

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

5/95

وزارة التربية الوطنية
MINISTÈRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**SYSTEME EXPERT D'AIDE AU DIAGNOSTIC
DES PANNES DES MOTEURS
A
COMBUSTION INTERNE**

Proposé par :

M. BENBRAIKA

Etudié par :

M. BOUFENAR
F. GHEMIT

Dirigé par :

M. BENBRAIKA

PROMOTION

1994 - 1995

E. N. P 10, Avenue Hassen Badi - EL-HARRACH - ALGER

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**SYSTEME EXPERT D'AIDE AU DIAGNOSTIC
DES PANNES DES MOTEURS
A
COMBUSTION INTERNE**

Proposé par ;

M. BENBRAIKA

Etudié par :

M. BOUFENAR
F. GHEMIT

Dirigé par :

M. BENBRAIKA

PROMOTION

1994 - 1995

SUJET : *Système Expert d'aide au diagnostic des pannes des moteurs à combustion interne.*

RESUME : *L'objet de cette thèse est l'établissement d'un système expert d'aide au diagnostic des pannes des moteurs à combustion interne, qui fait partie des solutions nouvelles au problème de l'assistance informatique aux tâches de maintenance.*

SUBJECT: *Aid Expert system of breakdowns diagnosis within the internal combustion engines.*

ABSTRACT: *The object of this thesis is to elaborate an aid expert system of breakdowns diagnosis within the internal combustion engines, such a system is considered to be a part of the new solutions for the problem of computer aid to the tasks of the correctional maintenance.*

الموضوع: منظومة خبيرة للمساعدة على تشخيص الاعطاب ضمن محركات الاحتراق الداخلي .
ملخص: موضوع هذه الأطروحة هو إعداد منظومة خبيرة للمساعدة على تشخيص الاعطاب ضمن محركات الاحتراق الداخلي. وتعتبر مثل هذه منظومة جزءاً من الحلول الجديدة لمسكّل الدعم المعلوماتي لمهام الصيانة التصحيحية

DEDICACE

*Je dedie ce modeste travail
A mes très chers parents
A mes frères et mes soeurs
A toute ma famille
A tous les amis*

M. BOUFENAR

*Je dedie ce modeste travail
A mes très chers parents
A mes frères et mes soeurs
A toute ma famille
A tous les amis*

F. GHEMIT

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, nous remercions Monsieur: M. BENBRAÏKA pour son aide précieuse et son suivi tout au long de cette étude.

Nous tenons également à exprimer nos profondes reconnaissances à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION

I.1	Vue d'ensemble	1
I.2	Etude des besoins	2
I.3	Vers une solution système expert	2
I.4	Les apports d'un système expert	3

II. MAINTENANCE ASSISTEE PAR ORDINATEUR

II.1	Introduction	5
II.2	Définitions	6
II.3	Processus de diagnostic	6
II.4	Différentes approches possibles	7
II.4.1	Approche basée sur le raisonnement causal ...	7
II.4.2	Approche basée sur la représentation structurelle et fonctionnelle	8
II.4.3	Approche hybride	10
II.5	Les différentes méthodes	10
II.5.1	Les méthodes algorithmiques	10
II.5.2	Les méthodes à base de connaissances	11
II.6	Conclusion	12

III. THEORIE DES SYSTEMES EXPERTS

III.1	Introduction	14
III.2	définitions principales	15
III.3	Structure d'un S.E	17
III.3.1	Base de connaissances	18
III.3.2	Moteur d'inférence	20
III.3.3	Module d'acquisition des connaissances ...	20
III.3.4	Le module d'explication	21
III.3.5	L'interface utilisateur	21
III.5	Développement d'un S.E	21
III.5.1	Acquisition des connaissances	22
III.5.2	Analyse des connaissances	23
III.6	Traitement de connaissances	23
III.6.1	Différents types de connaissances	24
III.6.2	Représentation des connaissances	25
III.7	Fonctionnement d'un moteur d'inférence	28
III.7.1	Cycle de base du M.D.I	28
III.7.2	Modes d'invocations	30

**IV. PANNES ET INCIDENTS DE MARCHE DES MOTEURS A COMBUSTION
 INTERNE**

IV.1	Introduction	35
IV.2	Les moteurs à combustion interne	36
IV.2.1	Généralités	36
IV.2.2	Types de moteurs à C.I	37
IV.3	Analyse des pannes et des incidents de marche	40
IV.3.1	Définitions	40
IV.3.2	Origines des pannes et des incidents de marche	41
IV.3.3	Classification sommaire des causes de mauvais fonctionnement	41
IV.4	Les pannes provenant de l'alimentation	43
IV.4.1	Le carburant	43
IV.4.2	Le réservoir	44
IV.4.3	La canalisation	44
IV.4.4	La pompe d'alimentation	44
IV.4.5	Le système d'injection des moteurs diesel ..	45
1°)	Généralités	45
2°)	Les injecteurs	46
3°)	La pompe d'injection	48
IV.5	Les pannes provenant de la carburation	50
IV.5.1	Généralités	50
IV.5.2	La construction du carburateur	50
IV.5.3	Les circuits de carburateur	51
IV.5.4	Analyse de perturbations	52
IV.5.5	Pannes de carburateur	53
IV.6	Les pannes provenant du système d'allumage	55
IV.6.1	Généralités	55
IV.6.2	Analyse des perturbations	56
IV.6.3	Les pannes du circuit d'allumage	56
IV.7	Les pannes provenant des machines électriques	60
IV.7.1	Le circuit de démarrage	60
IV.7.2	Pannes des démarreurs	61
IV.7.3	Le circuit de charge	63
IV.8	Les pannes provenant des organes mécaniques du moteur	64
IV.8.1	Pistons et segments	64
IV.8.2	Les bielles	66

IV.8.3	Le vilebrequin	67
IV.8.4	Le bloc-cylindres	68
IV.8.5	La culasse	69
IV.8.6	Soupapes et mécanismes de soupapes	70
IV.9	Les pannes provenant du système de lubrification	72
IV.9.1	Généralités et principes	72
IV.9.2	Défauts du système de lubrification	72
IV.10	Les pannes provenant du système de refroidissement	74
IV.10.1	Généralités et principes	74
IV.10.2	Défauts du système de refroidissement	74
V.	CONCEPTION ET REALISATION DU MP_DIAG	
V.1	Introduction	78
V.2	Architecture et caractéristique du VP_EXPERT	78
V.2.1	Structure d'une base de connaissance VP_EXPERT	80
V.2.2	Fonctionnement du moteur d'inférence	85
V.3	Le raisonnement expliqué	86
V.4	Les coefficients de certitude	87
V.5	L'acquisition des connaissances	88
V.6	Représentation des connaissances	89
V.7	Modélisation des connaissances	89
V.8	Modélisation de la structure	89
V.9	Stratégie de diagnostic	90
VI.	CONCLUSION	96

I - INTRODUCTION

Avant d'aborder le corps de ce mémoire de fin d'étude, il convient de présenter notre application, de préciser les besoins, de déterminer ensuite nos objectifs, et de donner l'approche globale de cette étude .

I.1 Vue d'ensemble :

" L'Intelligence Artificielle " est un concept étendu, combinant un nombre de domaines d'applications différentes, dont le but est de chercher à comprendre l'individu et d'essayer d'en reproduire ses capacités. Elle inclue la reconnaissance de formes, la robotique, la reconnaissance de langage naturel et la technologie des SYSTEME EXPERT .

La technologie des Systèmes Experts, domaine qui nous concerne, comprend la mise au point des programmes qui imitent la manière dont les humains résolvent les problèmes .

Comme un expert humain, un système expert donne un avis, en explorant sa base de connaissances et en demandant des renseignements sur le problème à résoudre .

La connaissance est stockée dans des règles (SI - ALORS); l'information spécifique est fournie par la personne demandant l'avis .

L'intelligence du système expert c'est-à-dire le mécanisme qui combine cette connaissance et l'information nécessaire à prendre des décisions est appelée " Moteur d'Inférence " .

Dans le processus de développement d'un système expert, plusieurs personnes peuvent intervenir, chacune de ces personnes à un rôle bien spécifique: l'expert, le cogniticien, l'utilisateur final et le programmeur .

L'expert est la personne qui possède la connaissance que le cogniticien tente d'acquérir et de représenter pour les traduire en faits et règles. Le cogniticien traduit les connaissances de telle sorte que leur exploration par un moteur d'inférence peut produire des tâches normalement exécutées par des experts humains. Le programmeur quant à lui, développe un prototype ou le système complet .

I.2 Etude des besoins :

De nos jours, les critères économiques de rentabilité nécessitent une disponibilité maximale des machines. Pour ce, et à défaut de pouvoir éviter complètement la défaillance, on a besoin de minimiser les conséquences de l'indisponibilité des matériels, en effectuant le dépannage dans les plus brefs délais

De cette analyse, nous avons conclu que l'amélioration de la maintenance corrective constitue un besoin réel et une source de profit importante. Une des tâches les plus délicates de la maintenance corrective est le diagnostic de pannes. C'est à ce niveau que se situe l'essentiel de cette thèse .

Néanmoins, la vision large qui a été adoptée au départ doit permettre d'éviter que le diagnostic ne soit complètement isolé des autres tâches de la maintenance; on doit, donc rechercher les moyens d'intégration du diagnostic dans la maintenance .

" ... Les systèmes experts d'aide au diagnostic de pannes, qui font partie des solutions nouvelles aux problèmes de l'assistance informatique aux tâches de maintenance, devront s'intégrer dans un véritable système de management de la maintenance pour réussir en milieu industriel..."
cité par (GABRIEL 85) [6].

I.3 Vers une solution système expert :

Notre approche consiste à développer un système expert d'aide au diagnostic, et contribue à concrétiser l'aide apportée par l'outil informatique en matière de diagnostic de pannes des moteurs à combustion interne .

La solution système expert s'est imposée pour des raisons à la fois de fond et de forme .

* Le fond :

Les systèmes experts permettent de représenter et de reproduire un raisonnement humain, avec tout ce que cela suppose , par l'adoption des méthodes de résolutions des problèmes utilisées par les experts provenant de longues années d'expériences et basées sur des heuristiques :

(heuristique = processus semi-intuitif qui guide le choix parmi différentes possibilités en fonction de connaissances généralement empiriques).

* La forme :

Grâce à l'offre actuelle en matière d'outil d'intelligence artificielle, les systèmes experts sur micro-ordinateur sont désormais une réalité. Ils permettent entre autre d'optimiser le temps nécessaire à la localisation des pannes et de traiter un grand nombre de cas .

I.4 Les apports d'un système expert :

Les experts étant des hommes rares et chers qu'il est difficile de les remplacer, il est donc naturel pour l'entreprise de s'approprier de la technique des systèmes experts et de conserver ainsi l'expertise sous une forme aussi claire et accessible que possible .

En effet, l'expertise élaborée par un système expert est explicite, détaillée, analysée et facilement transmissible, aussi bien à un novice qu'à un autre expert du domaine .

Les systèmes experts deviennent alors un moyen de formation où l'utilisateur dispose d'un grand nombre de cas réels, il peut aussi comprendre le pourquoi de choix effectué en interrogeant le système .

La sauvegarde des connaissances par les systèmes experts a par ailleurs, un effet bénéfique dans la mesure où, lors de la conception du système , le spécialiste est conduit sur sa propre pratique à dégager les heuristiques qu'il utilise; la réalisation des systèmes experts offre à celui-ci l'occasion unique de formaliser son expertise, faire des progrès dans sa propre discipline et à mieux transmettre son savoir à d'autres experts humains.

Grâce à l'évolution des systèmes experts, on n'exigera pas dans l'avenir de l'expérience pour recruter un novice, vu que les experts ont déjà, la possibilité de sauvegarder leur expertise dans un ordinateur avant de prendre la retraite .

Chap II

MAINTENANCE ASSISTEE PAR

ORDINATEUR

II.1 INTRODUCTION

Le niveau de maintenance optimale n'est pas facile à atteindre et s'avère plus difficile à obtenir, s'il est recherché sur toute la durée de vie d'une installation dont la fiabilité diminue par l'effet de vieillissement, de la corrosion, des conditions d'exploitation et de modifications .

Cependant, une amélioration de l'efficacité de la maintenance peut être obtenue si ces opérations sont enregistrées et régulièrement analysées, tant dans leur contenu, que de point de vue des coûts associés; permettant ainsi la détection des anomalies et de déclencher les actions correctives .

Cette décision d'intervenir dépende du type de maintenance appliquée, on peut distinguer :

1. La maintenance systématique :

Elle exige d'intervenir périodiquement sur la machine, quel que soit l'état de la machine .

2. La maintenance corrective :

Dans laquelle l'intervention s'effectue dès que la machine est en panne .

3. La maintenance conditionnelle :

Dans laquelle on doit suivre la variation des niveaux de certains paramètres judicieusement choisis, et intervenir dès qu'ils dépassent le seuil de bon fonctionnement .

Ainsi, on pourra dire que l'analyse des données doit être réalisée le plus rapidement possible, d'une manière plus fidèle et fiable, et la plus rationnelle .

De nos jours, il se trouve que l'outil informatique satisfait à ces dernières conditions grâce à des logiciels spécialisés dans le domaine. Ces logiciels génèrent une base de connaissances dans laquelle sont stockées toutes les informations pouvant contribuer au bon fonctionnement de la machine .

II.2 DEFINITIONS

- LE DIAGNOSTIC :

"le diagnostic est un acte intelligent qui consiste à expliquer le dysfonctionnement d'un organe, en établissant une correspondance entre certains faits anormaux qui se manifestent (symptômes) et les causes réelles de dysfonctionnement" [6].

Cette définition est suffisamment vaste pour rester valable quel que soit le domaine d'application considéré (diagnostic médical, détection des pannes, etc...)

- LA DEFAILLANCE :

"Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise "[6] .

II.3 PROCESSUS DE DIAGNOSTIC

Le problème à résoudre par l'expert consiste à identifier une panne sur la base des informations en sa disposition qui sont :

- 1°) Manifestation extérieure de défauts (symptômes).
- 2°) Connaissance de la machine (Historique, données technologiques).
- 3°) Observation visuelle de l'équipement, et les résultats des tests .

Ces informations sont obtenues au moyen de systèmes automatiques de la consultation, des relevés de mesures, des tests et des questions posées à l'exploitant.

Durant le processus qui est interactif et qui permet de reconnaître des situations de plus en plus précises, on utilisera des corrélations entre les symptômes et les données d'apprentissages qui permettront de classer l'équipement en panne dans l'une des classes de panne possible (ou éliminer des défauts impossibles).

La décision finale quant à l'appartenance de l'équipement étudié, à l'une ou à l'autre de ces classes, se fera au moyen d'une règle de décision prédéterminée .

Quatre principales phases itératives peuvent être distinguées dans le processus de diagnostic :

- 1°) Phase de détection ; acquisition des observations et de symptômes.

2°) Phase diagnostic : raisonnement et évocation d'hypothèses.

3°) Phase évaluation de l'état du système: confirmation ou infirmation des défaillances suspectes.

4°) Phase remise en état et détermination des actions de correction.

II.4 DIFFERENTES APPROCHES POSSIBLES

De nombreuses recherches théorique et appliquées ont été consacrées au diagnostic, cependant malgré leur diversité apparente, ces approches peuvent être affectées à l'une des trois classes suivantes :

- * Classe d'approche basée sur le raisonnement causal.
- * Classe d'approche basée sur la représentation structurelle et fonctionnelle.
- * Classe d'approche hybride (mixte).

II.4.1 Approche basée sur le raisonnement Causal : (utilisation des connaissances de surfaces)

Cette approche consiste à identifier les composantes en panne, sans passer par l'étape de spécification de l'équipement, mais plutôt en exploitant les connaissances de dysfonctionnement qui sont les relations de cause à effet entre les pannes et leurs symptômes. Le diagnostic se fait alors par analogie avec des cas déjà rencontrés.

Soit (S) l'ensemble des symptômes et (P) l'ensemble des pannes, le mécanisme de diagnostic peut être schématisé comme suit:

Partant d'un ensemble de symptômes donné par l'utilisateur $\{S_1 \dots S_i\}$ C S et en utilisant les relations de cause à effet entre panne et symptômes, le processus de diagnostic tente à construire une chaîne d'inférence filtrant progressivement les éléments de l'ensemble de pannes (P).

En cas de succès, ce processus débouchera sur le sous ensemble de pannes qui ont la plus forte association avec les symptômes donnés au départ. Ce sont les connaissances de ce type que l'on dit de surface.

Cette approche a donné naissance à la première génération des systèmes experts d'aide au diagnostic. Un des problèmes de cette approche est de décrire exhaustivement les associations entre les causes réelles des pannes et les symptômes apparents.

En effet, d'une part, une même cause provoque des symptômes différents en fonction des phases de fonctionnement du système analyse, et d'autre part, le nombre de cause qui provoque ce qu'on appelle l'explosion combinatoire "Causes-symptômes" à laquelle on peut rapidement avoir à faire face. La différence réside donc dans la définition des faits nécessaires et suffisants pour établir un diagnostic.

L'hétérogénéité des faits et la complexité des situations rendent difficile la tentative d'aboutir à une solution industrielle opérationnelle par l'emploi de cette seule méthode.

En dernier, il est à noter que cette approche correspond à un diagnostic guidé par l'expérience puisqu'on explique un cas de panne donné par analogie avec les cas prévus dans le système, mais il existe des cas où l'expérience s'avère insuffisante.

C'est ainsi que sont apparus d'autres modèles qui utilisent des connaissances sur la structure et sur le fonctionnement du système à diagnostiquer.

II.4.2 Approche basée sur la représentation structurelle et fonctionnelle: (utilisation des connaissances profondes).

Ce modèle permet de tenir compte des fonctionnalités des éléments structurels élémentaires constituant la machine à diagnostiquer, et qui consiste, pour chaque composant du système, à recenser tous les modes de défaillance, à rechercher les causes et à examiner les effets possibles sur le système. Il utilise toutes les expériences et compétences disponibles.

Une analyse de ce type se déroule en plusieurs phases :

Premièrement, le système est décrit sous forme d'un diagramme composé de blocs qui représente les fonctions qui doivent être réalisées pour que le système fonctionne normalement

Ensuite, il est fait une description détaillée de chaque bloc, une liste détaillée des modes de pannes significatives (un mode de défaillance, leur classification par ordre de criticité compte tenu de leur gravité et de leur probabilité d'apparition, ainsi que la définition des actions ayant pour charge la localisation des défaillances et le déclenchement des tâches correctives.

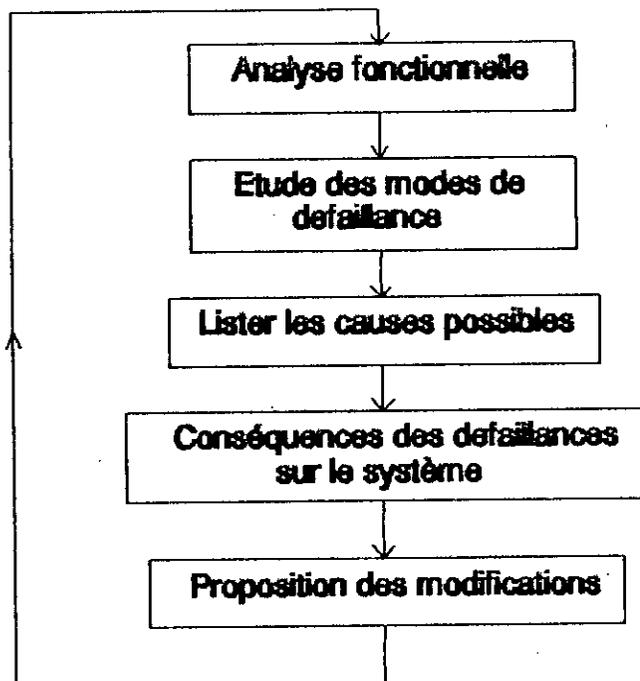


Fig.II.1 Les étapes de l'approche

Les résultats peuvent être représentés sous la forme de tableau ci-dessous pour faciliter la compréhension.

organe	mode de défaillance	cause possible	effet sur:		moyen de détection	mesures correctives
			les autres éléments	le système		

Fig II.2 Une forme de présentation des résultats

II.4.3 Approche Hybride

Les récentes recherches en diagnostic se sont concentrées sur le raisonnement mixte; l'approche mixte qui fait coopérer des connaissances profondes, et de surfaces remédie aux inconvénients des deux approches, (celle basée sur le raisonnement causal et l'autre basée sur la représentation structurelle) prises séparément.

II.5 LES DIFFERENTES METHODES

Les deux approches précédentes peuvent être utilisés séparément ou combinées dans les différentes méthodes d'aide au diagnostic qui existent. Ces méthodes peuvent être classées en deux grandes catégories:

- * Les méthodes algorithmiques.
- * Les méthodes à base de connaissances.

II.5.1 LES METHODES ALGORITHMIQUES

Ce sont les premières méthodes utilisant des approches orientées vers les études de fiabilité. Elles présentent un certain nombre de caractéristiques :

La première concerne leurs aspect rigoureux et par fois systématique qui, moyennant quelques contraintes pratiques, donnent généralement des résultats intéressants. Leurs aspect relativement exhaustif et spécifique constitue souvent une garantie d'efficacité.

Cependant leur utilisation en pratique restent assez limité par le fait d'une lourdeur (lenteur) dans les mises en oeuvre (analyse des détails de la machine historique complet indispensable), ainsi que l'existence d'une imbrication complète entre les données et les manipulations qu'on leur fait subir.

Leur dépendance étant très forte, toute modification de l'une bouleverse l'ordonnancement de l'autre. De plus le traitement algorithmique ne permet que difficilement de prendre en compte les problèmes d'incomplétude et d'imprécision de l'information qui peuvent être dues à la non accessibilité de certaines informations.

II.5.2 LES METHODES A BASES DE CONNAISSANCES

Les nombreuses faiblesses de la méthode algorithmique ont rendu nécessaire la recherche, constante, de nouvelles approches capables d'apporter une amélioration sensible des outils techniques, utilisés pour les études de maintenance.

Ces méthodes sont de type intelligence artificielle, par opposition aux méthodes algorithmiques, séparant le plus complètement possible la connaissance d'un domaine de la façon de l'utiliser, ce qui permet donc une modification aisée des connaissances.

Les domaines du diagnostic technique reposent beaucoup sur la connaissance des experts du domaine évolué. Les méthodes de type intelligence artificielle se prêtent bien à la représentation de ces connaissances, et présentent les avantages suivantes:

1°) Le pouvoir de prendre en compte des données de différentes natures :

- * Signaux émis par les différents capteurs
- * Conditions d'exploitations
- * Historique des défauts
- * Technologie de la machine

et des connaissances d'expertises diverses:

- * Connaissances théoriques
- * Connaissances issues d'investigation expérimentale
- * Connaissances empiriques .

2°) L'optimisation du confort d'utilisation de l'outil grâce à l'utilisation d'une interface conviviale .

3°) L'optimisation de l'intervention en améliorant l'efficacité de l'outil, d'où un accroissement de la productivité.

4°) L'adaptabilité à l'évolution du matériel et du savoir faire.

Parmi ces méthodes à base de connaissances figure l'approche par le système expert, qui, pour faire un diagnostic, suit les étapes suivantes :

- a) Le système propose le test le plus intéressant à effectuer
- b) Le système effectue le test et signale le résultat
- c) le système analyse le résultat et propose un diagnostic ou bien recommence au point de départ.

A ce cycle de base, le système expert ajoute un nombre de fonctionnalités permettant de mettre en oeuvre des raisonnements intuitifs, comme ceux utilisés par les experts humains, et un meilleur dialogue entre l'utilisateur et le système.

En outre, le système expert donne à l'utilisateur la possibilité de demander le pourquoi d'une question ou même de la remettre en cause , de faire entrer des données dans le système sans que ce dernier ne l'ait explicitement demandé.

II.6 CONCLUSION

Après examen de ce qui s'est fait , et comment cela s'est fait, dans le domaine du diagnostic des pannes , nous avons relevé l'intérêt de la méthode à base de connaissance .En effet elle peut être exploitée à des fins d'acquisition des connaissances.

En ce qui concerne les approches d'aide au diagnostic des pannes ,actuellement ,c'est l'approche hybride qui s'impose dans les cas de construction des systèmes à base de connaissances d'aide au diagnostic technique .

Chap III

THEORIES DES SYSTEMES EXPERTS

III. THEORIE DES SYSTEMES EXPERTS

III.1 INTRODUCTION

La technologie des systèmes experts dérive directement de celle de l'intelligence artificielle, qui constitue une épreuve de plus de l'évolution sans cesse croissante de l'informatique.

En effet, jusqu'à une date assez récente, l'ordinateur était surtout utilisé pour sa puissance de calcul et sa rapidité de traitement, en utilisant une approche procédurale. Il exécute le programme après que celui-ci ait été analysé mathématiquement.

Mais ces méthodes parfaites pour des solutions numériques sont inefficaces pour le genre de problèmes difficilement formalisés et dans lesquels de nombreux paramètres de nature symbolique entrent en jeu.

Pour palier à cette limitation, des programmes d'un autre type ont été conçus dans le but d'imiter l'être humain dans sa manière de résoudre ces problèmes.

En d'autres termes, ces programmes forment une approche à la simulation du raisonnement humain dans un domaine très délicat qui se base essentiellement sur l'expérience accumulée au fil des années par l'expert humain; c'est à dire, en ayant des données incomplètes, avoir la faculté de résoudre un problème en proposant un résultat probable issu d'un raisonnement logique et de connaissances qui forment l'expérience.

Les résultats encourageants obtenus dans ce domaine ont poussé les chercheurs en I.A à essayer de mettre au point un système général de résolution de problèmes (S.G.R.P).

Ce système paramétré était destiné à résoudre un grand nombre de problèmes de types différents en recevant pour chaque cas, les données spécifiques en entrée. Et c'est de l'échec du très ambitieux S.G.R.P qu'est venue l'idée de spécialiser ces systèmes. Les systèmes experts que nous proposons d'étudier ici venaient ainsi de faire leur apposition.

III.2 DEFINITIONS PRINCIPALES

- L'intelligence artificielle :

L'intelligence artificielle est une technique qui permet à l'ordinateur de résoudre des problèmes de façon humaine. Ses domaines les plus privilégiés sont :

- Les systèmes experts (ingénierie de connaissances).
- La connaissance des formes (compréhension de la parole, de l'image. etc ...).
- Le traitement de l'image naturelle (traduction)
- Les interfaces homme-machines évoluées
- La robotique et la visionnique.
- L'apprentissage.

Une définition plus rigoureuse est celle formulée par [A.BARR] dans le " Hand book of I.A " :

" L'intelligence artificielle est la partie de la science informatique qui concerne la conception de systèmes informatiques intelligents, c'est à dire le système qui présente la caractéristique que nous associons à l'intelligence dans le comportement humain."

En bref, c'est faire aux ordinateurs des actions qui seraient considérés comme intelligentes si elles étaient faites par un homme.

- Les Systèmes Experts (S.E) : [1]

"Un système expert a pour but la modélisation du comportement d'un expert humain accomplissant une tâche de résolution de problèmes pour laquelle on ne dispose d'aucun algorithme, et ce dans un domaine bien précis ".

Pour d'autres, ils considèrent les systèmes experts comme la mémorisation par l'informatique d'un savoir précis, destiné à la résolution des problèmes spécifiques sous forme de règles de production (SI-ALORS), qui sont faciles à mettre à jour.

Pour notre part, la définition adoptée est la suivante :
Un système expert peut être défini comme un système ayant un ensemble de connaissances, sur des applications spécifiques (bases de connaissances), fournies par des experts spécialisés, et indépendant du noyau (moteur d'inférence) qui utilisent les éléments de cette base pour construire un raisonnement simulant le comportement d'un expert humain.

- Les Systèmes Essentiels :

Ils sont appelés aussi générateurs de systèmes experts ou systèmes experts vides.

Un système essentiel n'est qu'un S.E qui comporte :

- * Un langage d'écriture des règles
- * Une structure de représentation (aménagement particulier de la base de connaissance).
- * Un moteur d'inférence.

" Ces systèmes généraux, permettent de développer rapidement de nouveaux systèmes experts, puisque pour cela, il suffit de créer de nouvelles bases de connaissances "[2] .

Exemples de systèmes essentiels :

EMYCIN - GURU - SNARK - CRISTAL - VP_EXPERT

Exemples de Systèmes experts de diagnostic des pannes :

* Le système de P.P BONISSONE (Général electric U.S)
aide au diagnostic des pannes des moteurs .

* "CAMA" (Politecnico, Milan, Italie)
aide au diagnostic des pannes d'automobiles .

* "Xdiag" de R.CHALAL (I.N.I)
aide au diagnostic des pannes des équipements industriels.

III.3 STRUCTURE D'UN SYSTEME EXPERT

Le but d'un système expert est avant tout d'imiter le mode de raisonnement de l'homme dans la résolution d'un problème donné.

Or un raisonnement s'appuie toujours sur des connaissances qui pré-existent au raisonnement lui-même.

De là est tiré le principe fondamental des S.E qui consiste à utiliser un plus grand nombre de connaissances acquises au cours de plusieurs années par des agents expérimentés du domaines (les experts).

Cette masse de connaissances ,qui devra comprendre tout les éléments nécessaires à la résolution du problèmes, ordonnés selon les procédés de la logique structurée, est appelée **BASE DE CONNAISSANCES (B.D.C)**.

Cependant, tout comme un dictionnaire, cette B.D.C qui est avant tout une structure de données, représente une source de connaissances; il lui faudra nécessairement lui associer un programme appelé **MOTEUR D'INFERENCE (M.D.I)** capable de "raisonner" sur les données mises à sa disposition pour réaliser une expertise.

Dans les systèmes experts, les faits décrivant le problème à traiter (les données) sont différenciés de connaissances stockées en permanence dans la B.D.C ,ils sont contenus dans une base de faits (B.D.F).

En outre, nous retiendrons la nette séparation entre le programme inférent et la B.D.C, là se trouve la différence fondamentale entre cette programmation dite déclarative et la programmation classique de type procédurale, dans la quelle le programme intègre les données et les connaissances dans une démarche qui ne permet pas de faire des déductions significatives.

En conclusion, signalons que l'architecture d'un S.E est composée principalement des trois parties suivantes :

- * La base de connaissances
- * La base de faits
- * Le moteur d'inférence

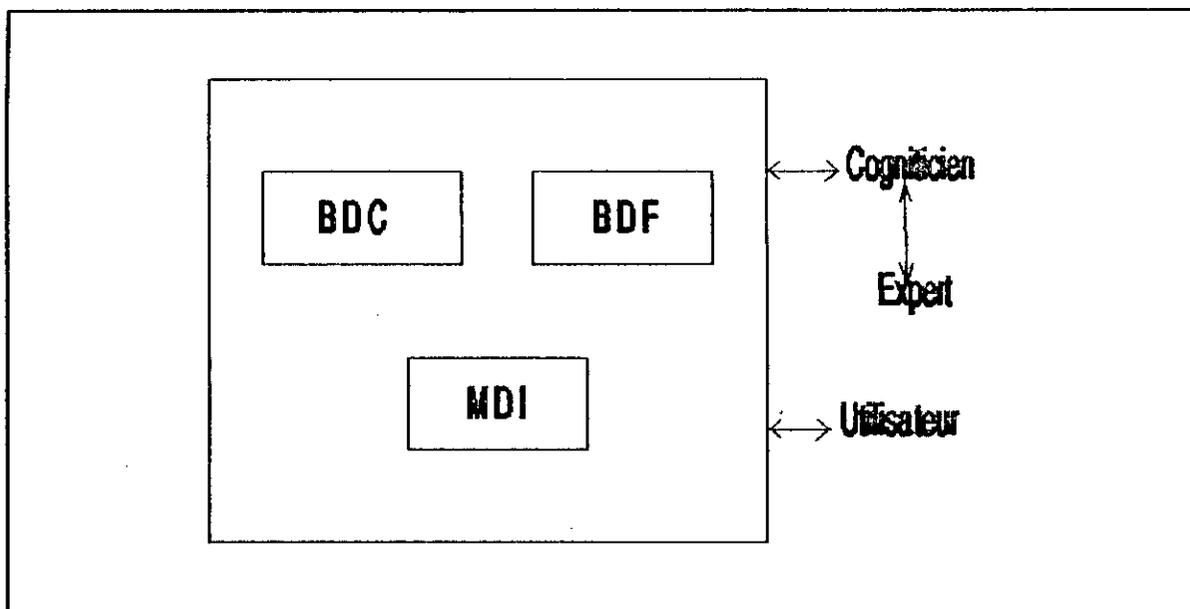


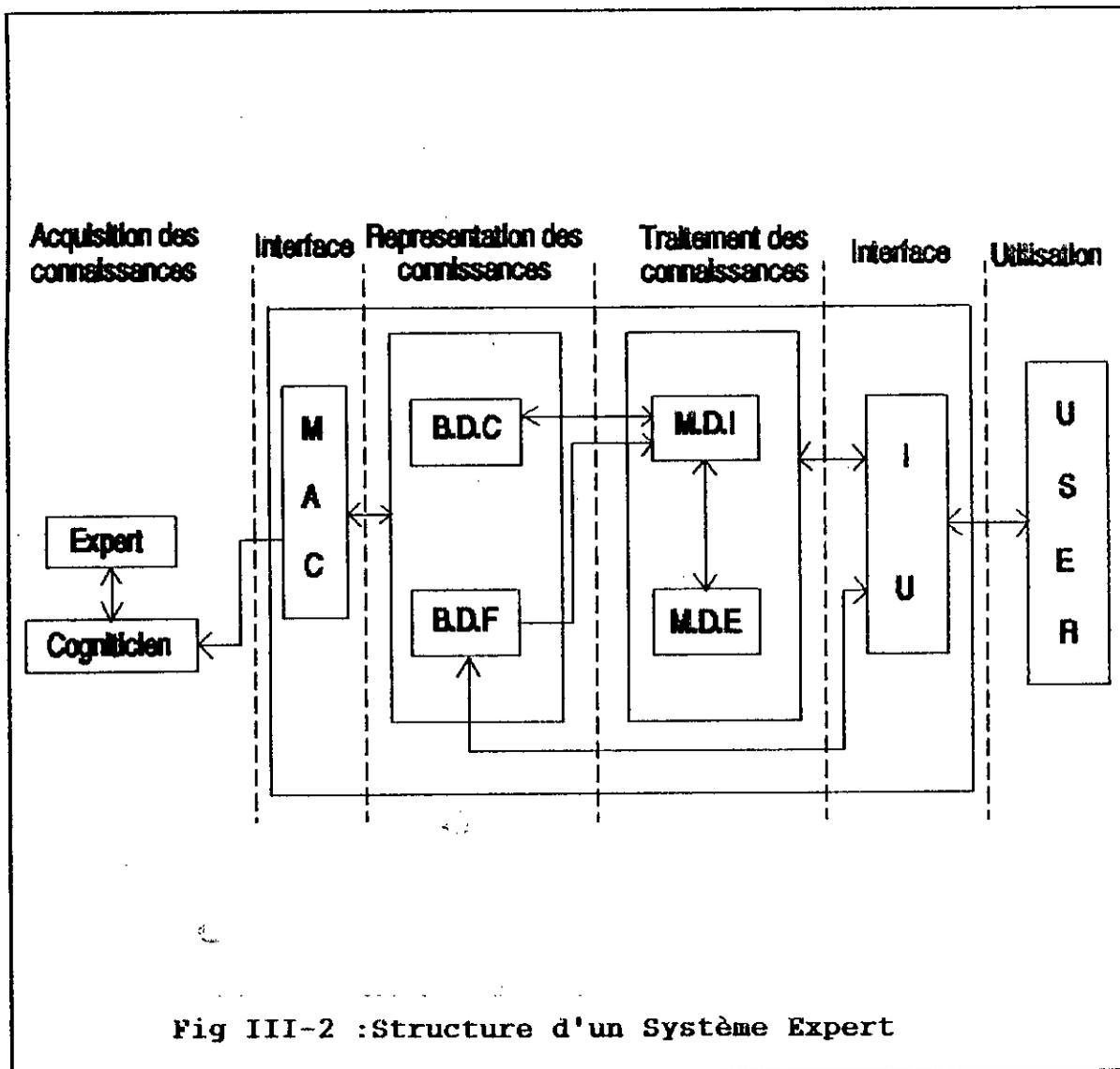
Fig III-1 : Principales composantes d'un S.E

A côté de ces trois composantes, principales s'ajoutent trois autres modules, qui n'ont aucune influence sur la valeur des raisonnements de systèmes experts, et qui sont des interfaces indispensables pour assurer le dialogue entre l'homme et la machine, il s'agit du :

- * Module d'acquisition des connaissances (M.A.C)
- * Module d'explication (M.D.E)
- * Interface utilisateur (I.E)

III.3.1 La base de connaissance

Elle est formée de la connaissance transmise par des experts humains, et comprend l'ensemble des informations fournies nécessaires à la résolution d'un problème par le moteur d'inférence.



De ce fait, la puissance d'un S.E provient de la connaissance qu'il contient et non au formalisme particulier ou du moteur d'inférence qu'il utilise. Elle comprend deux parties fondamentales et bien distinctes; la base des faits et la base des règles.

III.3.1.1 La base de faits :

Elle renferme toutes les informations spécifiques au problème à résoudre par le système; il s'agit à la fois des données de l'utilisateur (faits initiaux décrivant l'énoncé du problème) et des résultats intermédiaires obtenus au cours de la procédure de détection.

C'est donc une mémoire de travail dont le contenu , à l'opposé de celui de la B.D.C, n'est pas conservé en permanence.

III.3.1.2 La base des Règles

Les règles sont les connaissances opératoires représentant le savoir faire sur un domaine . Elles permettent à partir de faits connus de déduire de nouveaux faits, ou une solution au problème posé.

III.3.2 Le moteur d'inférence

Le moteur d'inférence considéré comme le noyau (ou cerveau) du système, est un programme indépendant de la base de connaissance qui exploite celui-ci en lui appliquant les mécanismes de raisonnements analogues à ceux d'un expert humain pour analyser et résoudre un problème qui lui est posé, c'est en cela qu'il procède de l'I.A .Son principe de fonctionnement sera détaillé par la suite .

III.3.3 Module d'acquisition des connaissances

C'est à travers ce module que de nouvelles connaissances provenant de l'expert sont rentrées dans le système. Ces fragments de connaissances peuvent également provenir de base de données(B.D.D), de capteurs, d'autres programmes, etc..

Avant de les transmettre à la B.D.C, le M.A.C se charge de vérifier leur vraisemblance pour gérer la cohérence de la base, et les coder sous une forme interne facilement manipulable par la machine.

III.3.4 Le module d'explication

Il permet au système expert de retracer le chemin suivi par le raisonnement (déduction effectuée) avant d'aboutir à une conclusion plausible. Ce module doit pouvoir expliquer à l'utilisateur le pourquoi d'une question qui a été posée, le pourquoi d'un tel test qui a été suggéré et éventuellement, comment tel résultat a été obtenu.

IL apporte une aide considérable à l'informaticien pour affiner la démarche de M.D.I, à l'expert pour vérifier la cohérence de la B.D.C et à l'utilisateur pour compléter son expertise, ou sa propre formation s'il n'est pas très expérimenté dans le domaine.

III.3.5 L'interface utilisateur

Elle est aussi appelée système de consultation, elle doit être la plus conviviale possible pour favoriser un dialogue quasi-naturel entre l'homme et la machine. C'est à travers cette interface que les données de l'utilisateur sont communiquées au M.D.I qui utilisera le même canal pour restituer les résultats.

Remarque

Les modules que nous venons de voir peuvent être organisés différemment dans un système expert et certains d'autre eux peuvent même ne pas exister en tant que tels. Néanmoins les tâches qu'ils accomplissent se retrouvent nécessairement dans le fonctionnement de tous les systèmes experts. C'est la réunion de M.D.I et des trois derniers modules cités ci-dessus qui forment ce qu'on appelle "l'outil de développement des systèmes experts" ou coquille de S.E (Shell en Anglais).

III.4 DEVELOPPEMENT D'UN S.E

Dans le processus de développement d'un système à base de connaissances, la principale préoccupation est la manière d'acquérir les connaissances auprès de l'expert, afin d'avoir un ensemble de connaissances cohérent et peuvent traduire les pensées de l'expert dans son domaine.

cette préoccupation consiste en l'identification des connaissances, de leurs organisation et de leur présentation pour pouvoir les manipuler.

Le développement d'un système à B.D.C se réalise donc en deux parties essentielles :

- * Acquisition des connaissances
- * Réalisation du système .

III.4.1 Acquisition des connaissances

L'acquisition des connaissances est un processus qui consiste à acquérir et à structurer des connaissances sous une forme exploitable par une machine informatique.

Cette étape est assurée généralement par le cogniticien qui établit le pont entre l'expert et le système à bâtir. Il existe plusieurs techniques qui permettent l'acquisition des connaissances en sollicitant des experts du domaine. Elle peut se faire par interviews, étude des cas, recherche documentaire, etc...

Pour aboutir à une bonne structuration des connaissances acquises, le cogniticien devra :

- * Se faire expliquer par l'expert comment celui ci raisonne, en procédant du Général au particulier
- * Identifier certains buts que se fixe l'expert lors de ses investigations et les décomposer en sous buts, eux même redécomposés, etc...
- * Attacher de l'importance aussi bien à la façon dont l'expert manipule les connaissances qu'aux faits qu'il rapporte.
- * Déterminer si l'expert formule des hypothèses et comment il procède pour les vérifier, s'il décompose effectivement des tâches à accomplir en sous-tâches, éventuellement ordonnées.
- * De noter au fur et à mesure les contraintes à respecter
- * Eclaircir tous les points ambigus ou en contradiction avec la théorie .

III.4.2 Analyse des connaissances

C'est une étape très importante qui permettra d'éviter une mauvaise utilisation des connaissances acquises.

Les éléments à examiner durant l'analyse de connaissances peuvent se résumer aux données (les faits) , au raisonnement (les règles) et aux stratégies de contrôle .

Le cogniticien s'efforcera de classer les raisonnements ainsi mis en évidence en s'attachant en particulier:

- * A déceler la manière dont l'expert utilise les notions de base, les faits à considérer, les types de question qui commence à se poser , etc...

- * A déterminer si une règle énoncée par l'expert ne souffre pas d'exception, si la condition d'une règle ne peut pas être modifiée lorsqu'elle est associée à une autre condition.

- * A élucider le raisonnement hypothétique ou incertain, de même aussi que ceux utilisant une information incomplète.

Remarques

Avant de clôturer l'énumération ci-dessus, il est bon de signaler que le cogniticien ne doit toutefois pas essayer de générer toutes les règles imaginables, mais seulement celles qui sont réellement utilisées par l'expert.

Cette analyse permettra de définir un cadre formel approprié au moyen duquel les connaissances fournies seront désormais exprimées.

III.5 TRAITEMENT DES CONNAISSANCES

La représentation des connaissances revient à établir une correspondance entre le monde extérieur (par rapport à l'ordinateur) et un système symbolique pouvant être traité par l'ordinateur.

III.5.1 Différents types de connaissances

D'après leur nature, nous distinguons les types de connaissances suivantes:

- Les connaissances assertionnelles (factuelles).
- Les connaissances heuristiques (opératoires).
- Les connaissances procédurales (meta-connaissances)

a . Les connaissances assertionnelles (factuelles) :

Elles expriment des faits établis, tels que les données que le système possède sur un problème particulier en cours de traitement.

b . Les connaissances heuristiques (opératoires) :

Elles représentent le savoir faire de l'expert dans le domaine considéré, et indique quelle conséquence tirer lorsque telle situation est établie.

Elle s'exprime sous des règles de la forme :

SI (condition) ALORS (conclusion)

Exemple: SI A et B sont vérifiés ALORS C est plausible

C . Les connaissances procédurales (meta-connaissances) :

Elles correspondent au savoir de l'expert le plus difficile à acquérir; ce sont des règles qui manipulent d'autres règles et qui agissent sur la structure de contrôle, pour modifier dynamiquement l'ordre d'exécution des règles.

Exemple : pour diagnostiquer une panne dans le moteur, l'expert passe du plus Général vers le particulier par raffinement graduel.

SI A est vrai ALORS s'intéresser d'abord à B puis C.
SI non, déclencher les règles ayant tels caractères.

III.5.2 Représentation des connaissances

Les connaissances étant fournies par l'expert sous une forme externe (très proche du langage naturel), il est nécessaire de les représenter sous une forme adoptée à la programmation, ce processus consiste à représenter la connaissance sous une forme spécifique aux structures de données mises en place (forme interne), en établissant une correspondance avec la forme initiale. Le choix d'une Représentation est lié à la nature du problème, mais quel que soit le type de Représentation choisi, il doit favoriser une utilisation intelligente des structures de données permettant de réaliser des déductions, on distingue :

- La Représentation procédurale.
- La Représentation déclarative.
- La Représentation mixte.

III.5.2.1 La représentation procédurale :

"Dans la Représentation procédurale, les connaissances formant un ensemble structuré et sont exprimées sous formes d'algorithmes" [3].

Cette Représentation intègre la connaissance dans la procédure de traitement en indiquant explicitement comment elle est utilisée.

Le grand avantage des systèmes procéduraux est le fait qu'ils suivent une ligne naturelle de raisonnement en n'utilisant que les connaissances applicables et strictement nécessaires à la résolution du problème.

Mais ,il existe des déductions très simples (quelques fois évidentes) que ce genre de système est incapable de faire.

III.5.2.2 La Représentation déclarative

Dans cette Représentation qui nous intéresse particulièrement, les connaissances représentent des idées simples et ne contiennent pas leur mode d'emploi .

Il s'agit de connaissances indépendantes, d'une part, du moteur d'inférence, et d'autre par , les unes des autres .

Elles sont exprimées en " VRAC " et facilement modifiables.

Dans cette Représentation, nous citerons :

Chap III: Théorie des Systèmes Experts

- La logique de proposition.
- Les règles de production.
- La logique des prédicats

a) La logique de proposition:

La logique de proposition est la logique la plus simple, une proposition est l'énoncé d'un fait qui peut être vrai ou faux.

Exemple :

- Toute machine a une masse Vrai
- toute masse est constante Faux

une assertion est une proposition que l'on soutient comme vrai

Cette logique de proposition pure est appelée logique d'ordre (0), elle n'autorise pas l'utilisation des variables. Elle trouve par amélioration dans la logique des propositions avec variable (dite logique d'ordre 0₁) qui utilise les triplets ou objets évalués de la forme :

< Objet >< Comparateur >< valeur >

Exemple :

Masse de la roue =1.2 kg

b) La logique des prédicats (d'ordre 1)

" C'est une extension de calcul propositionnel, elle manipule en plus des variables quantificateurs : "existentielles" et "universelles" [6] .

Elle donne la possibilité de particulariser des objets, de préciser la portée de leurs relations et de généraliser ces relations sur des classes d'objets.

c) Les règles de production

" Ce sont des granules de connaissances opératoires représentant le savoir faire de l'expert. Chaque règle possède un ensemble de prémisses (conditions) décrivant une certaine situation et un ensemble d'actions à entre prendre si ces prémisses sont satisfaites " [6].

Leur syntaxe est la suivante :

SI (prémisses) ALORS (conclusion)

- La partie "prémisse " exprime toutes les conditions d'applicabilité de la règle. Elle peut contenir une conjonction, de s propositions logiques, des prédicats ou des relations.

- La partie conclusion peut être, une action à effectuer (cas des règles opératoires de type : (Situation - action) ou une déduction à ajouter dans la base des faits, (règles déductives).

" L'ensemble des règles est rassemblé dans une base de règles. Elle seront activées par un moteur d'inférence " [2].

La base de règles constitue un réseau de règles, car on fait déduire la partie conclusion d'une règle qui peut être utiliser dans la partie condition d'une autre règle.

III.5.2.3 La représentation mixte

L'utilisation complémentaire des deux représentations déjà vues (déclaratives et procédurables) permet d'obtenir des représentations mixtes (hybrides) qui expriment des connaissances par un mélange des deux premières.

Elles incorporent à la fois l'aspect modulaire et la nature inférentielle de la connaissance, ainsi que la rigueur conceptuelle absente dans la représentation déclarative.

Conclusion

L'efficacité d'un système expert dépend beaucoup du formalisme de la représentation choisie; par conséquent, il est utile de lui accorder beaucoup d'importance, d'autant plus qu'il n'existe pas encore de formalisme idéal pour représenter les connaissances d'un système expert.

Certains parmi ces formalismes permettent aisément la Représentation du mécanisme de raisonnement purement logique, alors que d'autres s'avèrent plus adéquats pour codifier le raisonnement par analogie.

III.6 FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR D'INFERENCE

Dans le langage des systèmes experts, le moteur d'inférence est le mécanisme qui parcourt la base de connaissance et résout les problèmes survenant durant une consultation. Le moteur d'inférence présente l'intelligence qui laisse le S.E comprendre et effectuer les conclusions fondées sur "l'expertise" et le "savoir" stocké dans la base de connaissances de façon analogue à celui d'un expert humain.

III.6.1 Cycle de base du M.D.I

Le cycle de base du M.D.I comprend essentiellement

- Une phase de filtrage
- Une phase de résolution de conflits
- Une phase d'exécution

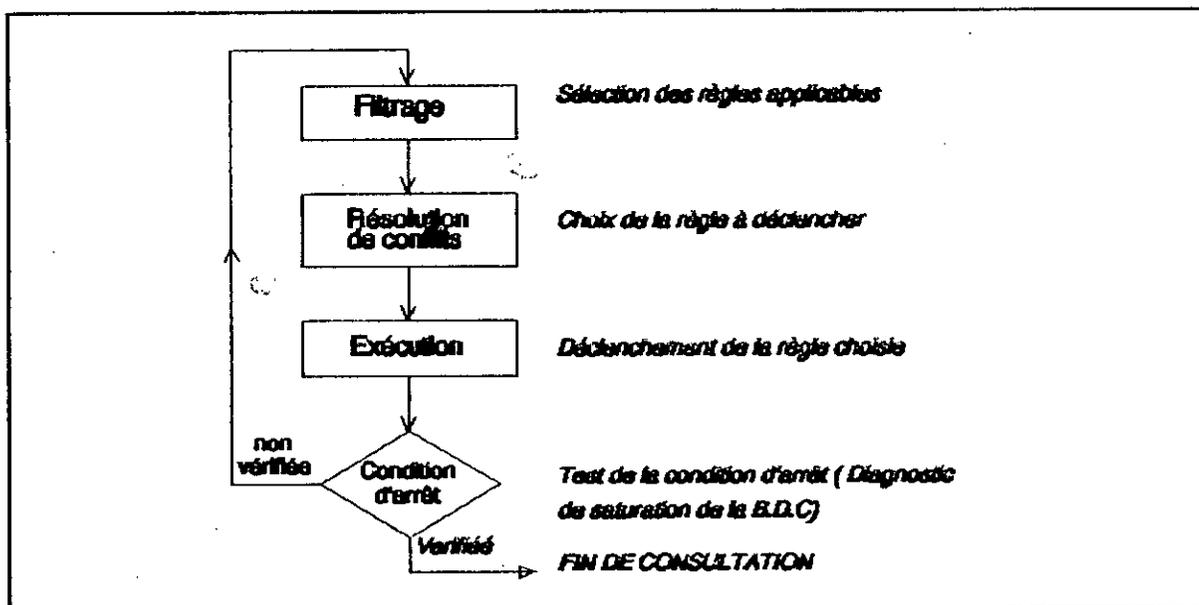


Fig III-3 : Cycle de base d'un moteur d'inférence

a) Le filtrage

Durant cette étape le moteur d'inférence va, à partir des faits initiaux (énoncé du problème) stockés dans la B.D.F, consulter la B.D.C pour sélectionner toutes les règles susceptibles d'être appliquées et qui pouvaient conduire vers une solution.

Cette recherche concerne les règles qui vérifient un filtre particulier défini dans le système, en comparant les prémisses de chacune d'elles avec les éléments de la B.D.F. Elle produira un sous ensemble de règles qui est dit "ensemble de conflit"

Dans certains cas, le filtrage est précédé d'une phase de restriction consistant à limiter la recherche à un sous ensemble de la B.D.C

b) Résolution du conflit

Comme son nom l'indique, il s'agit de déterminer entre les règles de l'ensemble des conflits celles qui seront effectivement déclenchées.

Couramment le choix de la règle qui va se déclencher en priorité est fondé sur des critères, sans rapport avec le contexte d'application ainsi, certains utilisent la première règle de l'ensemble, d'autres choisissent la règle la plus simple (ce qui a le moins de conditions de déclenchement), etc...

La technique de résolution de conflits est propre à chaque système; bien choisie, elle permet d'améliorer les performances du moteur d'inférences, en le dirigeant vers les déductions les plus intéressantes à suivre, donc le plus rapidement possible vers la solution.

C) Exécution

C'est la mise en oeuvre de la partie conclusion des règles fournies par l'étape précédente, ce qui provoque en général l'inclusion dans la base de faits des faits de la partie conséquence de la règle.

Le cycle < filtrage, résolution du conflit, Exécution > sera répété par le moteur d'inférence, (c'est la stratégie de contrôle par tentative), mais diminue des règles déclenchées lors des cycles précédents, jusqu'à ce qu'une solution soit trouvée ou qu'il n'y ait pas de règles à déclencher.

Dans ce dernier cas, le système a déjà déduit ce qui pouvait l'être dans l'état actuel des connaissances disponibles. On parle alors de saturation de la base de connaissances.

III.6.2 MODES D'INVOCATION

En plus des critères précédents, d'autres critères de différenciation entre moteurs d'inférences sont établis en considérant " la stratégie adoptée pour l'invocation des règles d'inférences et ou la prise en compte des effets de l'étape d'exécution sur la base de connaissances [2] .

On distingue trois modes d'invocation des règles:

A. Invocation en chaînage avant :

C'est un mode de raisonnement dirigé par les données, qui consiste à déclencher, à partir des faits établis, toutes les règles possibles pour aboutir au but fixé.

exemple:

A , B et C -----> D
ou A , B et C sont les prémisses, D est la conclusion.

Si A , B et C sont établis, alors D est établi.
Le fait "C" est alors ajouté à la B.D.F et est considéré comme vrai.

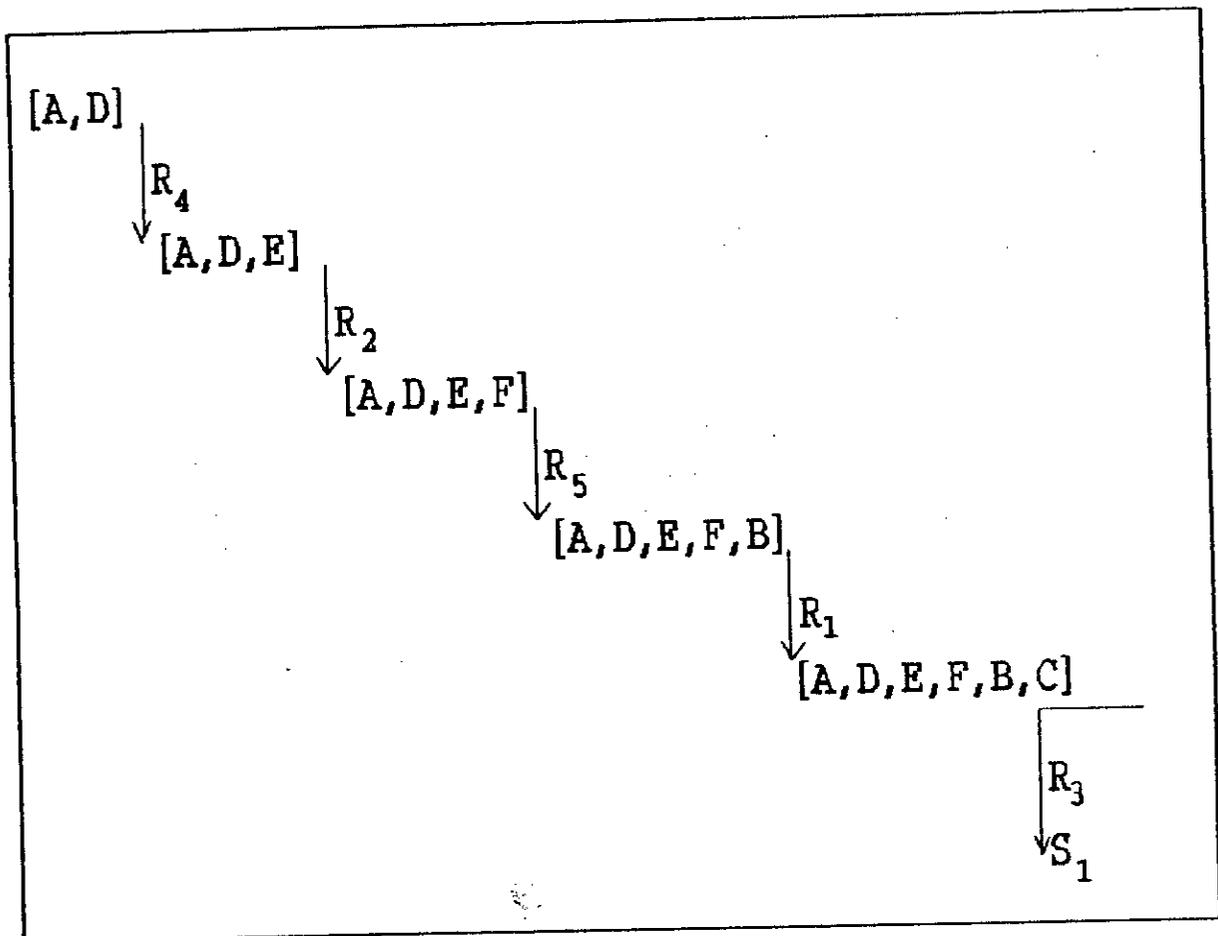
Le système utilisera ensuite les faits déduits pour déclencher de nouvelles règles et le processus pourra se poursuivre jusqu'à l'obtention du but recherché ou la solution de la B.D.C.

L'exemple ci-après permettra d'illustrer cette démarche:

R1 : si A et B alors C
R2 : si A et E alors F
R3 : si A , D et B alors S1
R4 : si D alors E
R5 : si D et F alors B
R6 : si C et D alors S2

- * S1 et S2 sont les solutions possibles que l'on recherche.
- * les faits connus sont A et D contenus dans la B.D.F.
- * tous les autres faits sont inconnus.
- * la priorité choisie est " la première règle sélectionnée".

L'application du chaînage avant sur le cycle de base se déroulera comme suit:



Remarque:

1°) En changeant la technique de résolution de conflits, on influe sur le cheminement du raisonnement, par exemple, la priorité "règle ayant le plus grand nombre de condition" nous aurait permis d'aboutir plus rapidement au but (S1) en choisissant (R3) à la place de (R1).

2°) Le résultat de recherche ne dépend que des faits initiaux connus, par exemple:
En partant avec A et B comme faits initiaux connus, on peut déduire tout ce qui peut l'être sans trouver de solution (cas de saturation de la règle).

3°) Le moteur ne doit pas appliquer une règle qui a été déclenchée, cela reviendrait à déduire deux fois le même fait.

B. Invocation en chaînage arrière

C'est la stratégie opposée à la précédente. Ici on part d'un objectif, qu'on essaie de confirmer ou d'infirmer en remontant aux faits conditions.

Le moteur parcourt l'ensemble des règles concluant le but considéré et en choisit une, si la partie condition de cette règle n'est pas satisfaite, il la prend comme un nouveau but à atteindre.

Ce processus est réitéré jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de règles à sélectionner et que tous les sous-buts obtenus soient atteints.

Dans le cas où la dernière condition n'est pas vérifiée, le caractère interactif du système lui permettra de lever le blocage en demandant à l'utilisateur de résoudre certains sous-buts par des affirmations, tests, etc, ...
Les résultats obtenus lui seront retournés afin de permettre la reprise du processus interrompu.

Exemple

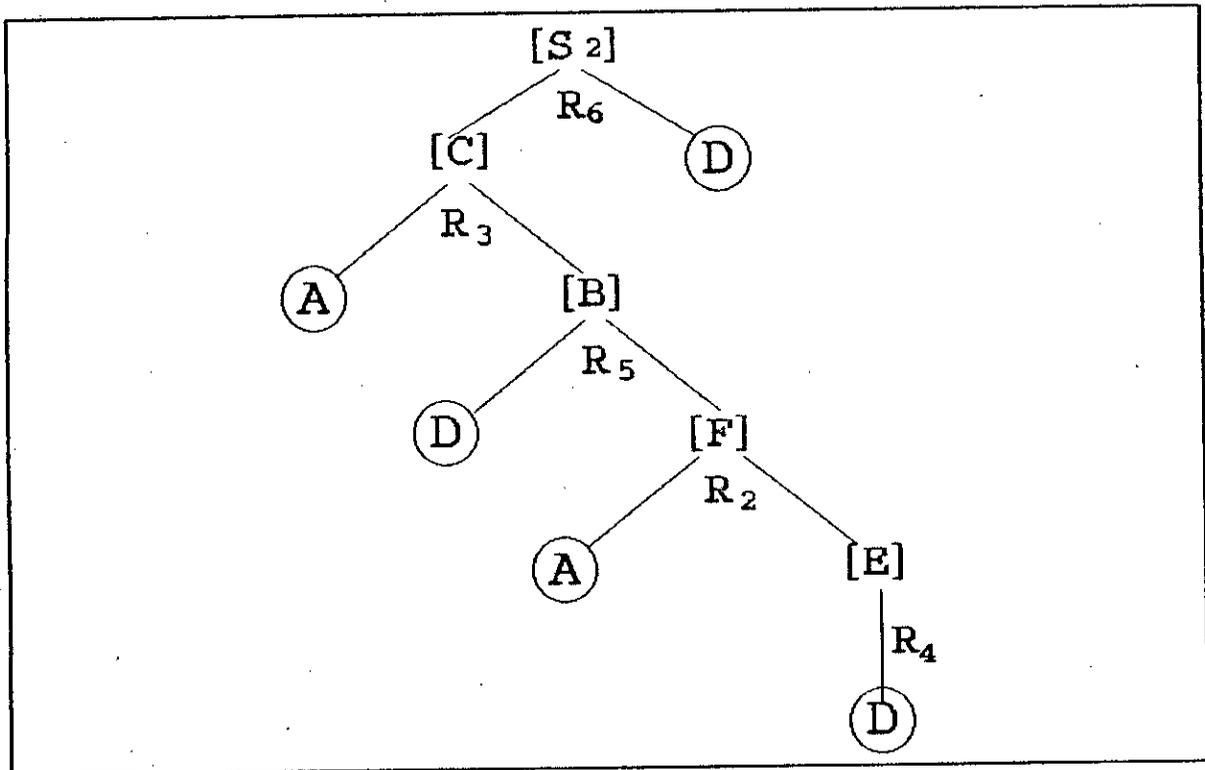
Pour essayer de trouver le but S2 avec les mêmes bases (B.D.C, B.D.F) déjà utilisées dans le chaînage avant (les faits connus étant toujours A et D).
On procède comme suit:

Explication:

Pour faire déclencher la règle concluant (S2), il faut d'abord prouver que (C) et (D) sont vrais, or, le fait (D) étant déjà connu, il reste à prouver la veracité de (C); la règle (R3) montre qu'il suffit de prouver les faits (A) et (B), et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les sous-buts fixés soient atteints et qu'il ne reste plus de faits inconnus.

C. Invocation en chaînage mixte

Le chaînage mixte tente d'utiliser les chaînages avant et arrière, de façon complémentaire, pour tirer un plus grand profit de leurs avantages et ainsi, palier par l'un les inconvénients de l'autre.



En raisonnant, à partir des faits disponibles (chaînage avant), le système, pourra obtenir des informations suffisantes pour mettre une hypothèse (but fixé), en ne retenant que les règles faisant référence à cet objectif.

Dans les systèmes fonctionnant en chaînage mixte une règle peut être utilisée indifféremment en chaînage avant ou chaînage arrière.

Conclusion

cette étude théorique, nous a permis de lever le voile sur certains aspects techniques, très importants des systèmes experts, qui, à l'heure actuelle, ont montré leur utilité dans divers domaines.

Au contraire de l'informatique traditionnelle, les S.E ne cherchent pas à trouver les solutions optimales qui existeraient pour un problème, mais plutôt la meilleure solution dans l'état actuel des connaissances disponibles dans la B.D.C; ce qui lie très fortement les performances du S.E à celle de l'expert ayant participé à sa construction.

Chap IV

PANNES ET INCIDENTS DE MARCHE DES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

IV.1. INTRODUCTION :

Qu'il s'agisse des difficultés de mise en marche où d'incidents de fonctionnement, la recherche des causes de ces anomalies nécessite un travail tenace et essentiellement méthodique.

De ce fait, nous nous proposons, dans les pages qui suivent, d'exposer une méthode d'analyse systématique des anomalies qui peuvent survenir dans le dysfonctionnement d'un moteur, afin de déceler les causes, qui sont à l'origine.

Notre étude ne consistera, donc pas en une énumération plus au moins complète des réparations pouvant s'appliquer à un modèle particulier de moteur. Il nous a paru que c'est le rôle des revues spécialisées et des notices de constructeurs, ceci est dit vu la diversité des organes d'un type de moteur à un autre.

Nous nous efforcerons donc, de dégager les règles générales susceptibles, d'expliquer le fonctionnement défectueux d'un moteur quelconque et de lui faciliter la solution des problèmes.

La démarche suivie, passe en général, par les trois phases:

- S'informer
- Diagnostiquer
- Réparer, régler, changer,...

et ceci dans les deux cas généraux:

- le moteur fonctionne mal
- le moteur ne fonctionne pas, ou ne fonctionne plus.

Enfin, nous signalons, qu'une technique de mesure ou d'appréciation pourra servir, suivant les cas et les situations, tout aussi bien:

- A mesurer dans le cas d'un essai
- A contrôler la validité d'une hypothèse
- A constater l'état fonctionnel

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

IV.2. Les moteurs à combustion interne :

IV.2.1 Généralités :

Un moteur est constitué d'un ensemble de pièces assemblées d'une façon bien déterminée, qui transforme en énergie mécanique utile, l'énergie chimique libérée par un carburant; cette énergie peut être utilisée pour faire avancer un véhicule, ou faire tourner une machine (moteur stationnaire).

Il existe deux types de moteurs dits à combustion; le moteur à combustion interne qui fonctionne à l'essence ou au gazole pour le diesel; et le moteur à combustion externe qui consomme du charbon ou du bois pour produire de la vapeur.

Dans les moteurs à vapeur, la vapeur est produite par le chauffage d'une chaudière, elle est ensuite refoulée, sous une forte pression, dans un cylindre. La pression de la vapeur force le piston à se déplacer dans le cylindre, ce qui fait fonctionner le moteur.

Le combustible utilisé pour produire la vapeur brûle à l'extérieur du moteur, d'où vient le nom du moteur à combustion externe.

Ce type de moteur n'est pas utilisé aujourd'hui, c'est le moteur à combustion interne qui a contribué le plus aux progrès rapides accomplis dans leur développement.

Sa popularité est due principalement au fait qu'il se présente. Sous forme d'un bloc autonome, pouvant fonctionner pendant une longue période, en consommant relativement peu de carburant.

Dans les moteurs à C.I, la source d'énergie est fournie par le carburant (le plus répandu étant l'essence). Lorsque le mélange adéquat d'air et de carburant est introduit dans un cylindre puis allumé, il se produit une combustion instantanée. La forte chaleur dégagée par la combustion provoque la dilatation des gaz dans le cylindre, forçant ainsi le piston à descendre dans le cylindre. le mouvement de la descendre du piston produit de l'énergie mécanique qui peut être utilisée facilement pour faire un travail utile.

IV.2.2 Types de moteurs à C.I :

On peut classer les moteurs à C.I courants de plusieurs façons:

- Selon le nombre de cylindres (2 , 4 , 6 , 8 , ...) .
- Selon la disposition des cylindres (en ligne, en v, à plat, radial, ...) .
- Selon le système de refroidissement, par air ou par liquide .
- Selon le cycle à 2 ou à 4 temps .
- Et enfin selon le carburant employé: essence, ou carburant diesel .

A) Classification selon la disposition des cylindres :

On a construit des moteurs comportant jusqu'à 12 et même 16 cylindres disposés de plusieurs façons: en V, en ligne, opposés à plat, et radial, etc ...

Le moteur à huit cylindres en ligne est caractérisé par sa longueur excessive, sa tendance à fléchir ou à plier et à produire des vibrations de torsion, si le vilebrequin et le bloc-cylindres sont extrêmement lourds.

D'autre part, le moteur V8 est plus court, le bloc-cylindre est très rigide et le vilebrequin est court et lourd. Plus rigide, le moteur à huit cylindres en V permet des taux de compression et des pressions de combustion plus élevés, ainsi que des vitesses de fonctionnement plus grandes, avec une flexion moindre du vilebrequin et du bloc-cylindres.

B) Classification selon le système de refroidissement :

On utilise généralement deux types de systèmes de refroidissement: par circulation d'eau et par circulation d'air. Le premier système est le plus employé.

C) Classification par cycle :

Les moteurs à combustion interne peuvent être à deux temps ou à quatre temps (la plupart des moteurs, et surtout d'automobile sont de type à quatre temps).

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

1°) Le moteur à quatre temps :

Quatre opérations sont nécessaires pour compléter le cycle de fonctionnement du moteur, soit :

L'arrivée du carburant, sa préparation, sa combustion, et l'évacuation des gaz brûlés. Ces quatre temps portent les noms d'admission, de compression, de détente, et d'échappement.

Comme chacune de ces opérations correspond à un temps du moteur, on dit que le moteur à combustion interne fonctionne sur le principe d'un cycle à quatre temps. Chaque temps correspond à un demi tour de vilebrequin ; deux tours de ce dernier sont nécessaires pour effectuer un cycle complet .

2°) Le moteur à deux temps :

Dans un moteur à deux temps, deux mouvements du piston suffisant à compléter un cycle, la base et la tête du piston contribuent tous deux à effectuer les quatre opérations (admission, compression, détente, et échappement), les moteurs à deux temps nécessitent l'emploi de carter de moteur fermé et étanche à l'air, comprenant un compartiment individuel étanche pour chaque cylindre.

Au lieu des soupapes pour commander l'admission des mélanges air-essence, dans le cylindre, la plupart des moteurs à deux temps utilisent des lumières, (orifices situés dans les parois du cylindre).

Le piston, les segments de piston, les axes de piston et les bielles sont semblables à ceux d'un moteur à quatre temps.

Le vilebrequin est de même, semblable à celui d'un moteur à quatre temps , sauf qu'il doit comporter des surfaces usinées pour les joints d'étanchéité du carter du moteur.

D) Classification par carburant :

Le moteur à combustion interne fonctionnant à l'essence n' est pas le seul moteur susceptible de propulser le véhicule, l'utilisation du moteur diesel dans les camions, les tracteurs, et pour les moteurs stationnaires s'est avéré un succès.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Les moteurs diesel sont construits de la même façon que les moteurs à essence, mais sont généralement plus lourds afin de supporter de taux de compression plus élevés. Ces taux de compression peuvent atteindre environ 20 à 1 dans un moteur entièrement diesel, et un peu moins dans un moteur semi-diesel. Les moteurs diesel peuvent être à deux temps ou à quatre temps, refroidis par air ou par eau.

Un moteur entièrement diesel est un moteur dont le taux de compression produit une chaleur de compression suffisamment élevée entre 500°C et 600°C pour allumer le carburant, sans le concours d'une étincelle électrique.

Un moteur semi-diesel est un moteur qui utilise un taux de compression inférieur et qui, par conséquent, ne développe pas une chaleur de compression suffisante pour allumer le carburant. dans ce cas l'allumage se fait habituellement au moyen de bougies.

Un moteur diesel ne comporte pas de carburateur. Il n'y a que l'air qui pénètre dans le cylindre lors de la course d'admission, donc seul l'air se trouve comprimé lors de la course de compression. Au moment opportun, le carburant est pulvérisé dans cet air chauffé sous pression. La chaleur de compression allume le carburant et le mélange air-diesel brûle ensuite, de la même manière que dans un moteur à essence, pour fournir la puissance. L'injection du carburant à l'intérieur du cylindre doit être " programmée " l'étincelle produite à la bougie d'allumage dans un moteur à essence.

Les moteurs diesel à quatre temps suivent le même cycle que le moteur à essence, et comportent des soupapes d'admission et des soupapes d'échappement.

Dans un moteur à deux temps, l'air pénètre par une lumière pratiquée dans la paroi du cylindre, et les gaz brûlés quittent le cylindre par une soupape d'échappement situé dans la culasse de moteur.

Remarque :

Les moteurs diesel de nos jours, comportent des bougies de préchauffage logées dans la chambre de précombustion de chaque cylindre. Ces bougies de préchauffage fournissent la chaleur nécessaire à l'allumage du diesel lors du démarrage.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I***) Les moteur diesel comparés aux moteurs à essence :**

La puissance développée par un moteur diesel est d'environ 15 à 20% moindre que celle d'un moteur à essence de dimensions semblables, même si le carburant diesel contient environ 12% plus d'énergie que l'essence.

Toutefois, le moteur diesel permet une économie de carburant d'environ 25% de plus, que son correspondant à essence, car ce dernier permet l'utilisation de combustible de qualité inférieure tel que le gas-oil, ou huile lourde, très visqueux, et peu volatil.

Les organes du moteur diesel sont soumis à des températures élevées et à des efforts considérables, si bien que la construction du moteur pose des problèmes plus complexes que pour un moteur à explosion.

Les hautes températures sont indispensable pour enflammer spontanément le carburant injecté; En conséquence :

1°) Les pièces sont largement calculées, la construction est lourde.

2°) L'étanchéité entre piston et cylindre, difficile à réaliser.

3°) Le refroidissement doit être excellent pour assurer une bonne tenue des métaux et du lubrifiant.

4°) Le graissage est délicat en raison des hautes températures atteintes.

Dans l'avenir, les moteurs diesel pourraient servir à faire rouler les " grosses " tandis que les moteurs à essence continueraient d'équiper les petites voitures.

IV.3 ANALYSE DES PANNES ET DES INCIDENTS DE MARCHE :**IV.3.1 Définition :**

On appelle panne tout vice de fonctionnement qui immobilise un moteur. ce dernier s'arrête brusquement ou refuse de démarrer, son rendement est nul.

Les incidents de marche sont des perturbations ou des imperfections mécaniques : défauts et troubles, qui diminuent le rendement sans l'annuler. L'utilisation du moteur est encore possible, mais elle devient difficile, ou couteuse.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Les incidents de marche sont, en général, communs à tout les moteurs à combustion interne, ils se manifestent généralement par:

- Des bruits anormaux
- Une irrégularité de fonctionnement
- Un manque de puissance
- Une consommation excessive en carburant ou en lubrifiant.

IV.3.2 Origines des pannes et des incidents de marche :

Les pannes, et en général, les incidents de marche ont pour causes: L'usure, le désassemblage, la déformation, la rupture, etc ...

Ces anomalies ont elles mêmes pour origine :

- Une mauvaise qualité des matériaux
- Une mauvaise utilisation ; conduite dure, surcharge successive
- Un manque d'entretien
- Un choc (accident)

IV.3.3 Classification sommaire des causes de mauvais fonctionnement :

1°) Le moteur ne part pas :

Si l'on est assuré qu'aucune fausse manoeuvre n'a été commise, et que toutes les opérations prescrites pour le lancement du moteur à froid ou à chaud ont été correctement exécutées, les causes de l'insuccès pourront être imputées, par ordre de fréquence décroissante, aussi bien qu'en considération de la plus ou moins grande quantité d'investigation :

1.1 A la carburation :

Soit que le carburateur, pour moteur à essence, les injecteurs et la pompe d'injection pour le diesel, ou leur système d'alimentation présentent des défauts;

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

1.2 A l'allumage :

Dont la défaillance peut provenir d'une ou plusieurs bougies, de l'organe d'allumage lui-même, ou des éléments, ou encore de dérangements dans le circuit électrique.

1.3 A l'état mécanique du moteur :

Soit que L'étanchéité des cylindres soit insuffisante, ou qu'un piston, par suite de la dilatation et d'un jeu de fonctionnement insuffisant, coince dans son cylindre, ou qu'un organe de commande soit décalé ou brisé, ou plus grave, qu'un organe soit rompu; tous ces défauts pouvant résulter d'ailleurs d'un mauvais graissage, d'un refroidissement insuffisant ou d'une mauvaise utilisation du moteur.

2°) Le moteur s'arrête spontanément :

Il est exceptionnel que cet incident se produise sans qu'il ait été précédé ou accompagné de manifestation, tels que les bruits anormaux, qui sont considérés comme annonciateurs de l'arrêt (ou survenant brusquement en même temps que lui). Ces bruits mettent en cause les incidents : grippage, rupture d'organe, etc ...; de carburation ou d'allumage. En cas d'échec, la cause de l'incident devra ensuite être recherchée, par un examen méthodique et attentif des divers organes mécaniques du moteur, aussi la nécessité de vérifier les systèmes de refroidissement ou de graissage.

3°) Le moteur fonctionne anormalement :

Les troubles les plus généralement constatés sont :

- irrégularités de fonctionnement

* au ralenti

* à la reprise

* à pleine accélération

- échauffement anormal

- manque de puissance

- consommation exagérée

* en carburant

* en lubrifiant

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Ces anomalies qui peuvent se manifester séparément ou simultanément, prouvent qu'une ou plusieurs fonctions sont assurées imparfaitement.

A défaut d'indice nettement caractéristique, les mêmes considérations que ci-dessus imposeront l'ordre des investigations.

Si le moteur chauffe exagérément, on songera tout d'abord à ce que la combustion du mélange carburé ne s'opère plus dans de bonnes conditions; rapidité, qualité, précision.

Si ces premières vérifications sont satisfaisantes, on contrôlera, pour le moteur à essence, le bon état des organes de l'allumage et leur réglage correct. Enfin l'examen de l'état mécanique du moteur montrera la nécessité de sa révision totale ou partielle.

De même les causes des troubles, citées précédemment, seront recherchées dans une défectuosité de la carburation, de l'allumage ou de l'état mécanique du moteur.

Cette analyse, très sommaire, des diverses manifestations de mauvais fonctionnement d'un moteur, montre que les plus fréquentes sont imputables, en premier lieu, à des défectuosités de la carburation ou de l'alimentation, puis à celles de l'allumage; enfin, des organes mécaniques du moteur et des systèmes de graissage et de refroidissement.

IV.4 LES PANNES PROVENANT DE L'ALIMENTATION :

IV.4.1 Le carburant :

Les essences et les supercarburants utilisés dans le moteur à allumage commandé par étincelle doivent présenter des propriétés physiques (masse volumique, pression de vapeur, ...) qui permettent leur pulvérisation dans l'air (par injection ou carburation) avant l'introduction dans le cylindre.

En outre le moteur à essence exige que son carburant présente une forte résistance à l'auto-inflammation exprimée par l'indice d'octane. Cette caractéristique conditionne le taux de compression du moteur qui, lui même, agit directement sur les performances du moteur.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Les gazoles, pour le moteur diesel, à l'inverse des essences, doivent présenter une forte tendance à l'auto-inflammation, puisque, le principe de fonctionnement du moteur diesel repose sur l'inflammation du carburant, injecté sous haute pression, dans l'air préalablement comprimé.

La qualité du gazoles s'exprime ainsi, par l'indice de cétane, qui n'influe pas directement sur les performances du moteur, mais qui agit plutôt sur l'agrément d'utilisation (démarrage à froid, bruit ...).

IV.4.2 Le réservoir :

Le principal incident pouvant affecter un réservoir est une fuite provoquée soit par l'oxydation du métal, soit par accident, ce qui donne une mauvaise alimentation. Il peut y avoir dans un autre cas une dépression dans le réservoir qui empêche l'alimentation, dans ce cas il est nécessaire de vérifier le trou d'air du bouchon de réservoir.

IV.4.3 La canalisation :

La canalisation est en général, une tuyauterie d'acier, utilisée pour le transport du carburant du réservoir à la pompe et de la pompe au système de carburation ou d'injection. Elle peut être percée, rompue ou obstruée.

Si la canalisation est percée ou rompue il peut s'ensuivre une perte de carburant qui peut entraîner la panne sèche.

Si la canalisation est obstruée il s'ensuit un manque de carburant pour le fonctionnement. Le remède à apporter, dans ce cas, est de la démonter et de la déboucher, si nécessaire à l'air comprimé.

IV.4.4 La pompe d'alimentation :

1°) Généralités :

L'alimentation en combustible d'un moteur peut se faire :

- par gravité, c.a.d le réservoir est placé en charge
- sous pression
- en alimentation combinée.

En général, à l'heure actuelle, une pompe d'alimentation est nécessaire dans les moteurs. Elle aspire le combustible dans le réservoir pour l'envoyer dans un ou plusieurs filtres.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

La pression dans la conduite de refoulement ne peut atteindre une valeur très élevée. Les pompes d'alimentations les plus utilisées dans les moteurs sont soit à membrane ou à piston et rarement des pompes à palettes ou à engrenage.

Le contrôle de la pompe d'alimentation doit être effectué de préférence dans les conditions normales de fonctionnement, (sur un banc d'essai), il porte sur la vérification du débit et de la pression de refoulement, et du contrôle de l'étanchéité.

2°) Analyse des perturbations :

Lorsque l'amorçage d'une pompe d'alimentation est défectueux ou impossible, malgré une bonne étanchéité, il est nécessaire de contrôler l'état des clapets, des ressorts et des sièges.

- L'usure des clapets est pratiquement nulle, seul l'entrée d'impuretés peut provoquer leur coincement.

- Un encrassement peut provoquer le " gommage " des clapets qu'il faut alors nettoyer dans le gazole.

- Il ne faut pas hésiter à remplacer des clapets ou des ressorts défectueux, car un tarage incorrect de ces ressorts entraîne des variations de débits; il faut noter alors que le ressort est taré avec précision et que c'est de ce tarage que dépend la pression de refoulement .

La pression trop faible cause une mauvaise alimentation en carburant d'où un mauvais rendement de moteur, par contre la pression excessive de la pompe, dans les moteurs à essence, produit une forte consommation d'essence et noyera le carburateur.

Enfin, signalons qu'une membrane poreuse doit être changée.

IV.4.5 Le système d'injection des moteurs diesel :

1°) Généralités :

Le moteur diesel ne possède ni carburateur, ni système d'allumage, mais possède un système d'injection qui comprend :

- 1°) Des injecteurs
- 2°) Une pompe d'injection

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Le bon fonctionnement des moteurs diesel actuels dépend, en grande partie, du très bon état des organes d'injection.

Pour obtenir le rendement optimum, il est non seulement primordial que l'alimentation du moteur en combustible soit minutieusement dosée et proportionnée à l'effort à fournir, mais il faut également que chaque injection de combustible se produise dans les meilleures conditions; parmi elles nous citerons :

-La pression, la température et la turbulence de l'air du milieu dans le quel on injecte.

-la vitesse de pénétration du jet à travers la masse d'air comprimé.

Tout le combustible injecté ne sera brûlé complètement, sans trace de résidu, donc sans fumée à l'échappement, que si tout le mécanisme d'injection fonctionne correctement.

La quantité de carburant et la durée exacte de l'injection sont déterminées par la vitesse du moteur et les conditions de charge de moteur, et elles sont contrôlées par l'accélération.

L'accélérateur qui contrôle la quantité d'air qui pénètre dans le cylindre et aussi, relié à un mécanisme de commande qui contrôle le débit de la pompe a haute pression.

2°) Les injecteurs :

L'injecteur a pour rôle de pulvériser le combustible, c'est à dire de le diviser en fines particules, à des cadences très rapides, puisqu'il doit pouvoir assurer des centaines d'injection par minute, dans des conditions de pression et des températures très variées. Maintenu d'une manière rigide sur la culasse du moteur, il doit résister à des efforts très importants et répétés.

A) Principe de fonctionnement :

L'injecteur proprement dit comprend deux pièces, la buse et l'aiguille ; l'aiguille est terminée par un cône de fermeture ou d'ouverture pour le passage de combustible à sa partie inférieure, et un cône de levée où s'exerce la pression de combustible lors de l'injection.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Le principe consiste à faire passer le combustible sous pression élevée à travers un ou plusieurs orifices de diamètres différents. Le nombre de ces orifices ainsi que leur diamètre varient suivant les constructeurs et le mode d'injection employé.

L'injection ne peut se produire qu'au moment où la pression atteint une valeur suffisante pour assurer une bonne pulvérisation. Dès que la pompe n'envoie plus de combustible, l'aiguille est vivement appliquée sur son siège et obture les trous de l'injecteur, la pression de fermeture, réglable, exercée par le ressort est transmise à l'aiguille par l'intermédiaire d'un poussoir ou tige de commande.

b) Origines de mauvais fonctionnement :

On peut incriminer le fonctionnement d'un ou plusieurs injecteurs, en présence des manifestations caractéristiques suivantes :

- Le moteur refuse de démarrer
- Le moteur chauffe exagérément
- Le moteur manque de puissance
- Emission de fumée noire ou blanche à l'échappement
- Consommation excessive en carburant

L'injecteur peut présenter comme origine de dysfonctionnement:

- Une usure excessive (injecteurs usagés)
- Un encrassement de l'aiguille
- Une diminution de pression qui peut provenir, soit d'un défaut de réglage ou d'un affaiblissement du ressort qui peut être dû à un service prolongé, ou encore à un échauffement excessif de l'injecteur.

c) Remarque :

La vérification et le tarage des injecteurs ne peuvent être entrepris, que si on peut s'entourer de toutes les précautions de propreté indispensable à toutes interventions sur l'équipement d'injection, et si on dispose des moyens d'essais nécessaire (banc d'essai d'injecteurs).

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

3°) La pompe d'injection :

3.1 Généralités :

La pompe d'injection, que l'on peut considérer comme le "coeur" du moteur diesel, a pour fonction d'injecter à chaque course motrice, dans chaque cylindres, la quantité de combustible nécessaire.

Il importe que cette quantité de combustible envoyée à chaque cycle :

- 1°) soit portée à une pression suffisante à l'injection
- 2°) soit introduite à un instant de cycle très précis
- 3°) corresponde à la puissance demandée au moteur.

Nous voyons donc que la précision, lors de la fabrication de la pompe, est indispensable si l'on veut la parfaite pulvérisation de cette faible quantité de combustible sous une pression élevée, supérieure à celle régnant dans le cylindre en fin de compression.

3.2 Principe de fonctionnement :

La pompe d'injection comporte :

- 1°) Des cylindres, des pistons et la commande de ces derniers.
les pistons sont mus chacun par une came solidaire d'un arbre à came qui est entraîné dans un mouvement de rotation de moteur.
- 2°) Un dispositif de réglage du début d'injection
- 3°) Un dispositif de réglage de débit.

a) L'arbre à cames :

Situé généralement à la partie inférieure de la pompe d'injection; les cames sont solidaires à l'arbre. L'arbre à came fait un tour pendant un cycle du moteur et par conséquent tourne à la même vitesse que l'arbre à came de distribution.

Il y a autant de cames que de cylindres à alimenter; sur certaines pompes, on prévoit une came spéciale ou un excentrique de commande de pompe d'alimentation.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

L'arbre à came entraîne chaque came par une rainure hélicoïdale, un déplacement axial de la came provoque son décalage angulaire par rapport à l'arbre et permet ainsi l'avance ou le retard d'injection.

b) Les poussoirs :

Ils ont un rôle d'intermédiaire, ils transmettent le mouvement de la came au piston en absorbant les chocs, ils annulent la composante latérale au moyen du guidage, le piston reçoit ainsi un mouvement rigoureusement axial .

c) Le ressort de rappel :

Chaque piston de la pompe est muni d'un ressort de rappel, son but est de ramener le piston vers le bas après chaque injection et de maintenir un contact permanent entre le poussoir et la came, on évite ainsi les chocs qui engendreraient une usure prématurés de ces organes.

d) Le piston :

Le piston est exécuté avec précision et comporte une gorge circulaire en communication à la partie supérieur par une arête hélicoïdale aboutissant à une rainure verticale.

Le réglage de débit refoulé à la pompe s'effectue en agissant sur la position angulaire du piston par la crémaillère qui lui communique ce mouvement.

La rainure hélicoïdale conduit le combustible vers un orifice du cylindre de la pompe. La rotation du piston et de la rainure provoque un retard ou une avance dans l'obturation de cet orifice; le débit se trouve alors augmenté ou diminué d'où il en résulte la commande du régime du moteur.

3.4 Le calage de la pompe d'injection :

Le principe de calage est sensiblement identique à celui utilisé pour caler les allumeurs sur les moteurs à allumage commandé.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Lors de la mise en place, on veille au parfait alignement de l'arbre de la pompe avec l'arbre d'entraînement du moteur.

L'opération consiste, alors, à accoupler la pompe d'injection avec le moteur dans une position telle que l'inflammation du gazole, se produise à l'instant précis déterminé par le constructeur.

En général, elle correspond à faire coïncider parfaitement le repère placé sur l'entraînement avec celui de l'index fixe.

IV.5 LES PANNES PROVENANT DE LA CARBURATION :

IV.5.1 Généralités :

Le carburateur est un dispositif, qui vaporise et mélange l'essence avec de l'air dans les proportions requises pour le démarrage, le ralenti, les vitesses lentes, les hautes vitesses, l'accélération et la puissance pour des vitesses variées.

Le carburateur réalise, donc, en plus de la carburation, la régulation, c'est à dire l'adaptation de la puissance fournie par le moteur à la puissance qui lui est demandée.

Pour la marche correcte du moteur, il importe de mélanger l'air et l'essence dans des proportions appropriées et de garder un certain rapport de ce mélange, le mélange généralement utilisé est, en masse, d'une partie d'essence pour quinze parties d'air.

Pour contrôler ce rapport du mélange air-essence, sont utilisés dans le carburateur des bouchons de dosage, des gicleurs et des papillons aménagés dans les divers circuits du carburateur.

IV.5.2 La construction du carburateur :

Le carburateur se compose habituellement de trois pièces moulées distinctes, la partie supérieure, appelée prise d'air, la partie centrale, appelée corps principal et cuve à niveau constant; enfin, la partie inférieure, appelée corps du volet d'admission.

La prise d'air, à laquelle est fixé le filtre à air et qui est le point d'entrée de l'air dans le carburateur, comprend le volet de départ à froid .

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Le corps principal comprend le diffuseur et la plupart des circuits du carburateur. Le corps du volet d'admission comprend le volet d'admission, la vis de butée de ralenti, de même que les pièces de fixation du carburateur à la tubulure d'admission.

Les carburateurs se différencient d'après l'emplacement de leur cuve à niveau constant. Lorsque la cuve est placée sur le côté du diffuseur, le carburateur est dit excentrique. Si elle entoure le diffuseur, le carburateur est dit concentrique.

Les carburateurs peuvent avoir une, deux ou quatre buses. Certains circuits des carburateurs à corps multiples sont reproduits dans chacun des corps, alors que les autres circuits sont communs à tous les corps.

IV.5.3 Les circuits du carburateur :

1°) Le circuit de ralenti :

Le circuit de ralenti contrôle toute l'alimentation du moteur durant la phase de marche au ralenti, le moteur n'est alimenté que par les jeux aménagés entre la tuyauterie d'admission et le volet des gaz complètement fermé.

Le débit d'air est insuffisant pour provoquer une dépression notable en col de diffuseur, le gicleur principal ne débite pas, l'essence s'écoule donc, par le gicleur du circuit de ralenti, vers un point où elle est mélangée à un courant d'air provenant de la buse.

La vis de richesse de ralenti, réglable, située dans l'orifice de décharge, sert à faire varier la quantité d'essence déversée pour fournir le mélange air-essence approprié aux vitesses de ralenti.

2°) Le circuit de marche normale :

Le circuit de marche normale est composé du gicleur principal situé dans le diffuseur et le bouchon principal de dosage situé dans la cuve à niveau constant. le dosage du mélange air-essence ne reste pas constant mais s'enrichit à mesure que la vitesse du moteur augmente.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

3°) Le circuit de puissance :

Etant donné que des vitesses élevées et des charges lourdes requièrent l'emploi d'un mélange plus riche, il faut un moyen pour faire varier automatiquement le dosage de mélange air-essence afin de répondre à ces exigences. C'est le rôle du circuit de puissance qui est contrôlé par le vide créé par le moteur.

Lorsque la dépression créée par le moteur est importante, la pompe de reprise est actionnée, ce qui permet à une quantité supplémentaire d'essence de venir enrichir le mélange pour permettre au moteur de reprendre à la charge ou à la vitesse qui lui est imposée.

IV.5.4 Analyse des perturbations :

Pour remédier à l'insuccès de mise en marche d'un moteur, il faut, si l'on exclut toute panne d'allumage, et si l'on suppose les compressions suffisantes, que le mélange carburé réponde aux conditions de dosage et d'homogénéité. Or la qualité du mélange et la quantité introduite dans le cylindre à l'admission sont tributaires de circonstances diverses :

- Si la température ambiante est très basse, la vaporisation du carburant est mauvaise, il se produit des condensations sur les parois froides et des gouttelettes d'essence non pulvérisées retombent à l'état liquide, on dit que les cylindres sont "noyés".

- Si le moteur est exagérément chaud, le remplissage des cylindres est insuffisant par suite de l'excessive dilatation des gaz.

- Si le carburateur est alimenté incorrectement, par suite d'une défectuosité du carburateur lui même, ou du circuit d'alimentation entre le réservoir et la pompe, ou entre la pompe et le carburateur.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I**Remarque :**

L'échauffement du moteur est plus important dans le cas d'un mélange trop pauvre : la combustion s'effectue lentement et n'est pas terminée lorsque les soupapes d'admission s'ouvrent à nouveau, les gaz frais s'enflamment alors et brûlent jusque dans le collecteur d'admission et le carburateur; c'est ce qu'on appelle " retour au carburateur ".

IV.5.5 pannes du carburateur :**1°) flotteur-pointeau :**

Pour le fonctionnement correct du carburateur, le niveau d'essence dans la cuve est bien déterminé. une pression excessive de la pompe élève le niveau d'essence de la cuve à niveau constant en soulevant le pointeau hors de son siège, et produit ainsi une forte consommation d'essence et fait noyer le carburateur. Cette situation peut être due à une usure excessive ou un mauvais montage de la pompe. Il peut arriver également qu'un gicleur soit trop petit, ou obstrué, qui par conséquent mène à un blocage du système.

2°) Le circuit de ralenti :

Le circuit de ralenti est conditionné par la vis de butée et la vis de richesse, la meilleure position est celle qui correspond au maximum de régime du moteur.

Si la vis de richesse est trop desserrée, le mélange est trop riche, il y a baisse de régime de moteur et une émission de fumée noire à l'échappement.

Pour remédier, il suffit de régler la vis de richesse pour obtenir la vitesse du moteur la plus élevée.

3°) Papillon des gaz :

Le papillon des gaz est un dispositif conçu pour faire varier la quantité de mélange air-essence qui pénètre dans le tubulure d'admission.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Si le papillon des gaz est insuffisamment fermé ceci conduit à une dépression insuffisante sur le gicleur du starter et automatiquement un mauvais démarrage du moteur.

Si l'axe de papillon est usé ceci causerait un mauvais réglage de papillon des gaz, le mélange apparaît trop pauvre.

4°) pompe de reprise :

Lorsque le volet d'admission s'ouvre subitement, la dépression créée par le moteur diminue. Et si la pression n'est pas suffisamment basse à l'intérieur du diffuseur, la quantité d'essence passant dans le circuit de marche normale diminue. Il en résulte une perte de puissance car le mélange admis est pauvre.

Pour pallier à cet inconvénient, une pompe à piston ou à membrane actionnée par la tringlerie d'accélération, ajoute un jet d'essence au courant d'air au moment où le volet d'admission s'ouvre. Cette alimentation supplémentaire maintient un dosage adéquat du mélange air-essence au cours de la période initiale d'accélération.

La pompe est constituée d'un piston ou d'une membrane, d'un clapet d'aspiration, d'un clapet de refoulement, et d'un gicleur.

Elle peut présenter comme origine de défaillance :

- Gicleur bouché
- Membrane percée
- Clapets défectueux
- Ressort détendu

Ceci entraînerait une coupure de l'alimentation supplémentaire, et le mélange devient trop pauvre, se manifestant, donc par un fonctionnement irrégulier du moteur lors de la reprise.

5°) Le filtre à air :

Le filtre à air permet d'empêcher les particules de poussière de pénétrer dans le carburateur et, atténuer ou amortir ou réduire le bruit d'aspiration de l'air. L'origine de panne, que le filtre peut présenter est qu'il soit colmaté, pour y remédier il faut le nettoyer ou le remplacer.

IV.6 LES PANNES PROVENANT DU SYSTEME D'ALLUMAGE**IV.6.1 Généralités :**

Le système d'allumage d'un moteur à essence à combustion interne sert à produire des surtensions qui font parvenir le courant à la bougie appropriée au moment opportun.

Le système d'allumage se compose de deux parties : le circuit basse tension ou circuit primaire (tension de batterie 6v ou 12v) et le circuit haute tension ou circuit secondaire (de 15000 V à 40000 V).

Le circuit primaire comprend la batterie, l'interrupteur d'allumage, l'enroulement primaire de la bobine, les pointes de contact, le condensateur et les fils de connexion nécessaire.

Le circuit secondaire comprend l'enroulement secondaire de la bobine d'allumage, le chapeau de distributeur, les bougies et les fils de connexion nécessaires.

Dans le système d'allumage conventionnel, lorsqu'on tourne la clé de contact et qu'on met le moteur en marche, l'action de la came du distributeur rapproche les pointes de contact dans le distributeur. Le courant circule dans l'enroulement primaire de la bobine d'allumage et y crée un champ magnétique.

La rotation de la came provoque l'écartement des pointes de contact du distributeur. A mesure que les pointes de contact s'écartent, le courant qui circulait dans l'enroulement primaire cesse, causant ainsi la chute soudaine du champ magnétique, ce qui induit une haute tension dans l'enroulement secondaire.

Cette tension de courant quitte la bobine d'allumage, parcourt le fil de haute tension et parvient au centre du chapeau de distributeur puis, passe de la borne centrale du chapeau du distributeur au rotor du distributeur.

Le rotor de distributeur fait face à un plot périphérique lui même relié à une bougie. Le cylindre dans lequel est fixée la bougie doit être au temps approprié pour l'allumage du mélange gazeux.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Le courant parvient jusqu'à la bougie et saute sous forme d'étincelle d'une électrode à l'autre, allumant ainsi le carburant contenu dans le cylindre.

Cette course est très rapide, à une vitesse de 100km/h, le système d'allumage d'un moteur à six cylindres doit produire environ 9000 étincelles à la minute.

IV.6.2 Analyse des perturbations :

Le dérèglement du système d'allumage peut se manifester de diverses façons :

- Des étincelles se produisant bien aux bougies, mais elles ne jaillissent pas à l'instant déterminé, soit que le point d'allumage est mal réglé, soit qu'il existe des courts-circuits dans la distribution du courant H.T.

- Les étincelles se produisent par intermittence aux bougies : c'est que la transformation du courant B.T en courant H.T se fait elle-même par intermittence, il existe donc des troubles dans le circuit B.T, plus rarement, l'origine peut être recherchée dans la distribution du courant H.T.

- Aucune étincelle ne jaillit : dans ce cas, les premières vérifications porteront sur le circuit B.T, puis, s'il y a lieu, sur le circuit H.t .

Les défauts susceptibles de survenir dans un système d'allumage : courts-circuits, coupures, mauvais état des organes ou mauvais réglage, se manifestent en général par :

- des difficultés ou impossibilité de mettre le moteur en marche;

- des troubles dans le fonctionnement pouvant entraîner l'arrêt spontané du moteur.

IV.6.3 Les pannes du circuit d'allumage :

1°) La batterie :

La batterie est une génératrice électrochimique qui, recevant une énergie électrique la transforme et l'emmagasine en énergie chimique et la restitue en énergie électrique qui alimente les différents appareils.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

En cas de défaillance dans l'alimentation du circuit électrique il est nécessaire de vérifier l'état de la batterie, soit le niveau de l'électrolyte (solution d'acide sulfurique), ou la charge de la batterie.

Si le niveau est trop haut, il y a débordement d'électrolyte par les bouchons et risque de sulfatation des bornes de la batterie.

Il peut provenir de la batterie, si insuffisamment chargée, un manque total de courant dans l'installation électrique entière; ou un courant suffisant pour les appareils à faible consommation et insuffisant par suite de chute de tension pour le démarreur. Il se produit le même phénomène que dans le cas précédent si les bornes de la batterie sont desserrées ou sulfatées.

2°) La bobine :

La bobine d'allumage est un petit transformateur qui utilise le principe de l'induction magnétique pour produire un nouveau courant d'une tension très élevée, puisqu'il doit franchir l'espace entre les électrodes des bougies. Elle est composée d'un noyau de fer doux très perméable au flux magnétique, un enroulement relativement long, dit (enroulement secondaire), et un autre relativement court dit (enroulement primaire).

Les défauts de fonctionnement de la bobine sont des coupures ou des courts-circuits. Ils se produisent dans ce cas une absence d'étincelle. Dans les deux cas la bobine doit être changée.

3°) L'allumeur :

L'allumeur comprend deux parties principales, complètement distinctes et différentes quant à leur constitution et leur rôle :

- Le rupteur
- Le distributeur

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

a) Le rupteur :

C'est l'organe qui , entraîné par le moteur, va déterminer la coupure du courant primaire afin d'obtenir la variation de flux la plus importante possible, qui est nécessaire pour engendrer un courant induit de haute tension dans la bobine (point d'allumage); il exige des réglages excessivement précis pour obtenir un fonctionnement parfait du moteur.

Les contacts de rupteur, ou pointes de contact, servent à ouvrir ou fermer le circuit primaire. Les surfaces de contact de ces pointes sont généralement faites de tungstène.

Le courant primaire produit un arc entre les contacts de rupteur, celui-ci entraîne la fusion d'une infime partie de métal, il se crée alors un cratère sur le grain de linguet mobile et il se forme un petit cône sur le grain du linguet fixe; dans ce cas le contact entre les deux grains devient de plus en plus défectueux et incertain. Le fonctionnement du moteur est perturbé, et la panne totale à ce stade intervient très rapidement.

Le linguet est muni d'un toucheau qui prend appui sur les lobes de la came du rupteur, un ressort de contact reliant le linguet à borne primaire du distributeur conduit le courant primaire aux pointes de contact et rapproche ces derniers après qu'elles aient été écartées par les lobes de la came.

Si la tension du ressort est trop grande, elle cause l'usure excessive du toucheau et réduit l'écartement des pointes.

Si la tension du ressort est très faible les pointes de contact rebondissent à haute vitesse du moteur.

De plus, si l'écartement des pointes est trop petit, il y aura production d'arcs aux pointes de contact et celles-ci brûleront. Si l'écartement est trop grand, la période d'établissement du champ magnétique dans la bobine d'allumage sera réduite, et le moteur aura des ratées à haute vitesse.

Avec le système d'allumage conventionne, plus le moteur tourne rapidement, plus le temps d'établissement du courant primaire est court et moins il y a de tension au secondaire. Pour y remédier, on utilise le dispositif d'avance automatique (centrifuge et/ou à dépression) pour fournir une avance à l'allumage. Un excès d'avance ou un manque d'avance donne un mauvais fonctionnement du moteur, il faut alors un compromis réalisé par un réglage approprié.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I**b) Le distributeur :**

Le distributeur, alimenté en courant haute tension de la bobine, doit le répartir correctement aux différents câbles conducteurs des bougies.

Le fonctionnement du distributeur est perturbé lorsque celui-ci est fêlé ou humide. Dans ce cas, l'étincelle peut éclater entre la borne centrale de plusieurs plots reliés aux bougies.

Cette humidité est produite par une remontée de vapeur d'huile ou d'eau du carter le long de l'arbre de l'allumeur, et qui pénètre dans le chapeau de distributeur, où elle se condense, provoquant ainsi des ratées du moteur à tous les régimes continuellement ou par intermittence.

4°) Le condensateur :

Le condensateur est branché aux bornes des pointes de contact. Il se charge lorsque, ces pointes se séparent. Cette charge du condensateur arrête presque immédiatement la circulation du courant dans le circuit primaire, et provoque ainsi la chute extrêmement rapide du champ magnétique du primaire, ce qui produit par suite une haute tension dans l'enroulement secondaire de la bobine. Lorsque les pointes de contact se referment, le condensateur est court-circuité, la tension du condensateur tombe à zéro et celui-ci se décharge complètement.

Une panne peut provenir du condensateur, si celui-ci est en court-circuit. Dans tous les cas, le condensateur défectueux est à remplacer.

5°) Les bougies :

La bougie est vissée dans la culasse ou dans le bloc-cylindres, et son extrémité inférieure est dans la chambre à combustion. L'étincelle produite par le passage d'une surtension de courant entre les deux électrodes enflamme le carburant contenu dans le cylindre. La bougie est reliée au distributeur par un câble.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Les pannes pouvant provenir des bougies sont les suivantes:

- Bougies encrassées par la calamine; cette calamine peut être causée par une quantité excessive d'huile atteignant la chambre de combustion, ou par le carburant dont l'utilisation est excessive. Si la calamine est importante il peut aller jusqu'à mettre en contact les deux électrodes, il n'y a plus d'étincelle.

Les électrodes trop écartées pouvant provenir d'un mauvais réglage ou de l'usure, l'étincelle rencontrant une résistance trop forte est insuffisante ou inexistante.

- L'isolant est fendu : l'étincelle jaillit entre la partie supérieur de l'électrode centrale et la masse, il n'y a plus d'étincelle entre les pointes des électrodes.

- Bougies non conformes, trop chaudes ou trop froides, si les bougies sont trop chaudes, il peut y avoir soit formation de points chauds et auto-allumage, si les bougies sont trop froides il peut y avoir une mauvaise combustion.

IV.7 LES PANNES PROVENANT DES MACHINES ELECTRIQUES :

IV.7.1 Circuit de démarrage :

Pour la mise en marche d'un moteur (automobile), il est nécessaire de le faire tourner à une vitesse suffisante, cette vitesse varie suivant le nombre de cylindre, l'état de moteur en ce qui concerne la compression, etc...

Ce qui impose une vitesse de rotation relativement élevée du démarreur, la vitesse de rotation du démarreur est commandée par le système de commande du démarreur au volant du moteur.

1. Le démarreur :

Le démarreur est un moteur, excité en série, produit un couple très puissant, il est conçu pour fonctionner sous une surcharge importante, et pour produire un couple, et une puissance relativement élevés compte tenu de ses dimensions. Il ne peut accomplir ce travail que pour une courte période . La forte intense du courant provoque de la chaleur, cette dernière risque de brûler le démarreur en cas d'un fonctionnement prolongé.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I**2. Constitution d'un démarreur :**

Les démarreurs se différencient principalement par le type de pignon de commande utilisé. Ils se composent du pignon de commande, de la carcasse, du carter central, des bobines d'induction et des balais, ainsi que des roulements et de leur carter. La constitution d'un démarreur est analogue à celle d'une machine génératrice à courant continu, elle comporte les mêmes pièces principales:

- Les masses polaires pour renforcer le champ magnétique et améliorer le rendement du démarreur, ces masses sont fixées à la carcasse.

- Les bobines inductrices.

- L'induit est analogue à un induit de dynamo. Il porte le collecteur qui, par suite des intensités qui le traversent, est beaucoup plus long. Par contre, le collecteur comport moins de lames car l'induit du démarreur est moins divisé.

- Les balais, sont au nombre de deux sur les petits démarreurs et au nombre de quatre sur les démarreurs plus puissants. Certains démarreurs destinés à des poids lourds équipés de moteur Diesel dont le taux de compression est élevé, comportent huit balais.

3. Lanceur :

Le mécanisme du lanceur ou du pignon de commande sert à transmettre la force motrice du démarreur au moteur, pour le mettre en marche. Ce pignon de commande doit débrayer le démarreur de la couronne dentée du volant dès que le moteur a démarré. Il assure un rapport de vitesse pour entraîner le moteur à la vitesse de démarrage. Il existe deux types de lanceur:

- le lanceur à inertie

- le lanceur à commande positive.

IV.7.1.1 Pannes des démarreurs :

Quatre cas principaux de pannes peuvent se présenter dans le fonctionnement d'un démarreur.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

1°) Le démarreur ne tourne pas et n'a aucune tendance à tourner: la panne peut provenir de :

- balais de démarreur usés portant mal ou bloqués dans leur logement par des poussières
- des enroulements coupés ou en court-circuit, collecteur défectueux ou malpropre
- pas d'arrivée de courant de la batterie au démarreur ou un courant insuffisant pour le démarreur
- manque d'alimentation du relais ou du solénoïde.

2°) Le démarreur a tendance à tourner mais se bloque : la panne peut provenir de :

- mêmes causes que précédemment mais moins importantes,
- le courant arrivant au démarreur peut être suffisant pour le faire tourner à vide et insuffisant pour entraîner le moteur.
- le moteur lui même qui peut être grippé ou gommé.
- le lanceur bloqué

3°) Le démarreur tourne et entraîne le moteur à une vitesse insuffisante pour démarrer: la cause peut être:

- des défauts de démarreur, celui-ci ne développant pas un couple suffisant,
- de moteur légèrement gommé,
- de courant insuffisant.

4°) Le démarreur tourne à sa vitesse normale mais n'entraîne pas le moteur :
Dans ce cas, la panne provient du lanceur.

- lanceur à inertie: pignon gommé ou ressort de lanceur brisé ou détaché

- lanceur à commande positive: réglage défectueux de la grande couronne avant la butée de levier de commande sur le démarreur.

Quel que soit le type de lanceur, si le pignon présente des dents usés, abîmés ou criqués, il est nécessaire de le changer.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

IV.7.2 Circuit de charge :

Le circuit de charge comprend essentiellement la génératrice de courant dont le rôle est de charger la batterie, il existe deux types de génératrice de courant la dynamo et l'alternateur. Mais maintenant la dynamo est remplacée par l'alternateur étant donné les avantages de ce dernier :

- absence de collecteur,
- possibilité de charger la batterie a faible régime de rotation
- auto-régulation de l'intensité.

1') Les pannes d'alternateur peuvent provenir :

- de la résistance incorrecte des circuit de charge ou d'excitation
- du rotor de l'alternateur
- du stator de l'alternateur ou de régulation

2') Les pannes de dynamo peuvent provenir:

- des enroulement coupés ou en court-circuit
- des balais usés ou défectueux
- du collecteur en mauvais état.

La panne de la machine génératrice de courant, (que ce soit dynamo ou alternateur), ne peut influencer sur le fonctionnement du moteur que dans les cas suivants :

- La machine ne débitant plus de courant pour une cause quelconque, la batterie se décharge plus ou moins rapidement suivant la consommation des accessoires électriques utilisés, et à un certain moment la chute de tension devient suffisante et le moteur s'arrête.

- Le conjoncteur-disjoncteur étant resté collé, la batterie se décharge à l'arrêt sur la machine, et le moteur ne peut repartir.

-La machine étant grippée:

a) Si la tension de la courroie de commande est trop importante, le moteur cale.

b) Si la tension de la courroie est anormale ou trop faible, la courroie continue à être entraînée par la poulie de vilebrequin s'échauffe et brûle sur la poulie immobile de la génératrice, d'où arrêt d'entraînement de la pompe à eau et du ventilateur et par conséquent échauffement excessif.

IV.8 LES PANNES PROVENANT DES ORGANES MECANIQUES DU MOTEUR :

IV.8.1 Piston et segments :

1°) Le piston :

Le piston est la pièce la plus vulnérable du moteur qui se déplace de haut en bas d'un cylindre. Il est conçu pour résister aux températures et aux pressions élevées produites par la combustion, il doit être aussi léger que possible afin de réduire les forces d'inertie créées par le départ et l'arrêt du piston à la fin de chaque course.

Les piston doivent être fabriqués suivant des procédés rigoureux afin qu'ils puissent résister aux différentes perturbations intervenant (pression, température, chocs).

Généralement ils subissent un revêtement d'oxyde d'aluminium très dur, le revêtement résiste à l'eau et retient l'huile dans ses pores protégeant ainsi le piston durant la période de lubrification réduite.

Le piston est constitué d'une tête ,d'une jupe, des nervures,et un logement d'axe.

a) la tête :

La tête est la surface au sommet du piston, contre laquelle sont appliquées les forces de combustion.

La tête peut être plate, concave, ou convexe ;la forme de la tête est conçue de façon à provoquer une turbulence ou améliorer la combustion.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

b) La jupe : Elle assure :

- L'appui latéral du piston sur la chemise .
- Le guidage du déplacement du piston .
- L'évacuation d'une partie de la quantité de chaleur entrée par la tête .

c) Les nervures : Servent, souvent à renforcer le dessous de la tête du piston, et favorisent la transmission de la chaleur provenant de la tête du piston aux segments et à la jupe.

d) Le logement d'axe: Fournit à l'axe de piston un support et une portée.

2°) Les segments :

Les segments de piston jouent un triple rôle: ils empêchent les gaz provenant de la chambre de combustion de passer, entre la paroi du cylindre et le piston; ils étendent une fine couche d'huile sur les parois du cylindre afin de le lubrifier correctement; enfin ils dispersent une partie de la chaleur du piston sur les parois du cylindre .

*) Défauts et perturbations :

a) Le piston :

Lorsque une panne provient d'un piston, que ce soit par usure, grippage ou accident, le piston est généralement à changer. Toutefois l'usure provoque des jeux excessifs qui augmentent la consommation d'huile et engendre des bruits .

b) Les segments :

Pour que l'étanchéité soit assurée, il faut que les segments adhèrent constamment, d'une part à l'alésage du cylindre, d'autre part aux flancs de gorge de piston .La dilatation du piston doit pouvoir se faire indépendamment de celle du segment, on réalise ces conditions par une détermination précise des dimensions et une réparation judicieuse des jeux.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

La mauvaise portée des segments peut provoquer, outre les incidents résultants des défauts de compression et la dilution d'huile de graissage, de graves avaries au piston, et au cylindre (rayures, usure irrégulière et prématurée). On reconnaît que des segments ne soient plus étanches lorsqu'ils possèdent sur leur périphérie, une teinte brune due au passage des gaz brûlés.

IV.8.2 Les bielles :

La bielle sert à transmettre la poussée du piston au maneton. L'une des extrémités de la bielle est reliée au piston par un axe de piston, l'autre extrémité est reliée au maneton par un chapeau de tête de bielle et des boulons.

Les bielles doivent être solides, rigides, et aussi légères que possible afin de réduire au minimum la force d'inertie .

Afin d'assurer le bon équilibrage du moteur, les bielles et les chapeaux de bielles sont appariés et soigneusement repérés. Toute les bielles d'un moteur doivent être de masse égales, afin de prévenir les vibrations qui pourraient se traduire par l'usure prématurée des coussinets .

***) Examen de bielle :**

Chaque bielle doit occuper, par rapport au vilebrequin et au cylindre, une position géométrique définie à chaque instant par celle du piston dans le cylindre. Ceci doit être vérifié soigneusement lorsqu'on remonte un moteur ..

Si cette condition n'est pas vérifiée, l'axe du piston ne se confond plus avec celui des cylindres et il produit, lors de fonctionnement, un coincement du piston dans le cylindre .

On constate alors :

- une tendance du moteur à chauffer exagérément ;
- une consommation d'huile abondante;
- une notable perte de puissance .

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

Ces défauts vont s'accroissant rapidement , ceci s'explique par la rupture du film d'huile dans le cylindre et les pertes de compression qui s'ensuivent.

D'autre part le frottement s'accroît et le dégagement de la chaleur qui en résulte entraîne le grippage des segments dans leurs gorges, puis rapidement, le grippage du piston lui-même ; le moteur est alors mis hors d'usage.

***) Revêtement des surfaces frottantes :**

Le Revêtement consiste à garnir, d'une mince couche d'alliage antifriction, les surfaces frottantes des organes tels que: têtes de bielle, coussinets de palier, articulations de culbuteurs etc...

La technique actuelle conduit à choisir des coussinets minces ou des bagues roulées, ayant un Revêtement antifriction de faible épaisseur. Les matériaux antifriction des coussinets doivent répondre à certains critères :

- La compatibilité, ou la capacité d'un coussinet de recevoir un arbre, en rotation en présence d'un lubrifiant sans friction excessive.

- La résistance à la fatigue , ou la capacité d'un coussinet à supporter un arbre en rotation, sur lequel s'exerce une lourde charge ou une pression , sans que le coussinet ne se brise, ou le métal fonde.

IV.8.3 Le vilebrequin:

Le vilebrequin reçoit de l'énergie du piston et de la bielle et convertit le mouvement alternatif rectiligne, du piston et de la bielle, en mouvement rotatif du volant. La conversion de ce mouvement s'effectue par le biais du bras de manivelle des axes, ou de flasque de manivelle, sur le vilebrequin .

La bielle est reliée au maneton situé entre les flasques de manivelle. Le nombre de maneton et des flasques dépend du nombre des cylindres et de la conception du moteur.

En vue d'équilibrer la force rotative du bras de manivelle, du maneton et de la bielle, des masses d'équilibrage sont fixées aux flasques de manivelle de vilebrequin du côté opposé au maneton.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

La plupart des vilebrequins modernes sont munis de canalisations d'huile perforées à partir des tourillons jusqu'aux manetons, aux coussinets de bielle.

***) Usure du vilebrequin et des coussinets :**

Les tourillons, les manetons, ainsi que leurs coussinets, ont tendance à s'user au cours du fonctionnement du moteur. Les pressions exercées sur les tourillons et les manetons, le mauvais alignement des pièces, les vibrations excessives du moteur, les variations de quantités d'huile provenant aux coussinets, ainsi les matières abrasives qui se trouvent dans l'huile pouvant causer des rayures, des rainures, ou une usure des tourillons et des manetons, ou des coussinets.

Tous ces facteurs augmentent le jeu de lubrification du coussinet.

***) Rénovation du vilebrequin :**

Tout maneton ou tourillon usé, ovalisé ou devenu conique au delà des limites permises, ou toute portée de coussinet rugueuse, corrodée, rayée ou endommagée d'une façon ou d'une autre, doit être rectifiée au diamètre inférieur à l'aide de rectifieuse ou de tour pour vilebrequins.

On peut également métalliser les vilebrequins usés ou endommagés.

IV.8.4 Le bloc-cylindres :

Le bloc-cylindres et le carter du vilebrequin forment la charpente du moteur. Ils logent les pièces à mouvement alternatif et les pièces rotatives du moteur, et en assurant le refroidissement.

La conception et la construction des cylindres et du bloc cylindres dépend de plusieurs facteurs : le nombre et la disposition des cylindres (en ligne, inclinés ou en V); l'alésage, la course et le taux de compression; la disposition des soupapes; la méthode de refroidissement; les matériaux utilisés et les méthodes de moulage et d'usinage.

Les défauts qui peuvent affecter les cylindres ou les chemises et compromettre le bon fonctionnement du moteur, sont les suivants :

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

a) L'usure qui peut provenir :

- d'un long usage du moteur
- de l'introduction d'impuretés dans les mélanges gazeux par suite d'une mauvaise filtration de l'air .
- d'un manque de graissage, d'un graissage insuffisant ou de l'emploi d'une huile de mauvaise qualité .
- de manque ou d'excès de jeu entre les pistons et les cylindres
- d'un mauvais alignement du vilebrequin .

b) Des fêlures, qui proviennent :

- d'un choc
- d'un gel
- d'un échauffement exagéré

c) Une déformation de plan de joint due à un échauffement anormal qui peut provenir: d'un mauvais refroidissement, d'un mauvais graissage, d'un réglage défectueux du carburateur ou de l'allumage et quelquefois, de frottements exagérés .

d) La détérioration des sièges et des guides de soupapes, dans les moteurs à soupapes latérales, due à un échauffement anormal.

IV.8.5 La culasse :

La culasse couvre la partie supérieur du cylindre et forme les chambres de combustion. Il existe trois types de culasse: la culasse à soupape latérale, la culasse à soupape en tête, et la culasse refroidie par air.

La culasse à soupapes latérales est le type de culasse le plus simple, elle contient les chemises d'eau nécessaires à son refroidissement, les trous de bougie, la chambre de combustion et les retraits à l' intérieur desquels les soupapes se déplacent lorsqu'elles s'ouvrent.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

La culasse à soupapes en tête est plus complexe que la culasse à soupapes latérales, elle reçoit tous les éléments déjà mentionnés, plus les lumières de soupapes, les guides de soupapes, les sièges de soupapes, les supports de mécanisme des soupapes, et, dans les moteurs à arbre à cames en tête, les paliers de l'arbre à came.

La culasse refroidie par air ne possède pas de chemises d'eau, elle est refroidie par des ailettes, elle peut être soit de type à soupapes latérales ou de type à soupapes en tête.

Les défauts qui peuvent affecter les culasses sont les mêmes, à l'exception de l'usure, que celles que nous avons vu pour les cylindres.

Si la culasse est desserrée il y a manque de compression et introduction d'eau dans les cylindres.

IV.8.6 Soupapes et mécanismes de soupape :

Les soupapes et mécanismes de soupapes commandent l'admission du mélange air-essence, et l'évacuation des gaz brûlés provenant de la combustion dans le cylindre.

L'ouverture et la fermeture des soupapes est commandée par le mécanisme de façon à coïncider avec la position du piston et le temps du cycle. Le mécanisme est constitué d'un arbre à came, de poussoirs de soupape, des tiges de poussoirs, des culbuteurs, de ressorts de soupape et des soupapes.

1) Les guides de soupape :

Le guide de soupape assure la bonne position, et l'alignement de la face de la tige de soupape avec le siège. Il peut être usiné à même le bloc-cylindres ou la culasse, ou peut être fait d'une pièce distincte de fonte, pressée dans un trou du bloc-cylindres ou de la culasse.

2) Les sièges de soupape :

Le siège de soupape est la surface usinée du bloc-cylindres ou de la culasse qui s'adapte sur la soupape pour former un bouchon. Ils peuvent être découpés dans le bloc-cylindre ou de la culasse, ou peuvent être des pièces insérées, pressées dans le bloc-cylindres ou la culasse.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

3) Les poussoirs à soupape :

Les poussoirs de soupape sont des pièces placées entre l'extrémité de la tige de soupape dans le cas d'un moteur à soupapes latérales, ou la tige de poussoir dans le cas d'un moteur à soupapes en tête et l'arbre à cames. Le poussoir se déplace sur une came de l'arbre à cames et lorsque le lobe de la came passe sous le poussoir il le soulève.

4) Les ressorts de soupapes :

Les ressorts de soupapes ne doivent présenter aucune trace d'oxydation. Pour un ressort trop faible, il y aura un défaut d'étanchéité, dans le cas contraire c'est-à-dire s'il est trop fort, la soupape travaillera anormalement et il y aura risque de matage sur le siège et descente de celui-ci.

5) Les soupapes :

La soupape est constituée d'une tête de soupape et d'une tige. Elle doit avoir une faible masse afin de conserver une faible inertie.

La soupape d'admission fonctionne à basse température car elle sert seulement au passage du mélange air-essence, mais la soupape d'échappement fonctionne à hautes températures, car elle doit laisser passer les gaz d'échappement chauds.

6) Examen des soupape et de son mécanisme :

- Les guides de soupapes ne se réparent pas s'ils sont usés, grippés, ou si leur fixation est devenue insuffisante, ils sont à changer.

- Les sièges de soupapes sont amovibles ou non; dans le premier cas, il peuvent être rectifiés ou, éventuellement chargés; dans le second cas, ils ne peuvent être que rectifiés et dans le cas d'usure excessive, il est nécessaire de fraiser un logement dans lequel on rapportera une bague qui sera rectifiée pour constituer le siège.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

- La seule réparation que l'on puisse effectuer sur une soupape est la rectification de la tête et, éventuellement, celle de l'extrémité de la queue. Une soupape brûlée ou présentant des criques, faussée ou ayant subi un commencement de grippage ou une usure importante, est à changer.

IV.9 LES PANNES PROVENANT DU SYSTEME DE GRAISSAGE : (OU DE LUBRIFICATION)

IV.9.1 Généralités et principes de lubrification :

Le fonctionnement des moteurs à piston se caractérise par le nombre et l'importance de surfaces qui, appliquées sous charge l'une sur l'autre, se déplacent l'une par rapport à l'autre. Il s'ensuit l'impératif d'empêcher tout frottement métal sur métal qui provoque, en une fraction de seconde, un échauffement destructeur des surfaces.

Pour assurer des déplacements affranchis de tout contact métal sur métal, il faut interposer en permanence un fluide d'épaisseur suffisante entre les surfaces, et pour cela mettre en oeuvre un certain nombre de mesures qui partent le nom de lubrification.

Pour la lubrification, dans le moteur à combustion interne, est utilisée, en général, la pompe à huile, pour fournir la pression nécessaire à la circulation de l'huile. Cette huile pénétrant sous pression dans les rampes perforées, assure la lubrification nécessaire des organes mécaniques.

IV.9.2 Défauts de système de lubrification :

1°) La pompe à huile :

La pompe est entraînée par un arbre habituellement relié par engrenage à l'arbre à cames. Il existe deux types de pompe à huile, la pompe à engrenages et la pompe à rotor.

Pannes et Incidents de marche des Moteurs à C.I

L'usure des éléments de la pompe entraîne une lubrification insuffisante. La pression engendrée par la pompe à huile augmente avec la vitesse du moteur. le système de lubrification comporte une soupape de dérivation qui libère toute pression excessive à vitesse élevée; donc une pression trop élevée qui résulte d'un mauvais réglage de la soupape de dérivation peut provoquer un excès d'huile.

2°) L'huile de lubrification :

La lubrification insuffisante ne peut provenir, en dehors des obstructions totales ou partielles, ou des ruptures des canalisations de graissage, que de l'utilisation de l'huile (de mauvaise qualité).

Il y a intérêt à choisir des huiles correspondant a la température ambiante (la viscosité de l'huile varie peu avec la température) parce qu'elles contribuent à faciliter les départs et retardent l'usure du moteur.

3°) La carbonisation :

Après un certain temps d'usage, il arrive que de l'huile de graissage passe entre pistons et cylindres ou le long des guides de soupapes. Au cours de la combustion, elle brûle en même temps que le mélange carburé et forme un résidu charbonneux appelé calamine ; il y a carbonisation.

La calamine se dépose sur le fond des pistons, les têtes des soupapes et sur les parois de la chambre d'explosion en y adhérant fortement. La carbonisation présente de nombreux inconvénients :

1°) Le volume de la chambre d'explosion diminue puisque la calamine constitue une sur-épaisseur, ; le taux de compression augmente, la combustion est fréquemment détonante; et le moteur devient bruyant.

2°) La calamine, mal refroidie, constitue des points chauds provoquant l'auto-allumage, et des retours au carburateur.

3°) La calamine formée entre les électrodes des bougies nuit à la formation de l'étincelle électrique, le moteur a des ratées.

4°) La fermeture des soupapes est gênée par la calamine, le moteur manque de compression.

Pannes et Incidents de marches des Moteurs à C.I

IV.10 LES PANNES PROVENANT DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT.

IV.10.1 Généralités et principes :

Le système de refroidissement du moteur sert à dissiper la chaleur contenue dans les parties métalliques qui entourent la chambre de combustion. Environ un tiers de cette chaleur est éliminé par le système d'échappement et le reste est absorbé par les parties métalliques (culasse, pistons, soupapes, parois de cylindre ...etc).

Si cette chaleur n'était pas dissipée, elle peut causer une dilatation dans les parties métalliques et une décomposition de l'huile de lubrification. D'autre part le système de refroidissement doit accomplir d'autres fonctions :

1°) Maintenir en toutes circonstances une température minimale de fonctionnement entre 80°c et 95°c, car le moteur ne fonctionne pas efficacement lorsqu'il est froid.

2°) Atteindre cette température de fonctionnement aussi rapidement que possible.

3°) Fournir de la chaleur à l'habituel par temps froid.
On utilise généralement deux modes de refroidissement ; le refroidissement par eau et le refroidissement par air. Le premier demeurant le plus répandu, il contient : une pompe à eau, un radiateur et un ventilateur.

IV.10.2 Défauts de système de refroidissement :

Il faut distinguer, parmi les difficultés dues au refroidissement insuffisant, celles qui proviennent d'un échauffement du moteur lui-même, principalement dû à un mauvais réglage du point d'allumage (essence), à une mauvaise carburation ou à des incidents mécaniques, de celles qui ont pour cause un mauvais fonctionnement du circuit de réfrigération.

Pannes et Incidents de marches des Moteurs à C.I

1°) La pompe à eau :

La pompe à eau est utilisée pour faire circuler l'eau à travers les canalisations du système de refroidissement, la plupart des pompes à eau sont de type centrifuge.

La pompe aspire l'eau froide contenue dans le réservoir inférieur du radiateur, puis l'envoie dans les chemises d'eau du bloc-cylindres et de la culasse afin de recueillir le surplus de chaleur. L'eau est ensuite refoulée jusqu'au réservoir supérieur du radiateur par le boyau supérieur.

La chaleur est éliminée à mesure que l'eau traverse le radiateur. L'eau froide contenue dans le réservoir inférieur est prête à répéter le cycle.

*) Mauvais fonctionnement de la pompe à eau :

Les pannes qui peuvent l'affecter sont rares. Elles ne peuvent provenir que d'une fuite ou d'un manque d'entraînement de la pompe, exceptionnellement, du bris d'une ailette de la turbine.

* Les fuites sont dues toujours à mauvais serrage, ou un mauvais état des joints d'étanchéité.

* Le manque d'entraînement de la pompe peut avoir pour cause un grippage, ou formation de gel, ou une cause qui n'intéresse pas à proprement parler l'état de la pompe : une rupture de la courroie.

2°) Le radiateur :

Le radiateur se compose d'un réservoir supérieur, d'un réservoir inférieur et d'une section de refroidissement appelée faisceau. Ces trois éléments sont réunis en un seul.

On utilise ordinairement le faisceau de type tubulaire, formé d'une série de petits tubes disposés en rangées entre le réservoir supérieur et le réservoir inférieur. Ces tubes sont maintenus en place par une série d'ailettes.

Ces ailettes accélèrent la transmission de la chaleur de l'eau à l'air, cette chaleur est éliminée par l'air qui balaie le faisceau de radiateur.

Pannes et Incidents de marches des Moteurs à C.I

*) Défauts de radiateur :

La cause la plus fréquente de pannes du système de refroidissement est la formation de calcaire dans le radiateur et même dans les chemises d'eau. Le calcaire provient du chauffage continu de l'eau qui contient des minéraux comme les sels de calcium et de magnésium. Ces sels se déposent pour former le calcaire, celui-ci crée une barrière isolante entre les parties métalliques et le liquide de refroidissement.

Si le tube de trop plein est bouché ou gelé il y a risque d'éclatement des raccordements, du radiateur par la surpression de la vapeur.

3°) Le ventilateur :

Lorsque le moteur tourne, le ventilateur aspire de l'air à travers le faisceau de radiateur, refroidissant ainsi l'eau contenue dans le radiateur.

*) Mauvais fonctionnement de ventilateur :

Pour le ventilateur, seuls une pale brisée, ou tordue ou un desserrage des pales peuvent compromettre son fonctionnement correct. Le manque d'entraînement du ventilateur peut avoir pour cause une courroie rompue ou insuffisamment tendue.

Remarque :

Si le système de refroidissement est muni d'un calorstat ou régulateur de température, une panne peut provenir de ce dernier s'il ne s'ouvre pas à la bonne température, ce qui empêche la circulation d'eau dans le radiateur et par suite un refroidissement insuffisant.

Chap V

CONCEPTION ET REALISATION DE MP_DIAG

V.1 INTRODUCTION :

Pour réaliser un système expert, divers moyens peuvent être envisagés en utilisant :

- Soit des langages généraux (Fortran, Pascal, ...).
- Soit des langages spécialisés de l'I.A (lisp, prolog, ...).
- Soit des générateurs de systèmes experts qui sont destinés à offrir aux développements de S.E les moyens nécessaires et suffisants pour acquérir, tester, valider et exploiter le plus efficacement possible les données et les connaissances relatives à un domaine bien défini.

Pour notre cas, dans la construction de MP-DIAG, nous avons utilisé l'outil de développement VP-EXPERT, [VPX88] distribué par PAPERBACK SOFTWARE INTERNATIONAL pour les raisons suivantes :

- * Le formalisme de représentation des connaissances et les règles de production.
- * L'intelligence du système, c'est à dire le mécanisme qui combine cette connaissance et l'information nécessaire à prendre des décisions :
- * Le moteur d'inférence est d'ordre (0+).
- * Sa disponibilité.

V.2 Architecture et caractéristiques du VP-Expert :

VP-Expert est un outil de développement de système expert. Ceci signifie que VP-Expert fournit le moteur d'inférences, l'interface utilisateur, et les commandes, en fait, tout ce qui est nécessaire pour construire un système expert opérationnel.

Contrairement aux autres langages de l'intelligence artificiel permettant le développement des systèmes experts, et qui demandent des capacités techniques, très évolués, VP-Expert est très simple à utiliser, et offre une combinaison de caractéristiques très puissantes le désignant comme choix en matière de systèmes experts sur micro-ordinateurs. Les caractéristiques comprennent particulièrement :

Chap V: Conception et Realisation de MP DIAG

1') Son moteur d'inférence travaille en logique d'ordre (0+), c'est à dire en logique de propositions avec variables globales.

2') Il peut travailler :

- En chaînage arrière.
- En chaînage avant.
- En bidirectionnel.

3') La capacité d'échanger des données avec des fichiers FOX BASE ou DBASE, des fichiers feuilles de calcul VP-Planner ou LOTUS 1-2-3 et des fichiers texte ASCII.

4') Une commande d'induction (Induce) qui génère automatiquement une base de connaissances à partir d'une table contenue dans un fichier texte, feuille de calcul, ou base de données.

5') Des fenêtres de développement optionnel qui permettent d'observer la manière dont le moteur d'inférences effectue un parcours de la base de connaissance pour résoudre les problèmes d'une consultation.

6') Les coefficients de certitude qui permettent de manipuler les informations incertaines de la base de connaissances.

7') La possibilité d'expliquer ses choix pendant la consultation.

8') La possibilité de chaîner des bases de connaissances, qui permet de créer des bases de connaissances qui sera autrement trop larges pour tenir en mémoire.

9') Un éditeur de texte intégré.

10') Un mécanisme de génération automatique des questions.

11') La faculté d'enregistrer et d'afficher graphiquement le mécanisme de recherche règle à règle utilise durant une consultation.

12') L'exécution rapide de la B.D.C.

13') La possibilité de faire des appels externes au DOS....

V.2.1 Structure d'une base de connaissance VP-Expert :

L'illustration suivante représente tous les éléments importants qui peuvent être combinés pour créer une base de connaissance VP-Expert; ils ne sont pas tous nécessaires .

Strictement les éléments qui soient indispensable dans une base de connaissance utile sont : le bloc des ACTIONS, les règles et les déclarations.

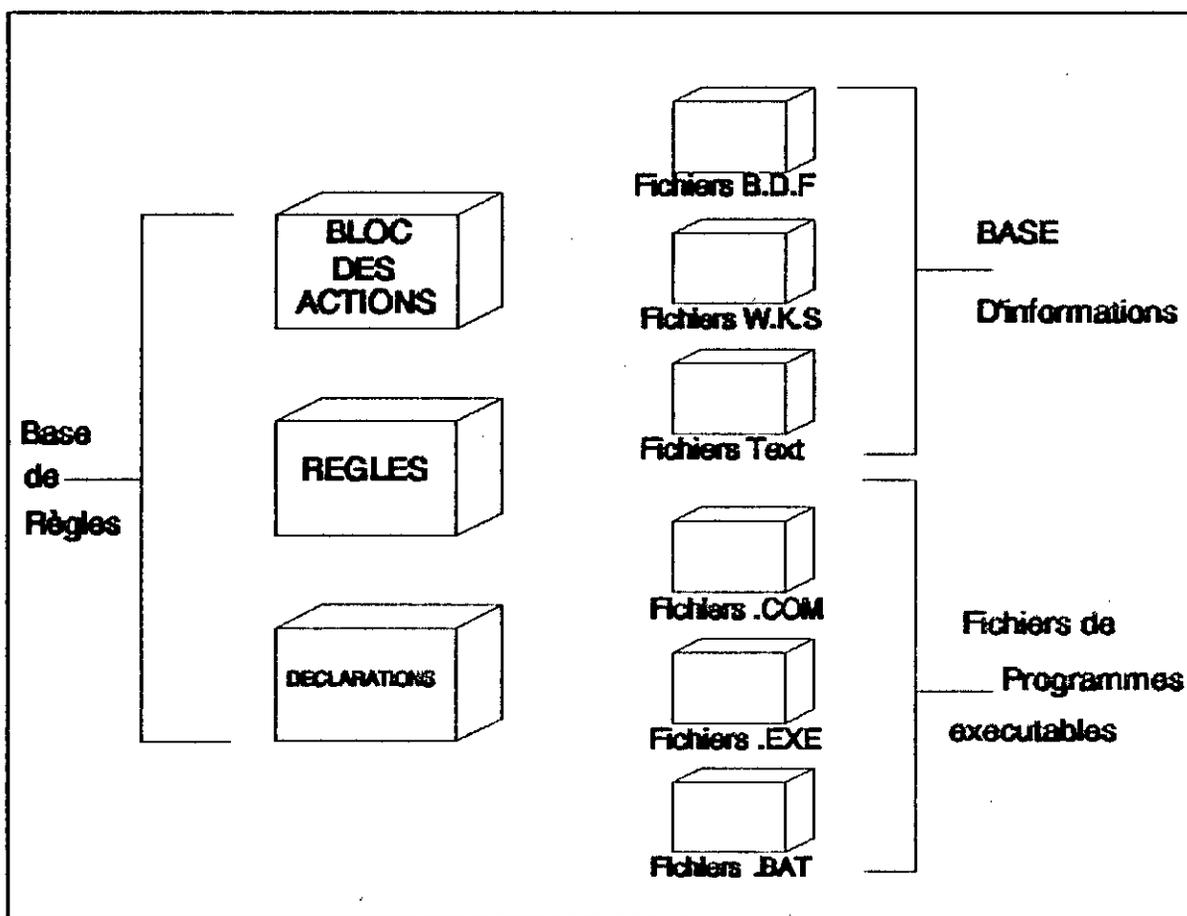


Fig V.1 : BASE DE CONNAISSANCE VP.EXPERT

Un quatrième type d'élément, les clauses, est contenu dans le bloc des ACTIONS et les règles de la base de CONNAISSANCES.

a) Le bloc des ACTIONS :

Le bloc des actions, constitué des mots-clé ACTIONS suivie d'une ou plusieurs clauses, est un élément indispensable d'une base de connaissance. C'est le mécanisme qui détermine les ACTIONS à effectuer durant la consultation.

En utilisant des instructions appelées clauses, nous déclarons en fait, "premièrement fait ceci, deuxièmement fait cela...".

Exemple:

ACTIONS

**DISPLAY " Ce système expert vous aide à trouver la panne
de votre moteur**

Taper une touche pour commencer..."

FIND panne-moteur

**DISPLAY " Il est fortement probable que le problème
concerne [panne-moteur] ";**

Les clauses de ce bloc des ACTIONS affichent un message, ordonnent au moteur d'inférence de trouver une valeur à la variable panne-moteur, et affichent un autre message.

Le point-virgule à la fin de la dernière clause indique la fin du bloc des actions.

b) Les règles (RULE) :

Les règles déclarées comme des propositions (IF/THEN) contiennent "l'expertise" ou la "connaissance" emmagasinée dans la base de connaissance.

Les règles VPX ont quatre composantes essentielles :

- * Le nom de la règle.
- * La prémisse de la règle.
- * La conclusion de la règle.
- * Un point-virgule à la fin de la règle.

b.1 La prémisses d'une règle :

Commençant par le mot-clé "IF", et l'endroit où une ou plusieurs conditions sont avancées.

Une condition comprend le contenu d'une variable à une valeur.

b.2 La conclusion de règle :

La conclusion de règle, commençant par le mot-clé "THEN", consiste en au moins une équation contenant une variable et une valeur.

L'équation assigne une valeur à la variable si la prémisses de la règle est vraie. Quand ceci arrive, on dit que la règle est déclenchée.

Syntaxe :

```
Rule < étiquette >
IF      < Condition 1 > [ AND / OR ]
        < Condition 2 > [ AND / OR ]
  [ etc ... ]

Then   < Conclusion 1 > [ CNF N ]
        < Conclusion 2 > [ CNF N ]
  [ etc ... ]

      [ Clause 1 ]
      [ Clause 2 ]

else   < Conclusion 3 > [ CNF N ]
        < Conclusion 4 > [ CNF N ]
  [ etc ... ]

Because < Texte > ;
```

Remarques :

1) Les règles peuvent figurer dans n'importe quel ordre dans une base de connaissance VPX, mais cet ordre peut modifier la voie qu'emprunte le moteur d'inférence lorsqu'il se déplace dans la base de connaissance ; La rapidité d'exécution peut aussi être modifiée par l'ordre des règles.

2) En plus des règles (RULE) permettant la démarche en chaînage arrière, VP-Expert depuis sa version 2.0 permet aussi le chaînage avant en utilisant les règles "WHENEVER" qui ont la même syntaxe que les premières.

3) Les conclusions de règles peuvent contenir des coefficients de certitude représentant le degré de confiance que l'on peut accorder à une conclusion.

Les coefficients de certitude sont indiqués par les lettres CNF suivies d'un entier entre 0 et 100 .

c) Les déclarations :

Tandis que les règles d'une base de connaissances contiennent "l'expertise" de la BDC, les déclarations contiennent en général de l'information utile à la consultation elle-même.

La plupart des déclarations de VP-Expert assignent des caractéristiques particulières à des variables de la base de connaissances.

Exemples :

ASK : La déclaration identifie une variable dont la valeur doit être spécifiée par l'utilisateur durant une consultation, de plus elle affiche une question à l'utilisateur.

RUNTIME : Change l'affichage d'une consultation.

PLURAL : Identifie la variable comme étant multiple.

d) Les clauses :

Contrairement aux déclarations, les clauses ne sont pas des entités indépendantes de la base de connaissance. Elles font toujours partie des blocs des actions ou de la conclusion d'une règle, dans les deux cas les clauses sont exécutés suivant leur ordre d'apparition, mais pour le second cas elles exigent que la règle soit déclenchée.

Résumé :

Voici un modèle d'une base de connaissance VP-Expert.

Nom de fichier : exemple.KBS

date de révision : 99-99-99

Auteur :

Description : [description de la base de connaissance]

Système nécessaire : [exemple ; souris : carte VGA,...]

Version de VPX : [2.3]

RUNTIME

***** BLOC DES ACTIONS *****

ACTIONS

[Clause]

[Clause]

[etc]

; fin de bloc des actions

***** Déclarations *****

[déclaration;]

[déclaration;]

[etc]

***** REGLES DU CHAINAGE ARRIERE *****

RULE <étiquette>

IF <conditions>

THEN <conclusion>

[clauses]

Chap V: Conception et Realisation de MP DIAG

***** REGLES DU CHAINAGE AVANT *****
WHENEVER <étiquette>

IF <conditions>
THEN <conclusion>

***** FIN DU FICHER DE LA BDC *****

V.2.2 Fonctionnement du moteur d'inférence du VP-Expert :

Après la présentation des divers éléments constituant une base de connaissances, on considère maintenant la manière dont le moteur, d'inférence de VP-Expert utilise une base de connaissance pour résoudre des problèmes .

Considérant la base de connaissances suivante :

* Dans cet exemple le moteur d'inférence commence par exécuter les clauses du bloc des ACTIONS une à une. Dans ce cas c'est FIND but ; la variable but est identifié comme étant le "but" à atteindre.

* Le moteur d'inférence parcourt la base de règle, et cherche la première règle ayant en conclusion la variable "but".

* Il trouve que cette règle est la règle (1).

* Le moteur d'inférence considère la partie prémisse de cette règle, la variable "sbut" étant inconnue, il essaye alors de lui trouver une valeur ; c'est un sous-but.

* Pour cela, il recherche à nouveau la première règle ayant "sbut" en conclusion.

* Cette règle est la règle (S1), qui à son tour revoie le moteur d'inférence chercher une valeur pour la variable "ssbut".

* Comme il n'y a pas de règle comportant la variable "ssbut" en conclusion, le moteur d'inférence teste l'existence d'une déclaration ASK mentionnant cette variable.

* Il trouve une, et la question est posée à l'utilisateur quelle est la valeur de "ssbut".

ACTIONS

FIND But ;

RULE S₁

IF SSbut = A

THEN Sbut = B ;

RULE S₂

IF SSbut = C

THEN Sbut = D ;

RULE 1

IF Sbut = B

THEN but = E ;

RULE 2

IF Sbut = D

THEN but = F ;

ASK SSbut : "Quelle est la valeur de SSbut " ;

CHOICES SSbut : A , C ;

* Supposons, qu'il choisit la valeur A.

* Le moteur d'inférence ayant trouvé que "ssbut=A" revient à la règle (S1) et déduit que sbut=B, puis revient à la règle (1) et trouve que but=E.

* Puisque la variable but n'est pas déclarée comme multiple, il n'y a qu'une seule dans le bloc (FIND but), alors le moteur d'inférence termine la consultation.

V.3 Le raisonnement expliqué :

A la demande de l'utilisateur VP-Expert peut fournir un raisonnement expliqué, cette tâche est assurée par le module d'explication.

Chap V: Conception et Realisation de MP DIAG

Ce module fournit des informations sur :

- * Le déroulement de la consultation en utilisant l'option "TRACE".

- * Le pourquoi qui vient d'être posé pendant la consultation, en utilisant la commande "WHY" :

- _ Soit en affichant le texte explicatif se trouvant après le "BECAUSE" de la règle.

- _ Soit en affichant la règle elle même, s'il n'y a pas de texte explicatif.

- * La manière dont la valeur particulière d'une variable a été trouvée, en utilisant la commande "HOW".

- * L'effet d'une modification de la valeur d'une variable, en utilisant la commande "WHATIF".

V.4 Les coefficients de certitudes :

Le coefficient de certitude est un entier entre 0 et 100 indiquant le degré de confiance que l'on peut attribuer à une conclusion donnée.

Ces coefficients peuvent être entrés par l'utilisateur quand il répond à une question, ou écrits dans la base de connaissances dans les conclusions des règles. Par exemple :

```
IF  moteur-au-démarreur = ne-tourne-pas
THEN panne-moteur = batterie-décharge   CNF 80
```

Cette règle affecte la conclusion avec un degré de confiance de 80 %

Si l'utilisateur donne, à une question concernant la partie condition, un coefficient de certitude de 80 %, ces derniers seront combinés par multiplication, et le coefficient de certitude de la conclusion sera 64 %.

Bien que ces nombres ne représentent pas des probabilité réelles, ceci est à rapprocher du concept de "pourcentage".

Nous avons préféré ne pas utiliser ces coefficients à cause des inconvénients suivants :

* Il est difficile et parfois impossible à un expert de chiffrer la confiance qu'il accorde à une connaissance.

Donner une confiance de 0.5 ou 0.6 à une conclusion de règle peut lui sembler pareil, mais en réalité cela infule directement sur le déclenchement ou non de la règle en question.

* Il y'a aussi le problème de la fixation du niveau à partir duquel on considère qu'un résultat est vrai.

V.5 L'acquisition de la connaissance :

La phase d'acquisition des connaissances est très importante car d'elle dépend la validité du système qui sera construit.

Nous avons relevé que dans le cadre des phases de diagnostic et de maintenance, l'utilisation de la décomposition fonctionnelle permet, une fois le fonctionnement normal du système connu d'en déduire les phases de dysfonctionnement et d'établir ainsi les relations de cause à effet menant directement aux règles d'expertise recherchées.

Et vu le niveau technologique des équipements et compte tenu des problèmes liés à l'acquisition des connaissance, un cadre méthodologique est nécessaire pour mener à bien cette phase d'acquisition.

L'expertise nécessaire pour poser un diagnostic correct relatif au dysfonctionnement d'un équipement se trouve répartie entre plusieurs spécialistes ayant chacun ses modes d'intervention et d'analyse.

Pour notre application les connaissances textuelles que nous avons extrait à travers nos différentes lecture de la documentation reste la source prévéligiée qui nous à permis de développer notre système.

Il est à noter, enfin que VP-Expert ne possède pas un module d'acquisition de connaissances, ceci est compensé par le fait que la syntaxe des règles est d'une simplicité remarquable, leur énoncé s'aproche du langage naturel, de plus l'expert peut les entrer dans n'importe quel ordre.

V.6 Représentation des connaissances :

Dans le domaine du diagnostic de pannes, l'expertise relative à l'expérience acquise sur le terrain peut être formalisée sous la forme :

Si symptômes et tests ALORS cause

Nous remarquerons que cette forme peut être traduite de manière adéquate par le formalisme de représentation des connaissances utilisant les règles de production dont la syntaxe est la suivante :

Si prémisse ALORS conclusion

Tout comme la plupart des problèmes de diagnostic couramment rencontrés, les faits dans notre application, peuvent être représentés de façon très simple par la logique propositionnelle.

Cependant la logique de proposition d'ordre (0) ne suffit pas pour exprimer toute la connaissance contenue dans l'expertise, nous avons constaté la manipulation de variables globales ainsi que des comparateurs ; d'où l'intérêt d'utiliser la logique de proposition (0+).

V.7 Modélisation des connaissances :

Afin d'identifier une divergence par rapport au fonctionnement nominal, et localiser par suite l'origine du mauvais fonctionnement' on doit disposer d'une représentation du comportement de chaque composant et d'une représentation de la structure du dispositif.

L'association " structure + comportements " locaux permet de déduire le comportement normal de l'ensemble.

V.8 Modélisation de la structure :

Décrire la structure d'un dispositif consiste à en énumérer les différents composants et à définir les liens qui existent entre ces composants.

La description de la composante structurelle d'un équipement constitue un complément de la partie fonctionnelle.

Structurellement un dispositif donné est formé d'un ensemble de composants Inter-reliés, les composants communiquent entre eux via les liaisons (tuyauterie, câblage, fixation mécanique).

Le résultat d'une telle description est un graphe orienté dans lequel un équipement constitue une association entre sorties /entrées : sorties d'un composant aboutissant à une entrée d'un autre.

Une fois les connaissances de bon fonctionnement modélisées, la manière d'exploiter ces connaissances pour expliquer les défaillances fonctionnelles doit être modéliser, à son tour.

cette partie du raisonnement est intitulée stratégie de diagnostic.

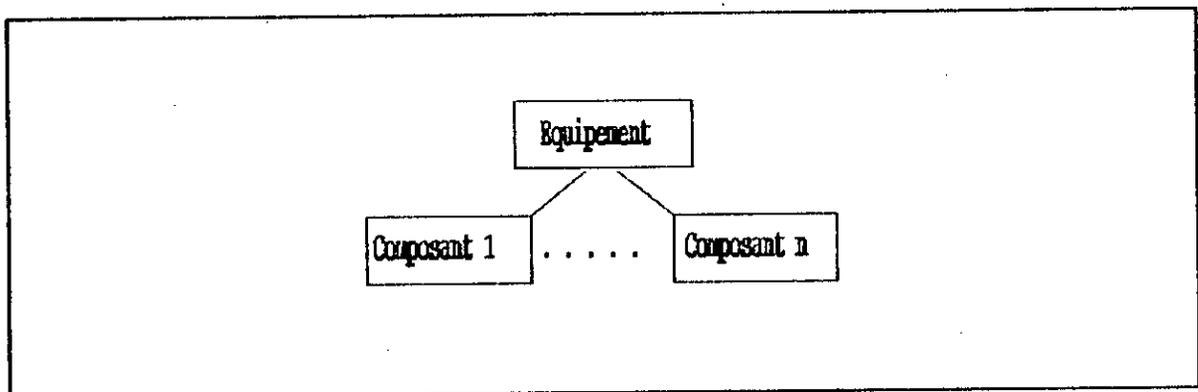


Fig V.2 modèle d'un dispositif

V.7 Stratégie de diagnostic :

Les connaissances sont modélisées sous la forme de règles de production associant, à un ensemble de symptômes observables, des pannes qui sont à l'origine de dysfonctionnement.

La méthode de diagnostic met en oeuvre les tâches suivantes:

- * La tâche de détection de divergences.
- * La tâche de suspicion.
- * La tâche de tests et de réduction de suspect.

1°) La tâche de détection de divergences :

Elle utilise le modèle de comportement normal pour comparer les sorties nominales aux sorties observées.

2°) La tâche de suspicion :

Pour expliquer un symptôme donné, la stratégie commence par identifier l'ensemble des composantes, dont une défaillance est susceptible de produire le symptôme en question. C'est l'ensemble des suspects.

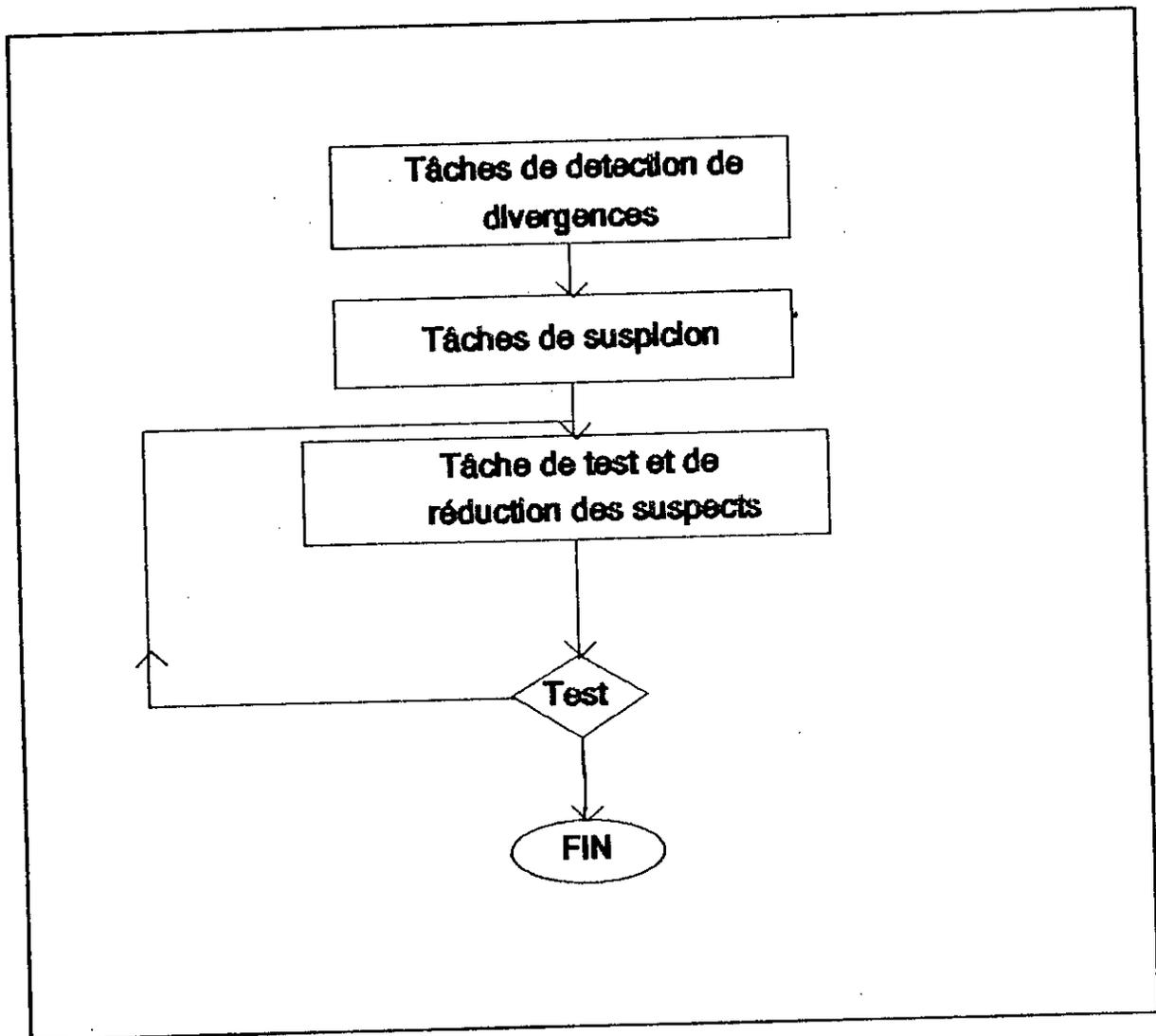
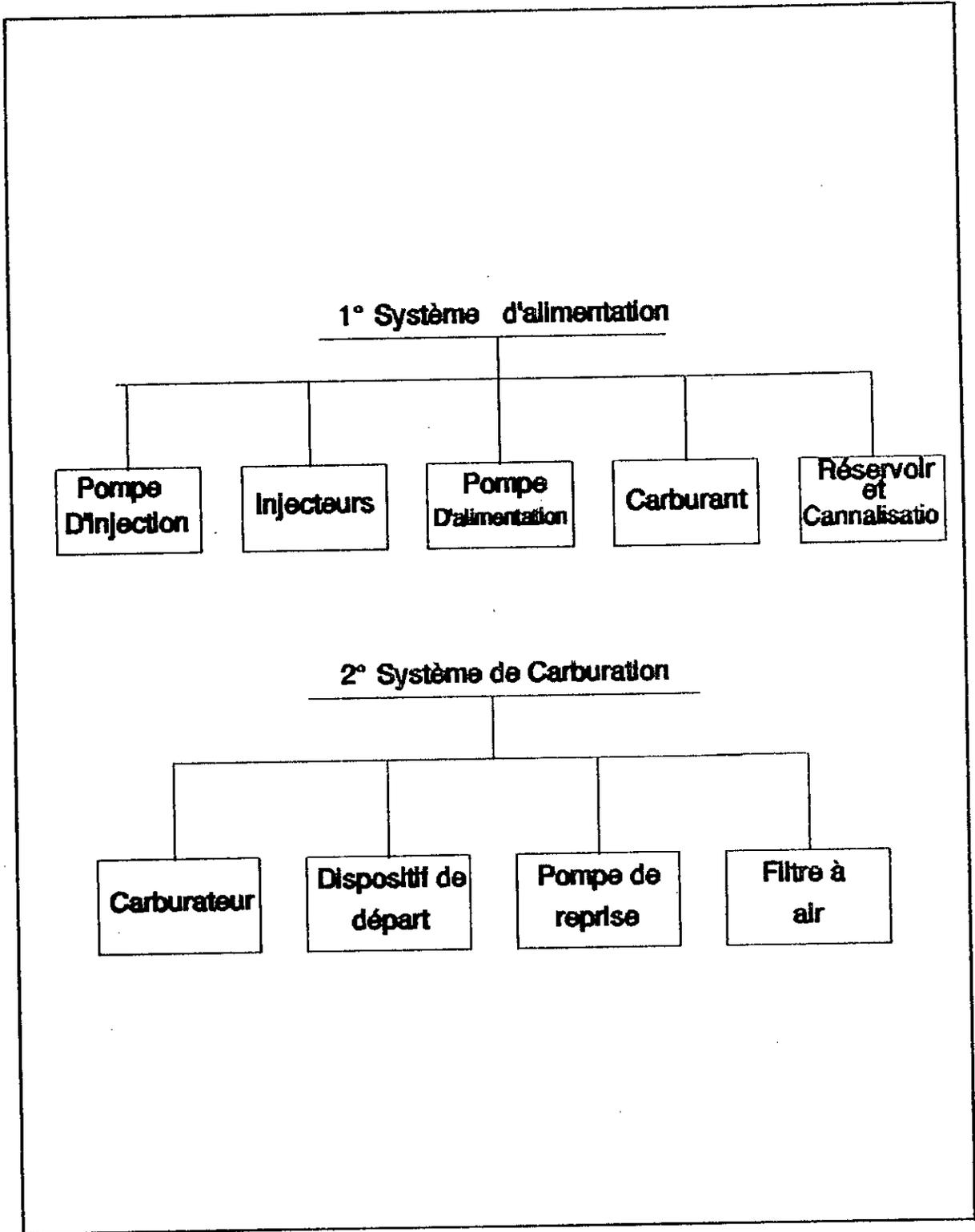


Fig V.3 Déroulement de la stratégie de diagnostic

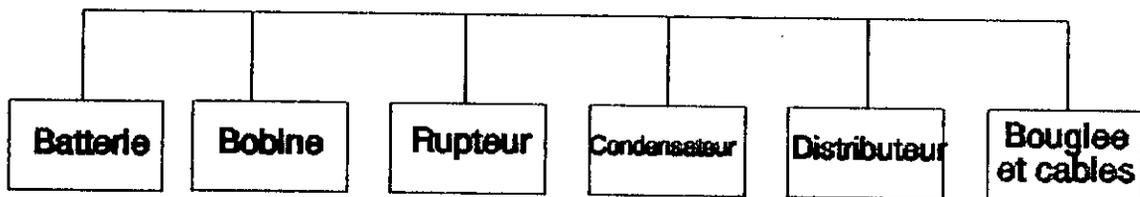
3°) La tâche de tests et de réduction de suspects :

Par la suite, la réduction des suspects est effectuée grâce à la génération de tests complémentaires en mesurant les entrées et les sorties du composant en question, ou en vérifiant l'existence des autres manifestations possibles de la défaillance de ce composant.

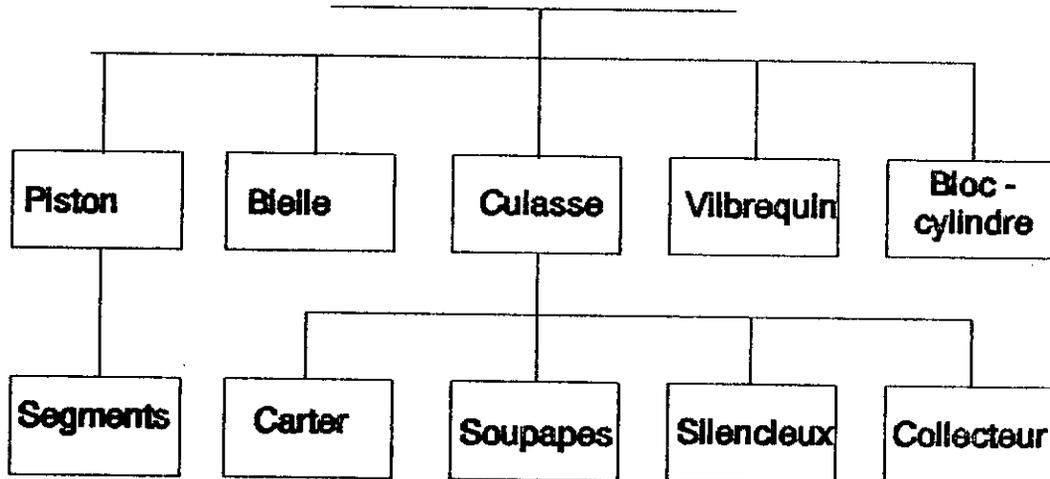
ANNEX



3° Système d'allumage



4° Organes mécaniques



5° Circuit de démarrage

Moteur de démarreur

Lanceur de démarreur

6° Système de Graissage

Huile

Tyauteries

Pompe à Huile

7° Système de refroidissement

Radiateur

Pompe à eau

Ventilateur

VI. CONCLUSION

Au terme de ce projet de fin d'étude, nous pouvons dire qu'une ambition est devenue réalité, grâce à la réalisation de MP_DIAG qui nous a permis de découvrir l'intelligence artificielle, et de connaître par la pratique la technique des systèmes experts .

Dans la première partie, la problématique de diagnostic est définie, les objectifs du système expert sont précisés .

La confrontation de la synthèse des techniques de diagnostic, avec nos besoins, nous a permis de choisir un modèle de diagnostic pour notre application. Le modèle proposé est hybride, il fait cohabiter les deux approches de diagnostic de base : l'approche basée sur le raisonnement causal, et l'approche basé sur la représentation structurelles et fonctionnelle.

Notre système expert de diagnostic de pannes a été élaboré sur la base du générateur du système expert [VPX 88].

L'architecture du S.E est constituée du moteur d'inférence [VP-Expert], de la base de connaissances, et de l'interface du dialogue avec l'utilisateur ainsi que du module d'explication.

La constitution de la base de connaissance représente la partie la plus délicate et la plus longue a concevoir dans l'élaboration d'un système d'aide au diagnostic.

Ainsi, un cadre méthodologique pour l'acquisition des connaissances de diagnostic à été défini pour mener à bien cette tâche.

Le formalisme utilisé pour la représentation des connaissances est celui des règles de production.

Le moteur d'inférence traite cette représentation symbolique de la réalité au moyen d'une technique de raisonnement dit de chaînage arrière .

La base de connaissance est constituée de règles de déduction concernant les deux types de moteur (essence, diesel).

Le S.E élaboré permet de tenir compte lors de ses investigations de la diversité des modes de manifestations de pannes, et de la complexité des dispositifs d'un moteur à combustion interne, tout en étant capable d'en recevoir plusieurs autres types pour assurer leur maintenance.

Il faut faire remarquer que ce système est élaboré dans une forme conviviale facilitant l'échange d'information avec l'utilisateur.

Nous pensons avoir atteint nos objectifs et espérons que ce modeste travail va apporter l'aide nécessaire aux futurs concepteurs des systèmes experts et à ceux qui voudraient compléter leur formation dans la maintenance des moteurs à combustion interne .

Dans la continuité de ce projet, nous proposons de créer un module d'aide à la réparation, indépendant du module du diagnostic.

Ce module est activé soit après une session de diagnostic, soit directement par l'utilisateur. Il reçoit comme entrée le composant défectueux, et propose à l'utilisateur, les procédures d'intervention pour effectuer le démontage, le remplacement de la pièce défectueuse, le remontage, et la vérification de la reprise de bon fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.N.CHATIN., A.DUSSAUCHOY.
" Systèmes experts : Méthodes et outils "
Eyrolles 1987 .
- [2] H.FARRENY.
" Les systèmes experts : principes et exemples "
Cepadues Editions, 1985 .
- [3] A.BARR., E.A.FEIGENBANM.
" The hand book of artificial intelligence "
Vol 1, Addison Wesley Publishing Company " U.S.A 1989 .
- [4] A.BONNET., J.P.HATTON .
" Systèmes Experts vers une maîtrise technique" Paris,
InterEditions, 1986 .
- [5] [VPX 88] .
" Paperback Software International". 1988 .
- [6] R.CHALAL.
" Outil d'aide au diagnostic des pannes des équipements
industriels " .INI. 1994 .
- [7] M.IMEDJDOUBENE.
" Système expert de diagnostic et de prévention des
pannes des moteurs électriques ". USTHB . 1992 .
- [8] T.KHALDI.
"Outil d'aide à la décision pour le choix des
entraînements électriques à vitesses variables"
INH .1994 .
- [9] " S.E d'aide au diagnostic des machines tournantes"
USTHB . 1994 .
- [10] FREDERICK.NASH .
" Technologie Automobile ". Mc Graw-Hill. 1984 .

-
- [11] M.MENARDON., D. JOLIVET .
" Les moteurs à explosions "
 - [12] M.MENARDON.
" L'électricité Automobile " . 1986 .
 - [13] M.MENARDON .
" La réparation Automobile " .
 - [14] M.DESBOI., R.ARNO .
" Les Moteurs diesel, la technique de la réparation automobile " .
 - [15] M.DESBOI., M.MARTIN .
" Le moteur. Mise au point et contrôles. Essais et mesures " .
 - [16] M.DEBOIS., R.TOUACHE.
" Les moteurs à quatre temps et à deux temps " .
 - [17] J.MAURIZO.
" Les moteurs à explosion "
 - [18] M.DELANETTE., J.MAURIZO.,
" Le mécanicien d'automobile. Essais, Défauts de fonctionnement, réparation .