entre la chaleur réelle fournie à la chaleur qui peut être fournie théoriquement.

$$\eta_{com} = \frac{Q_f}{\dot{m}_f \cdot Q_{HV}} \quad (1-18)$$

Tels que;

- ⇒ Q_f : chaleur de combustion fournie par cycle
- ⇒ \dot{m}_f : débit du fuel fourni ((donné) par cylindre et par cycle
- ⇒ Q_{HV} : pouvoir calorifique du fuel (énergie chimique par unité de masse)

I-6-10 Consommation spécifique utile (au freinage) du fuel (BSFC)

La consommation spécifique utile du fuel est souvent préférée par rapport au rendement thermique comme méthode pour la comparaison des performances. Elle est définie comme le rapport de la consommation du fuel à la puissance utile (de freinage) du moteur. Elle est mesurée en [g/kWh] et elle est exprimée par:

- ⇒ **La consommation spécifique utile (au freinage) du fuel (bsfc):**

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (1-19)$$

- ⇒ **La consommation spécifique indiquée du fuel (isfc):**

$$isfc = \frac{\dot{m}_f}{P_i} \quad (1-20)$$

I-6-11 Rapports Air-Fuel et Fuel-Air

En test moteur, l'ensemble de débit massique de l'air (\dot{m}_a) et le débit massique du fuel (\dot{m}_f) sont normalement mesurés. Le rapport de ces débits est utile pour la définition des conditions opérationnelles de fonctionnement du moteur.

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (1-21)$$

$$FAR = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (1-21)$$

I-6-12) L'énergie thermique évacuée par les gaz d'échappement

La chaleur évacuée par les gaz d'échappement peut être estimée soit directement par un calorimètre des gaz d'échappement, soit par la mesure de: débit d'air consommé (débit des gaz d'échappement, \dot{m}_g), température des gaz d'échappement (T_g) et la température de la cellule du banc d'essai (T_a).

$$P_{GE} = \dot{m}_g \cdot C_{Pg} \cdot (T_g - T_a) \quad (1-22)$$

Tels que; $C_{Pg}=1,066$ kJ/kg.K

Généralement, pour un moteur essence, la chaleur dissipée par les gaz d'échappement représente; 35% et celle pour un moteur Diesel représente; 30%.

I-6-13) Poids et volume spécifiques du moteur

Le poids du moteur et le volume global (brut, apparent) pour une puissance nominale donnée sont importants en plusieurs applications. Deux paramètres utiles pour comparer ces attributs d'un moteur à l'autre.

$$Poids\ spécifique = \frac{Poids\ du\ moteur}{puissance\ nominale} \quad (1-23)$$

$$Volume\ spécifique = \frac{Volume\ du\ moteur}{puissance\ nominale} \quad (1-24)$$

Chapitre II: Description du banc d'essai

II-1) Introduction

Le banc d'essai des moteurs est une machine à laquelle le moteur à combustion interne est couplé à un moteur électrique (dynamomètre) et, à partir de ce couplage, nous pouvons obtenir ses caractéristiques. L'objectif principal de l'essai moteur est d'obtenir ses courbes caractéristiques, où l'on mesure le couple et la puissance en fonction du régime.

II-2) Description générale

Le banc d'essai pour moteurs monocylindres, développé par la compagnie EDIBON est un équipement d'enseignement pour tester les moteurs à combustion interne jusqu'à 2,2 KW. Un moteur à combustion interne peut être soumis à une charge ou à un couple de freinage de différentes manières. L'unité TBMC3 développée par la compagnie EDIBON dispose d'un élément pour exercer le couple de freinage, un moteur asynchrone alimenté par un variateur de fréquence. Le vilebrequin est relié à l'arbre du moteur au moyen d'un accouplement élastique. Le couple de freinage et la vitesse de freinage du moteur peuvent être réglés par le logiciel.

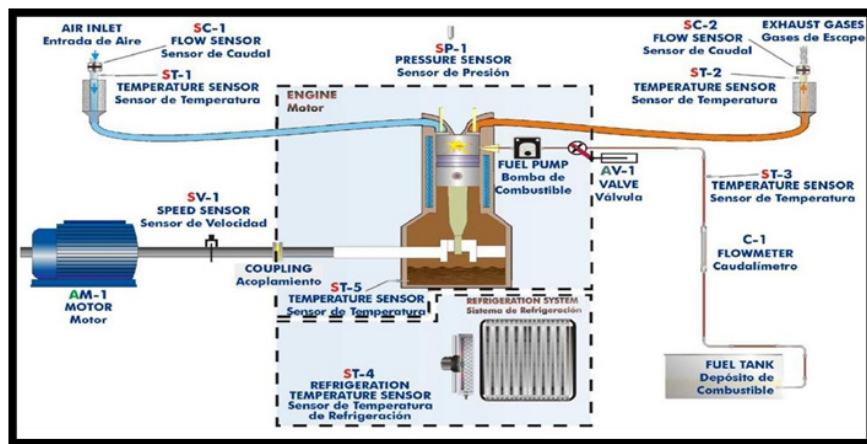


Fig.2-1 : Le diagramme du panneau avant avec une distribution similaire à celle des éléments de l'unité réelle [4]

Il y a une série d'installations annexes très importantes pour le fonctionnement de l'unité TMBC3:

Instrumentation : elle comprend une série de capteurs de température, de pression et de débit en différents points de l'équipement.

Installation de démarrage : les moteurs à combustion interne ont besoin d'un peu d'énergie pour accélérer leur mouvement de 0 à la vitesse d'auto entretien. La combustion elle-même ne démarre pas le moteur. Le démarrage est assuré par l'accélération générée par le moteur annexe, qui agira comme une charge par la suite.

Installation de carburation: Le carburant et l'air doivent être transportés jusqu'au cylindre du moteur. Le circuit de carburation se compose d'un réservoir et d'un débitmètre. La pompe et le filtre à carburant appartiennent généralement au moteur.

II-3) Principaux éléments du banc d'essai moteur

Le banc d'essai est composé d'une unité, d'un boîtier d'interface et d'une carte d'acquisition de données et d'un logiciel de gestion et d'acquisition de données.

II-4) L'unité du banc d'essai et ses composants



Fig.2-2 : Unité TBMC3 du banc d'essai [4]

Voici une description générale de l'unité :

- Banc d'essai de moteurs à combustion avec roues pour sa mobilité.
- Structure métallique et panneaux en acier peint.
- Principaux éléments métalliques en acier inoxydable.
- Schéma en face avant avec une distribution similaire à celle des éléments de l'unité réelle.
- Plaque (base) isolée contre les vibrations pour l'installation du moteur d'essai.
- Dimensions : 1100 x 900 x 1700 mm.
- Poids : 200 Kg.
- Puissance de sortie maximale de : 2.2 kW.

Les principaux composants de cette unité sont les suivants:

II-4-1) Moteur à combustion interne

TM3-1. Moteur à essence KOHLER monocylindre à quatre temps refroidi par l'air. Ce moteur à combustion interne fonctionne avec un cycle Otto à quatre temps.

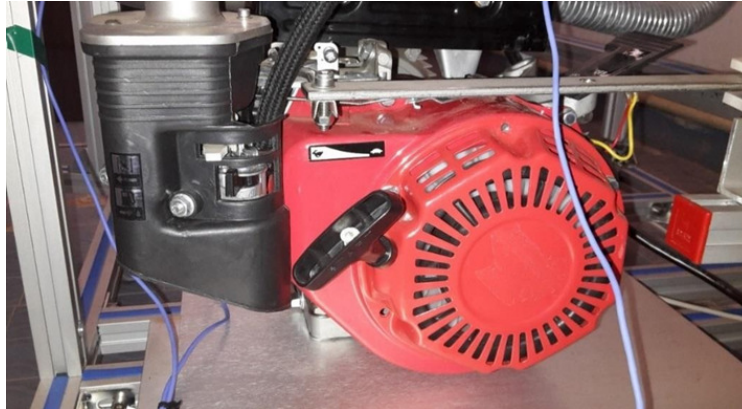


Fig.2-3: Moteur thermique TM3-1 KOHLER du banc d'essai [4]

II-4-1-1) Dessin d'ensemble avec dimensions du moteur thermique

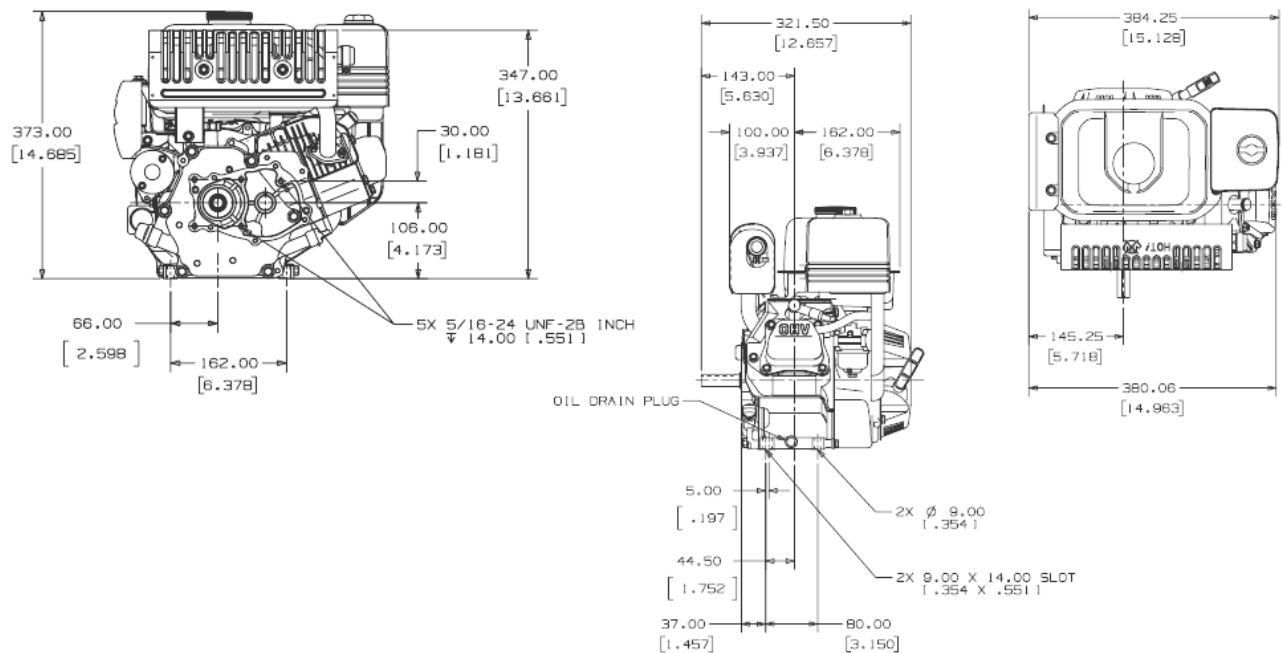


Fig.2-4: Dessin d'ensemble relatif au moteur du banc d'essai TM3-1 [4]

II-4-1-2) Fiche technique du moteur thermique

Puissance	2,98 kW@3800 tr/min
Couple maximal	8,4 Nm@2200 tr/min; 7,46 N.m@2600 tr/min
Alésage	56,00 mm
Course	50,0 mm
Cylindrée	123 cc
Rapport de compression	8:3:1
Capacité du réservoir	3,9 L.

Table.2-1 : Données de fiche technique [4]

II-4-2) Moteur asynchrone

Utilisé comme démarreur et frein. Le moteur asynchrone est l'un des moteurs électriques les plus utilisés dans la plupart des applications. On l'appelle moteur asynchrone parce qu'il tourne à une vitesse inférieure à la vitesse synchrone. La vitesse synchrone est la vitesse de rotation du champ magnétique dans une machine rotative et elle dépend de la fréquence et du nombre de pôles de la machine. Un moteur à induction tourne toujours à une vitesse inférieure à la vitesse synchrone parce que le champ magnétique tournant produit dans le stator va générer un flux dans le rotor qui va faire tourner le rotor, mais en raison du décalage du courant de flux dans le rotor avec le courant de flux dans le stator, le rotor n'atteindra jamais sa vitesse de champ magnétique tournant, c'est-à-dire la vitesse synchrone.

Le variateur de fréquence est situé à l'intérieur d'un boîtier auxiliaire, fixé à l'appareil. Un variateur de fréquence (VFD : Variable Frequency Drive) est un type de contrôleur de moteur qui entraîne un moteur électrique en faisant varier la fréquence et la tension fournie au moteur électrique. Les autres noms pour un VFD sont variateur de vitesse, variateur de fréquence réglable. La fréquence est directement liée à la vitesse du moteur (RPM). En d'autres termes, plus la fréquence est rapide, plus les tours/minute sont rapides.



Fig.2-5 : Moteur asynchrone Siemens [4]

II-4-2-1) Types de freins dynamométriques

Les freins dynamométriques sont responsables de la création ou la production des couples résistants qui fournissent la charge au moteur. Pour les différents régimes de révolution des essais, la charge du moteur est modifiée en fonction de ce qu'il est capable de supporter.

II-4-2-1a) Frein à frottement (de Prony)

Le frein à frottement est composé de sabots de freinage et d'un tambour. C'est l'un des premiers freins dynamométriques utilisés mais actuellement, il est seulement considéré comme un précédent historique à cause de son instabilité, de sa régulation et de son refroidissement difficiles (voir **Fig. 2-6**).

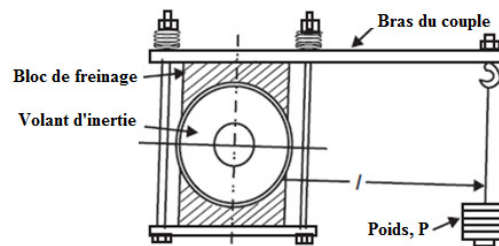


Fig. 2-6: Frein à frottement (Prony) [5]

II-4-2-1b) Frein hydraulique

Il est convenable pour mesurer la puissance des moteurs de moyenne et haute puissances. Il consiste en un rotor qui tourne avec l'arbre du moteur et un stator ou carcasse fixée au bras de mesure de la force. Entre le rotor et le stator, il y a une quantité variable d'eau qui produit le changement de la charge. Il est inventé par William Froude. Le rotor a des palettes et la carcasse a des cavités ou des trous qui donnent le mouvement turbulent à l'eau. Ce dernier, transforme l'énergie ou le travail mécanique développé par le moteur en chaleur. La résistance avec laquelle l'eau oppose à la rotation du rotor réagit sur le stator en produisant le même couple de résistance que le moteur, (voir **Fig. 2-7**).

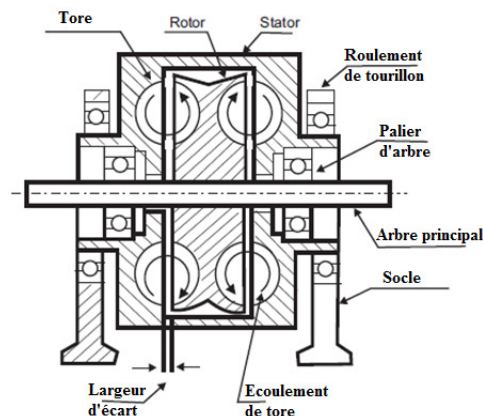


Fig. 2-7: Frein dynamométrique hydraulique [5]

Les avantages des freins hydrauliques:

- Faible coût des opérations pour les grandes puissances absorbées;
- Durabilité plus grande

Les inconvénients des freins hydrauliques:

- Faible polyvalence des courbes de couples résistants;
- Le couple de freinage dépend de la pression hydraulique de réseau, qui peut produire des instabilités.

II-4-2-1c) Frein électrique

Les générateurs à courant continu peuvent être utilisés pour déterminer la puissance effective. Donc, par exemple, si le moteur thermique est couplé à un dynamo connecté à une résistance électrique, la puissance du moteur peut être utilisée pour lui activer. Cette puissance peut être déterminée en mesurant, avec un voltmètre et un ampèremètre, l'énergie électrique fournie par le dynamo. La méthode doit tenir compte des pertes par frottement, par l'effet de l'air, et des pertes électriques dépendantes de la charge de générateur. Tout cela fait que la mesure n'est pas très précise, étant plus fréquent de mesurer indirectement la puissance du moteur au moyen du couple (voir **Fig. 2-8**).

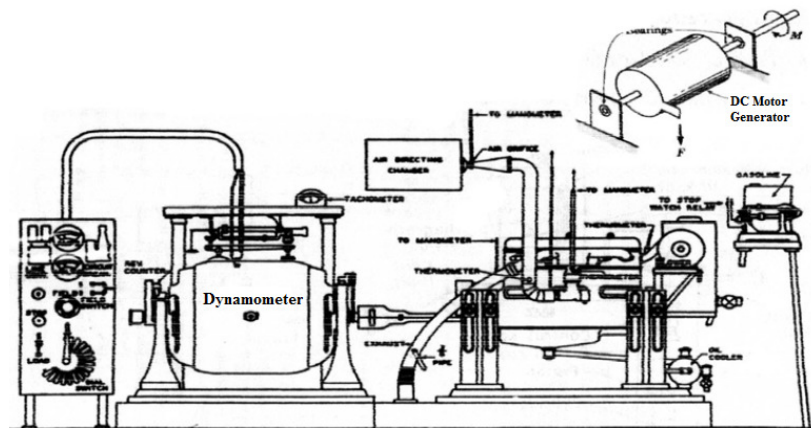


Fig. 2-8: Installation du moteur et dynamomètre [6].

II-4-2-1d) Frein à courant continu (à courant de Foucault)

Son principe de fonctionnement est similaire à celui du frein hydraulique. Le stator a un montage par inclinaison et il est attaché par un bras au système de mesure de la force. Le couple du moteur est transmis à partir du rotor (l'induit) au stator (inducteur en anneau) au moyen d'un champ magnétique. La variation de la charge peut être assurée par le changement de l'excitation de dynamo avec un rhéostat. Si la réaction magnétique entre le rotor et le stator augmente, effet que le couple du rotor transmet au stator, la charge résistante augmente, et vis versa. Le courant produit peut être dissipé en chaleur dans une résistance électrique.

L'avantage de ce type de frein est que l'énergie électrique générée pendant le test peut être utilisée d'une manière utile, puisque la puissance du moteur ne sera pas perdue en tant que énergie dégradée par le système de refroidissement, (voir **Fig. 2-9**).

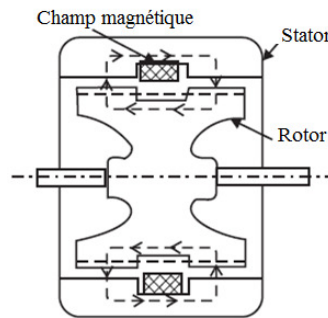


Fig. 2-9: Dynamomètre à courant de Foucault [5]

II-4-3) Accouplement élastique

La transmission de la force du moteur à l'unité de freinage est assurée par un accouplement élastique. Il s'agit d'un dispositif utilisé pour l'assemblage longitudinal de deux pièces rotatives de la machine (arbres) destiné à compenser le déplacement relatif des axes de la pièce et à absorber les chocs provoqués par l'assemblage des pièces. L'élément élastique de l'accouplement peut être en métal, comme dans un ressort hélicoïdal, ou en un matériau non métallique, comme dans un beignet en caoutchouc.

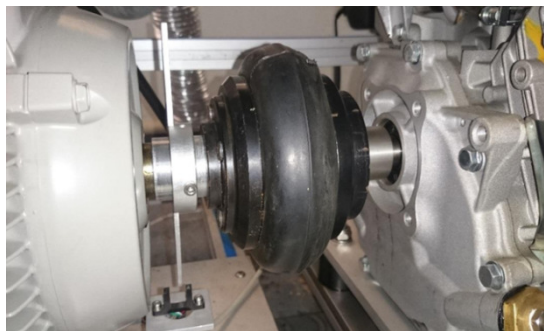


Fig.2-6 : Accouplement élastique entre les deux arbres [4]

II-4-4) Réservoir de carburant

L'unité est équipée de 2 réservoirs de carburant, l'un pour l'essence et l'autre pour le diesel.



Fig.2-7: Réservoir de carburant [4]

II-4-5) Contrôle de la vitesse de rotation du moteur

Accélération et décélération du moteur au moyen d'une vanne carburant, cette vanne carburant est commandée par un actionneur linéaire électromécanique qui consiste à faire un mouvement push/pull, ce mouvement ouvre ou ferme progressivement la vanne carburant.

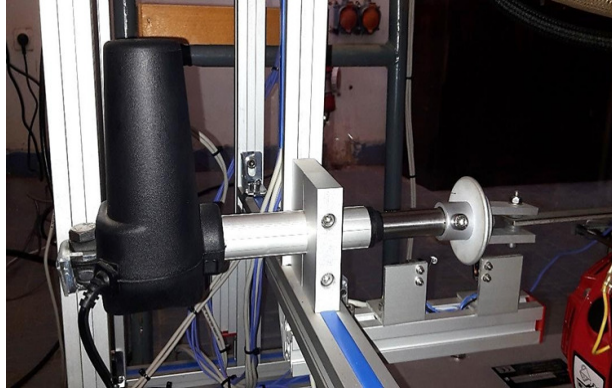


Fig.2-8 : Actionneur linéaire SKF [4]

II-5) Instruments de mesure

II-5-1) Mesure de la température

Capteurs de température de type "J" à différents points du processus

- a) Température de l'air d'admission;
- b) Température des gaz d'échappement;
- c) Température du carburant;
- d) Température de l'air de refroidissement;
- e) Température de l'huile de lubrification.

Le thermocouple type "J" convient pour des températures basses (0° à 600°C). Ne doit pas être utilisé à des températures supérieures à 760°C , utile comme thermocouple universel dans la plage de température prescrite.



Fig.2-9 : Capteur de température type "J" [4]

II-5-2) Mesure du débit de carburant

L'unité dispose de deux débitmètres de carburant pour mesurer la consommation de carburant (essence ou diesel), gamme de mesure: 2-45 ml/min.



Fig.2-10 : Débitmètres de carburant (Essence et diesel) [4]

II-5-3) Mesure de débit d'air d'admission / débit de gaz d'échappement

L'appareil dispose de deux capteurs de débit pour la mesure du débit de:

- Débit d'air d'admission vers le moteur, gamme de capteur : 0-100 m³/h.
- Débit des gaz de sortie (échappement), gamme de capteur : 0-100 m³/h.



Fig.2-11: Capteurs de débit d'air [4]

II-5-4) Mesure de la fréquence (vitesse de rotation ou régime du moteur)

Un capteur de vitesse pour mesurer la vitesse (tr/min) du moteur, la plage de mesure : 0-6000 tr/min.

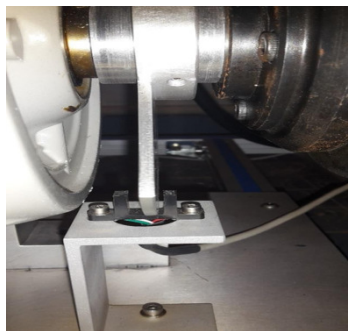


Fig.2-12 : Capteur de vitesse à effet Hall [4]

II-6) Boîtier de contrôle

Le boîtier d'interface de commande (CIB) offre une interface simple pour connexion des capteurs et la conversion des signaux. Dans cette unité EDIBON, la commande et l'affichage se font à partir de l'ordinateur, avec la souris et le clavier et les capteurs sont connectés à l'interface électronique.

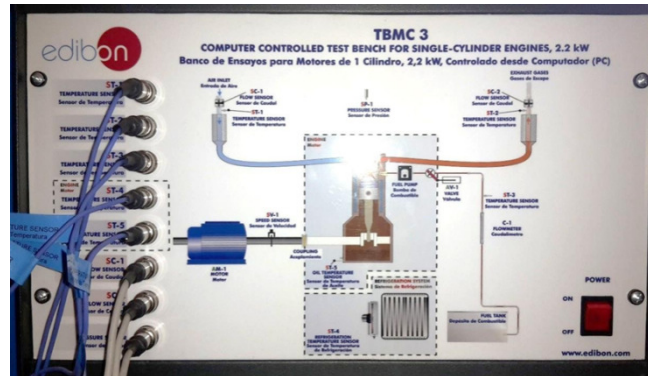


Fig.2-13 : Interface de boîtier de contrôle [4]

Chaque unité contrôlée par ordinateur dispose d'une interface électronique qui sert d'étape intermédiaire dans la communication entre les capteurs/actionneurs et le PC. La communication entre cette interface et l'unité se fait par les câbles des capteurs/actionneurs, tandis que la communication entre l'interface et l'ordinateur se fait par un seul câble, appelé câble SCSIII.

Les capteurs envoient des signaux au boîtier d'interface, qui est relié à un ordinateur. Le boîtier d'interface convertit les signaux analogiques en signaux numériques que l'ordinateur peut comprendre. Quelques caractéristiques de la CI (boîtier de contrôle):

- Dimensions : 490 x 330 x 310 mm.
- Poids : 10 Kg.
- Ce BFI a un diagramme de processus dans le panneau avant et avec la même distribution que les différents éléments situés dans l'unité, pour une compréhension facile par l'opérateur.
- Tous les capteurs, avec leurs signaux respectifs, sont correctement manipulés de -10V. a +10V. Sortie de l'ordinateur.
- Les connecteurs des capteurs dans l'interface ont des numéros de pins différents (de 2 à 16), afin d'éviter les erreurs de connexion.
- Les éléments de commande de l'unité sont contrôlés en permanence par ordinateur, sans nécessité de modifications ou de connexions pendant toute la procédure de test du processus.
- Visualisation simultanée dans l'ordinateur de tous les paramètres impliqués dans le processus.
- Etalonnage de tous les capteurs impliqués dans le processus.
- Représentation graphique, en temps réel, de l'ensemble des réponses processus/système.
- Blindage et signaux filtrés pour éviter les interférences externes.

- Contrôle par ordinateur en temps réel des paramètres impliqués simultanément dans le processus.

II-7) Carte d'acquisition de données (DAB)

La carte d'acquisition de données est une carte à installer dans un PC contenant tous les composants électroniques nécessaires à sa fonction et qui peuvent communiquer avec le reste du matériel du PC via le bus système (l'ensemble des fils de données, d'adresse et de commande). La fonction principale de ce matériel est de convertir les signaux analogiques en signaux numériques et de convertir les signaux numériques en signaux analogiques.

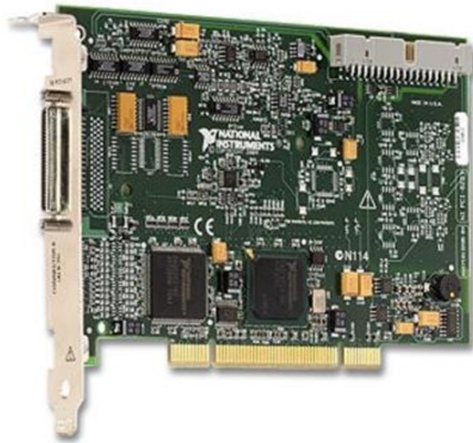


Fig.2-14: Carte d'acquisition de données [4]

II-7-1) Bus PCI

Abréviation de (Peripheral Component Interconnect), un bus standard local développé par Intel Corporation. La plupart des PC modernes comprennent un bus PCI en plus d'un bus d'extension ISA plus général. PCI est également utilisé sur certaines versions de l'ordinateur Macintosh. PCI est un bus 64 bits, bien qu'il soit généralement implémenté sous la forme d'un bus 32 bits. Il peut fonctionner à des vitesses d'horloge de 33 ou 66 MHz.

Au niveau le plus simple, le matériel d'acquisition de données est caractérisé par les sous-systèmes qu'il possède. Un sous-système est un composant de matériel d'acquisition de données qui exécute une tâche spécialisée.

II-7-2) Sous-systèmes de la carte d'acquisition de données

Les sous-systèmes communs comprennent:

- Entrée analogique;
- Sortie analogique;
- Entrée/sortie numérique;
- Compteur/temporisateur.

Le matériel périphérique qui se compose de plusieurs sous-systèmes, comme celui illustré ci-dessous, sont appelés cartes multifonctions.

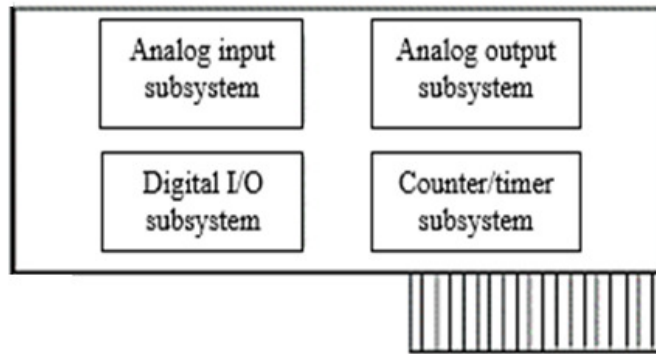


Fig.2-15: Carte d'acquisition de données multifonction [4]

II-7-2-1) Systèmes d'entrée analogique

Les sous-systèmes d'entrée analogique convertissent les signaux d'entrée analogique du mode réel d'un capteur en bits qui peuvent être lus par l'ordinateur. Peut-être le plus important de tous les sous-systèmes communément disponibles, ce sont typiquement des dispositifs multicanaux offrant une résolution de 12 ou 16 bits.

II-7-2-2) Systèmes de sortie analogique

Les sous-systèmes de sortie analogique convertissent les données numériques stockées sur l'ordinateur en un signal analogique réel. Ces sous-systèmes effectuent la conversion inverse des sous-systèmes d'entrée analogique. Les cartes d'acquisition typiques offrent deux canaux de sortie avec 12 bits de résolution, avec un matériel spécial disponible pour supporter les opérations de sortie analogique à canaux multiples. Les sous-systèmes de sortie analogique sont également appelés sous-systèmes d'OA, convertisseurs D/A ou convertisseurs DAC.

II-7-2-3) Systèmes d'entrées/sorties numériques

Les sous-systèmes d'entrée/sortie numérique (DIO) sont conçus pour entrer et sortir des valeurs numériques (niveaux logiques) vers et depuis le matériel. Ces valeurs sont généralement traitées soit comme des bits ou des lignes simples, soit comme un port, qui se compose généralement de huit lignes.

II-7-2-4) Systèmes compteur/temporisateur

Les sous-systèmes compteur/temporisateur (C/T) sont utilisés pour le comptage d'événements, la mesure de la fréquence et de la période, et la génération de trains d'impulsions.

II-8) Logiciel de contrôle informatique, d'acquisition et de gestion des données

II-8-1) Logiciel SCADA

SCADA est un logiciel de contrôle spécialisé EDIBON du banc d'essai moteur, basé sur LabVIEW. L'écran principal du SCADA tel qu'illustré à la figure (**Fig. 2-16**) a un diagramme du système, les principales possibilités de fonctionnement du logiciel, les affichages des capteurs, les commandes des actionneurs, la sélection des canaux et d'autres paramètres du tracé, les affichages graphiques en temps réel.

II-8-2) Ecran principal du logiciel SCADA

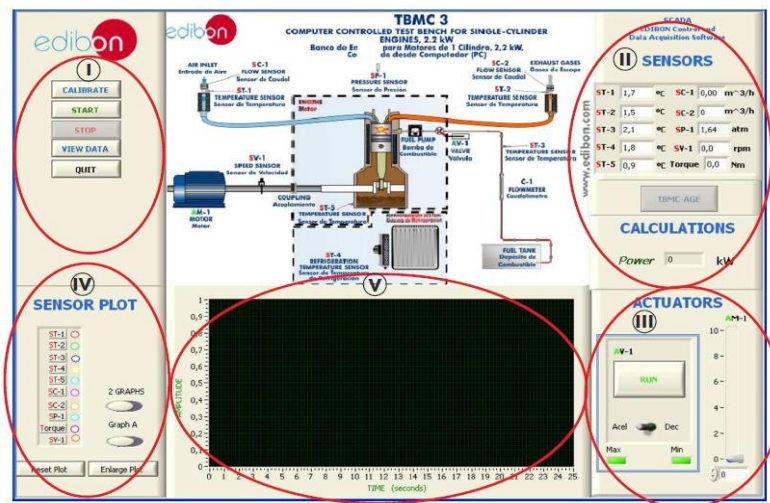


Fig.2-16 : Ecran (menu) principal du SCADA [4]

- I : Principales possibilités d'utilisation du logiciel.
- II : Afficheurs de capteurs.
- III : Commandes des actionneurs.
- IV : Sélection du canal et autres paramètres du tracé.
- V : Affichage graphique en temps réel.

II-8-3) Diagramme du system

La partie supérieure centrale affichera le schéma du système, montrant l'emplacement des capteurs et des actionneurs, indiqués par un S rouge ou un A vert respectivement.

II-8-4) Possibilités opérationnelles du programme

CALIBRAGE: Il permet de lire et de modifier le fichier d'étalonnage de l'équipement. Un mot de passe est nécessaire pour se connecter en fonction du niveau d'accès : instructeur ou support technique.

DEMARRAGE: Tout d'abord, il vous demande le nom du fichier pour sauvegarder les données (voir la figure ci-dessous). Après l'introduction d'un nom valide, le processus d'acquisition commence. Les indicateurs et les afficheurs montrent l'évolution des signaux acquis en temps réel.

ARRET : Ce bouton n'est disponible que s'il y a une acquisition en cours.

DEMARRAGE/ARRET: sauvegarde de données: L'enregistrement des données dans le fichier du magasin démarre/arrêt. Le temps entre les contenus enregistrés peut être configuré par l'utilisateur. Les données seront sauvegardées pendant le processus dans un fichier texte sélectionné au démarrage du programme. Il est nécessaire de savoir où nous l'avons sauvegardé, afin de pouvoir ouvrir ce fichier plus tard ou d'utiliser l'outil "view data" du logiciel de l'unité.

Le logiciel n'enregistre pas les données par défaut, c'est-à-dire qu'il est nécessaire d'appuyer sur le bouton "Start Saving" pour lancer le processus d'enregistrement. A ce moment, certaines options sont activées. Nous pouvons choisir le temps entre les échantillons sauvegardés, c'est-à-dire la période de sauvegarde des données. Dans certaines applications, il est possible d'enregistrer manuellement en appuyant seulement sur un bouton, quelle que soit la période sélectionnée. De plus, si vous avez besoin d'enregistrer des données à un moment précis parce que la période d'enregistrement est très longue, vous n'avez qu'à appuyer sur le bouton "prendre les données".

VIEW DATA: Ceci ouvrira une nouvelle fenêtre de représentation graphique, dans laquelle les valeurs précédemment acquises et sauvegardées pourront être analysées. Les données ont besoin d'un certain temps pour être chargées, en fonction de la taille du fichier. Après avoir terminé l'expérience, les résultats peuvent être représentés avec l'option "View Data" de l'écran principal. Cette option ne sera activée que lorsque le logiciel est arrêté. Cette application permet de représenter certains capteurs par rapport à d'autres, et non par rapport au temps.

QUIT : Ceci fermera et quittera le programme. Il ne peut pas être utilisé pendant qu'une acquisition est en cours ou lors de l'affichage des données.

II-8-5) Contrôle manuel des actionneurs

Cette carte contient tous les actionneurs numériques ou analogiques pour contrôler les différents composants du système. Il peut également y avoir des sorties analogiques pour contrôler la vitesse du moteur, leur fonctionnement est facile, il suffit de tourner le bouton ou d'écrire la valeur dans le boîtier numérique. Cette carte permet d'accélérer et de décélérer le moteur à combustion interne à travers l'actionneur (**AV-1**). De plus, le couple de freinage peut être augmenté en agissant sur le moteur électrique (**AM-1**).

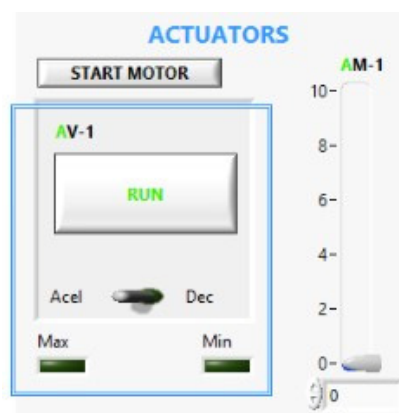


Fig.2-19: Actionneur de contrôle de l'ensemble, moteur thermique et moteur électrique [4]

II-8-6) Capteurs

Ce tableau montre les indicateurs numériques ou graphiques des données acquises par les capteurs. Les indicateurs sont étiquetés avec le capteur, ST=capteur de température, SC=capteur de débit, SP=capteur de pression, SV=capteur de vitesse, les affichages des capteurs et les valeurs se font en temps réel.



Fig.2-20 : Ecran des capteurs [4]

II-8-7) Configuration des graphes

La carte d'acquisition permet de tracer en temps réel les valeurs prises par les capteurs et d'afficher l'évolution des mesures dans en fonction du temps. Les capteurs peuvent être affichés individuellement dans différents graphiques ou différents capteurs dans le même graphique pour faciliter la comparaison entre eux. Différents capteurs peuvent être ajoutés au graphique pour visualiser ce qui se passe à chaque capteur et à chaque instant.

D'autre part, le graphique peut être divisé en deux parties, de sorte que des capteurs de même nature sont placés dans chacune de ces parties. Par exemple, les capteurs de température peuvent être affichés d'un côté et les capteurs de pression de l'autre côté.

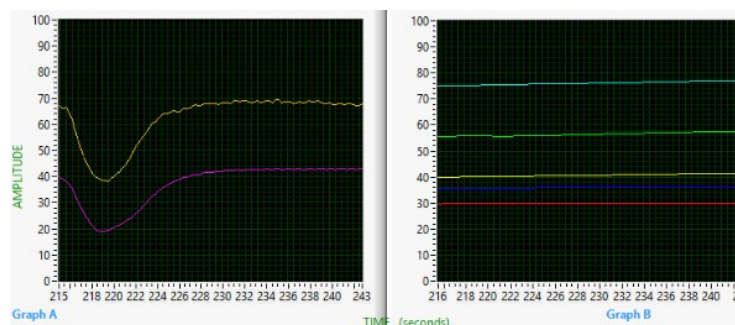


Fig.2-21 : Affichage en mode "deux graphes" [4]

Pour représenter les graphes des paramètres relatifs aux capteurs sélectionnés dans l'un ou l'autre graphique, il faut utiliser l'autre curseur de contrôle (Graphique A/Graphique B). Il y a aussi la possibilité d'élargir la représentation. Pour cela, cliquez sur "Agrandir le tracé" ; une fenêtre avec un

tracé similaire, mais plus grand, s'ouvrira, montrant les mêmes informations que dans le plus petit panneau. Le bouton "Agrandir le tracé" deviendra un bouton "Fermer" qui fermera la plus grande fenêtre du tracé lorsqu'on clique dessus. Ceci doit être fait avant de changer les canaux ou d'arrêter l'acquisition.

II-9) Services requis

- Tension électrique triphasée, indiquée sur le connecteur;
- Essence sans plomb (pour le carburant);
- Huile de haute qualité "10W30" pour la lubrification.

II-10) Instructions principales, consignes et précautions du travail

Avant de commencer les exercices pratiques avec l'unité TBMC3, les conditions suivantes doivent être remplies:

- Vérifier que le lieu de travail où se trouve le TBMC3 est propre, sec et exempt de substances liquides et gazeuses.
- Il est très important d'utiliser l'équipement de protection individuelle approprié avant de mettre en marche l'unité TBMC3.
- Il est nécessaire d'avoir un extincteur de CO₂ à proximité.
- La pompe à carburant sera toujours installée dans le moteur.
- Ne pas démonter le boîtier de protection de l'appareil lorsqu'il fonctionne. Cela augmentera le risque de subir un accident.
- L'essence est très inflammable et ses vapeurs peuvent exploser si elles s'enflamment.
- Toujours entreposer l'essence à l'intérieur de récipients approuvés, dans des locaux vides et bien ventilés, à l'abri des étincelles ou des flammes.
- Ne pas remplir le réservoir de carburant avec le moteur en marche ou encore chaud, car si du carburant s'échappe et touche les éléments chauds du moteur ou entre en contact avec les étincelles d'allumage, elles peuvent s'enflammer. Ne démarrez pas le moteur s'il y a du carburant à proximité. Ne jamais utiliser l'essence comme produit de nettoyage.

II-11) Maintenance du banc d'essai

Avant de démarrer le moteur, et en s'assurant qu'il fait froid, les contrôles suivants doivent être effectués :

- Vérifier le serrage des Vis: support moteur, fixation de l'accouplement entre le moteur et le moteur...
- Vérifier le moteur que nous allons tester.
- Vérifier le niveau de carburant avant de démarrer le moteur. Pour cela, le réservoir dispose d'un

tube pour voir le carburant à l'intérieur.

- Vérifier l'état correct des différents composants.
- Pour éviter les pannes et une usure excessive du moteur, toujours maintenir un niveau d'huile adéquat dans le carter. Ne jamais démarrer le moteur si le niveau d'huile est inférieur au repère "bas niveau d'huile". Le fait de pouvoir voir l'huile dans le carter ne signifie pas que le niveau se situe dans une plage de sécurité. Amener le niveau jusqu'au point de débordement du goulot de remplissage.

II-12) Possibilités expérimentales du banc d'essai

1. La familiarisation avec le moteur à quatre temps (à essence et Diesel);
2. La détermination de la consommation spécifique du carburant;
3. La détermination des courbes du couple;
4. La détermination des courbes de la puissance;
5. Détermination du rendement volumétrique;
6. Détermination du facteur d'excès d'air;
7. La mesure des paramètres les plus importants impliqués dans le processus: la température, le couple, la vitesse, ...etc.;
8. Détermination de la perte de charge dans un moteur;
9. Etude de l'effet du taux de compression, le mélange et le point d'allumage sur les courbes caractéristiques du moteur et de la température des gaz d'échappement;
10. Détermination du rapport d'air-fuel;
11. L'étalonnage des capteurs.

Chapitre III: Acquisition et traitement de données

III-1) Introduction

La tâche principale d'un test moteur est la production de données. La collection, la vérification, la manipulation, l'affichage et le transfert de ces données doivent être parmi les considérations principales pour la désignation et les opérations d'un banc d'essai moteur. C'est peut être la rapidité d'enregistrement, le traitement, le stockage des données et le développement des modèles de moteur qui sont responsables des améliorations révolutionnaires dans la pratique de l'expérimentation en moteur à combustion interne dans les dix dernières années [7].

III-2) Acquisition des données

Bien que les concepts comme acquisition de données, tests et mesures qui peuvent être étonnamment difficiles à définir complètement, la plupart des utilisateurs de calculateurs, les ingénieurs et les scientifiques affirment qu'il y a des éléments communs dans les systèmes utilisés actuellement pour ces fonctions.

- Un PC (ou ordinateur) est utilisé pour programmer et contrôler les tests et les équipements de mesure et de stocker et manipuler les données par la suite. Le PC peut être aussi, utilisé pour supporter les fonctions telles que la représentation temporelle en temps réel et la génération des rapports;
- Un PC peut être utilisé en général, pour inclure toute exécution ou opération de système et tout logiciel supportant les résultats désirés;
- Un test ou système de mesure peut consister en cartes enfichables d'acquisition de données pour un PC, châssis de cartes externes, instruments discrets ou une combinaison de tous ça. Des châssis externes et instruments discrets peuvent être typiquement connectés à un PC en utilisant soit les ports de communication standards ou une carte d'interface exclusive en PC;
- Le système peut effectuer une ou plusieurs mesures et processus de contrôle en utilisant plusieurs combinaisons des entrées analogiques, sorties analogiques et entrées/sorties numériques (digital) ou autres fonctions spécialisées. Lorsque des instruments externes sont utilisés, la plupart ou toutes ces fonctions doivent être résidées dans (appartiennent à) ces instruments.

III-3) Instruments et dispositifs intelligents

Le ordinateur d'acquisition de données et de contrôle du banc d'essai peut, en plus de la prise des signaux de capteurs individuels, aussi peut être basculer en (marche et arrêt) et acquérir des données à partir des modules complexes d'instrumentation, une liste qui comporte:

- Dispositifs de consommation du fuel gravimétrique ou débit massique;
- Consommation de lubrifiant;
- Fuites (blow-by) du moteur;
- Equipements d'analyse des émissions de gaz d'échappement;

- Instruments d'analyse de la combustion.

L'intégration de ces dispositifs avec le système de contrôle, nécessite des pilotes de logiciels spéciales pour permettre une communication couvrant le contrôle de base, l'acquisition de données et les procédures de calibration. L'interface entre un dispositif et le calculateur du banc d'essai peut être d'une manière analogique conventionnelle ou entrées/sorties digitales, par série d'interface ou de plus, à travers un réseau local de travail.

III-4) Systèmes de capteurs de mesure pour MCI

Actuellement, les caractéristiques typiques d'un système moderne de mesure du moteur, sont comme montré sur la figure ci-dessous (**Fig.3-1, [8]**) et qui inclure les composantes convenables pour les mesures en moteur Diesel. Dans ce schéma, la pression de ligne d'injection du fuel est mesurée par un capteur de type "jauge de contrainte" connecté à un amplificateur de mesure, tandis que le signal généré par un capteur de pression piézoélectrique peut être conditionné en suivant deux procédures de mesure. Dans la première procédure, la pression dans le cylindre est obtenue en employant un amplificateur de charge pour dresser le signal du capteur, tandis que dans la seconde procédure, un convertisseur "courant-voltage" est utilisé pour mesurer la différence de pression dans le cylindre.

Les données de pression sont indexées avec la position de l'angle de vilebrequin, en référence au PMH de compression. Généralement, la position de l'angle de vilebrequin est déterminée avec un enregistreur optique d'angle qui fournit l'ensemble, une impulsion par révolution dans un canal utilisé pour établir l'angle de référence PMH, et 720 impulsions par révolution dans un second canal pour déterminer la position relative de l'angle instantané. Des multiplicateurs externes d'impulsion peuvent aussi être nécessaires pour améliorer la position relative de l'angle, pour des résolutions de l'ordre de 3600 impulsions par révolution. Chaque impulsion de position d'angle génère (ou nécessite) un système d'acquisition de données à grande vitesse, qui devrait être en mesure d'acquérir simultanément, les signaux fournis par les amplificateurs des traitement de signal, collecter les données acquises à travers de multiples cycles afin d'avoir un cycle moyen, et les sauvegarder dans un PC de stockage.

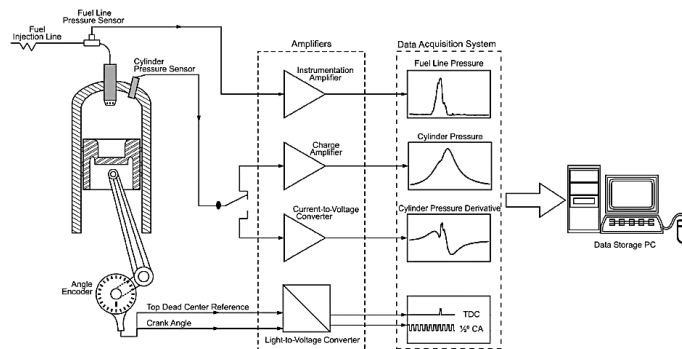


Fig .3-1: Système de mesure typique d'un MCI [8]

III-5) Mesure des fuites dans le carter moteur

Dans tous les moteurs à combustion interne, il y'a un écoulement de gaz vers et en dehors des volumes (clearances) ou cavités entre le haut du piston, gorges des segments et l'alésage du cylindre. Dans un moteur essence, ceci peut représenter 3% du volume de la chambre de combustion. Depuis que dans un moteur à allumage commandé les gaz consistent d'un mélange non brûlé qui émerge pendant le temps de détente trop tard pour être brûlé, ceci peut être une source majeure des émissions HC et aussi, représente une perte de puissance. Une partie de ces gaz fuit à travers les segments et la jupe du piston en forme de fuites de gaz (blow-by) dans le carter d'huile. Ensuite, ces gaz ventilent en retour dans le répartiteur d'admission et par suite réduisent les émissions des HC et les pertes de fuel, mais ont un effet contraire sur le lubrifiant. L'écoulement des fuites de gaz (blow-by) est extrêmement variable sur toute la gamme des performances du moteur et sa durée de vie, par conséquent, un débitmètre de fuites des gaz devra pouvoir traiter une large gamme d'écoulement et avec pulsation [9]. Les instruments basés sur le principe de mesure d'orifice couplés avec traitement de linéarisation de signal (débit d'écoulement proportionnel à la racine carrée de pression différentielle), sont convenables pour mesurer les fuites de gaz dans toutes les directions de l'écoulement qui peut se produire lorsqu'il y a une pulsation intense entre la pression et un vide partiel dans le carter d'huile.

III-6) Conditionnement du signal de jauge de contrainte

La sortie d'une jauge de contrainte est de l'ordre de quelques millivolts par volt d'excitation, donc, l'instrumentation utilisée doit être capable de traiter des niveaux de signal de l'ordre de microvolts (ou des niveaux de micro-ohms si un ohmmètre est utilisé pour les lectures directes de résistance). Par conséquent, toutes les techniques standards pour de faibles bruits, des mesures sensibles font appel aux jauges de contraintes, notamment, blindage, filtrage, mesure de voltage différentiel et moyennage du signal.

Ce traitement de signal doit être disponible comme part de données spéciales utilisées pour lire les jauges de contraintes. Pour les installations à distance, noter que beaucoup de constructeurs offrent des préamplis de traitement de signal qui peuvent être installés près des jauges de contraintes pour amplifier les niveaux de signal jusqu'aux plages ou gammes de (0-10 V ou 4-20 mA).

III-7) Boîtiers des capteurs et répartition des E/S

Afin de mesurer les différentes températures et pressions du moteur, des sondes transductrices et des capteurs de pressions doivent être attachés et ses câbles de signal doivent être connectés au système de carte d'acquisition. Dans plusieurs cas, les sondes peuvent être intrusives et ajustées à travers des points de tests scellés avec des raccords à compression. En plus des câbles de sonde simple

(unique), il y aura des câbles de d'autres instruments tels que les enregistreurs optiques qui nécessitent une connexion avec le banc d'essai pour que les signaux, sous forme brute, soient transmis au dispositif de traitement du signal. Parmi, les pratiques modernes, on doit réduire la vulnérabilité de la déformation du signal par le traitement au plus près possible du capteur (sonde) et le transmettre à l'ordinateur via un bus sérial SCSI parallèle; de telles implémentations, généralement connues comme entrées/sorties distribuées, peuvent réduire considérablement la complexité de l'installation [9].

Les boîtiers de capteurs et des sondes peuvent être équipées de plus de 50 câbles ou tuyaux raccordés à partir de tous les points du moteur soumis à l'essai; ceci nécessite un bon entretien en les subdivisant en sous plans ou sous ensemble pour éviter un enchevêtrement (embrouillement) inesthétique et difficile à utiliser. Le boîtier des capteurs peut être positionner:

- Sur un balancoire positionné au dessus du moteur, qui ne peut nécessite que des longueurs courtes des câbles et un simple chemin pour les câbles entre le boîtier et le système de contrôle. Cependant, à moins qu'un positionnement avec précaution soit vulnérable à une surchauffe locale causée par le rayonnement ou la convection du moteur; dans ces cas, une ventilation forcée de la gaine du canal et du boîtier des capteurs devrait être utilisée;
- Sur un socle à coté du moteur mais ceci peut donner des problèmes du câble de retour au système de commande;
- Sur la paroi du banc d'essai avec câbles de capteurs prélevés légèrement du moteur via une légère inclinaison.

III-8) Mesure de la vitesse de rotation (régime du moteur)

En général un tachymètre doit seulement être utilisé pour la mesure de la vitesse si la lecture (la donnée) n'est pas utilisée comme composante pour le calcul de d'autre quantité telle que la puissance. Il est plus pratique de compter les révolutions. Une simple impulsion (le déclenchement d'), telle qu'un trou dans la jante du volant d'inertie (volant moteur) est satisfaisant aux fins du comptage. Plusieurs dynamomètres sont ajustés avec 60 dents de roue (roue dentée) et prises de position inductive comme standard afin de les utiliser par son propre système de contrôle. Pour des indications (mesures) précises de vitesse instantanées et vitesse d'angle de vilebrequin au dessous d'un dixième de degrés, un enregistreur optique est nécessaire. Les arrangements (installations) du montage d'un enregistreur sur le moteur peut être difficile et si souvent c'est le cas, l'entraînement est pris à partir de l'autre extrémité du vilebrequin que celle du volant moteur, des effets de torsion dans le vilebrequin peuvent conduire à des erreurs différentes d'un cylindre à l'autre.

III-9) Mesure de la pression

III-9-1) Capteurs électroniques de pression

Généralement, il existe de larges gammes de capteurs de pressions piézoélectriques et à jauge de contraintes fabriqués pour être utilisés en tests moteur, la majorité de ces capteurs ont les caractéristiques suivantes:

- Un capteur de pression est normalement consiste d'un cylindre métallique en acier inoxydable à connexion par filetage à l'extrémité sensible (de détection) et un câble de signal attaché à l'autre extrémité;
- Le corps du capteur peut comporter un dispositif quelconque, capable de convertir la pression détectée à l'entrée de dispositif en une sortie électrique (signal). Le signal peut être analogique millivolts, 4-20 mA ou un sortie digitale avec une interface de communication de type sériel bus CAN;
- Le câble de sortie et le circuit de connexion dépendent de type de capteur qui peut nécessite 4, 3 ou 2 fils de connexion dont l'un sera une alimentation électrique stabilisée;
- Chaque capteur peut avoir une gamme d'opérations qui doit être choisie avec précaution pour le canal individuel de pression, souvent, ils peuvent être détruits par une surpression et être inefficace pour mesurer les pressions inférieures à cette plage;
- Chaque capteur peut être utilisé à un domaine sous pression spécifique donnée, par conséquent, son exploitation pour les fuels ou des gaz spéciaux, doit être vérifiée au moment de la spécification [9].

III-9-2) Principe de fonctionnement du capteur piézoélectrique de pression

Pendant la mesure de pression de cylindre, le capteur est exposé à un flux de chaleur instantané qui provoque des changements continus dans sa température. Ces changements de température modifient la sensibilité de l'élément piézoélectrique et imposent des contraintes thermiques dans le diaphragme et dans le corps du capteur, générant des forces fallacieuses qui actent sur l'élément de quartz et causent des détérioration additionnelles du signal fourni par le capteur. L'inexactitude due à ces effets reçoit le nom de dérive de température.

Habituellement, les effets de la dérive de température sont séparés en deux composantes. La première composante correspond aux changements de flux de chaleur qui se produits à chaque cycle, et est appelée dérive ou choc thermique. La seconde composante représente les changements lents de la température du capteur résultant de la variation des conditions du fonctionnement du moteur et est appelée dérive de changement de charge. Normalement, la dérive de changement de charge seulement, favorise une instabilité lente dans le signal de référence du capteur, dont les conséquences et le contrôle dépendent de circuit choisi pour sa polarisation.

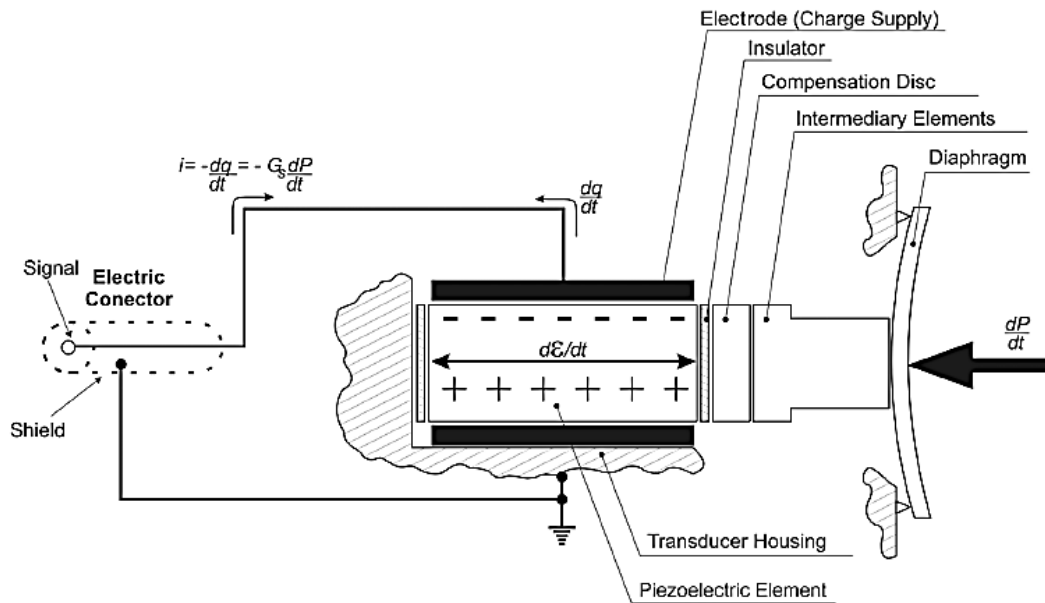


Fig. 3-2: Capteur de pression piézoélectrique [8]

III-9-3) Circuit de base et fonctionnement de la chaîne de mesure de pression

Les capteurs piézoélectriques de pression de combustion sont toujours utilisés avec un traitement de signal approprié dans les applications de mesure de combustion. Le traitement du signal requis pour un signal de charge est un amplificateur de charge et ceci essentiellement, consiste d'un amplificateur de conversion de tension à gain élevé avec MOSFET (transistor à effet de champ d'un métal-oxyde semi-conducteur) ou JFET (transistor à effet de champ de jonction) à son entrée pour avoir une haute résistance d'isolation.

La fonction d'un amplificateur de charge est de convertir la haute charge d'impédance d'entrée à une tension de sortie utilisable. Le schéma de circuit de base est montré sur la figure (Fig. 3-3, [9]) ci-dessous.

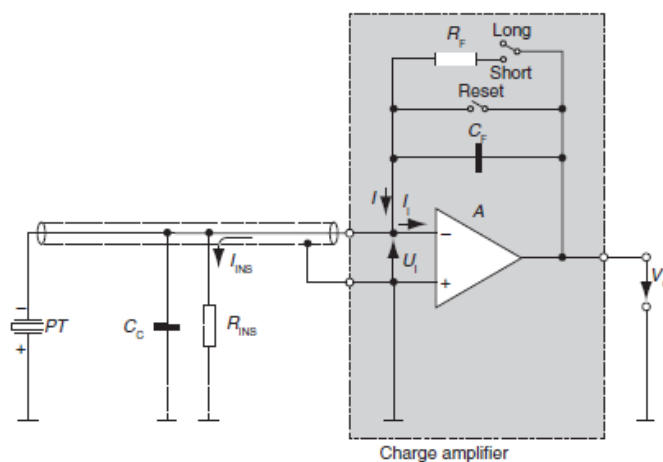


Fig. 3-3: Circuit de base d'un amplificateur de charge (AVL List) [9]

Un amplificateur de charge consiste d'un amplificateur à gain élevé et d'un condensateur à rétroaction négative (CG). Lorsqu'une charge est délivrée à partir d'un capteur de pression piézoélectrique (PT), il y aura une augmentation légère de tension à l'entrée de l'amplificateur (A). Cette augmentation est apparait à la sortie, potentiellement amplifiée et convertie. Le condensateur (CF) sollicité négativement (de rétroaction négative) en conséquence, prend la charge de l'entrée et maintient la hausse de tension faible à l'entrée de l'amplificateur.

A la sortie de l'amplificateur (A), la tension (VO) se fixe (se donne) de telle sorte qu'il capte suffisamment de charge à travers le condensateur pour permettre à la tension d'entrée restante d'être exactement VO, lorsqu'elle est amplifiée par (A). Puisque le facteur de gain de (A) est très large (jusqu'à environ 100000), la tension d'entrée reste virtuellement nulle. La charge de sortie du capteur de pression n'est pas utilisée pour augmenter la tension aux condensateurs d'entrée, elle est retirée par le condensateur de rétroaction.

Une donnée sortie est produite seulement lorsqu'un changement d'état est expérimenté, par suite, un capteur piézoélectrique et un amplificateur de charge ne peuvent pas effectuer de vraies mesures statiques. Ceci n'est pas un issu pour les mesures normales de combustion, puisqu'elles nécessitent une chaîne de mesures hautement dynamiques pour capturer adéquatement tous les aspects du phénomène. Des considérations spéciales sont nécessaires pour la calibration de la chaîne de mesures et pour l'analyse de données.

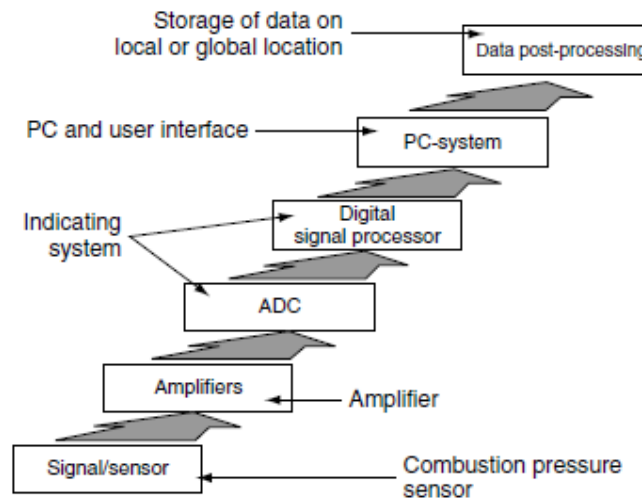


Fig. 3-4: Processus typique pour l'analyse de la combustion [9]

III-10) Mesure de température – thermocouples

La majorité des températures mesurées pendant les tests de moteur ne sont pas significativement variables à un taux considérable de changement, même chose pour son degré de précision qui n'est pas nécessairement considérable. Souvent, le capteur le plus utilisé est le thermocouple de type K, ayant une sonde en acier inoxydable ancré et ajustée avec sa propre longueur d'un câble spécial de thermocouple et de bouchon standard. Pour avoir des lectures de température

calibrées, tout thermocouple nécessite d'être ajusté avec un système ayant une "jonction froide" de température connue avec lequel sa température mesurée doit être comparée. Tout type de thermocouple doit être commercialisé avec une variété de sondes et spécifications de câble, dépendant de la nature de son installation; ils doivent être considérés comme articles consommables et pièces de rechange en stock.

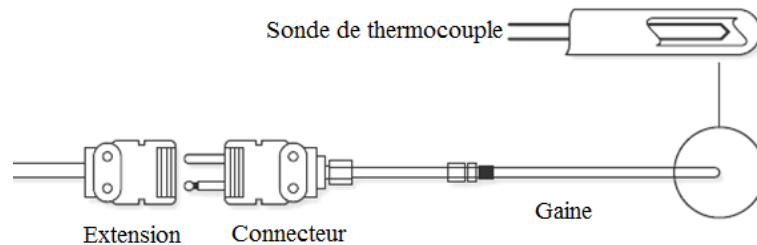


Fig. 3-5: Thermocouple industriel typique

III-11) Format de l'enregistreur des tableaux de données (graphes)

L'enregistrement graphique représente l'étape primitive dans le processus d'acquisition de données automatisée. Les enregistreurs multiples, ayant jusqu' aux 12 canaux donnent des enregistrements continus analogiques en plusieurs couleurs, ont encore un rôle utile, particulièrement, dans les tests de systèmes dispersés, tels que ceux installés dans les installations marines ou pour les grands moteurs "de terrain" où la robustesse et la facilité avec laquelle l'enregistrement peut être indiqué seront de valeur. C'est la façon dont les données sont affichées sous forme graphique colorée de valeurs en fonction du temps, actuellement émulé par des écrans informatisés ou par affichage sur PC, c'est la valeur réelle qui testent les ingénieurs qui nécessitent des indications ou des mesures claires et immédiates de tendances et de l'interaction des canaux de données.

III-12) Précision de conversion analogique-numérique (ADC)

Les signaux à partir des capteurs ayant des données analogiques sont digitalisés, traités et linéarisés dans les PC pour l'affichage et le stockage en forme et style choisis. Collections exclusives de données et cartes de traitement de signal sont généralement disponibles avec ADC resolution de 8, 12 et 16 bits. Ceux-ci doivent être sélectionnés en fonction de la précision et de la signification des signaux à traiter.

Il est entièrement inapproprié et donne de fausse illusion de précision d'utiliser une résolution de 16 bits ou plus d'un ADC pour les canaux de mesure présentant une imprécision inhérente d'un ordre de grandeur supérieur. Par exemple, un thermocouple mesurant la température des gaz d'échappement peut avoir une gamme "marge" de 0-1000°C et une précision de $\pm 3^\circ\text{C}$. La résolution 16 bits serait d'environ, 0.016°C , alors que la résolution entièrement adéquate de 12 bits serait d'environ; $0,25^\circ\text{C}$.

III-13) Contrôle informatisé et acquisition de données

Les bancs d'essais complètement informatisés sont inévitablement dépendant d'un PC (ou calculateur). Le degré de dépendance est fonction du détail de désignation de l'équipement; certaines désignations permettent des opérations manuelles en dehors de fonctionnement de calculateur mais pour la majorité non. Dans presque tous les systèmes, un mode pseudo contrôle manuel est disponible, selon lequel, l'opérateur peut démarrer et arrêter le moteur, par suite, changer la vitesse et le couple à travers un panneau d'opérations manuelles; cependant, ce mode est invariablement commandé électriquement (fly-by-wire) et dépendant de calculateur pour tous sauf la demande.

Certains tests tels que ceux nécessaires pour la validation (confirmation) des émissions du moteur, peuvent être programmés en détail par le fournisseur de système de contrôle, mais normalement, l'utilisateur est procuré par une liste ou série d'outils de logiciels pour installer les fonctions nécessaires: collection de données, étiquetage, taux de balayage, fréquence de consigne et l'affichage de données. Il est vital qu'une formation à l'utilisation efficace de ces outils est donnée à ceux qui font partie de l'ensemble de la chaîne d'utilisation des données.

III-14) Traitement et interprétation de données

Post-traitement et affichage de données est souvent effectué à l'aide d'une feuille de calcul ou d'une base de données relationnelle et de logiciel graphique qui peut lire les informations mises en mémoire tampon ou stockées directement à partir du banc d'essai ou un ordinateur hôte ou central.

III-15) Démarche pratique à suivre

Avant de démarrer le moteur, l'opérateur doit lire les instructions principales et les précautions fournies par le concepteur de banc d'essai. Contrôler s'il y a suffisamment d'huile de lubrification dans le carter du moteur, ainsi que le fuel nécessaire dans le réservoir. On doit aussi, contrôler la propreté de filtre à air. Après tout ça, on doit allumer le boîtier d'interface de commande (CIB) et ensuite, démarrer le logiciel **SCADA** sur PC. Pour démarrer le moteur à combustion interne, on doit ouvrir le robinet du fuel liée au réservoir et celle de débitmètre de consommation du fuel. Sur l'interface du logiciel, on doit cliquer sur l'actionneur "**START MOTOR**" (voir **Fig.3-6**). Le moteur asynchrone acte dans ce cas comme démarreur et comme frein moteur après. A partir de ce point, le contrôle peut se faire uniquement par logiciel; pour l'accélération, positionner l'actionneur "**AV-1**" à "**Acel**" et ensuite cliquer sur "**RUN**". La même procédure pour la décélération, on doit positionner l'actionneur "**AV-1**" à "**Dec**" et ensuite cliquer sur "**RUN**". Pour visualiser ou obtenir les courbes, on doit spécifier sous l'indication "**SAVE DATA**", un pas du temps (0,2 seconde par exemple).

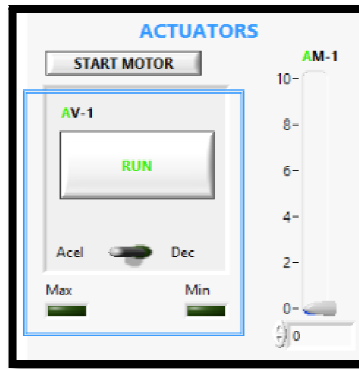


Fig.3-6: Actionneur de contrôle.

Ensuite, mesurer le couple pour chaque position en activant "AM-1" du moteur, de telle sorte qu'il acte comme frein pendant une minute approximativement, comme montré sur la figure (Fig.3-7). Procéder à l'ouverture de la soupape "AV-1" d'accélérateur partiellement à des positions différentes afin d'obtenir différentes conditions de rotation ou de régimes moteur.

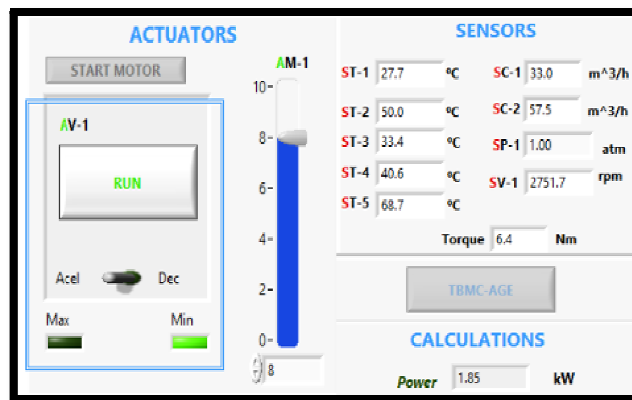


Fig.3-7: Actionneur de contrôle et affichage des capteurs

Lorsqu'on observe que les différents capteurs maintiennent ses valeurs stables, on peut les enregistrer avec le logiciel (Fig.3-8).

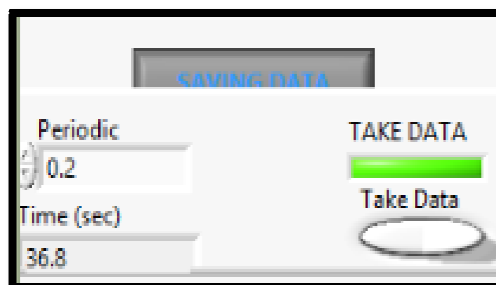


Fig.3-8: Enregistrement des données

Chapitre IV: Présentation et interprétation des données

IV-1) Introduction

Les petits moteurs monocylindriques à quatre temps sont souvent utilisés comme source de puissance convenables et compacts pour les pompes, les moteurs agricoles, mélangeurs, les motos (motocycles), ...etc. [2]. Un moteur monocylindre à quatre temps a été testé sur un banc d'essai moderne (à frein électrique). Plusieurs paramètres ont été mesurés et comparés avec ceux obtenus par calcul théorique, empirique, numérique ou analytique.

Dans ce chapitre, les performances caractéristiques d'un moteur mono cylindre à quatre temps, mesurées ont été présentées graphiquement en fonction de la vitesse de rotation et interprétées (couple, puissance, consommation spécifique du fuel et le rendement du moteur). D'autres paramètres mesurés sont aussi présentés (débit d'air d'admission, débit des gaz d'échappement, température des gaz d'échappement et celle de l'huile de lubrification). Enfin, une comparaison entre certains paramètres mesurés et ceux fournis par le constructeur du moteur a été présentée pour confirmer et vérifier la validité de ces données.

L'établissement de normes unifiant l'élaboration des tests pour les moteurs à combustion interne est essentiel. Ces normes assurent une comparabilité et une fiabilité des tests, facilitant ainsi, l'évaluation précise des performances des moteurs, l'orientation des choix des utilisateurs et la stimulation de l'innovation technologique. L'adoption de telles normes permettrait d'obtenir des spécifications constantes et fiables pour les MCI, offrant aux utilisateurs une base solide pour prendre des décisions éclairées et favorisant le progrès continu dans ce domaine essentiel.

IV-2) Manipulations expérimentales de mesure

IV-2-1) Manipulation 01: Détermination des courbes caractéristiques du MCI (couple et puissance mécanique utile)

L'Objectif: le but de ce type de manipulation, est la détermination des courbes caractéristiques d'un moteur à combustion interne. On doit spécifier aussi, les valeurs de la puissance maximale et le couple maximal du moteur en indiquant leurs régimes (vitesses de rotation) correspondants.

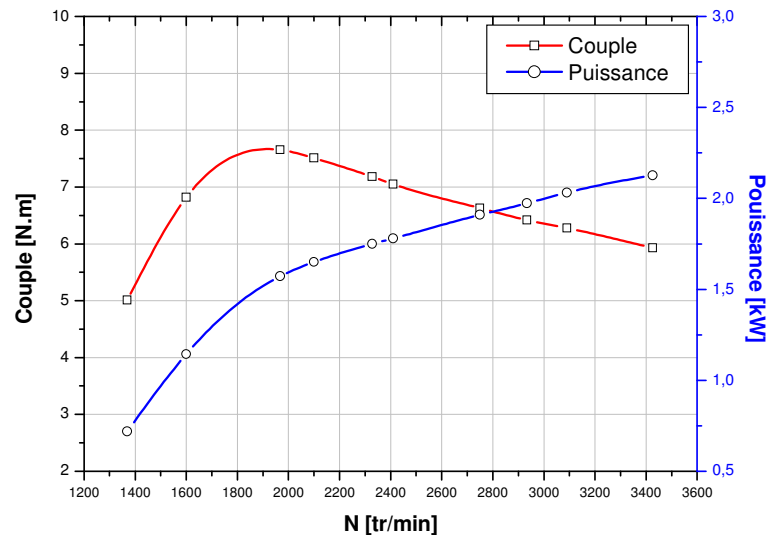


Fig.4-1: Couple et puissance utile mesurés

A partir du graphe ci-dessus, on remarque que les trajectoires du couple et de la puissance suivent des courbes caractéristiques. On remarque aussi, que le couple augmente pour les bas régimes jusqu'à 2000 tr/min puis, il commence à diminuer linéairement avec l'augmentation du régime du moteur. Ceci peut être attribué à la quantité d'air suffisante admise par le moteur (à ces bas régimes, le moteur a le temps nécessaire pour aspirer la quantité nécessaire à la combustion qui sera longue et complète dans ce cas).

La puissance dans cette plage reste modérée. Au régime intermédiaire, le couple atteint un pic, accompagné d'une augmentation significative de la puissance. A partir des graphes, le régime du couple maximal est approximativement; 1950 tr/min, celui de la puissance maximale est de 3400 tr/min. La valeur de la puissance disponible pour le régime du couple maximal est de 1.60 kW, la valeur du couple disponible au régime de la puissance maximale est de 5,93 N.m.

Généralement, Les courbes du couple et de la puissance augmentent avec la vitesse s'élevant à une certaine valeur de tr/min, à ce moment le couple arrive à sa valeur maximale puis commence à diminuer, alors que la courbe de puissance continue à augmenter après cette valeur de tr/min jusqu'à ce qu'elle atteigne une certaine valeur et commence à descendre. Généralement il est trouvé que c'est le couple qui atteint son pic en premier suivi par un pic de puissance.

Les courbes de couple et de puissance obtenues depuis le banc d'essai ont plus ou moins la même forme que ceux du constructeur, au début les deux courbes commencent à augmenter jusqu'à ce que le couple atteigne son pic (sa valeur maximale) dans les environs de 1968 tr/min (approximativement, au milieu de la plage de vitesse) avec un couple de 7.65 N.m. Juste après ce

pic le couple commence à diminuer alors que la puissance continue à augmenter jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur maximale à approximativement 3426 tr/min avec une puissance de 2.13 kW.

Les valeurs mesurées sont légèrement inférieures à celles données par le constructeur (puissance: 2,98 kW@3800 tr/min et le couple: 7,46 N.m@2600 tr/min) et ceci revient à plusieurs raisons:

1) Les conditions d'essai: le couple nominal donné par le fabricant est généralement déterminé dans des conditions d'essai standardisées, qui peuvent différer des conditions de fonctionnement réelles du moteur. Les facteurs tels que, la température, l'humidité et l'altitude peuvent affecter le couple du moteur.

2) Hypothèses du calcul: la puissance fournie par le constructeur est basée sur diverses hypothèses concernant les performances du moteur telle que le couple et le régime du moteur. Ces hypothèses peuvent ne pas refléter avec précision les performances réelles du moteur dans toutes les conditions de fonctionnement.

En générale, les performances fournées par le constructeur représentent des indicateurs plus fiables du moteur que les valeurs mesurées par nos même ou calculées. Cependant, ces dernières valeurs, peuvent toujours fournir des informations utiles sur les performances du moteur et sont potentiellement important pour l'optimisation.

Le couple dépend du rendement du moteur, donc pour un rendement maximal nous aurons un couple maximal. Un rendement maximal est quand on a suffisamment d'air pour la combustion. Le couple commence à diminuer après 1968 tr/min parce que le moteur devient moins performant à une vitesse de rotation élevé. Les soupapes d'admission s'ouvre et se referme dans une durée limitée, augmentant la vitesse du moteur fera aussi augmenter la vitesse d'ouverture et de fermeture des soupapes. Donc ça signifie que les soupapes d'admission s'ouvrirent brièvement pour laisser passer l'air, cela affecte la quantité d'air entrante dans le cylindre en d'autre termes moins d'air pour la combustion. La combustion prend une grande durée pour se produire. Si vous forcez le moteur à tourner avant qu'il ne puisse compléter la combustion, il sera moins efficace. En même temps, le frottement interne augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation.

La puissance est essentiellement le produit du couple et de la vitesse de rotation. Quand le couple atteint sa valeur maximale à 1968 tr/min et commence à diminuer, la diminution est faible et n'est pas suffisante pour compenser l'augmentation de tr/min, donc le produit global signifie que la puissance augmente encore.

– **Détermination de la puissance utile et le couple corrigés en fonction des conditions atmosphériques d'essai du MCI**

L'Objectif : la puissance mécanique d'un MCI est la caractéristique principale donnée par le constructeur. Dépendant de variables différentes, les valeurs des différents paramètres enregistrés sur un MCI changent. Par conséquent, le recours à des normes unifiant l'élaboration d'un test pour un MCI est indispensable.

La puissance nette ou la puissance utile est celle obtenue sur banc d'essai à l'extrémité de l'arbre moteur ou le vilebrequin, avec les éléments auxiliaires nécessaires à l'opération. La puissance nette maximale est référenciée à la valeur maximale de la puissance nette mesurée avec le moteur à plein charge. Par conséquent, tout élément auxiliaire non indispensable à l'opération du moteur doit être démonté. Le facteur CF1 est le coefficient par laquelle, la puissance mesurée doit être multipliée afin de déterminer la puissance en considérant les conditions atmosphériques comme référence. Pour un MCI à allumage commandé:

$$CF1 = \left(\frac{ps_0}{ps}\right) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0.5} \quad (4-1)$$

Tels que;

T_0 : Température atmosphérique de référence, $T_0= 298K$;

ps_0 : pression atmosphérique de référence (pression sèche), $ps_0=99kPa$;

T : la température de l'air d'admission (Température atmosphérique d'essai), $288K < T < 308K$

Ps : la pression barométrique (pression atmosphérique d'essai), $80 kPa \leq Ps \leq 110kPa$

Le coefficient de correction doit être: $(0,93 \leq CF1 \leq 1,07)$

La puissance réelle (corrigée, P_c) du moteur à combustion interne dans ce cas est donnée en fonction de la puissance mesurée (P_m) par:

$$P_c = CF1 \cdot P_m \quad (4-2)$$

On peut aussi, utiliser l'expression (le modèle) suivant pour le calcul de coefficient de correction de la puissance et de du couple moteur:

$$CF2 = \left[1,18 \cdot \left(\frac{99}{p_{mes}}\right) \cdot \left(\frac{T_{mes}}{298}\right)^{0,5} - 0,18 \right] \quad (4-3)$$

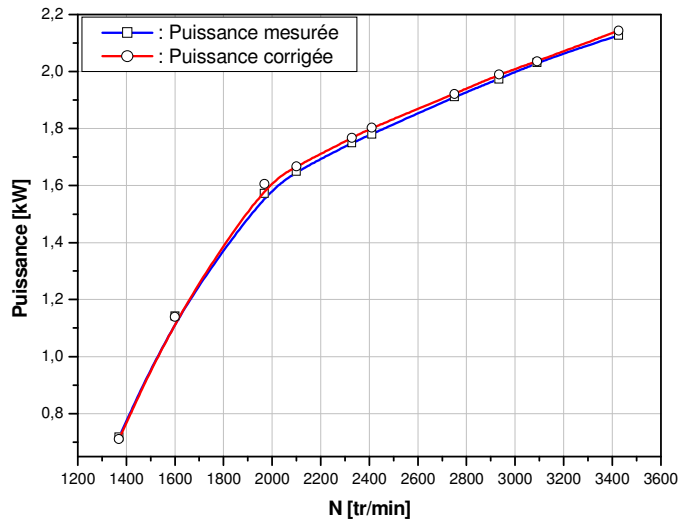


Fig.4-2: Puissance corrigée

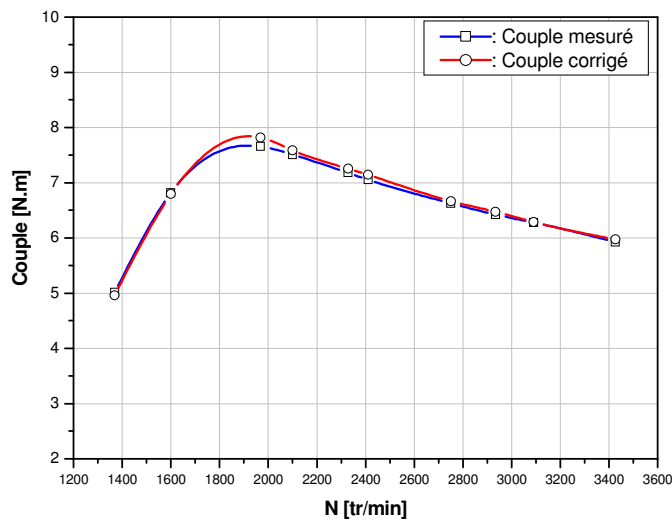


Fig.4-3: Couple corrigé

Les tests du moteur à combustion interne sous différentes conditions atmosphériques nécessitent l'utilisation des facteurs de correction pour corriger et unifier les valeurs obtenus par mesure. Cependant, il y a plusieurs normes de standardisation (SAE, DIN, BS), et différentes conditions de références. D'autre part, le couple et la puissance sont affectés par la masse volumique de l'air et les conditions d'écoulement dans le moteur. Aussi, les conditions d'écoulement sont affectées par le nombre de Mach.

Pour vérifier les caractéristiques des courbes de notre moteur thermique fourni par le constructeur KOHLER avec nos résultats, nous les avons tracés deux par deux dans les mêmes graphes ci-dessous.

Courbes de comparaison des couples

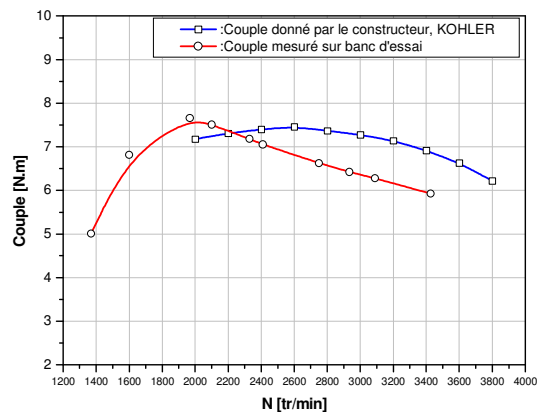


Fig.4-4 : Comparaison des couples (donné et mesuré)

Les deux courbes (**Fig.4-4**) se ressemblent, les deux augmentent jusqu'à ce qu'ils atteignent leur point culminant, puis ils commencent à chuter à mesure que la vitesse augmente. Comme on peut le voir, la valeur minimale du couple (donné par le constructeur, la courbe de ligne bleue) est à 2600 tr/min alors que la valeur minimale du couple mesuré (la courbe de ligne rouge) est à 2000 tr/min, ce qui explique que la vitesse de rotation du moteur KOHLER dans notre banc d'essai est limitée et que nous n'avons pas pu atteindre les mêmes valeurs que la courbe du moteur KOHLER.

Courbes de comparaison des puissances

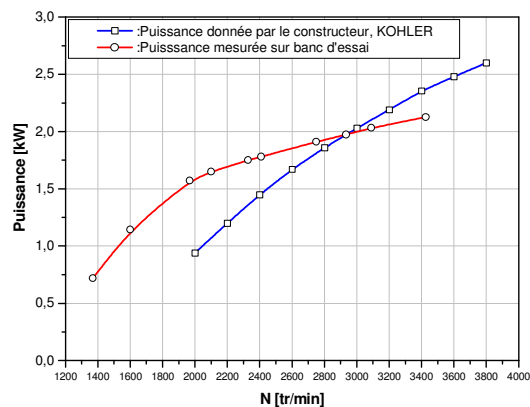


Fig.4-5 : Comparaison des puissances (donnée et mesurée)

La figure **Fig.4-5** montre les deux courbes de puissance en fonction du régime, Les deux courbes ont presque la même forme, elles augmentent jusqu'à ce qu'elles atteignent leur points culminant pour un grand régime. La valeur maximale de la courbe « Moteur KOHLER » est de 2,9 kW à 3800 tr/min tandis que la courbe « Banc d'essai » est de 2,13 kW à 3428 tr/min, comme il a été mentionné précédemment que le régime moteur KOHLER sur le banc d'essai EDIBON est limité par certains instruments. La compagnie EDIBON a mentionné dans son manuel joint avec le banc d'essai que, la puissance maximale de sortie obtenue est de 2,2 kW, cette valeur est proche de 2,13 kW obtenus par nous pendant ces travaux. Les résultats que nous avons obtenu sont légèrement différents des résultats

du constructeur et la raison principale est que notre banc d'essai et le banc d'essai du constructeur sont différents (freins, capteurs, systèmes d'acquisition, système d'entrée et de sortie d'air...etc.), en plus des conditions atmosphériques différentes entre les deux essais.

IV-2-2) Manipulation 02: Détermination de la consommation spécifique du fuel et le rendement du moteur (rendement thermique de freinage ou rendement global arbitraire)

L'Objectif : l'objectif de ce test sur banc d'essai est l'obtention de la consommation spécifique du fuel (csf). La consommation d'un moteur à combustion interne est le débit massique (l'écoulement du fuel à tout point de fonctionnement) du fuel utilisé pendant le processus de la combustion.

La consommation spécifique est la quantité du fuel consommée par unité de puissance mécanique utile:

$$csf = \frac{\dot{Q}_{mf}}{P_u} \quad (4-4)$$

Le rendement global arbitraire d'un moteur à combustion interne peut être donné par la relation entre la puissance mécanique développée par le moteur et la puissance thermique fournie par le fuel consommé.

La puissance thermique est calculée par la multiplication de débit massique [kg/s] du fuel et le pouvoir calorifique minimal relatif:

$$P_{th} = \dot{Q}_{mf} \cdot PCI \quad (4-5)$$

Tel que; PCI est le pouvoir calorifique minimal du fuel, (PCI=42,5 MJ/kg et la masse volumique du fuel, $\rho_f = 0,8 \text{ kg/dm}^3 = 800 \text{ kg/m}^3$).

Le rendement peut être exprimé par:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{th}} \cdot 100 \quad (4-6)$$

La puissance utile du moteur est égale; $P_u = f(N)$.

Débit volumique du fuel: $Q_v = Q_v \left[\frac{ml}{min} \right] \cdot \frac{10^{-3}}{1/60}; \left[\frac{l}{h} \right]$

Débit massique du fuel: $Q_m = Q_v \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot \rho \left[\frac{g}{m^3} \right]$

La consommation spécifique: $Csf \left[\frac{g}{kWh} \right] = \frac{Q_m}{P_u}$

Puissance thermique [kW]: $P_{th} = Q_m \left[\frac{g}{h} \right] \cdot PCI \left[\frac{kJ}{g} \right] = Q_m \left[\frac{g}{h} \right] \cdot PCI \left[\frac{kJ}{g} \right]$

Pour la conversion: (1 Wh=3.6 kJ)

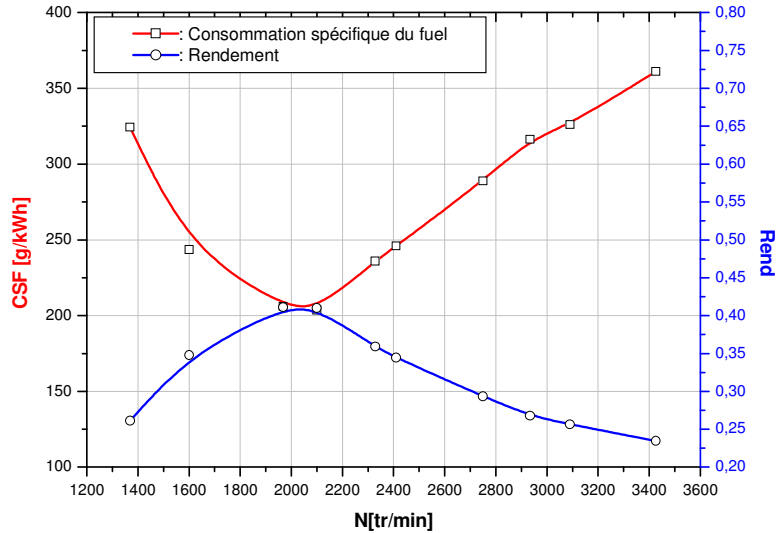


Fig.4-6: Consommation spécifique du fuel et rendement global arbitraire

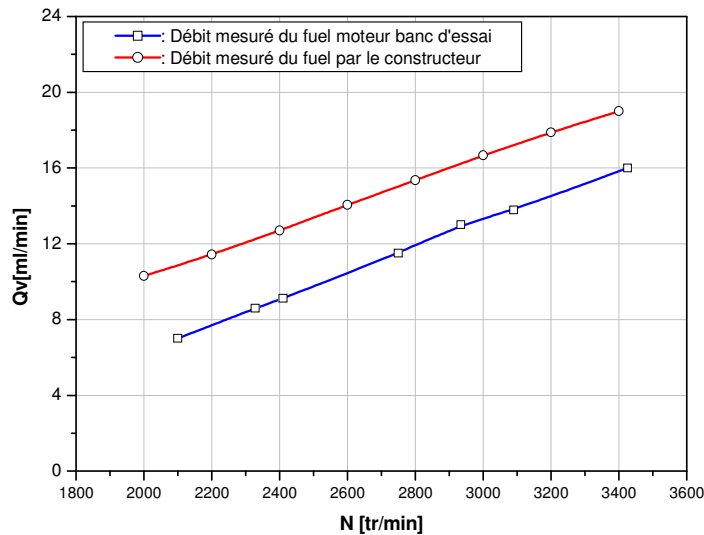


Fig.4-7: Comparaison des débits du fuel; débit donné par le constructeur-débit mesuré

On remarque la diminution de la consommation spécifique du fuel pour les bas régimes jusqu'au régime du couple maximal. Puis, on remarque l'augmentation de la consommation spécifique avec l'augmentation du régime moteur. Pour le rendement global du moteur, on remarque l'augmentation du rendement jusqu'au régime du couple maximal, puis il commence à diminuer fortement ou une pente considérable avec l'augmentation du régime moteur. La valeur moyenne du rendement du moteur est de 32%. Une consommation spécifique faible du fuel à des régimes spécifiques de fonctionnement reflète une meilleure efficacité énergétique à ces vitesses. Cette dernière remarque, permet d'identifier les régimes de fonctionnement où le moteur utilise le carburant de manière plus efficace.

La figure (Fig.4-7) montre les deux courbes de consommation en fonction du régime, Comme nous pouvons le constater plus le régime augmente plus les courbes augmentent, nos résultats montrent que la courbe «Banc d'essai» est inférieure à la courbe «Moteur 2.9 kW KOHLER» cela veut dire que nous utilisons moins de carburant que le constructeur et la raison pour cela est dû à la limitation du régime ou aux carburants utilisés (viscosité, densité). Pour les bas régimes, le carburant consommé est juste pour maintenir le moteur en marche, à mesure que le régime augmente, les pertes augmentent également donc le moteur consomme plus de carburant pour surmonter les pertes et pour maintenir le moteur en marche.

IV-2-3) Manipulation 03: Détermination du rendement volumétrique du moteur

Le rendement volumétrique du moteur est la mesure de l'efficacité du processus de remplissage du cylindre, il est donné par:

$$\eta_v = \frac{Q_{vcorr}}{V_d \cdot (N/60.2)} \cdot 100\% \quad (4-7)$$

Pour le calcul de débit volumique d'air d'admission, on peut aussi utiliser un coefficient de correction qui dépend des conditions atmosphériques des essais:

$$Q_{vcorr} = Q_{vmes} \cdot CF2 \quad (4-8)$$

$$CF2 = \left(\frac{p_{mes}}{p_0}\right) \cdot \left(\frac{T_{mes}+114}{T_0+114}\right) \cdot \left(\frac{T_0}{T_{mes}}\right)^{5/2} \quad (4-9)$$

Tels que; $p_0=1,01325$ bar; $T_0=293$ K

Le débit théorique est donné par:

$$Q_v = \rho \cdot \text{Cylindrée} \cdot N \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{2}; \left[\frac{kg}{s}\right] \quad (4-10)$$

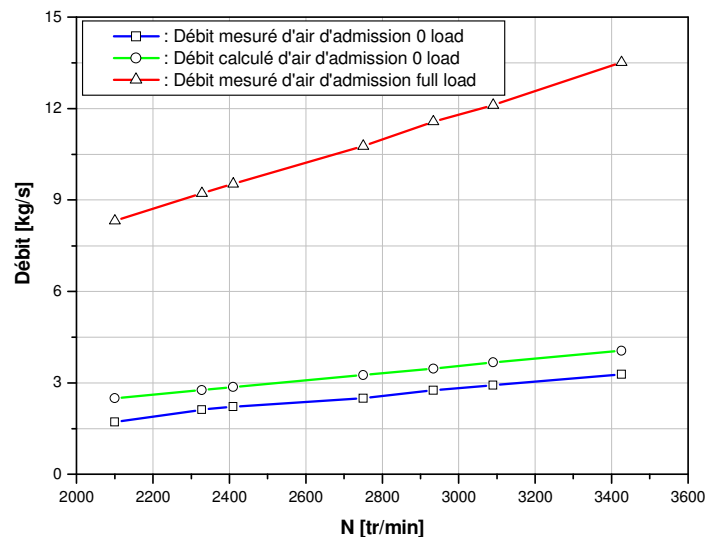


Fig.4-8: Comparaison débits d'air d'admission

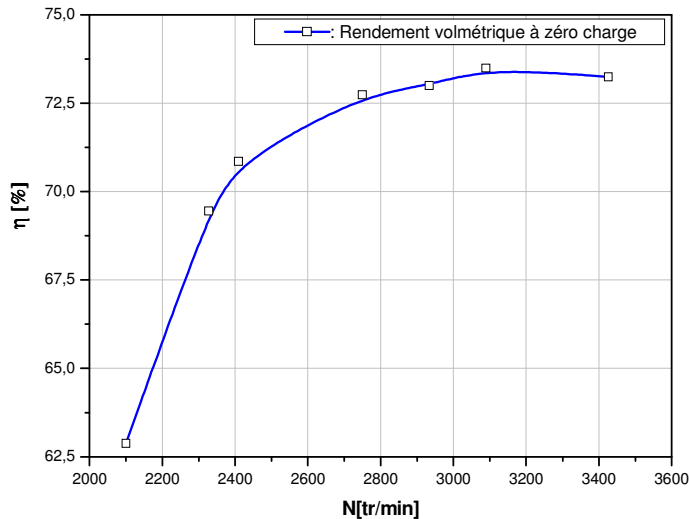


Fig.4-9:Rendement volumétrique du moteur à zéro charge

Premièrement, on remarque une grande différence entre le débit d'air d'admission à plein charge et celui relatif à zéro charge, ce qui confirme la quantité considérable d'air consommée par un moteur en plein charge. Pour le rendement volumétrique du moteur à zéro charge, on remarque l'augmentation du rendement avec l'augmentation du régime moteur jusqu'à la fréquence de 3000 tr/min puis, il commence à diminuer légèrement jusqu'à la fréquence de 3400 tr/min.

IV-2-4) Manipulation 04: Détermination de la pression effective moyenne (au freinage du moteur et le rapport air-fuel (AFR))

La pression effective moyenne au freinage du moteur (bmep), permet la comparaison du travail de sortie entre les moteurs de types et dimensions différentes. Elle peut être donnée par:

$$BMEP = \frac{P [kW]}{Cylindrée [m^3].N \left[\frac{tr}{min} \right] \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{2}}; [kPa] \quad (4-11)$$

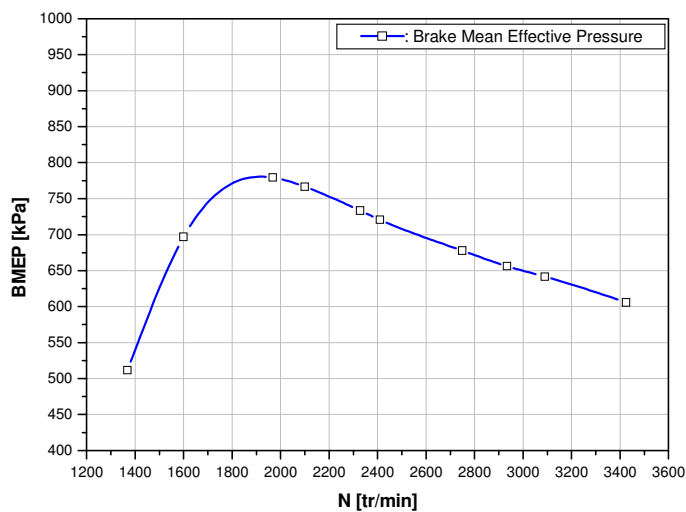


Fig.4-10: Pression effective moyenne du moteur (bmep)

On remarque l'augmentation rapide de la pression effective moyenne pour les bas régimes jusqu'au régime du couple maximal puis, il commence à diminuer linéairement en fonction du régime jusqu'à la valeur de 600 kPa.

– **Détermination du rapport air-fuel (AFR)**

Le rapport air fuel peut être donné par:

$$AFR = \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}} \quad (4-12)$$

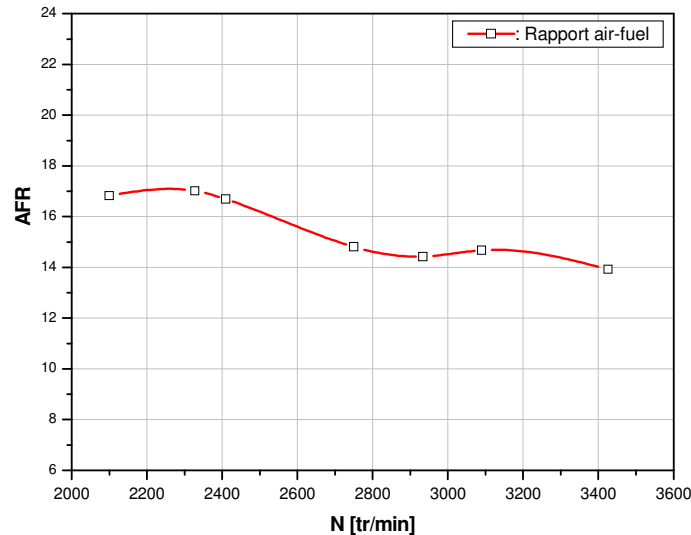


Fig.4-11: Rapport air-fuel (AFR)

On remarque que le rapport air-fuel pour ce moteur bascule légèrement par rapport au rapport stœchiométrique (14,7). Pour les bas régime il atteint des valeurs d'un mélange pauvre puis, il diminue rapidement vers des valeurs relatives à des mélanges légèrement riches en augmentant le régime du moteur.

IV-3) Conclusion

Une meilleure aspiration veut dire un bon rendement volumétrique et cela veut dire une combustion complète qui se traduit par un meilleur couple, au même moment la courbe de puissance et en constante augmentation dû au nombre de élevé de tours jusqu'à ce qu'elle atteint sa valeur maximale. La consommation spécifique de carburant est proportionnelle au régime du moteur.

- Les trois courbes caractéristiques; du couple, de la puissance et celle de la consommation spécifique du carburant ont le même comportement d'allure.
- Les résultats que nous avons obtenu sont légèrement différent des résultats données par le constructeur. Les principales causes de différences sont attribuées aux; équipements du banc d'essai utilisé (freins, capteurs, systèmes d'acquisition, système d'entrée et de sortie d'air...etc.) et aux conditions atmosphériques des deux essais.

Bibliographie

- [1] Constantine D. Rakopoulos et Evangelos G. Giakoumis Diesel Engine Transient Operation-Principles of Operation and Simulation Analysis Springer-Verlag London Limited, 2009.
- [2] Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [3] Obert, E.F, Internal Combustion Engines and Air Pollution, Intext Educational Publishers, New York, 1973.
- [4] Service Manual (Catalogue) Edibon International, web site: www.edibon.com, Issue: ED01/13, August, 2013.
- [5] Unit course-7, Internal Combustion Engine Testing, Indira Gandhi National Open University, Delhi,India.
- [6] Mohammed Ali Abdulhadi, A. M. Hassan, Courses "Internal Combustion Engines", Mechanical Engineering Department - University of Technology, Baghdad, Iraq.
- [7] Keithley, Understanding New Developments in Data Acquisition, Measurement, and Control a Practical Guide to High Performance Test and Measurement 1st Edition, 2007.
- [8] Md. Zahurul Haq, Applied Measurements Systems, InTech, 1st edition, February, 2012.
- [9] A.J. Martyr et M.A. Plint, Engine Testing, Elsevier Ltd., Third edition, 2007.