

SOMMAIRE

I.	AVANT PROPOS	06
1.1.	Contexte	06
1.2.	A qui s'adresse le guide ?	07
1.3.	Contenu du guide	07
II.	LE TRANSPORT ROUTIER DE MARCHANDISES	09
III.	CONNAISSANCES DE BASE RELATIVES AU VÉHICULE DE TRANSPORT	10
3.1.	Différents types et appellations	11
3.1.1.	Composition des véhicules	11
3.1.2.	Classification à partir des essieux	13
3.1.3.	Les carrosseries	14
3.1.4.	Les cabines	16
3.2.	Quelques notions de bases	16
3.2.1.	La force	16
3.2.2.	Le travail	16
3.2.3.	Puissance	17
3.2.4.	Couple	17
3.3.	Notions générales sur les moteurs thermiques.	18
3.3.1.	Généralités	18
3.3.2.	Quelques caractéristiques des moteurs	19
3.3.3.	Le cycle à quatre temps	19
3.4.	Rendements, bilan énergétique et performances d'un moteur Diesel	21
3.4.1.	Rendements et bilan énergétique d'un moteur Diesel	21
3.4.2.	Les performances d'un moteur Diesel	22
3.4.3.	L'entraînement des auxiliaires.	26
3.5.	La combustion	29
3.5.1.	Rôle de la combustion	29
3.5.2.	Quelques caractéristiques du gazole	29
3.5.3.	Les qualités et les étapes de la combustion	30
3.6.	Les émissions de polluants	32
3.6.1.	Les polluants	32
3.6.2.	Les normes	32
3.6.3.	Les paramètres influant sur les émissions	34
3.6.4.	Les moyens de réduction des émissions.	35
3.6.4.1.	Intervention sur le parc existant	35
3.6.4.1.1.	Les carburants	35
3.6.4.1.2.	Les post-traitements	35

3.6.4.2.	Solutions pour le renouvellement des flottes	39
3.7.	Les organes du moteur Diesel	40
3.7.1.	Les éléments fixes.	40
3.7.2.	Les éléments mobiles.	43
3.8.	La distribution	44
3.8.1.	Rôle de la distribution	44
3.8.2.	Les éléments de la distribution	45
3.9.	L'alimentation en gazole du moteur	46
3.9.1.	Le système d'alimentation avec une injection classique	46
3.9.2.	Le système d'alimentation avec une injection directe haute pression à rampe commune «Common rail»	48
3.10.	Le refroidissement du moteur Diesel.	50
3.10.1.	La nécessité de refroidir un moteur	50
3.10.2.	Les éléments d'un circuit de refroidissement et leur rôle	51
3.11.	Le graissage et les lubrifiants	53
3.11.1.	Rôle du graissage	53
3.11.2.	Les différents types de graissage	54
3.11.3.	Les éléments d'un circuit de graissage.	55
3.11.4.	Les lubrifiants.	56
3.12.	Le circuit d'admission d'air	58
3.12.1.	La nécessité de la filtration de l'air	58
3.12.2.	Les différents systèmes de filtration.	59
3.12.3.	Les conséquences de l'encrassement d'un filtre à air	60
3.13.	La suralimentation	61
3.13.1.	Amélioration des performances d'un moteur	61
3.13.2.	La suralimentation par turbocompresseur sur gaz d'échappement	62
3.13.3.	Le refroidissement de l'air de suralimentation «intercooler».	63
3.13.4.	Amélioration des performances d'un turbocompresseur	64
3.13.4.1.	Limitation de la pression de suralimentation	64
3.13.4.2.	Le turbo à géométrie variable	65
3.13.5.	Le turbo compound	67
3.14.	La transmission de mouvement	68
3.14.1.	Rôle de la transmission.	68
3.14.2.	Cinématique de la transmission ou chaîne cinématique	69
3.14.3.	L'embrayage.	69
3.14.3.1.	Rôle d'un embrayage	69
3.14.3.2.	Les embrayages mécaniques à friction.	69
3.14.3.3.	Les commandes de débrayage	71
3.14.3.4.	Les embrayages hydrauliques	72
3.14.4.	La boîte de vitesses.	74
3.14.4.1.	Rôle de la boîte de vitesses.	74
4.14.4.2.	La boîte à vitesses à engrenage	74

3.14.4.2.1.	Multiplication du couple et vitesse de rotation des pignons	74
3.14.4.2.2.	Paramètres de conception.	75
3.14.4.2.3.	Technologie de la boîte de vitesses à engrenage	76
3.14.5.	L'arbre de transmission.	78
3.14.6.	Les ponts moteurs.	78
3.14.7.	Les pneumatiques	81
3.14.7.1.	Rôles	81
3.14.7.2.	La morphologie et les côtes d'encombrement d'un pneumatique	82
3.14.7.3.	Constructions de pneus	83
3.14.7.4.	Les inscriptions d'un pneu.	84

IV. BESOINS DE PUISSANCE ET ACTIONS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE. 86

4.1.	Besoins de puissance à la roue et forces résistives	86
4.1.1.	La résistance aérodynamique.	86
4.1.2.	La résistance au roulement	87
4.1.3.	Les forces de masse	88
4.1.4.	Résumé des forces résistives et puissance à fournir par le moteur	89
4.2.	Les actions d'économies d'énergie.	90

V. LE SUIVI RIGOREUX DES CONSOMMATIONS ET DES ET PERFORMANCES DU PARC. 92

5.1.	La démarche vers la gestion d'un parc de véhicules.	92
5.1.1.	Analyser	93
5.1.2.	Agir	93
5.1.3.	Informar	94
5.1.4.	Former	94
5.2.	Le rôle fondamental du suivi de la consommation de carburant.	94
5.2.1.	L'environnement énergétique d'une société de transport	94
5.2.2.	Les étapes du suivi de la consommation de carburant.	95
5.2.2.1.	La collecte des données.	95
5.2.2.2.	La validation des données et l'identification des incohérences.	98
5.2.2.3.	L'exploitation des suivis de consommation	99
5.3.	Les équipements d'aide à la gestion	100
5.3.1.	Les tachygraphes	100
5.3.1.1.	Le tachygraphe analogique	100
5.3.1.2.	Le tachygraphe numérique	102
5.3.2.	Fourniture de carburants : les systèmes de saisi automatique des informations	102
5.3.2.1.	Les appareils de distribution	103
5.3.2.2.	Les bornes de gestion	103
5.3.2.3.	Particularités concernant les appareils	104
5.3.3.	Le jaugeage électronique des cuves	106
5.3.4.	Les systèmes de reconnaissance des véhicules	107
5.3.5.	L'informatique embarquée	108

5.3.5.1.	Les applications de l'informatique embarquée	109
5.3.5.2.	Critères d'appréciations des systèmes	110
5.3.6.	La localisation par GPS.	111
5.4.	Les logiciels de gestion de parc	113
5.4.1.	Typologie des logiciels	113
5.4.2.	Les bénéfices à attendre de la gestion informatisée du parc	114
5.4.3.	Critère de choix d'un logiciel	115
5.5.	Le prix de revient kilométrique.	115

VI. LES VÉHICULES ÉNERGÉTIQUEMENT PERFORMANTS ET L'OPTIMISATION DE LEURS UTILISATIONS. 118

6.1.	Critères de choix pour l'acquisition des véhicules	118
6.1.1.	La consommation de carburant	118
6.1.2.	La motorisation.	118
6.1.3.	La masse du véhicule.	119
6.1.4.	Les boîtes de vitesses robotisées	119
6.1.5.	Les rapports de pont	120
6.1.6.	Les dispositifs aérodynamiques	121
6.1.7.	La réduction de la résistance au roulement	122
6.1.8.	La réduction de la vitesse maximale des véhicules par le bridage des moteurs	124
6.1.9.	La climatisation.	125
6.1.10.	Les ordinateurs de bord	126
6.2.	L'organisation des flux de transport	127
6.2.1.	Logiciel d'optimisation d'itinéraires	127
6.2.2.	Logiciel d'optimisation des tournées	130
6.2.3.	Négociation avec les clients pour une meilleure optimisation.	134
6.3.	La conduite économique	134
6.3.1.	Les avantages de la conduite économique	135
6.3.2.	Les règles de bases de la conduite économique	135
6.3.3.	Le suivi des résultats	137

VII. RÉALISATION D'UNE MAINTENANCE EFFICACE. 138

7.1.	Définition et importance de la maintenance.	138
7.2.	Maintenance et cycle de vie	139
7.3.	Les types de maintenance	139
7.3.1.	La maintenance corrective.	140
7.3.2.	La maintenance préventive	140
7.4.	Choix du type de maintenance	141
7.5.	Les activités d'un service de maintenance	141
7.5.1.	Les méthodes.	141
7.5.2.	Les études et travaux neufs.	142
7.5.3.	La préparation du travail	143

7.5.4.	L'ordonnancement, lancement et suivi de l'avancement	143
7.5.5.	L'exécution du travail	144
7.5.6.	Le contrôle du travail	144
7.5.7.	La gestion des stocks et magasins de maintenance	145
7.5.8.	La gestion du personnel de maintenance	145
7.5.9.	La comptabilité de maintenance et le contrôle des coûts	146
7.5.10.	L'exploitation des utilités	146
7.5.11.	La gestion de la maintenance.	146
7.5.12.	La gestion de la maintenance assistée par ordinateur G.M.A.O	147
7.6.	Exemple d'une maintenance préventive : Le suivi de l'usure des organes par les analyses spectrométriques des huiles en service	149
7.6.1.	Avantages des analyses	149
7.6.2.	Le lubrifiant : Vecteur d'informations	150
7.6.3.	Contenu d'une analyse d'huile	150
7.6.4.	Les critères de réussite d'un programme d'analyses	152
7.7.	L'utilisation des huiles de synthèse	154
VIII.	LA GESTION DES RESSOURCES HUMAINES	156
8.1.	La gestion des ressources humaines.	156
8.2.	La formation.	159
8.2.1.	Les enjeux de la formation	159
8.2.2.	L'élaboration des programmes de formation	159
8.2.2.1.	Identification des besoins	159
8.2.2.2.	La planification	160
8.2.2.3.	Le choix et l'application de techniques de formation	160
8.2.2.4.	L'évaluation et les correctifs.	161
8.2.3.	Quelques exemples de programmes de formation.	162
8.2.3.1.	La gestion de flotte et la maîtrise de l'énergie	162
8.2.3.2.	L'organisation et la gestion de la maintenance	164
8.2.3.3.	La conduite économique.	165
VIII.	L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE ET LES ACTIONS GÉNÉRIQUES	166
9.1.	Définitions	166
9.2.	Différentes étapes de réalisation et contenu d'un audit énergétique	166
9.3.	Procédure de réalisation d'un audit énergétique	167
9.4.	Les actions génériques	168
Annexe 1	Cadre réglementaire et incitatif de la maîtrise de l'énergie.	169



1.1. CONTEXTE

Afin de permettre aux opérateurs du transport routier de marchandises de faire face aux hausses continues des prix du pétrole et de les aider à contribuer efficacement à lutter contre la pollution atmosphérique, l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie (ANME) a prévu, dans le cadre du programme de maîtrise de l'énergie dans le secteur du transport, un programme d'assistance destiné aux entreprises détentrices d'un petit nombre de véhicules et effectuant du transport routier de marchandises.

Ce programme vise essentiellement à inciter les premiers responsables des entreprises précédemment citées à adopter une politique d'efficacité énergétique dans la gestion de leur matériel roulant, d'une part, et à assister ces entreprises à mettre en place des actions leur permettant d'optimiser l'utilisation du matériel roulant et de réaliser des économies sur les charges d'exploitation et plus particulièrement sur le poste carburant qui représente un poids non négligeable sur l'ensemble des coûts.

La mise en oeuvre du programme en question comporte trois étapes à savoir :

1. L'élaboration de deux guides thématiques sur les bonnes pratiques de gestion du parc du matériel roulant utilisé pour les activités de transport routier de marchandises et le transport touristique ;
2. La mise en oeuvre d'un programme de sensibilisation et d'information au profit des responsables de ces entreprises pour promouvoir ces bonnes pratiques. Ce programme sera réalisé en collaboration avec les administrations et les structures professionnelles régionales et centrales concernées ;
3. L'introduction d'un module de formation sur la gestion du matériel roulant pour les nouveaux promoteurs.



1.2. À QUI S'ADRESSE LE GUIDE ?

Le présent guide s'adresse en premier lieu aux premiers responsables des sociétés de transport pour d'une part les inciter à adhérer aux programmes d'économie d'énergie et d'autre part pour leur permettre de mieux cerner les différentes actions permettant d'optimiser la gestion de leur flotte.

Le guide s'adresse également à toute personne chargée d'assurer le suivi des coûts et des performances des véhicules, aux responsables de la fonction maintenance, aux cadres chargés d'organiser les activités du transport et enfin aux responsables des ressources humaines.

Écrit dans un langage simple et accessible, le guide se veut à la portée de tout responsable de flotte de petite, moyenne et grande envergure.

1.3. CONTENU DU GUIDE

La première partie de ce guide est destinée essentiellement aux chefs d'entreprises et aux premiers responsables de flotte de transport. Elle résume l'ensemble des bonnes pratiques à mettre en œuvre dans le cadre de l'optimisation de la gestion d'un parc de véhicule et de la concrétisation de plans d'actions pour les économies d'énergie.

Après le résumé condensé, le quatrième chapitre présente des connaissances de bases sur le véhicule de transport permettant une meilleure compréhension du fonctionnement d'un véhicule et des différents organes constituant sa chaîne cinématique facilitant ainsi la lecture d'une fiche technique d'un véhicule et l'établissement de comparaison entre véhicules en se basant sur des critères de performances.

Les besoins de puissance à la roue, les forces résistives qui s'opposent à l'avancement d'un véhicule et les différents paramètres qui influent son bilan énergétique aboutissant ainsi à une classification des actions d'économie d'énergie à réaliser dans le cadre de la gestion d'une flotte de transport sont expliqués dans le cinquième chapitre.

Le chapitre six traite le volet relatif au suivi des consommations et des performances du parc. Il propose une démarche pour assurer une gestion rigoureuse et insiste sur le rôle fondamental du suivi du carburant. Les équipements d'aide à la gestion tels que les tachygraphes, les systèmes de distribution automatique de carburant, le jaugeage électronique des cuves et les nouvelles technologies en matière de saisie et de traitement des données sont également exposés. La dernière partie du chapitre parle des logiciels de gestion de parc et du prix de revient kilométrique et des difficultés rencontrées lors de sa détermination.

Le septième chapitre du guide est consacré au choix du véhicule énergétiquement performant et à l'optimisation de son utilisation. En début de chapitre, une dizaine de critères sont présentés pour permettre aux acquéreurs de véhicules dans le cadre du renouvellement de leurs flottes d'opter pour les véhicules disposant des technologies offrant les meilleurs rendements. Dans

la deuxième partie du chapitre, l'accent est mis sur l'importance de l'organisation des flux de transport par l'optimisation des itinéraires et des tournées et ses conséquences sur la réduction des coûts. Enfin et pour permettre une utilisation optimale du véhicule, la dernière partie du chapitre expose les règles de base qui constituent le référentiel de la conduite économique et les moyens permettant d'assurer le suivi des résultats de cette action qui est considérée comme la plus spectaculaire en matière d'économie d'énergie

Le chapitre huit tente de valoriser la fonction maintenance des véhicules qui est, malheureusement dans la majorité des cas, négligée et est considérée comme un mal nécessaire alors qu'elle doit être perçue comme un partenaire indispensable à la production. Un véhicule mal entretenu engendre une augmentation des charges et une diminution de la disponibilité. Réaliser une maintenance efficace offrant une grande disponibilité au moindre coût nécessite beaucoup d'efforts, exige l'élaboration d'une stratégie permettant d'atteindre les objectifs fixés et suppose la mise à disposition de moyens humains et matériels pour accomplir cette mission. Deux points importants ayant un impact sur les coûts et la disponibilité sont aussi traités dans le cadre de ce chapitre à savoir le suivi de l'évolution d'usure des organes lubrifiés par les analyses spectrométriques des huiles en services qui est considéré comme une maintenance préventive conditionnelle et l'utilisation des huiles de synthèse.

La gestion des ressources humaines, examinée dans le neuvième chapitre, constitue un point essentiel pour l'amélioration des performances des parcs de véhicules. Sans trop rentrer dans les détails de cette fonction qui a pris beaucoup d'ampleurs ces dernières années, l'on insiste surtout sur le rôle très important que joue la gestion des ressources humaines en mettant en évidence les enjeux de la formation, la définition des programmes depuis l'identification des besoins jusqu'à l'évaluation en passant par la planification et le choix et l'application des techniques de formation.

La dernière partie du guide présente en premier lieu l'audit énergétique, les différentes étapes de sa réalisation et la procédure de son exécution et en second lieu les actions génériques à engager par les entreprises détentrices d'un nombre peu élevé de véhicules.



LE TRANSPORT ROUTIER DE MARCHANDISES





CONNAISSANCES DE BASE RELATIVES AU VÉHICULE DE TRANSPORT





3.1. DIFFÉRENTS TYPES ET APPELLATIONS

Les véhicules industriels, ou poids lourds sont des véhicules de transport de marchandises dont le poids total en charge est en général supérieur à 3,5 tonnes.

Les marchandises transportées peuvent être variables ou constantes. Dans ce dernier cas le véhicule ne sert qu'à porter et quelquefois à animer les mécanismes spécifiques qui l'équipent : balayeuse, grue, etc.

Les véhicules industriels peuvent avoir une vocation de transport banalisé : ils portent alors un plateau de chargement et souvent une carrosserie. Ils peuvent aussi avoir une vocation spécifique et leur structure ou leur carrosserie est prévue en conséquence : citerne, porte-béton liquide, benne, transport d'ordures ménagères, etc ...

Par ailleurs, le transport peut se faire sur de courtes distances (approvisionnement de chantier, distribution urbaine, etc.) ou sur circuits (ramassage urbain, ramassage de lait, etc.), ou enfin sur longue distance.

Pour répondre à une telle diversification de besoins, les véhicules industriels se présentent sous des formes également assez diversifiées. Ils sont classés en fonction de :

- Leur silhouette.
- Leur nombre d'essieu.
- Leur carrosserie et de leur usage.

3.1.1. COMPOSITION DES VÉHICULES

On appelle camion ou véhicule solo ou porteur un véhicule qui assure sa propre traction (il est donc motorisé) et porte une charge.

On appelle remorque un véhicule non motorisé, portant une charge et qui est destiné à être tracté par un porteur-tracteur.

L'ensemble d'un porteur-tracteur et d'une remorque est appelé train routier.

Un véhicule motorisé mais ne pouvant pas contenir lui-même une charge et destiné à tractier une semi-remorque, est appelé tracteur.

Une semi-remorque est une sorte de remorque, mais sans roues à l'avant, qui repose directement sur le tracteur par l'intermédiaire d'une sellette d'attelage.

Un ensemble composé d'un tracteur et d'une semi-remorque attelée est dit ensemble articulé.

Si, à l'arrière d'un ensemble articulé on attèle un essieu portant une seconde sellette, cet essieu est appelé dolly. Il est destiné à recevoir une seconde semi-remorque et l'ensemble est appelé train double. La planche ci-après illustre ces différentes silhouettes.



Porteur solo

Remorque



Train routier



Tracteur

Semi-remorque



Ensemble articulé

3.1.2. CLASSIFICATION À PARTIR DES ESSIEUX

On appelle essieu simple un ensemble de roues, disposées symétriquement sur un même axe transversal du véhicule. Ces roues sont au nombre de 2, on dit alors qu'il s'agit d'une monte (pneumatique) simple ou de 4, et on parle de monte jumelée.

Un ensemble de 2 essieux simples, distants de 1 à 2 mètres et en général de 1,3 à 1,4 mètre, s'appelle un tandem et un ensemble de 3 essieux simples un tridem.

Les véhicules à moteur et les remorques comportent des essieux simples ou/et des tandems, les semi-remorques des essieux simples, tandem ou tridem.

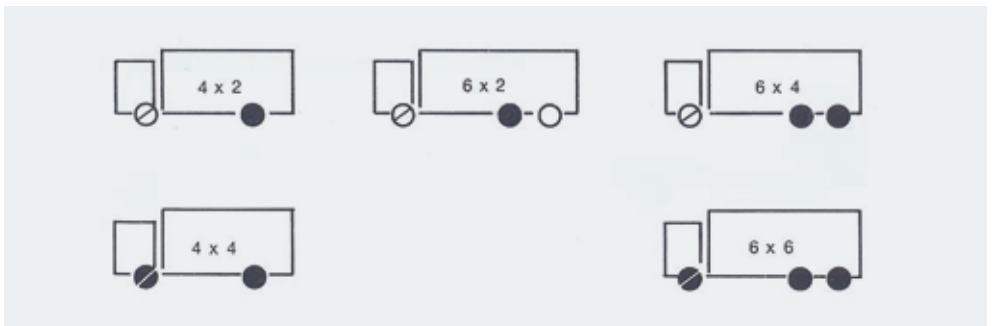
Les essieux peuvent être porteur, directeur ou moteur. Ils peuvent combiner 2 fonctions et même parfois trois.

Une classification des véhicules à moteur en résulte. Elle exprime le nombre de roues au sol et le nombre de roues motrices. Ces deux valeurs sont généralement données dans l'ordre avec un «x» entre les deux.

Ainsi, un véhicule 4x2 signifie : 4 roues au sol dont 2 motrices. A noter que ces deux derniers peuvent être simples ou jumelées. Les deux véhicules ci-dessous sont dits 4x2.



Classification les plus usuelles. Les appellations s'appliquent aussi bien aux porteurs solo qu'aux porteurs-remorqueurs, qu'aux tracteurs.



essieu porteur

essieu (porteur)-moteur



essieu (porteur)-directeur

essieu (porteur)-directeur-moteur

3.1.3. LES CARROSSERIES

Elles concernent aussi bien les véhicules porteurs que les remorques ou semi-remorques. Les planches suivantes montrent quelques exemples de carrosseries parmi les plus typiques.



Fourgon



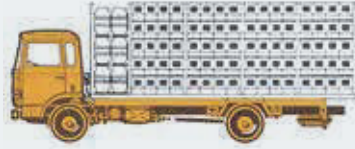
Fourgon déménageur



Fourgon isotherme



Benne



Plateau



Citerne



Porte malaxeur



Cureuse d'égoûts



Benne à ordure ménagère

3.1.4. LES CABINES

Elles sont dites fixes lorsque fixées à demeure sur le véhicule ou basculables lorsqu'elles peuvent pivoter autour de leur base inférieure avant pour faciliter l'accès au moteur (entretien ou réparation).

Les cabines sont dites aussi :

- **Avancées** lorsque le moteur est positionné sous la cabine.
- **Semi-avancée** lorsque le moteur est positionné en partie sous un capot court, en partie sous la cabine.
- **Normale** lorsque le moteur est entièrement sous un capot long.

De plus, elles sont dites courtes ou longues suivant qu'elles comportent ou non une couchette.

3.2. QUELQUES NOTIONS DE BASE

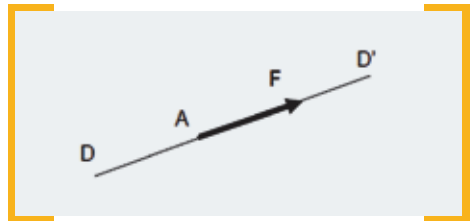
3.2.1. LA FORCE

Une force est une cause agissant sur un corps et pouvant modifier son état de repos ou de mouvement.

Elle a :

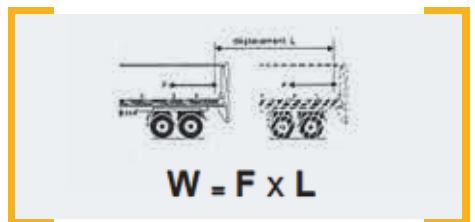
- Un point d'application A.
- Une direction DD'.
- Une intensité imagée par la longueur du segment.

La force F est exprimée en Newton.



3.2.2. LE TRAVAIL

Si le déplacement a lieu dans la direction et dans le sens de la force, le travail W en joule est égal au produit de la force F en Newton par le déplacement L en mètre.



3.2.3. LA PUISSANCE

La puissance P en Watt d'une machine est égale au travail W en joule fourni par cette machine divisé par le temps t en seconde mis par la machine pour effectuer ce travail.

$$P = \frac{W}{t}$$

Dans le cas d'un mouvement circulaire, la puissance P en Watt est égale au produit du couple C en Newton mètre par la vitesse de rotation ω en radian par seconde.

$$P = C \times \omega = C \frac{2\pi n}{60}$$



Exemple : Un moteur offrant un couple de 560 Newton mètre et tournant à un régime de 1500 tours par minute développe une puissance de :

$$P = (560 \times 2 \times 3,14 \times 1500) / 60 = 87920 \text{ W} = 87,92 \text{ kW} = 119,45 \text{ ch}$$

Dans l'ancien système la puissance est exprimée en cheval qui est égal à 736 Watts.

La puissance administrative appelée également puissance fiscale (indiquée sur la carte grise) est calculée à partir d'une formule qui tient compte de plusieurs paramètres (Type d'énergie essence ou diesel, cylindrée, vitesse théorique maximale, moteur à aspiration naturelle ou suralimenté...).

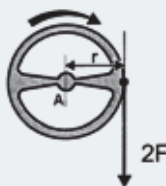
3.2.4. LE COUPLE

Le couple est un ensemble de deux forces F parallèles et opposées, de même intensité et distantes d'un bras de levier d .



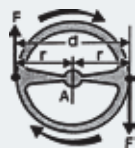
Exemple : Pour faire tourner un volant, le chauffeur exerce un couple qui a tendance à faire tourner le volant autour de l'axe A .

Couple moteur : C'est le produit de la force F (fournie par la combustion qui exerce une pression sur la surface du piston) sur la bielle par la longueur du bras du maneton du vilebrequin.



$$C = 2 F \times r$$

Avec une main



$$C = 2 \times F \times r$$

Avec deux mains

Le couple moteur doit vaincre toutes les résistances qui s'opposent à l'avancement du véhicule. La somme de ces résistances forme la force parallèle de sens contraire qui s'oppose à la force développée au niveau des pistons d'où la naissance du couple moteur qui en annulant toutes ces résistances, provoque la rotation de l'arbre moteur.

La valeur du couple (pratiquement nulle au voisinage du ralenti) augmente d'abord au fur et à mesure que la vitesse de rotation du moteur croît. Cette valeur passe par un maximum, puis va en diminuant alors que le régime augmente encore. La valeur du couple s'accompagne donc de l'indication de la vitesse de rotation correspondante.

C'est précisément la couple maximal et son régime correspondant qui sont mentionnés dans les spécifications techniques d'un moteur.

Pour mesurer le couple moteur, on utilise un banc d'essai dont le but est de freiner le moteur à essayer en opposant un couple résistant au couple développé par le moteur.

Le couple est exprimé en Newton mètre **N.m**

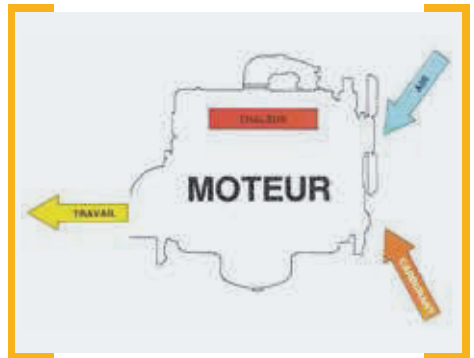
3.3. NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES MOTEURS THERMIQUES À COMBUSTION INTERNE

3.3.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES MOTEURS THERMIQUES

On appelle moteur thermique une machine qui reçoit de l'énergie sous forme de chaleur et qui la restitue sous forme de travail mécanique.

Pour libérer l'énergie chimique potentielle du carburant, il est nécessaire d'effectuer une transformation chimique appelée la combustion. Par la combustion, le carburant est transformé en énergie calorifique ou thermique.

Cette énergie thermique est enfin transformée en travail mécanique. Celui-ci étant ensuite appliqué aux roues motrices par l'intermédiaire de la transmission.



La transformation en chaleur se produisant à l'intérieur même du moteur, ces transformateurs porteront le nom de moteur thermique à combustion interne.

Il existe deux familles de moteurs thermiques à combustion interne :

Les moteurs à explosion (moteurs à essence) dont lesquels la combustion de l'essence est amorcée par l'étincelle d'une bougie. Ces moteurs sont aussi appelés moteurs à allumage commandé.

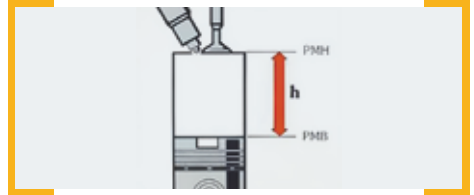
Les moteurs Diesel, dont la combustion est enclenchée par l'injection de gazole sous haute pression dans de l'air fortement comprimé ; il se produit alors une auto-inflammation, ce qui signifie que le mélange s'enflamme spontanément.

3.3.2. QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES MOTEURS

L'alésage : C'est le diamètre du cylindre.

La course d'un piston : C'est la distance que le piston parcourt dans son mouvement. La course est délimitée par les deux points du cylindre où se fait l'inversion du sens de mouvement et qui sont appelés le point mort haut PMH et le point mort bas PMB.

La cylindrée : C'est la capacité volumétrique de l'espace compris entre le PMH et le PMB. Elle correspond au volume maximum d'air (moteur Diesel) ou de mélange air - carburant (moteur essence) admis dans les cylindres. Elle se calcule par la formule :



$$V = \pi \times r^2 \times h \times n$$

Avec V est la cylindrée totale en cm^3
r est le rayon du cylindre en cm
h est la course du piston en cm
n est le nombre de cylindre

Le taux de compression ou rapport volumétrique : C'est le rapport existant entre le volume total du cylindre lorsque le piston est au point mort bas PMB (V+v) et le volume

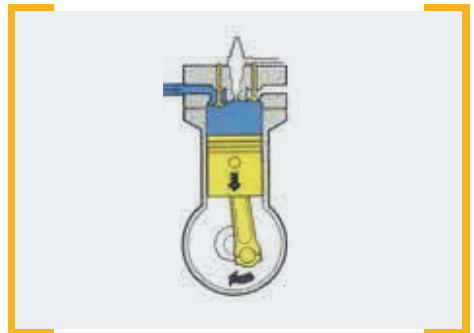
$$\rho = \frac{V+v}{v}$$

3.3.3. LE CYCLE À QUATRE TEMPS

Un cycle de fonctionnement est une série d'opérations qui se succèdent dans un ordre déterminé et à la fin desquelles le mécanisme se retrouve dans sa position de départ. Dans le cas des moteurs thermiques à combustion interne à quatre temps, les différentes étapes sont :

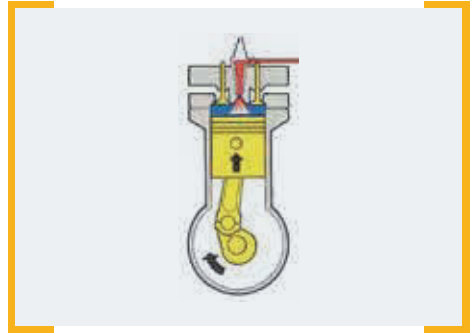


L'admission : Lorsque le piston commence à descendre, la soupape d'admission s'ouvre et l'air est aspiré dans le cylindre. Si le moteur est équipé d'un turbocompresseur, l'air est refoulé dans le cylindre.





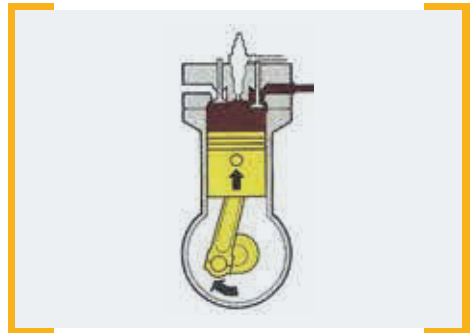
La compression : Le piston monte, les deux soupapes sont fermées. La température et la pression de l'air augmentent. En fin de compression, la température de l'air est d'environ 700 °C. Le carburant est pulvérisé dans la chambre de combustion juste avant que le piston atteigne sa position la plus haute.



La combustion : La température et la pression élevées de l'air font que le carburant s'enflamme. La forte augmentation de pression des gaz repousse le piston. À l'instant même de la combustion, la température est d'environ 2200 °C.



L'échappement : La soupape d'échappement s'ouvre juste avant que le piston atteigne sa position la plus basse. Lorsque le piston est de nouveau repoussé vers le haut, les gaz d'échappement sont refoulés à travers la soupape. Un nouveau cycle peut alors recommencer.





3.4. RENDEMENTS, BILAN ÉNERGÉTIQUE ET PERFORMANCES D'UN MOTEUR DIESEL

3.4.1. RENDEMENTS ET BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UN MOTEUR DIESEL

Le fonctionnement du moteur réel n'est pas «parfait» contrairement au cycle théorique. Il y a donc des pertes diverses. Le rendement réel dit «rendement effectif» est le rapport de la puissance réelle sur l'arbre du moteur appelée puissance effective à la puissance théoriquement fournie par la combustion du carburant :

Le rendement effectif η_{eff} s'exprime également comme le produit du rendement thermodynamique η_{th} (qui tient compte du carburant non complètement brûlé), du rendement mécanique η_{m} (qui tient compte des frottements dans le système de transmission du mouvement : piston cylindre, vilebrequin carter et têtes de bielles...) et du rendement de cycle η_{c} (qui tient compte de l'écart du cycle par rapport au cycle théorique) :

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{P_{\text{eff}}}{P_{\text{th}}} = \frac{C \omega}{q m_{\text{c}} l_{\text{p}}}$$

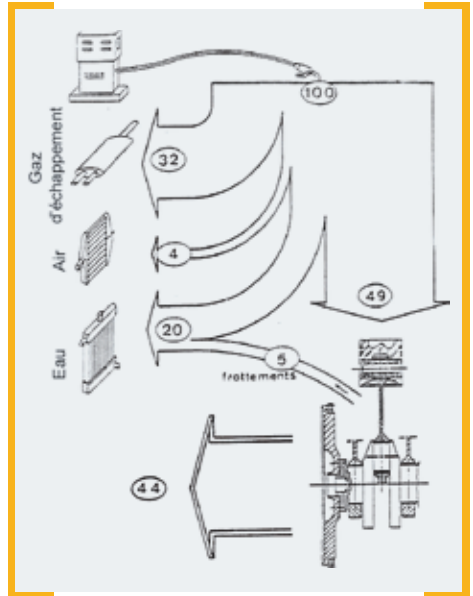
Avec $q m_{\text{c}}$ est le débit massique de carburant,
 C est le couple en N.m
 ω la vitesse de rotation en rad/s,
 l_{p} est le pouvoir calorifique du carburant en kJ/kg

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{th}} \cdot \eta_{\text{m}} \cdot \eta_{\text{c}}$$

L'idéal serait que le rendement effectif soit égal à 1, mais dans la réalité et en raison des différentes pertes thermiques et mécaniques ce rendement est inférieur à 1 :

À ces pertes, il faut ajouter celles qui sont dues à l'altitude, à la température et à l'humidité :

- 1% de perte de puissance par 100 mètres d'altitude
- 5% de perte de puissance par 10 °C en plus de 20 °C
- 1% de perte de puissance par 10% au dessus de 70%



3.4.2. LES PERFORMANCES D'UN MOTEUR DIESEL

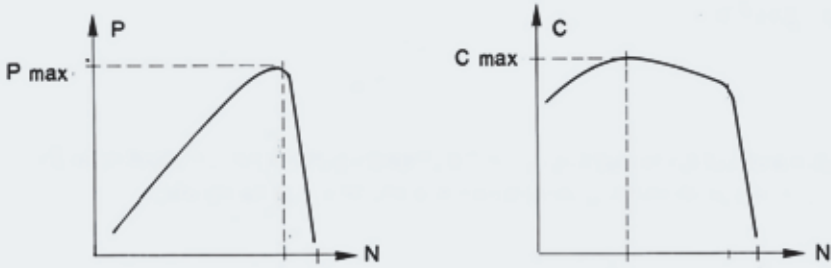
Le fonctionnement d'un moteur Diesel est caractérisé par le débit de gazole injecté (Charge) et par le régime de rotation.

Le rendement global du moteur dépend donc de sa charge et de sa vitesse.

Le travail utile à l'arbre est une fonction complexe de la charge et du régime et on a l'habitude de considérer ce travail sous deux formes :

- Instantanée : C'est le couple **C**
- Par unité de temps : c'est la puissance **P**

Ainsi les caractéristiques de base sont-elles généralement de la forme :



Allure des courbes de puissance et de couple d'un moteur en fonction du régime

Deux caractéristiques essentielles sont :

- La puissance max : P_{\max} en kW ou en ch
- Le couple max C_{\max} en mN

Les deux courbes présentées sur le même graphique donnent :



Les deux courbes $P = f_1(N)$ et $C = f_2(N)$, dites courbes de pleine charge définissent la plage de fonctionnement du moteur. Tout point situé sous ces courbes est possible. Tout point situé à l'extérieur est impossible, le moteur n'étant pas capable d'y fonctionner.

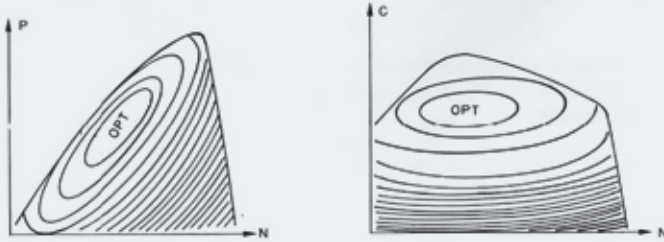
Or, à l'intérieur de cette plage utile de fonctionnement, le rendement du moteur peut varier en fonction de la charge et du régime.

Il est donc intéressant de savoir en tout point quelle quantité de combustible il faut consommer pour produire, par exemple 1 kW ou 1 ch pendant une heure.

C'est ce que les motoristes appellent la consommation spécifique C_s et qu'ils expriment en g/ch.h ou en g/kW.h

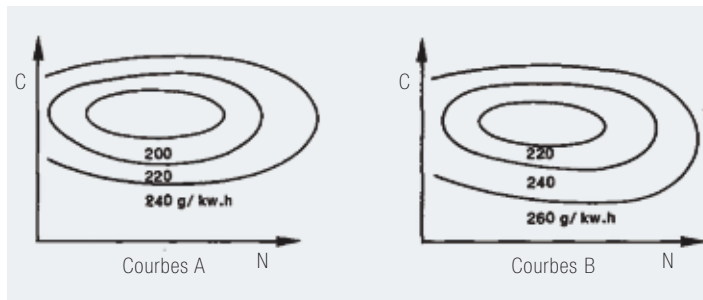
La consommation spécifique C_s est inversement proportionnelle au rendement effectif.

Ainsi, sur le diagramme $P = f_1(N)$ ou $C = f_2(N)$ si on relie tous les points de même consommation spécifique C_g , on obtient les courbes d'isoconsommation. Leur forme générale est la suivante :

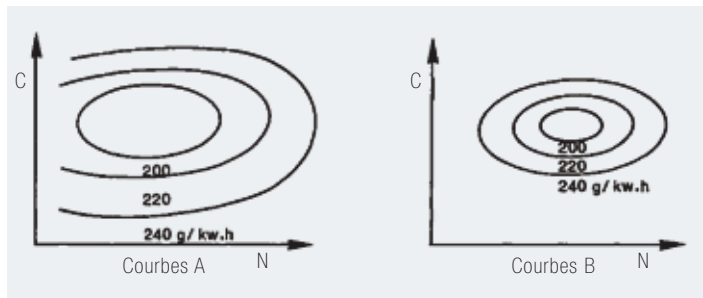


Courbes d'iso consommations

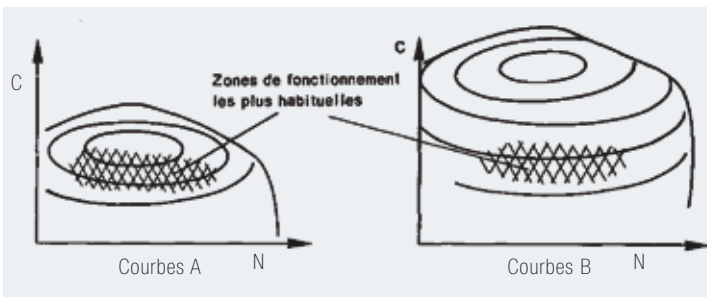
Elles délimitent une zone de consommation spécifique minimale (rendement optimal) noté «OPT» . La consommation augmente si on s'en éloigne, d'autant plus vite que la charge devient faible, les résistances mécaniques internes du moteur devenant relativement importantes. Ces courbes, dont l'interprétation est fondamentale, montrent que :



Il faut abaisser la consommation minimale autant que faire se peut. Toutes choses étant égales par ailleurs, les courbes A seront meilleures que les courbes B.

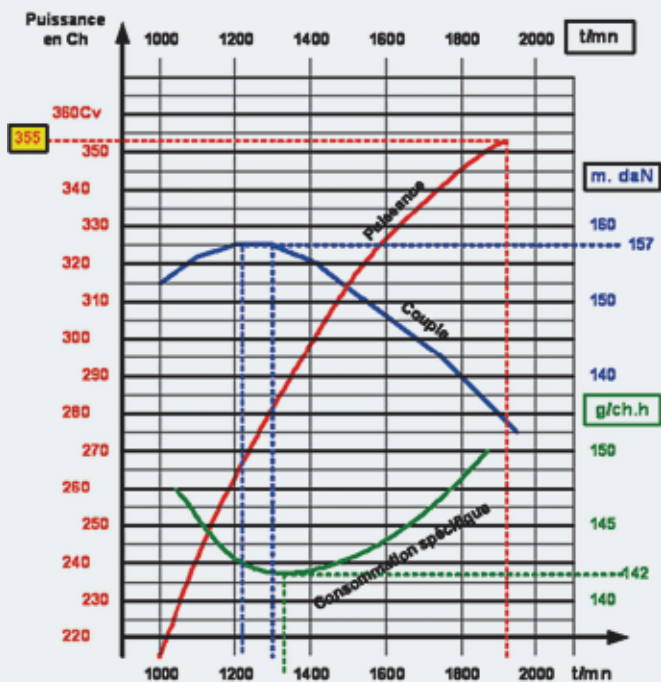


Il faut étaler le plus possible les zones délimitées par les iso consommations minimales. Toutes choses étant égales par ailleurs, les courbes A seront meilleures que les courbes B.



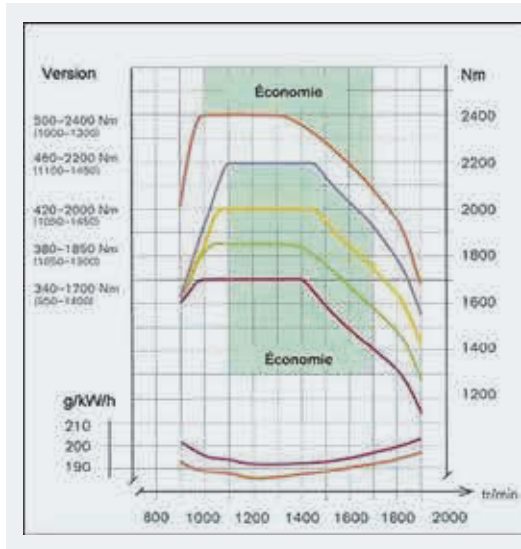
Il faut bien positionner les zones les plus économiques par rapport aux zones de fonctionnement les plus habituelles. Pour cela, le choix de la puissance maximale installée est fondamental. Les courbes A seront meilleures que les courbes B.

Dans la pratique, les constructeurs fournissent les courbes de performances à pleine charge de leurs moteurs :



Courbes de performances à pleine charge d'un moteur Diesel

Les courbes de consommation spécifique à pleine charge sont souvent fournies par le constructeur avec le diagramme de couple et de puissance :



Il s'agit ici des courbes de couple et de consommation spécifique d'un moteur disponible en 5 versions, la plus puissante étant munie d'une turbine compound.

Sa C_s à pleine charge est inférieure à celle de la version la moins puissante et sa plage d'utilisation est élargie.

La zone verte indique la zone de meilleur rendement à pleine charge. Il est évident que le régime doit être réduit encore plus sous faible charge.

3.4.3. L'ENTRAÎNEMENT DES AUXILIAIRES

Un certain nombre d'auxiliaires du moteur produisent de l'énergie, en la prélevant directement sur l'arbre, pour assurer diverses servitudes de bord :

- La pompe à huile du moteur qui doit assurer sa lubrification,
- La pompe à eau du moteur qui doit assurer la circulation de l'eau de refroidissement,
- La pompe d'injection qui assure le dosage et l'injection du gazole,
- Le ventilateur qui force la circulation d'air à travers le radiateur de refroidissement,
- L'alternateur qui assure la charge des batteries électriques,
- Le compresseur d'air qui pulse de l'air comprimé dans des réservoirs pour asservissement du freinage et d'autres fonctions diverses (ouvertures des portes sur les bus, etc...),
- La pompe hydraulique d'assistance de servo-direction,
- Eventuellement une prise de force pour l'entraînement de mécanismes de bord (pompe de dépotage, malaxeurs, balais, pompe d'arrosage, compression d'ordures ménagères, etc...).

Pour des raisons de simplifications technologiques ces divers auxiliaires sont entraînés, par pignons ou par courroies, directement depuis l'arbre moteur. Ils sont donc généralement entraînés en permanence, même lorsqu'ils ne débitent pas utilement.

La puissance qu'ils souscrivent à l'arbre, lorsqu'ils débitent ou non, est la suivante, par exemple pour un véhicule maxi code (pour un régime moyen d'utilisation) :

Auxiliaires	Puissance absorbée en kW	
	A vide	En charge
Pompe à huile	2,7	2,7
Pompe à eau	3,2	3,2
Pompe d'injection	2,2	2,2
Ventilateur (non débrayable)	9,6	9,6
Alternateur	0,8	2,2
Compresseur d'air	1,5	4,8
Pompe hydraulique	1,2	10
Total	21,2	34,7

C'est donc entre 20 et 35 kW (27 à 48 ch) qu'absorbent les différents auxiliaires.

Pour fixer les idées, un 38 t à 80 km/h sur plat, en l'absence de vent, a besoin de 130 ch pour assurer sa propulsion.

Pour maintenir un bon rendement et pour réduire les consommations de ces auxiliaires, les constructeurs s'efforcent :

- D'augmenter le rendement des divers auxiliaires,
- De les rendre débrayables à chaque fois que c'est facilement possible (cas des ventilateurs débrayables par tout ou rien ou glissant, dont la vitesse d'entraînement croît comme la température de l'eau de refroidissement),
- De réduire la consommation des servitudes de bord



3.5. LA COMBUSTION

3.5.1. RÔLE DE LA COMBUSTION

La combustion est l'ensemble des phénomènes physiques, chimiques et thermodynamiques qui accompagnent la combinaison d'un combustible avec l'oxygène. Il y a combustion interne lorsque ces opérations se déroulent à l'intérieur même du moteur.

Le rôle de la combustion est de transformer l'énergie chimique potentielle contenue dans le carburant en énergie thermique ou calorifique.

L'élévation de température qui accompagne la combustion provoque une montée en pression des gaz contenus dans la chambre de combustion. La force mécanique communiquée au piston sera proportionnelle à cette pression et à la section du cylindre.

L'énergie mécanique fournie par le moteur est proportionnelle à l'énergie contenue dans le carburant et à la qualité de la combustion.

3.5.2. QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DU GAZOLE

Le gazole est un mélange complexe d'hydrocarbures ayant les caractéristiques moyennes suivantes :

Masse volumique : Comprise entre 0,810 et 0,890 kg/l à 15°C

Pouvoir calorifique : C'est la quantité de chaleur fournie par la combustion d'une certaine quantité de combustible. Il est de l'ordre de 43890 kJ/kg.

Viscosité à 20°C : C'est la facilité avec laquelle un liquide s'écoule dans un tube d'orifice calibré. Afin de ne pas perturber l'injection elle doit être inférieure ou égale à 95 centistokes.

Pouvoir lubrifiant : Le gazole servira de lubrifiant aux éléments d'injection (pistons de pompe et injecteurs) et par là évitera une usure rapide ou même un grippage de ceux-ci.

Point de congélation : C'est la température en degrés centigrade au dessus de laquelle le gazole ne coule plus.

Indice de Cétène ou de Cétane : C'est une caractéristique particulière aux combustibles pour moteurs Diesel. Elle agit sur le délai d'allumage qui doit être le plus court possible pour éviter un cognement trop intense. L'indice de Cétane pour le gazole doit être au moins égal à 50.

Teneur en soufre : Elle doit être très faible. Cependant tous les pétroles bruts en contiennent en quantité variable suivant leur provenance. Le maximum légal varie en fonction des pays. C'est un produit indésirable car en présence avec de l'eau, il se forme de l'acide sulfurique qui peut attaquer les cylindres, la culasse et d'autres organes. Aux températures élevées, les composés sulfurés forment, avec les résidus charbonneux, des dépôts durs et abrasifs provoquant des rayures et des gommages de segments.

Les carburants dont la teneur en soufre est faible ont pour avantages :

- De réduire les émissions de NO_x , de HC, de CO d'une manière directe et permettent l'usage de post-traitements ;
- De diminuer les émissions de particules des moteurs diesels ;
- D'améliorer le fonctionnement des filtres à particules ;
- De ramener à zéro ou presque les émissions de dioxyde de soufre.

3.5.3. LES QUALITÉS ET LES ÉTAPES DE LA COMBUSTION

Dans un moteur Diesel, le mélange air-combustible n'est jamais homogène car le gazole n'est injecté que vers la fin du temps de compression. Le combustible ne peut pas s'enflammer dès que commence son introduction dans le cylindre puisqu'il doit au préalable, emprunter à l'air comprimé dans la chambre la chaleur qui lui est nécessaire pour atteindre sa température d'auto-inflammation.

En outre, le combustible s'enflamme quand il est injecté avec violence dans le cylindre. Il n'existe pas de front de flamme mais une multitude de petits foyers d'incendie, un par gouttelette, qui s'enflamment au contact de l'air indépendamment les uns des autres, depuis le début de l'injection jusqu'à la fin.

Théoriquement, la quantité d'air nécessaire à la combustion d'un gramme de gazole est de 15 grammes. En pratique, il faut 20 à 30 grammes d'air, en moyenne pour brûler 1 gramme de gazole. Un excès d'air est toujours nécessaire car il permet de mieux brasser l'air et le gazole et d'enflammer les gouttelettes non mélangées au moment de l'injection.

Une bonne combustion doit être :

- Immédiate c'est-à-dire commencer dès le début de l'injection.
- Régulière et progressive, sans montée brutale de la pression.
- Complète, sans laisser aucun résidu et dégageant toute la chaleur dont le carburant est capable.

La combustion se déroule en trois phases :

L'oxydation : Sortant de l'injecteur, le carburant entre sous forme de fines gouttelettes dans l'air chaud qui emplit la chambre en fin de compression. Au contact de l'oxygène de l'air, il se produit à la périphérie de chaque gouttelette une oxydation rapide qui donne lieu à la formation de peroxydes.

Décomposition des peroxydes : Il s'agit d'une réaction chimique brutale à laquelle on doit le bruit caractéristique du moteur Diesel « le cognement ».

Le cracking du combustible : La chaleur dégagée réalise un cracking de l'intérieur

des gouttelettes restées à l'état initial. Le carburant subit une importante modification puisque la teneur en carbone de ses molécules se trouve très diminuée par ce cracking, ce qui entraîne une réduction de la vitesse de combustion qui se poursuit sans cognement.

Pour réduire fortement le cognement en partant d'un carburant donné, il est nécessaire de limiter la formation de peroxydes ce qui dépend du délai d'allumage.

Le délai d'injection : C'est le temps très court qui s'écoule entre l'ouverture du clapet de refoulement de la pompe et le début de l'injection à la sortie de l'injecteur.

Il faut en effet tenir compte de la faible dilatation du tube d'amenée du combustible et d'une certaine compressibilité du liquide.

Le délai d'allumage ou d'inflammation : Le temps très court qui sépare le début de l'injection du début de l'inflammation du combustible est appelé «délai d'allumage». Ce délai, qui fait intervenir certains phénomènes physiques et chimiques liés à la nature du combustible, se décompose en délai physique et délai chimique.

- **Le délai physique :** C'est le temps pendant lequel les fines gouttelettes de gazole s'échauffent au contact de l'air jusqu'à leur vaporisation.
- **Le délai chimique :** Pendant ce temps, qui précède l'inflammation, se réalise l'oxydation du gazole. En principe, ce délai varie entre 0,001 et 0,002 seconde; pendant ce temps, le vilebrequin balaye un angle de 10 à 20° suivant la vitesse du moteur. Ainsi, toute la quantité de combustible admise dans le cylindre pendant ce délai s'enflamme brusquement; il en résulte une élévation de la température et de la pression, causes du «cognement». L'injection se poursuivant, le combustible continue à brûler progressivement avec des pressions élevées.

En conclusion : Pour obtenir de bonnes conditions de fonctionnement :

- Il est nécessaire d'utiliser un combustible qui s'enflamme le plus rapidement possible, c'est-à-dire qui présente le plus court délai d'inflammation.
- Il faut provoquer l'auto-inflammation le plus rapidement possible, ce qui nécessite un rapport volumétrique le plus élevé possible. Ce dernier sera toutefois limité à cause des phénomènes de détonation.

Par ailleurs, pour tirer la puissance maxi d'un moteur, il faut que l'injection ait lieu au bon moment en procédant au calage initial de l'injection de façon à faire coïncider le début d'injection de la pompe par rapport à un positionnement précis du piston (ce point sera modifié suivant les besoins du moteur par différents systèmes de variateurs d'avance).

3.6. LES ÉMISSIONS DE POLLUANTS

3.6.1. LES POLLUANTS

Comme pour toute machine thermique, la combustion dans le moteur Diesel se traduit par le rejet à l'échappement de gaz carbonique et de vapeur d'eau, composés non toxiques et résultant de la combustion complète et idéale, auxquels s'ajoute l'émission de divers composés considérés comme polluants.

Le moteur diesel émet des polluants gazeux identiques à ceux émis par le moteur à essence :

- Monoxyde carbone CO
- Hydrocarbures HC
- Oxydes d'azote NO_x

Par contre, à la différence du moteur à essence, le moteur diesel est surtout caractérisé par des émissions sensibles de types gazeux ou particulaires constituées de :

- Fumées ;
- Composants odorants ;
- Composants soufrés dus à la présence de soufre dans le gazole.

Les effets sur la santé varient selon la concentration des polluants, le volume d'air inhalé et la durée d'exposition. Les effets dépendent aussi de la sensibilité de l'individu exposé (état de santé, tabagisme). Ils se manifestent principalement chez les personnes fragiles : Enfants, personnes malades du cœur ou des poumons, asthmatiques, chez qui la pollution favorise le déclenchement ou l'aggravation de maladies et l'augmentation du risque de mortalité.

Le monoxyde de carbone **CO** : À doses répétées, il peut être responsable de maux de tête, vertiges, fatigues ou troubles sensoriels. En cas d'exposition très élevées et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. A puissance égale, ce sont les moteurs à essence qui émettent le plus de CO.

Le dioxyde d'azote **NO₂** est un gaz irritant qui pénètre dans les ramifications des voies respiratoires. Il provoque une hyper réactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez les enfants.

Parmi les composés organiques volatiles **COV**, Le benzène est particulièrement toxique. Il peut avoir des effets sur le système nerveux, les globules et plaquettes sanguines, c'est également un agent cancérigène, capable d'induire des leucémies.

Les **particules** peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines ont également des propriétés cancérigènes.

Le dioxyde de soufre **SO₂** est un gaz irritant. Il est associé à une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et à une exacerbation des symptômes respiratoires chez l'adulte (toux, gêne respiratoire). Les personnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles.

Les niveaux d'exposition sont très différents selon le mode de déplacement. La voiture provoque la plus forte exposition et la marche à pied la plus faible.

3.6.2. LES NORMES

Les normes européennes Euro, qui s'appliquent au niveau des moteurs pour les véhicules lourds, limitent réglementairement en partie les émissions polluantes unitaires (CO, HC, NO_x et particules). Le même moteur pouvant être utilisé sur plusieurs véhicules, la réglementation s'applique au moteur en g/kWh et non en g/km.

Les quatre polluants réglementés ont un impact connu sur la santé ou l'environnement. Les quantités sont limitées par la réglementation à l'échappement, mais il peut exister aussi des réglementations portant sur des concentrations dans l'atmosphère (niveau local) ou des quantités nationales (pollution transfrontière). Les valeurs limitant les polluants et les cycles de contrôle font l'objet de réglementations différentes chez les trois principaux acteurs internationaux : Europe, USA et Japon.

Les différences de réglementations obligent les constructeurs de véhicules et de moteurs, à concevoir des véhicules correspondant aux normes applicables sur chacun des marchés.

Emissions des poids lourds (g/kWh)

Norme	Date de mise en application	CO	NO _x	HC	Particules
Euro 0	01/04/1988	13,2	15,80	2,64	-
Euro I	01/04/1992	4,9	9,00	1,23	0,36
Euro II	01/10/1995	4,00	7,00	1,10	0,15
Euro III	01/10/2001	2,10	5,00	0,66	0,10
Euro IV	01/10/2006	1,50	3,50	0,46	0,02
Euro V	01/10/2009	1,50	2,00	0,46	0,02

Normes d'émissions Européennes : Véhicule utilitaires de plus de 3,5 Tonnes

Cette réglementation permet progressivement de maîtriser la pollution atmosphérique malgré l'augmentation des trafics, mais n'agit pas sur les émissions de CO₂, principal gaz à effet de serre.

C'est en grande partie grâce à ce durcissement des normes que les quantités globales de polluants réglementés émises par les véhicules ont pu être diminuées.

3.6.3. PARAMÈTRES INFLUANT SUR LES ÉMISSIONS

L'émission de polluants est une des conséquences négatives du fonctionnement du moteur Diesel dont l'objectif primordial est bien évidemment de fournir un travail au moindre coût énergétique. Toutefois un compromis émission-consommation doit être établi en fonction des divers réglementations antipollution existantes et selon le cas, le constructeur devra modifier les réglages de marche, ou modifier l'architecture du moteur (opération plus lourde), enfin dans les cas difficiles envisager des systèmes auxiliaires d'épuration.

Les paramètres principaux influant sur les émissions diesel peuvent être classés en trois catégories :

- **Les paramètres carburants** susceptibles d'avoir une action sur le comportement d'un moteur diesel sont :
 - La densité par son effet sur la richesse ;
 - L'indice de cétane qui conditionne en partie le déclenchement de la combustion par son action sur le délai d'auto inflammation ;
 - La viscosité dans le rôle sur la pulvérisation des jets est important, ce paramètre est cependant fortement corrélé avec la largeur de la coupe de distillation ; la composition chimique par sa teneur en aromatiques et son pourcentage en hydrocarbures naphthéniques.
- **Les paramètres extérieurs** qui peuvent avoir une action sont la température extérieure qui par temps froid provoque au démarrage des émissions de fumées bleues ou blanchâtres très importantes, et ensuite le mode de fonctionnement du véhicule soumis à des arrêts et démarrages fréquents, les émissions de fumées et autres polluants seront très élevés.
- **Les paramètres moteur**, assez nombreux mais interdépendants ; les principaux paramètres à examiner par les constructeurs portent sur :
 - L'injection (avance, tarage des injecteurs, injection directe) ;
 - La culasse (forme de la chambre, rapport volumétrique) ;
 - La suralimentation.

3.6.4. LES MOYENS DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS

L'objectif de réduire les émissions peut être atteint en intervenant sur le parc existant ou en renouvelant la flotte de véhicules.

3.6.4.1. INTERVENTION SUR LE PARC EXISTANT :

Les solutions technologiques portent sur les carburants ou sur les systèmes de post-traitement. Elles peuvent être appliquées rapidement et ceci sur un grand nombre de véhicules. La répercussion est immédiate sur les émissions et la consommation du parc. Leur coût est faible et est de l'ordre de quelques pourcents du coût total du véhicule.

3.6.4.1.1. LES CARBURANTS

De nouvelles formulations du gazole sont obtenues en modifiant la composition chimique du carburant, sans pour autant affecter ses caractéristiques principales (indice de cétane, viscosité). Trois types de solutions se distinguent :

- Les gazoles reformulés par purification des coupes traditionnelle du gazole ou gazole TBTS (Très basse teneur en soufre) ;
- Les gazoles dits de synthèse obtenus à partir de plusieurs sources et transformés par procédé Fischer Tropsch ;
- Les gazoles additivés auxquels on ajoute des composés, généralement oxygénés, permettant d'améliorer la combustion. Entrent dans cette catégorie le diester, mais aussi l'éthanol et le biogaz et les émulsions eau-gazole.

3.6.4.1.2. LES POST-TRAITEMENTS

Les dispositifs de post-traitements permettent d'achever la combustion après la chambre de combustion et de réduire ainsi les imbrûlés (CO, HC et particules) et de réduire les NO_x .

Le catalyseur d'oxydation

Le catalyseur d'oxydation transforme le monoxyde de carbone (CO) et les hydrocarbures (HC) contenus dans les gaz d'échappement des moteurs diesel en eau et dioxyde de carbone (CO_2). Il oxyde en outre le monoxyde d'azote (NO) en dioxyde d'azote (NO_2).

Le catalyseur d'oxydation se compose d'un élément support en céramique ou en métal et comportant des canaux d'environ un millimètre de large le traversant axialement. Les parois sont revêtues d'une substance à effet catalyseur (platine ou rhodium).

Sur les véhicules équipés d'un filtre à particules, le catalyseur d'oxydation est placé en amont du filtre. Le NO₂ libéré dans le catalyseur oxyde la suie encore présente dans le filtre à particules, qui se compose essentiellement de carbone, en azote (N₂) et en dioxyde de carbone, deux gaz non toxiques.

Les filtres à particules «FAP»

Les filtres à particules pour moteurs diesel actuels sont en mesure de filtrer la quasi-totalité des particules de suie des gaz d'échappement pour ensuite les brûler.

Les systèmes de filtres qui sont intégrés dans le dispositif d'échappement sont composés de minuscules canaux parallèles. Leurs extrémités sont obturées alternativement pour obliger les gaz d'échappement à traverser les parois finement poreuses. Alors que les composants gazeux peuvent passer à travers, les particules demeurent prises au piège.

Pour éviter que le filtre à particules ne se bouche et que la contre-pression des gaz d'échappement n'atteigne un niveau trop élevé dans le moteur, il faut régulièrement brûler les particules accumulées dans le filtre. Cette opération est appelée régénération.

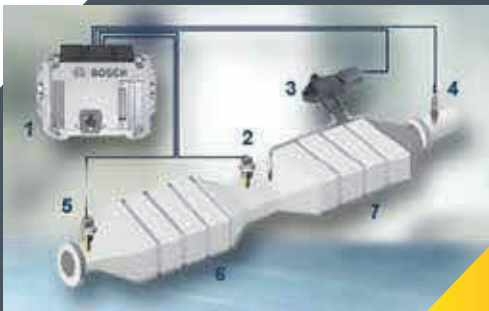
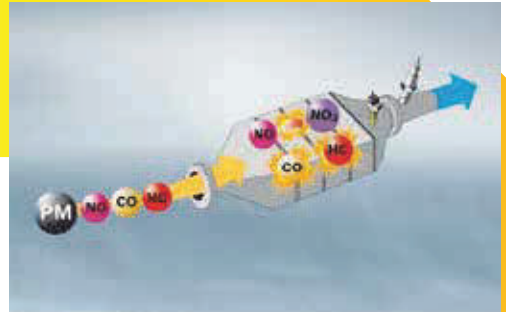


Schéma du système d'échappement avec filtre à particules

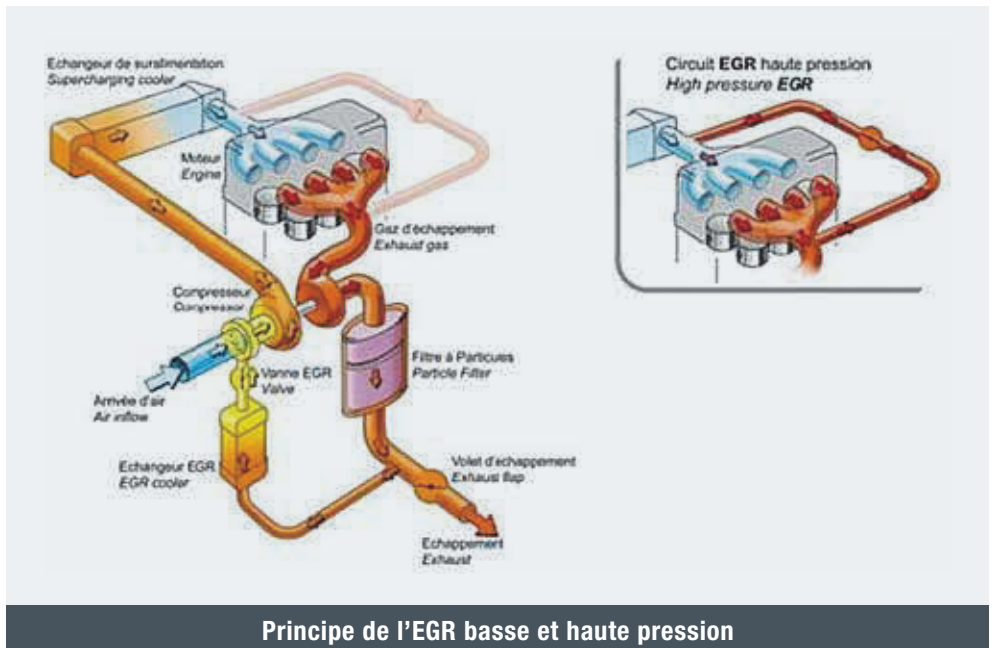
- 1 Calculateur
- 2 Capteur de température
- 3 Capteur de pression différentielle
- 4 Capteur de suie
- 5 Capteur de température
- 6 Catalyseur d'oxydation
- 7 Filtre à particules

Deux voies se distinguent :

La circulation à haute pression (moteurs suralimentés) consiste à prélever des gaz en amont de la turbine pour les réinjecter en aval du compresseur. Cette voie offre l'avantage d'un circuit court. La différence de pression entre l'échappement et l'admission est utilisée comme force motrice (le débit étant régulé par la vanne).

La circulation à basse pression consiste à prélever des gaz après la turbine pour les réinjecter avant le compresseur. Afin d'éviter une usure prématurée du compresseur, cette voie nécessite la mise en place d'un filtre à particules en amont du prélèvement, permettant de recycler des gaz exempts de particules. Cette voie permet une installation facilitée mais présente des inconvénients :

- Une réactivité qui risque d'être moins grande que celle d'un système HP en raison de la longueur du circuit ;
- Un danger potentiel de condensation de la vapeur d'eau visà vis du compresseur ;
- L'effet du système sur la régénération du filtre.



3.6.4.2. SOLUTIONS POUR LE RENOUVELLEMENT DES FLOTTES

Il convient, dans un souci de protection de l'environnement, de diversification énergétique, de réduction des gaz à effet de serre et de diminution de bruit, de faire appel à de nouvelles technologies.

Le renouvellement permet de remplacer des véhicules anciens, au fonctionnement généralement dégradé, par des véhicules neufs, respectant les dernières normes en vigueur.

Bien que la filière Diesel bénéficie d'un grand savoir-faire technologique et que les motorisations traditionnelles profitent de nombreuses avancées (EGR, Injection électronique...), elle présente toujours des inconvénients majeurs :

- Les émissions de particules (associées à des fumées et des odeurs) sont supérieures à celles des autres carburants routiers.
- Le gazole étant un produit lourd, sa combustion donne naissance à des hydrocarbures imbrûlés lourds.
- Le moteur diesel émet des NOx en conditions de forte charge.
- Le bruit des moteurs, même si les progrès effectués sont sensibles, reste une source de nuisance notamment en milieu urbain.

Les filières alternatives sont :

- Le gaz naturel véhicule (GNV) ;
- Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) ;
- Les véhicules hybrides ;
- L'hydrogène et la pile à combustible ;
- Les véhicules électriques.



3.7. LES ORGANES DU MOTEUR DIESEL

Le moteur est composé de divers éléments technologiques qui assemblés entre eux permettent son fonctionnement.

La pression des gaz en combustion ne peut agir sur le piston que grâce à la présence d'une chambre de combustion étanche fermée par le haut des cylindres et la culasse.

Chaque force engendrée par les éléments mobiles ne peut s'exercer que par l'action des éléments fixes qui opposent une force égale et de sens opposé.

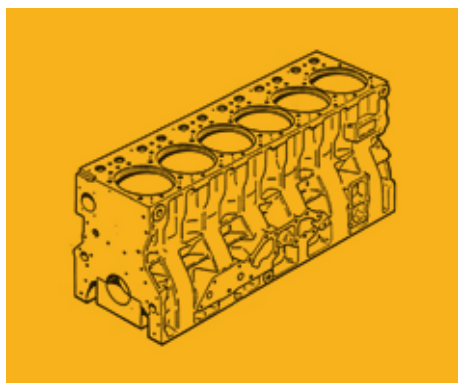
L'ensemble **bloc-cylindre-culasse** est le point d'appui des éléments mobiles sans lequel il ne peut exister de couple moteur.

Les éléments qui composent un moteur sont :

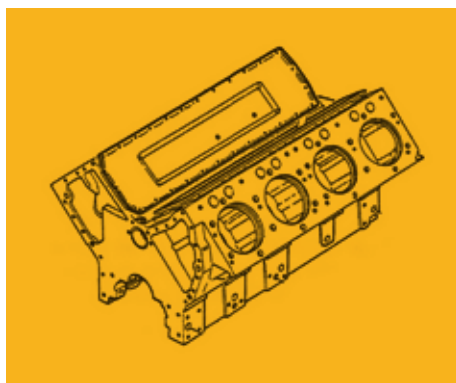
- Les éléments fixes.
- Les éléments mobiles.
- Les organes auxiliaires.

3.7.1. LES ÉLÉMENTS FIXES

Le **bloc cylindre** dans lequel sont pratiqués un ou plusieurs évidements cylindriques appelés cylindres sert de support à tous les organes principaux (pistons, vilebrequin, etc.) et aux organes annexes (démarreurs, alternateur, etc.).



Bloc 6 cylindres en lignes



Bloc 8 cylindres en V

Il existe trois types de blocs :

Bloc à alésage direct ou bloc non chemisé : Certains blocs en fonte sont directement alésés, les cylindres et le bloc ne faisant qu'une seule pièce. En cas d'usure des cylindres, il est nécessaire de réalésier à une cote supérieure et d'adapter des pistons de plus fort diamètre.

Bloc à chemises amovibles : Ce système facilite la fabrication, il permet l'utilisation de matériaux différents pour le bloc et pour les cylindres. La réparation est facilitée.

Chemises sèches : Fourreau de faible épaisseur emmanché dans un bloc en fonte ou en alliage léger. Le remplacement est possible mais l'ajustement est serré. Il n'y a aucune liaison avec l'eau de refroidissement.

Chemises humides : la chemise sert en même temps de paroi pour les conduits de refroidissement. Leur remplacement est aisé mais l'étanchéité doit être particulièrement soignée. Elles sont également alésées, rectifiées et rodées.



Bloc non chemisé



Bloc à chemise sèche

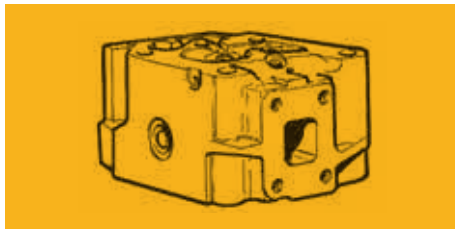


Bloc à chemise humide

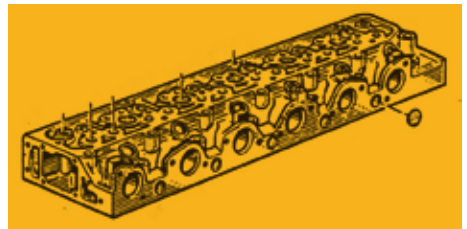
La culasse : Elle assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure. C'est un bloc, fixé au carter-cylindre par des vis et qui comporte :

- Les orifices d'admission et d'échappement.
- Tout ou partie des éléments de distribution.
- Les soupapes.
- Les bougies de préchauffage.
- Les portes injecteurs.
- Des éléments de refroidissement.
- L'évidement au dessus du piston qui s'appelle la chambre de combustion.

Suivant la conception et les performances des différents moteurs, il existe une culasse couvrant 1, 2, 3, 4, 5, 6 cylindres.



Solution d'une culasse par cylindre



Solution d'une culasse pour 6 cylindres

Le joint de culasse : Il assure l'étanchéité entre la culasse et le bloc moteur et compense les déformations légères.

Le carter inférieur : Il assure l'étanchéité inférieure du bloc moteur et sert de réservoir d'huile.

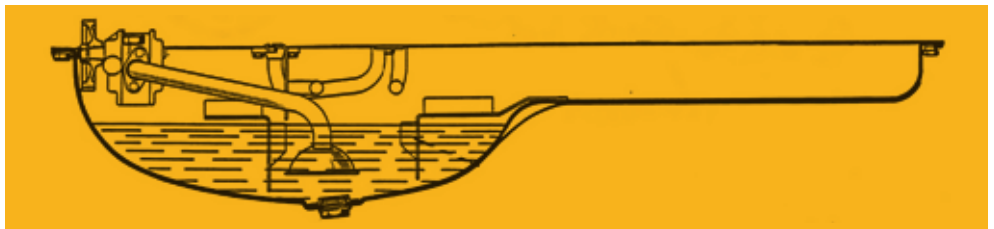


Schéma d'un carter inférieur

3.7.2. LES ÉLÉMENTS MOBILES

C'est l'ensemble des éléments (piston, axe, bielle, vilebrequin, volant) qui permettent la transformation de l'énergie chimique en énergie cinétique :

Le piston et les segments

Le piston permet :

- La compression des gaz frais grâce à la force qui lui est communiquée par la bielle.
- La transformation au temps détente de la pression des gaz enflammés en une force.
- Le déplacement de la force permettant au moteur d'accomplir un travail.

Les segments qui sont des anneaux brisés travaillant en extension et ont pour rôles de :

- assurer l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter inférieur afin d'éviter toute perte de puissance.
- empêcher l'huile du carter inférieur de remonter vers la chambre de combustion afin d'éviter une consommation d'huile et d'encrasser celle-ci.
- faciliter l'échange calorifique entre le piston et la chemise.

Les segments pour moteur à quatre temps sont en général au nombre de 3 :

- Le segment coup de feu qui assure l'étanchéité de la chambre de combustion.
- Le segment d'étanchéité qui assure l'étanchéité et évite la consommation d'huile.
- Le segment racleur qui racle l'huile pour éviter les remontées tout en laissant une certaine pellicule pour permettre la lubrification.

L'axe de piston : Il assure la liaison entre le piston et la bielle.

La bielle : C'est l'élément intermédiaire qui permet la transmission des forces entre deux éléments animés de mouvements différents :

- Mouvement rectiligne alternatif du piston
- Mouvement circulaire continu du vilebrequin.

Le vilebrequin : Il transforme la force qui lui communiquée par la bielle en un couple.

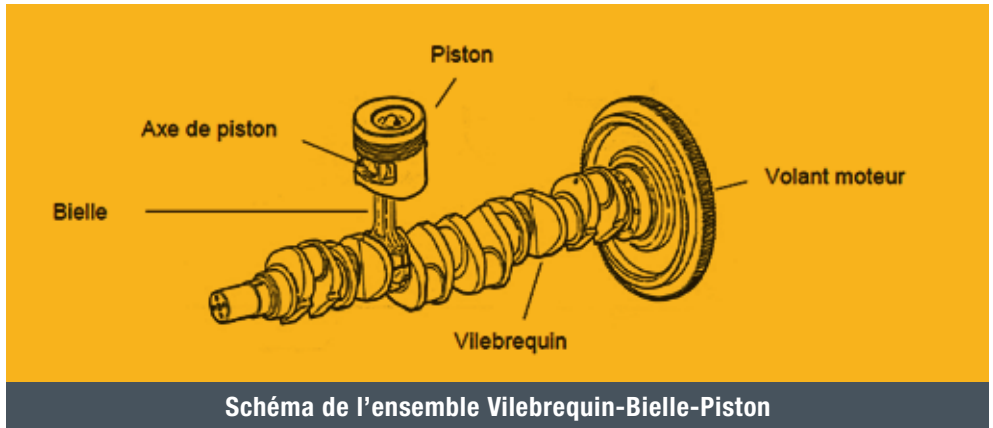


Schéma de l'ensemble Vilebrequin-Bielle-Piston

3.8. LA DISTRIBUTION

3.8.1. RÔLE DE LA DISTRIBUTION ET ÉPURE CIRCULAIRE

Pour qu'il y ait combustion, il faut obligatoirement une synchronisation de mouvement entre les organes mobiles et les organes de distribution.

Dans le cycle à 4 temps Diesel, il faut à certains moments, admettre de l'air pur par un orifice (collecteur d'admission) et ensuite évacuer les gaz brûlés par un autre orifice (collecteur d'échappement). C'est le rôle de la distribution.

Pour remédier aux inconvénients du cycle théorique et obtenir le diagramme réel, il est nécessaire d'apporter les réglages suivants :

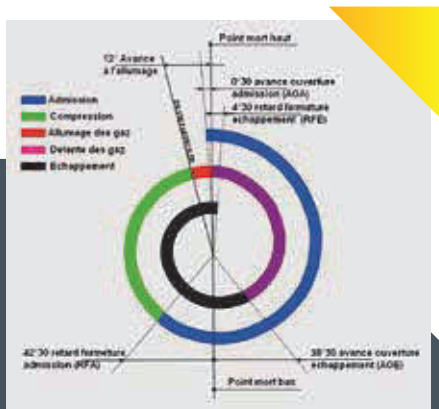
Avance à l'ouverture de l'admission (A.O.A) : Cette avance évite l'arrêt de la veine gazeuse devant une soupape fermée et améliore ainsi le taux de remplissage. La soupape d'admission s'ouvrira donc avant la fermeture complète de la soupape d'échappement. Il n'y a pas de risque de mélange avec les gaz d'échappement, car les gaz frais, par la vitesse acquise, chassent les gaz brûlés en pénétrant dans le cylindre.

Retard à la fermeture de l'admission (R.F.A) : On profite de l'inertie des gaz pour augmenter le remplissage et ne refermer la soupape qu'après le P.M.B. La diminution du temps de compression est compensée par une pression de début de compression plus élevée.

Avance à l'injection (A.A) : Elle a pour but de permettre l'injection d'un volume de gaz gazole avant que le piston n'arrive au P.M.H, afin de tenir compte du délai d'allumage, du temps de combustion, afin d'obtenir un travail maximum produit par la détente des gaz.

Avance à l'ouverture de l'échappement (A.O.E) : Elle permet d'avancer la chute de pression des gaz brûlés afin de limiter leur tendance à la contre pression.

Retard à la fermeture de l'échappement (R.F.E) : On profite de l'inertie des gaz pour faciliter leur évacuation complète. La soupape d'échappement se fermera donc au début du temps admission.

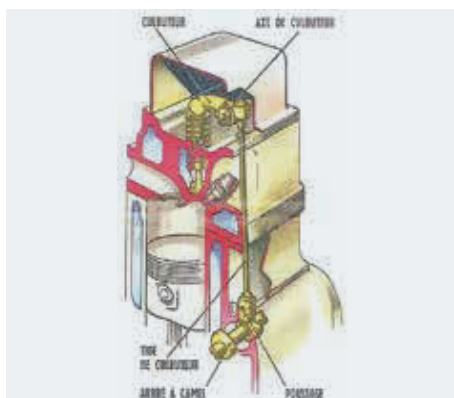


La représentation graphique qui permet de visualiser les angles de la distribution d'un moteur s'appelle **l'épure circulaire de la distribution**.

3.8.2. LES ÉLÉMENTS DE LA DISTRIBUTION

Les soupapes : Elles permettent le passage de gaz dans un temps très court, et assurer une parfaite étanchéité à la fermeture lors de la combustion. Les soupapes, maintenues par des guides et retenues par des ressorts, sont disposées au travers de la culasse et reposent sur des sièges.

La commande des soupapes est assurée par des culbuteurs (solution retenue pour les véhicules industriels) ou bien par un arbre à came en tête (solution pour les véhicules légers).



Commande par culbuteurs

L'arbre à came : Il assure la synchronisation du temps d'ouverture de chaque soupape.

La liaison entre l'arbre à came et le vilebrequin peut être effectuée par chaîne, par courroie crantée ou bien par engrenages.



3.9. L'ALIMENTATION EN GAZOLE DU MOTEUR



3.9.1. LE SYSTÈME D'ALIMENTATION AVEC UNE INJECTION CLASSIQUE

L'alimentation en combustible du moteur est réalisée grâce à deux circuits :

- **Circuit basse pression** qui permet d'acheminer et de filtrer le combustible entre le réservoir et la pompe d'injection.
- **Le circuit d'injection** qui assure la pulvérisation d'une quantité déterminée de carburant à haute pression à un moment précis dans la chambre de combustion.

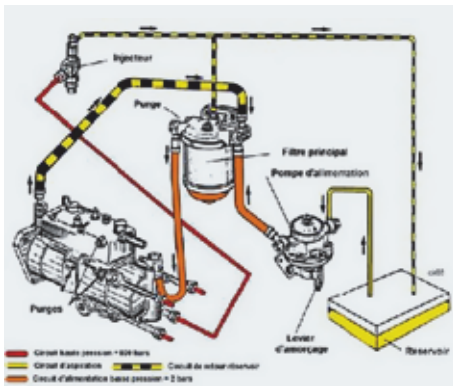
a) Circuit basse pression :

- Un ou deux réservoirs de stockage du combustible ;
- Un réchauffeur éventuellement évitant le figeage du gazole à basse température ;

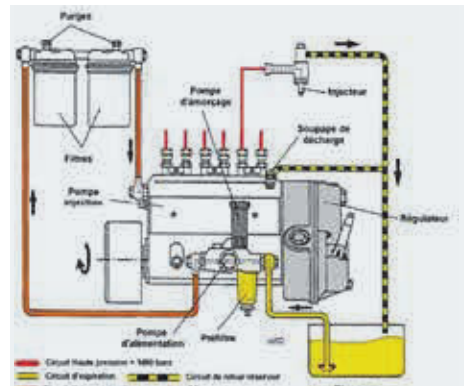
- Un préfiltre servant à retenir les plus grosses impuretés et les gouttes d'eau ;
- Une pompe d'alimentation dont le rôle est d'aspirer le gazole jusqu'au réservoir et de le refouler vers la pompe d'injection ;
- Un ou deux filtres principaux servant à retenir les très fines impuretés (de l'ordre du micron) susceptibles de détériorer la pompe d'injection ou les injecteurs ;
- Des tubulures d'aspiration et de refoulement assurant la liaison entre le réservoir et la pompe d'alimentation pour les tubulures d'aspiration, et entre la pompe d'alimentation et la pompe d'injection pour les tubulures de refoulement.

b) Circuit d'injection :

- Une pompe d'injection servant à distribuer sous pression au moment opportun le combustible aux injecteurs. La quantité est fonction de la position de la pédale d'accélération.
- Des tuyauteries d'alimentation des injecteurs très résistantes reliant la pompe à injection aux injecteurs.
- Des injecteurs qui pulvérisent et dirigent le combustible dans la chambre ou préchambre de combustion.
- Un circuit de retour du combustible au réservoir en cas d'excédent.



Alimentation en combustible avec une pompe d'injection rotative



Alimentation en combustible avec une pompe d'injection en ligne

Le carburant est aspiré du réservoir par la pompe d'alimentation en passant d'abord par la crépine du réservoir. Il est ensuite refoulé dans les filtres à carburant pour aller à la pompe d'injection. La haute pression délivrée par la pompe d'injection est amenée aux injecteurs par les tuyaux de refoulement ou tuyau d'injecteurs. L'excédent de carburant revient au réservoir par la canalisation de retour.

3.9.2. LE SYSTÈME D'ALIMENTATION AVEC UNE INJECTION HAUTE PRESSION À RAMPE COMMUNE «COMMON RAIL»

La réduction des émissions de rejets polluants est devenue une nécessité pour les constructeurs. Une des solutions pour atteindre cet objectif passe par une diminution de la consommation et par une maîtrise de la combustion.

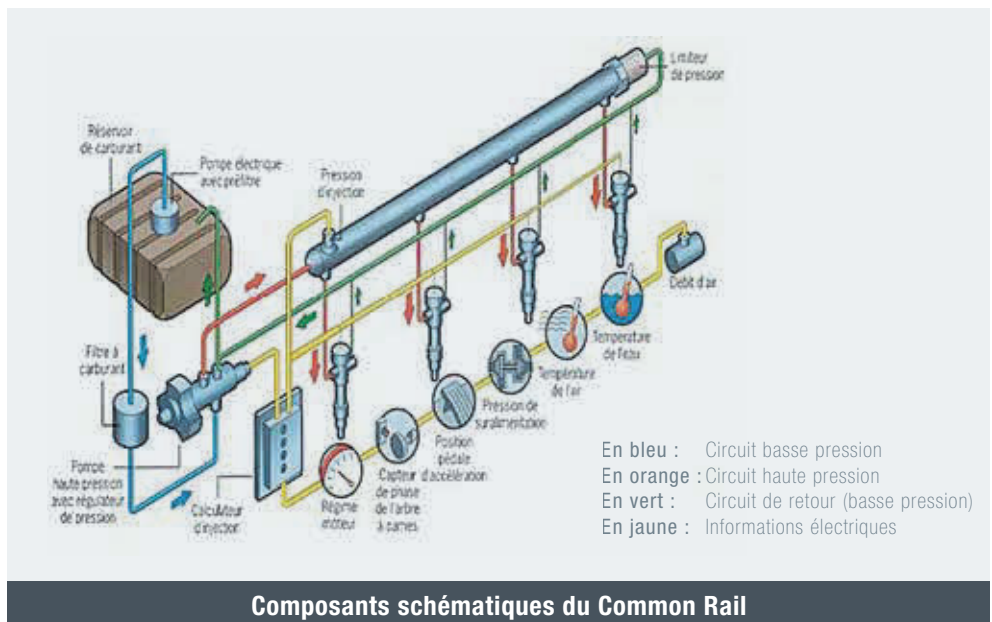
Le moteur Diesel à injection directe, alimenté par un système d'injection haute pression à gestion électronique, offre un rendement supérieur à tous les autres moteurs thermiques.

Grâce à sa relative simplicité d'adaptation sur les moteurs existants, le système d'injection Diesel haute pression à rampe commune constitue la solution actuelle la plus facilement industrialisable.

Les progrès sur le plan du confort, de la consommation et de la diminution de la pollution en sont les conséquences directes.

Comparativement aux systèmes d'injection classiques phasés avec la distribution du moteur, le système d'injection haute pression à rampe commune permet, avec sa rampe d'accumulation, de maintenir constante la pression quels que soient la vitesse du moteur et la quantité de carburant injectée.

Par rapport à un moteur diesel à injection classique, le moteur «Common rail» améliore la combustion et réduit sensiblement la consommation de carburant.



La pompe de gavage : Elle est généralement immergée dans le réservoir, ou immédiatement en sortie fournit le carburant au système d'injection à une pression d'environ 3 bars.

Le filtre : Son rôle est de retenir les impuretés du circuit de carburant et l'eau en suspension dans celui-ci, la moindre saleté ou gouttelette étant généralement fatale au système d'injection.

La pompe haute pression : elle permet d'augmenter la pression de carburant jusqu'au niveau requis pour l'injection.

La rampe commune : le carburant sous haute pression est envoyé dans une rampe d'où partent tous les injecteurs, d'où son nom.

Les injecteurs : De type électromagnétique, capables de 3 injections par cycle, ils disposent dans le premier système Common Rail (Bosch) de 5 trous (4 périphériques et un central)

Sur chaque injecteur on trouve une électrovanne qui est commandée par le calculateur. La forte pression dans la rampe commune permet au gasoil d'être vaporisé sous la forme d'un nuage gazeux. La quantité déterminée par le calculateur doit être injectée au bon moment afin que l'explosion soit la meilleure. En réalité, il y a une pré-injection de carburant et une injection principale. Il peut y avoir une post-injection, particulièrement pour lutter contre la pollution.

La pré-injection intervient pendant quelques dizaines de microsecondes et est inférieure à 1 milligramme de carburant. Elle permet d'augmenter progressivement la température dans le cylindre avant l'injection principale. La combustion est ainsi plus douce et progressive. La forme de l'admission d'air favorise un mélange air-carburant homogène afin d'éviter une combustion incomplète.

Un autre avantage de la pré-injection est une réduction des bruits émis par les moteurs.

Débitmètre d'air : Chargé d'indiquer au calculateur d'injection la quantité d'air aspirée par le moteur afin d'ajuster la quantité de carburant à injecter

Le calculateur d'injection : récupère les valeurs des différents capteurs (température eau et air, flux d'air, vitesse de rotation du moteur, phase, oxygène après combustion...). Il corrige les différents paramètres en fonction de courbes préétablies (cartographie) : quantité de carburant à injecter, vitesse de la pompe à carburant, etc... Au moment opportun, il commande les actionneurs pour injecter le carburant, réinjecter des gaz d'échappements dans le moteur, etc...

3.10. LE REFROIDISSEMENT DU MOTEUR

3.10.1. LA NÉCESSITÉ DE REFROIDIR UN MOTEUR

Si l'on ne considérait que la thermodynamique et la combustion dans un moteur, son refroidissement ne serait pas nécessaire. Mais les nombreux impératifs mécaniques et les échanges thermiques sont inévitables. Dans la pratique, il nous faut un système de refroidissement efficace.

La chaleur dégagée par le moteur provient essentiellement de la Température de combustion qui s'élève à environ 2000°C (au temps d'échappement les gaz brûlés sont encore à 800°C) et aussi du frottement des pièces en mouvement.

Le dégagement de chaleur, s'il est exagéré, entraîne :

- une dilatation trop importante des pièces,
- une modification des propriétés des matériaux trop radicale,
- l'altération du lubrifiant,
- une diminution du taux de remplissage exagérée.

D'autre part, si le refroidissement du moteur est trop important il engendre :

- le gazole brûle mal d'où détérioration des qualités de l'huile par les imbrûlés,
- le graissage est défectueux, car l'huile se répartit mal sur les surfaces à graisser,
- de plus la température de l'huile restant en dessous de 100° C, l'eau de condensation ne parvient jamais à s'éliminer et s'accumule dans le carter inférieur, accroissant fortement l'oxydation interne du moteur.

Pour le bon fonctionnement du moteur il faut maintenir la valeur de la température de l'eau de refroidissement à l'intérieur d'une certaine plage.

De plus : lors des démarrages à froid, il faudra que le moteur atteigne sa température de fonctionnement en un minimum de temps.

Les moteurs thermiques sont refroidis par air ou bien par eau et c'est ce dernier que nous présentons.

Les organes refroidis par conduction et par circulation d'huile sont :

- Les pistons.
- L'arbre à came et la culbuterie.
- Les paliers de vilebrequin.
- Les têtes de bielle.

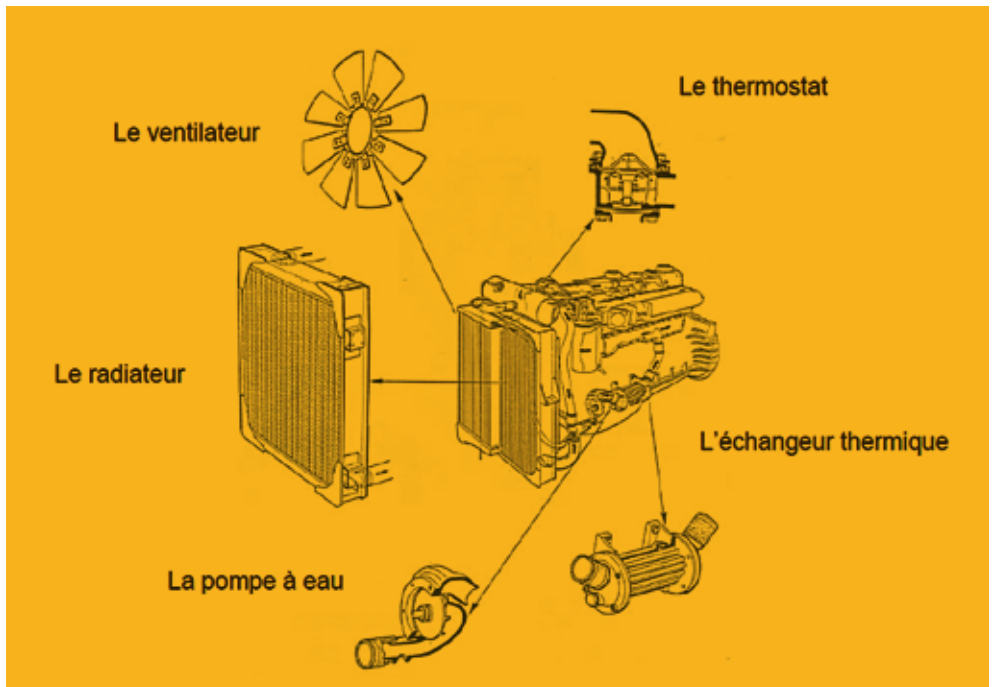
- Les soupapes.
- Le compresseur.
- La pompe d'injection.
- Le turbo compresseur.

Les organes refroidis par eau sont :

- Les cylindres.
- La culasse.
- Les guides et sièges de soupapes.
- La chambre de combustion.
- L'échangeur thermique.

3.10.2. LES ÉLÉMENTS D'UN CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT ET LEUR RÔLE

Les éléments constituant un circuit de refroidissement par eau sont :



Le radiateur : Il est chargé de dissiper la chaleur transmise par l'eau qui entoure les différents organes du moteur (culasse, bloc, cylindres.).

Le vase d'expansion : Il permet la mise sous pression du circuit et compense les variations de volume du liquide de refroidissement.

La pompe à eau : Elle effectue le brassage de l'eau et augmente sa vitesse.

Le thermostat : Il maintient la valeur de la température de l'eau de refroidissement à l'intérieur d'une certaine plage. De plus lors des démarrages à froid, il permet au moteur d'atteindre sa température de fonctionnement en un minimum de temps : C'est un dispositif de régulation de la température.

L'échangeur thermique : Il permet l'abaissement de la température de l'huile de graissage provoquée par l'augmentation relative de la température de fonctionnement du moteur engendrée par la mise sous pression du circuit de refroidissement.

La ventilation : Elle doit assurer le passage d'une très grande quantité d'air à travers le radiateur pour refroidir l'eau et les organes annexes (alternateur, pompe d'injection, compresseur...). La ventilation forcée est assurée par un ventilateur entraîné en permanence et généralement placé derrière le radiateur. L'avantage de ce système consiste dans la simplicité de son entraînement mais présente des inconvénients puisqu'il est inutile à grande vitesse, son fonctionnement est indépendant de la température du moteur et il absorbe de la puissance donc augmente la consommation de carburant.

Une meilleure solution consiste à utiliser un système qui commande le fonctionnement du ventilateur, uniquement lorsque la température l'exige. Les systèmes adoptés sont :

- Le moto ventilateur.
- Le coupleur glissant.
- Le ventilateur hydrostatique.
- Le ventilateur à embrayage hydrostatique.
- Le ventilateur à coupleur hydraulique.

3.11. LE GRAISSAGE ET LES LUBRIFIANTS

3.11.1. RÔLE DU GRAISSAGE

Pour faire glisser une pièce en appui sur un support, il est nécessaire d'exercer une force parallèle au plan de contact. Elle est destinée à vaincre la résistance au glissement appelé frottement qui présente les inconvénients suivants :

- Le travail résistant produit par le frottement des pièces est une perte d'énergie qui affecte le rendement des mécanismes.
- Un dégagement de chaleur au niveau des surfaces en contact le confirme. Il provoque dilatations et grippages.
- Le frottement s'accompagne d'une usure des surfaces.

Le frottement est fonction :

- Des matériaux constituant les surfaces en contact.
- Des conditions de travail des pièces en contact.
- De la résistance au glissement caractérisée par le coefficient de frottement qui est le rapport entre la force nécessaire au mouvement et le poids de la pièce à déplacer.

$$f = F / P$$

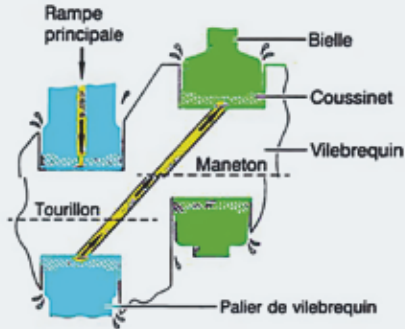
Pour réduire ce coefficient de frottement il faut agir sur trois points:

- L'état de surface : rectification, polissage, chromage des surfaces
- Le choix des matériaux : métaux antifricion, ou traitement de surface.
- La lubrification : interposition d'un corps gras qui compense les défauts des surfaces des 2 corps.

Les organes du moteur à lubrifier sont les organes tournants (les tourillons et manetons du vilebrequin, les tourillons de l'arbre à cames et les cames, les engrenages de commande des mécanismes d'entraînement de pompe d'injection et de compresseur, les engrenages ou chaîne de distribution) , les organes coulissants (les pistons dans leurs cylindres, les poussoirs et les soupapes dans leurs guides), les organes oscillants (les pieds de bielles et les culbuteurs autour de leurs axes) et enfin les organes annexes (turbocompresseur, la pompe d'injection, le compresseur).

3.11.2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE GRAISSAGE :

Le graissage ordinaire sous pression

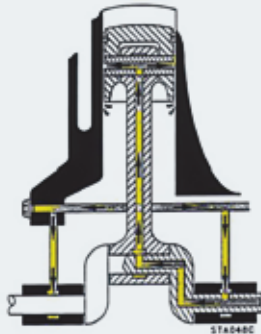


L'huile provenant de la rampe principale de graissage est dirigée par des canaux vers les paliers de vilebrequin.

Les rainures des coussinets et un canal oblique permettent le graissage sous pression des têtes de bielle.

L'huile retombe dans le carter inférieur à partir des manetons et des tourillons.

Le graissage intégral

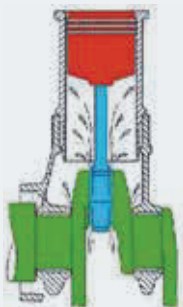


C'est l'équivalent d'un graissage ordinaire, mais en plus, l'axe de piston est graissé sous pression grâce à un perçage pratiqué dans le corps de la bielle.

L'huile sous pression s'échappant des manetons est projetée le long des parois de la chemise.

Elle assure ainsi le graissage entre le piston et la chemise, ainsi que l'axe de piston.

Le graissage par projection



L'huile sous pression s'échappant des manetons est projetée le long des parois de la chemise. Elle assure ainsi le graissage entre le piston et la chemise, ainsi que l'axe de piston.

3.11.3. LES ÉLÉMENTS D'UN CIRCUIT DE GRAISSAGE

Les éléments constituant le circuit de graissage d'un moteur Diesel sont :

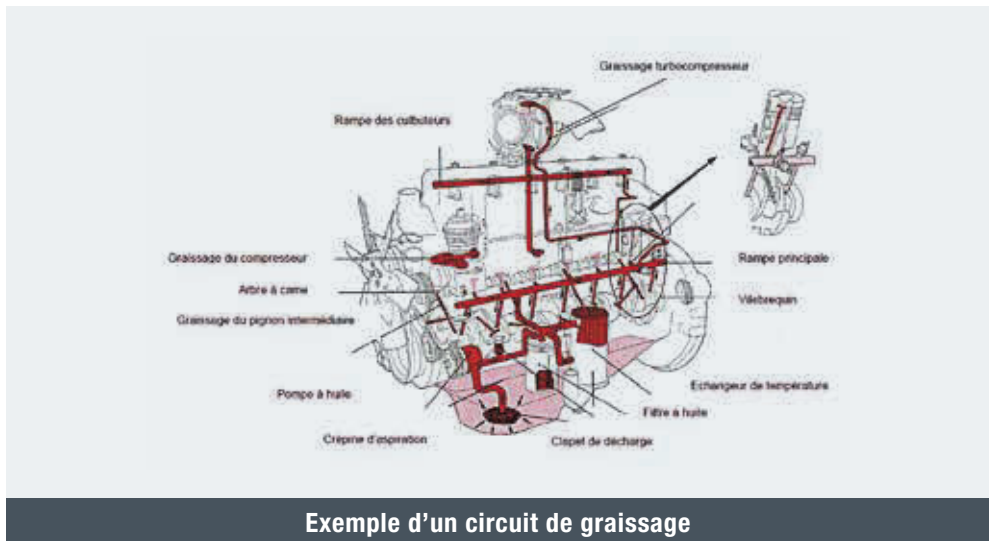
La pompe à huile : c'est une pompe volumétrique et son rôle est d'aspirer l'huile dans le carter inférieur et la diriger vers les éléments à graisser.

Le limiteur de pression : il a pour rôle de limiter la pression d'huile à la sortie de la pompe pour éviter sa détérioration. Il est constitué d'un clapet à bille situé sur le canal de sortie de la pompe. La bille est maintenue sur son siège par un ressort taré. Lorsque la pression de l'huile est supérieure au tarage du ressort, le clapet se soulève et découvre l'orifice d'une canalisation qui permet à l'huile de retourner au carter.

Le filtre à huile : Il sert à éliminer les impuretés qui sont en suspension dans l'huile et qui pourraient altérer les pièces en fonctionnement. Les impuretés peuvent être :

- Des particules métalliques provenant du rodage des pièces.
- Des particules dues aux résidus de combustion.
- Des produits d'altération de l'huile.

Circuit de ré aspiration des vapeurs d'huile : les règlements de la lutte anti-pollution obligent les constructeurs à ne plus envoyer les vapeurs d'huile dans l'atmosphère. Les moteurs sont donc équipés d'un système qui permet collecter les vapeurs d'huiles dans un décanteur. L'huile sous forme liquide retourne dans le carter et les vapeurs sont dirigées vers la chambre de combustion pour y être brûlées.



Exemple d'un circuit de graissage

3.11.4. LES LUBRIFIANTS

Les développements dans la construction automobile et dans la technique des moteurs sont liés de façon indissociable avec les performances des huiles moteurs. Plus les moteurs ont une conception compliquée, plus le rendement et l'optimisation de la consommation sont élevés et plus l'huile moteurs est sollicitée et doit aller aux limites de ses performances. Une compression assez élevée dans le moteur, des températures de piston supérieures (surtout dans la zone du segment de piston supérieur), des commandes de soupapes modernes et sans entretien avec des poussoirs hydrauliques et des températures assez élevées dans l'espace moteur sollicitent les lubrifiants pour les moteurs modernes bien davantage qu'il y a encore 10 ans.

Les conditions d'utilisation des moteurs Diesels incluent aussi bien des parcours extrêmement courts que des parcours longs avec des kilométrages annuels allant jusqu'à 300000 km. À cela s'ajoutent des intervalles de vidange compris entre 5000 km pour certains petits moteurs diesel et allant jusqu'à 100000 km sur des moteurs diesel de véhicules utilitaires modernes. Ceci impose des exigences en partie controversées à l'huile moteurs. C'est pourquoi on ne peut pas couvrir toutes les applications avec un seul lubrifiant. Les constructeurs de moteurs définissent la qualité d'huile à utiliser et l'intervalle de vidange autorisé. L'industrie pétrolière offre une gamme complète de types d'huile qui couvre toutes les applications.

Les fonctions principales d'une huile moteur sont :

- Réduire les frottements.
- Diminuer l'usure et la corrosion.
- Refroidir par l'évacuation de la chaleur.
- Assurer l'étanchéité au gaz et aux liquides.
- Évacuer les impuretés.
- Transmettre de l'énergie.
- Indiquer les avaries.

Le choix d'un lubrifiant adapté est capital pour la durée de vie d'un moteur et pour effectuer ce choix, il existe des classifications et des normes qui facilitent cette tâche :

Classification d'après la viscosité SAE (Society of Automobile Engineers) : À l'heure actuelle, la plus utilisée dans le monde entier par les fabricants de lubrifiants, les constructeurs de moteurs et les utilisateurs, pour déterminer et désigner les grades de viscosité à recommander pour le graissage des moteurs.

Cette classification, établie uniquement en fonction de la viscosité des huiles, a été périodiquement modifiée afin d'accroître son efficacité, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des lubrifiants et des moteurs et de l'amélioration des connaissances de leur comportement.

Classification selon les performances : Les huiles moteurs ne sont pas différenciées selon leur composition chimique, mais selon la façon dont elles se comportent lors des tests de moteurs, ce qui veut dire qu'on évalue les performances dans des essais pratiques et non pas en laboratoire. Pour les tests, on a recours à des moteurs automobiles et à des moteurs d'essai monocylindre. Ils sont utilisés sur des bancs d'essais selon des conditions définies de façon précise. Après les marches d'essai, les moteurs sont démontés et tous les composants importants (par exemple pistons, surface de glissement de cylindres, paliers, commande de soupape / couvercle de culasse, carter d'huile) font l'objet d'une évaluation pour différents critères tels que propreté, formation de boue, usure et formation de surface-miroir. En laboratoire, les huiles usagées sont analysées au niveau de l'augmentation de la viscosité et du comportement à l'oxydation.

Les spécification API (American Petroleum Institute) : Pendant des décennies, les spécifications API étaient les plus répandues dans le monde entier et étaient la référence universelle. On a ainsi couvert les exigences les plus importantes au niveau du moteur et les huiles moteurs ont été subdivisées en une utilisation sur les moteurs à essence et deuxième utilisation sur des moteurs Diesels.

Les spécifications ACEA (Association des Constructeurs Européens Automobiles) : Comme les spécifications API sont principalement axées sur le marché américain et ne peuvent pas être transposées complètement aux conditions européennes, les constructeurs de moteurs européens se sont regroupés au sein de l'ACEA. Il existe au sein de cette association une instance qui contrôle à intervalles réguliers les exigences des constructeurs de moteurs européens imposées aux produits consommables de moteurs et les définit pour les huiles moteurs lors des séquences de tests de l'ACEA.

Les spécifications des constructeurs : Les constructeurs de véhicules, qu'ils s'agissent de poids lourds, d'engins de travaux publics, de tracteurs ou de voitures particulières, attachent beaucoup d'importance à la qualité des produits destinés à lubrifier leurs moteurs. Ils savent en effet qu'en cas de panne ou d'incidents leurs clients auront davantage tendance à blâmer la qualité du moteur même si le lubrifiant est en cause.

En dehors de quelques constructeurs qui ont passé des accords de préconisation avec certaines marques, la règle dans ce domaine consiste à établir des spécifications plus sévères que les normes et à conseiller l'emploi des lubrifiants ayant satisfait à ces exigences.

Une constante évolution : Toutes les normes évoluent dans le temps. Ainsi la classification SAE actuelle a été modifiée à plusieurs reprises. Les grades 0W et 25W n'existent que depuis 1980 et le grade 60 depuis 1987. On a également changé la manière de procéder aux mesures à basse température.

Mais c'est surtout dans le domaine des normes de qualité que les changements sont les plus fréquents pour les deux raisons suivantes:

- La première est due à l'évolution des motorisations. Comme les constructeurs s'efforcent d'améliorer en permanence leur production, il faut réviser périodiquement les essais pour les faire porter sur les nouveaux moteurs équipant le marché.
- La seconde raison est due à l'évolution des exigences. On demande toujours plus aux lubrifiants : Allonger la durée de vie des moteurs, les garder plus propres, espacer les vidanges, ne pas faire d'appoints. De nouvelles procédures et de nouveaux seuils de performance sont ainsi introduits dans les essais.

3.12. LE CIRCUIT D'ADMISSION D'AIR

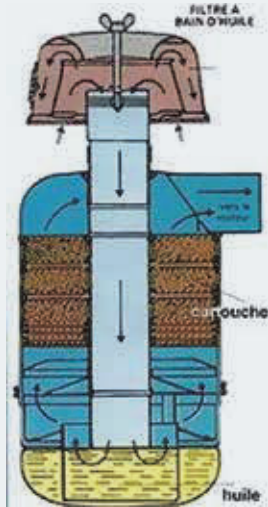
3.12.1. LA NÉCESSITÉ DE LA FILTRATION

L'atmosphère est toujours chargée de particules solides qui proviennent de l'environnement (sable soulevé par le vent) ou de certaines industries (cimenterie carrière). Les valeurs de concentration de poussière sont de :

- 0,01 mg / m³ (air calme ; endroit peu pollué).
- 5 mg / m³ (le long des routes).
- 1g / m³ (dans les chantiers sévères).

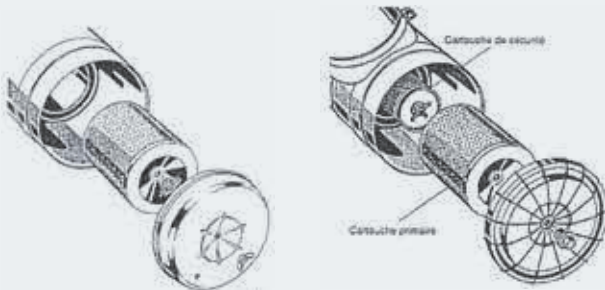
Si ces particuliers ne sont pas arrêtés, le moteur les aspire. Il se produit alors une usure accélérée par la présence des plus dures. L'expérience montre que se sont celles d'un diamètre compris entre 3 et 10 microns qui sont les plus nocives pour le moteur, et notamment pour l'étanchéité pistons - cylindres, primordial pour le rendement du moteur. La vie du moteur est intimement liée à la qualité de l'air qu'il aspire. Les filtres d'air retiennent les micros particules d'impuretés contenues dans l'air évitant ainsi l'action abrasive de celles-ci sur les composants internes du moteur.

3.12.2. LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE FILTRATION :



Les filtres à bain d'huile :

Permettent une filtration très poussée, mais qui nécessite des emplacements très importants.



Filtre à air sec
(Cartouche simple)

Filtre à air sec
(Double cartouche)

Les filtres secs :

Sont constitués d'une paroi poreuse ou d'une succession de parois minces.

3.12.3. LES CONSÉQUENCES DE L'ENCRASSEMENT D'UN FILTRE À AIR

L'encrassement d'un filtre à air a pour conséquences :

a) Une augmentation des contraintes du moteur :

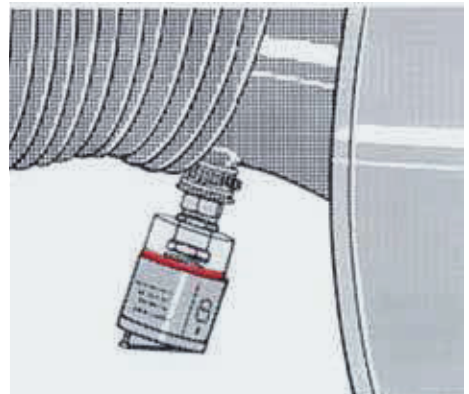
- Travail de pompage plus important (admission d'air).
- Élévation de la température du moteur par suite du mauvais réglage air / carburant.

b) Une perte de puissance induite par le manque d'air peut être importante :

- Les débits d'air d'un poids lourd atteignent environ 400 m³/ heure en utilisation sévère, une réduction du débit entraîne une baisse de puissance pouvant atteindre 10% sans que le filtre soit complètement obstrué.
- Une augmentation de la consommation spécifique non négligeable. L'accroissement est estimé à 0,2 % pour 2,5 mbars.

Il est donc important de veiller au bon état de cet organe qui est souvent négligé. Pour maîtriser le moment de nettoyage ou de remplacement des filtres à air, les constructeurs placent, à la sortie des filtres, des indicateurs de colmatage indiquant l'encrassement de l'élément filtrant.

Un filtre colmaté avec une perte de puissance de 15 % peut engendrer une augmentation de la consommation pouvant atteindre 15 %.



Indicateur de colmatage placé à la sortie du filtre à air

3.13. LA SURALIMENTATION

3.13.1. AMÉLIORATION DES PERFORMANCES D'UN MOTEUR

La puissance et le couple fournis par un moteur ont pour origine la chaleur dégagée par la combustion du mélange air-gazole. Pour obtenir plus de performances, il faut introduire plus de gazole, à chaque cycle, ce qui nécessite d'introduire plus d'air.

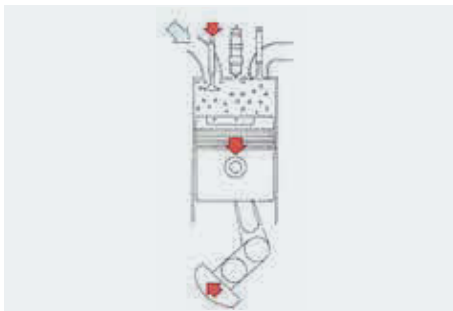
Pour augmenter la puissance d'un moteur aspiré trois solutions sont envisageables.

- Augmenter la capacité d'absorption du moteur par l'augmentation de la cylindrée. Cette solution se traduit par une augmentation du poids de l'encombrement et des frottements du moteur.
- Augmenter dans un temps donné, le nombre d'opérations de «Pompage» par l'augmentation du régime. Cette solution impose un renforcement du moteur et augmente les frottements.
- Favoriser l'effet d'aspiration du piston lors de sa descente par l'augmentation du remplissage.

Pour atteindre ce dernier but, avec un moteur à aspiration atmosphérique, on peut obtenir un gain de quelques pour-cent en jouant sur les éléments suivants :

- Le diamètre, la forme, et la longueur des conduits d'admission. Leur polissage est également intéressant.
- Le diamètre et la levée des soupapes d'admission.
- La présence de 2 soupapes d'admission (section d'ouverture).
- L'angle des sièges de soupape et leur forme.
- La présence d'une prise d'air dynamique.

La solution la plus efficace pour augmenter fortement la masse d'air admise c'est de suralimenter le moteur à l'aide d'un compresseur.



Admission par aspiration naturelle



Admission par turbocompresseur

Il faut remarquer que la densité de l'air aspiré est directement fonction de 2 facteurs qui sont **la température et la pression**. Pour mieux illustrer ces phénomènes, considérons l'exemple suivant :

Soit un moteur développant 100kw (135 ch) dans des conditions normales de températures et de pression, c'est-à-dire au niveau de la mer (0 mètre d'altitude) et par une température de 15°C.

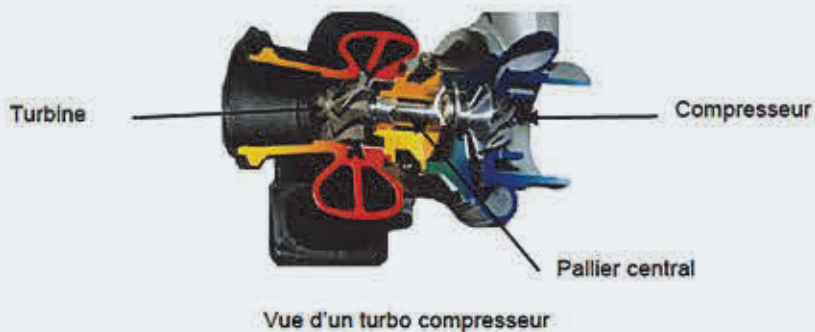
Si ce même moteur est utilisé à 1600 mètres d'altitude et par une température de +30°C, il ne développera plus qu'une puissance de 80 kW (110 ch.).

La suralimentation d'un moteur comparativement au même moteur à aspiration atmosphérique permet de :

- Diminuer la consommation spécifique par une combustion plus complète.
- Améliorer la puissance du moteur.
- Compenser, en altitude, la diminution de la densité de l'air, pour conserver au moteur ses performances.

3.13.2. LA SURALIMENTATION PAR TURBOCOMPRESSEUR SUR GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Cette suralimentation est réalisée grâce à un dispositif appelé turbocompresseur composé d'un compresseur, d'une turbine et d'un palier central.



Vue d'un turbo compresseur

Le compresseur fonctionne comme une pompe centrifuge : sous l'effet de la force centrifuge due à la vitesse de rotation, l'air est chassé vers la périphérie de la roue, ce qui crée une différence de pression entre le centre et la périphérie.

Ces compresseurs nécessitent des vitesses de rotations très importantes pour fournir les débits et pressions désirés (de l'ordre de 100000 tr/mn), qui puise l'air dans l'atmosphère et qui le comprime de façon à gaver le moteur d'air pour lui permettre de brûler plus de gazole par cycle.

Les gaz d'échappement sont chauds et sous pression. Ils possèdent encore de l'énergie. Ces gaz peuvent entraîner une turbine pouvant à son tour faire tourner un compresseur.

Quand le moteur fonctionne, il émet une certaine quantité de gaz brûlés qui sont à hautes températures et sous pression. Ce flux de gaz d'échappement entraîne la roue de turbine.

Le mouvement de la turbine est communiqué directement à la roue du compresseur par leur axe de liaison. Le compresseur alimente ainsi le moteur en air sous pression.

3.13.3. LE REFROIDISSEMENT DE L'AIR DE SURALIMENTATION «INTERCOOLER»

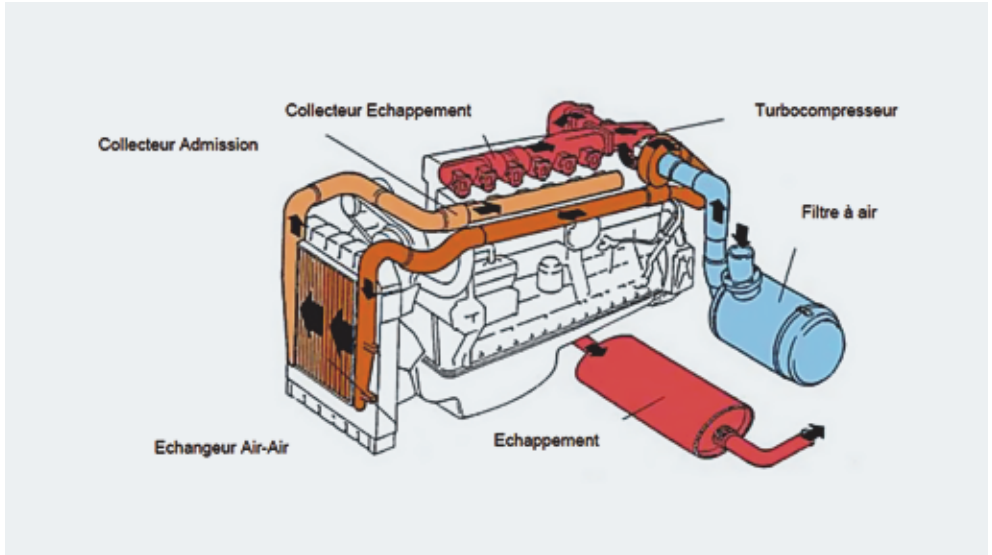
Une forte pression de suralimentation signifie une compression importante de l'air. Il en résulte une élévation de la température d'admission qui aura pour conséquences :

- Une élévation du niveau thermique du moteur.
- Une augmentation moins qu'on le souhaiterait le taux de suralimentation.

En cas de suralimentation importante, il est nécessaire de prévoir un refroidissement de l'air d'admission.

L'échangeur d'air a pour rôle de ramener la Température de l'air comprimé de 140 °C aux environs de 45 °C. Ainsi, la présence de l'air refroidi permet :

- D'augmenter la masse d'air introduite dans le cylindre.
- D'abaisser le niveau thermique du moteur.
- De réduire les sollicitations sur les organes mécaniques.
- De baisser la consommation spécifique.
- De diminuer le taux d'oxyde d'azote à l'échappement.



3.13.4. AMÉLIORATION DES PERFORMANCES D'UN TURBOCOMPRESSEUR

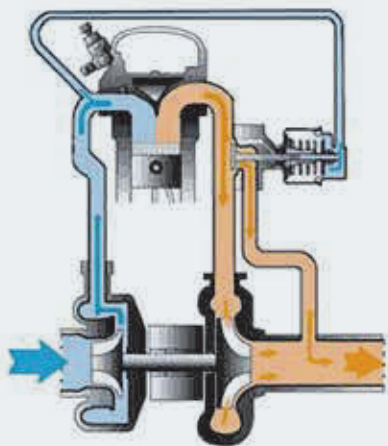
Dans son fonctionnement, le turbocompresseur présente deux soucis majeurs :

- Lorsque le moteur tourne à régime élevé, la vitesse de rotation du turbo augmente plus que nécessaire ce qui, si on laissait la situation en l'état, finirait soit par détériorer le moteur soit le turbo (pression de suralimentation trop importante).
- A contrario, à bas régime, le régime de rotation du turbo n'est pas suffisant pour assurer des performances immédiates, c'est le fameux temps de réponse du turbo.

Pour répondre à ces deux soucis, deux solutions ont principalement été envisagées :

3.13.4.1. LIMITATION DE LA PRESSION DE SURALIMENTATION

A partir d'une certaine pression, on va dévier une partie du flux des gaz d'échappement qui ne transiteront plus par le turbo, le régime de rotation du turbo va donc être limité et la pression maintenue dans des limites acceptables.



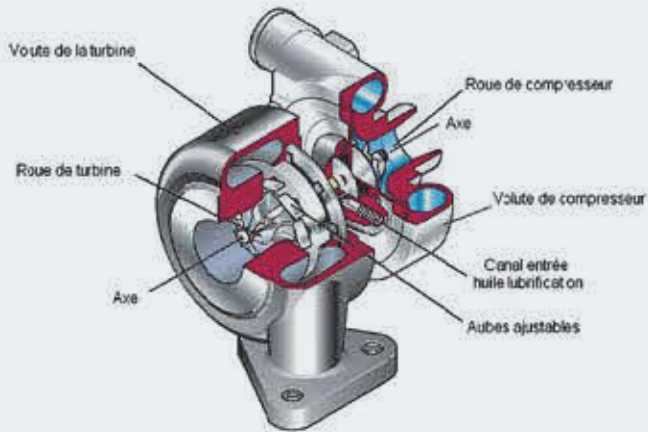
La canalisation d'échappement comporte, en amont de la turbine, un circuit de dérivation commandé par une soupape. Cette soupape est reliée à une membrane qui est soumise aux effets opposés de la pression délivrée par le turbo et d'un ressort dont le tarage correspond à la suralimentation maximale prévue. Dès que les conditions de fonctionnement entraînent la présence d'une pression de suralimentation supérieure à la pression maximale admissible, le ressort s'affaisse entraînant l'ouverture de la soupape : une partie des gaz d'échappement ne transite plus par la turbine.

Cette solution ne résout cependant pas le problème de la réponse à bas régime.

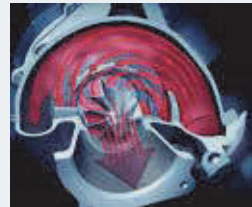
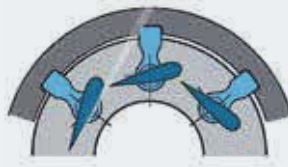
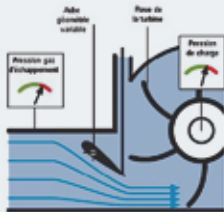
3.13.4.2. LE TURBO À GÉOMÉTRIE VARIABLE

Pour résoudre le second problème on peut évidemment opter pour un turbo de plus petite taille qui grâce à cette taille moindre sera plus prompt à répondre dès les bas régimes, cela représente cependant l'inconvénient de réduire le passage des gaz d'échappement et comme il manquera de débit à haut régime, ce petit turbo ne pourra assurer une puissance suffisante dans ces hauts régimes de rotation du moteur.

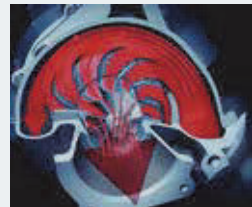
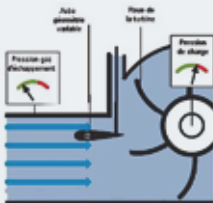
Les hauts régimes sur un véhicule diesel ne sont pas forcément ce qui est recherché, il fallait donc trouver une autre solution. On va donc faire varier le flux des gaz d'échappement au moyen d'aubes orientables et tant qu'à faire piloter ces aubes en fonction des besoins : c'est le turbo à géométrie variable. En fonction du pilotage des aubes on pourra obtenir une réponse immédiate avec peu de flux.



Vue d'un turbocompresseur à géométrie variable

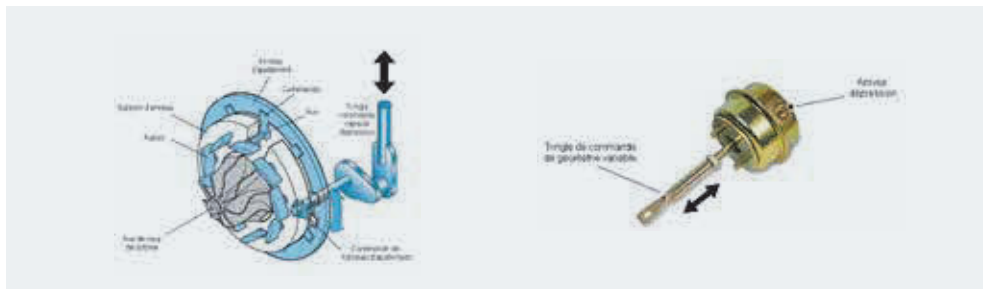


Bas régime et flux de gaz d'échappement lent, les aubes forment un angle fermé, le flux des gaz d'échappement va accélérer pour permettre une augmentation de la vitesse de rotation et une montée en pression.



La pression nécessaire est atteinte et suffisante. Les aubes forment un angle plus ouvert. C'est aussi la position de sécurité en cas de dépassement de pression.

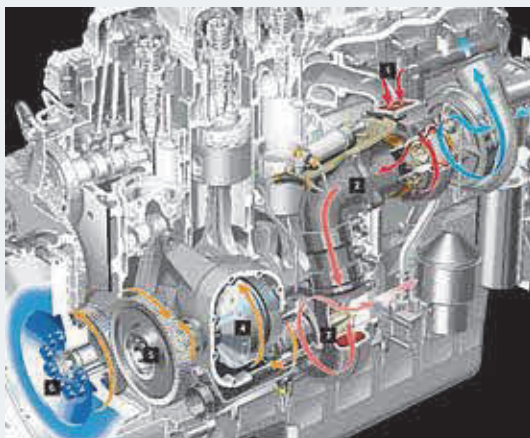
Les aubes de la géométrie variables sont actionnées par une tringle de commande actionnée par une capsule à dépression.



Le mouvement est transmis à l'anneau qui pivote. Ce dernier est relié aux aubes via une commande et un axe. Les aubes adoptent donc un angle particulier selon l'action de la dépression. La quantité de dépression est réglée par le calculateur moteur via une électrovanne de commande.

3.13.5. LE TURBO COMPOUND

Avec le principe turbo compound, il y a utilisation des gaz d'échappement (500 à 600°C à la sortie du turbocompresseur) par un turboréacteur qui transforme cette source de chaleur en énergie mécanique et transmet cette puissance directement au vilebrequin du moteur. Le système réduit la consommation de carburant d'environ 5 à 10%.



1. Entrée des gaz d'échappement en provenance du collecteur d'échappement, à une température approchant les 700°C.
2. Les gaz d'échappement sont utilisés pour entraîner le turbocompresseur conventionnel. Ces gaz d'échappement, plutôt que d'être évacués à l'atmosphère, sont ensuite dirigés vers le Turbocompound.
3. Lorsqu'ils atteignent le Turbocompound (et plus précisément la turbine), les gaz d'échappement sont toujours à température élevée (aux alentours de 600°C) ; leur énergie est utilisée pour faire tourner la turbine jusqu'à un régime de 55 000 tr/mn. Après avoir passé ce point, la température des gaz a chuté à moins de 500°C et ils sont alors évacués par un circuit d'échappement conventionnel avec silencieux.
4. et 5. Le régime de rotation de la turbine est abaissé en plusieurs étapes par l'intermédiaire d'une série de réducteurs mécaniques et d'un accouplement hydraulique. Ce dernier se charge d'équilibrer les variations entre la rotation du volant moteur et celle du Turbocompound. Au moment où la force motrice parvient au vilebrequin, le régime de rotation est parvenu aux environs de 1 900 tr/min.
6. L'énergie cinétique du volant moteur est accrue et sa rotation devient plus stable et régulière.

3.14. LA TRANSMISSION DE MOUVEMENT

3.14.1. RÔLE DE LA TRANSMISSION

La plage de régimes utiles du moteur se situe entre 1000 et 2000 tr/mn pour les gros moteurs et entre 2000 et 4000 tr/mn pour les plus petits. On utilise donc à peu près 50% de la plage totale de régimes du moteur.

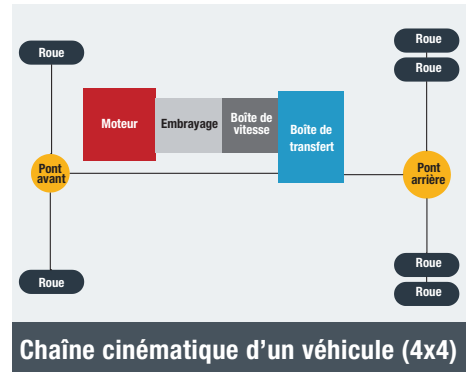
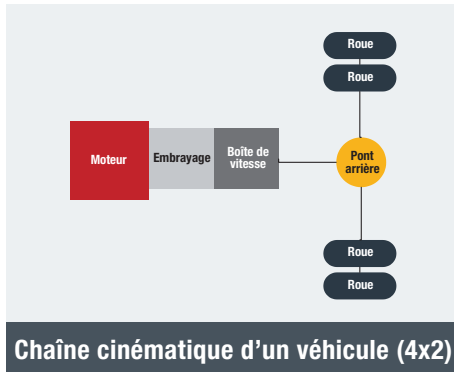
La distance parcourue par tour de roue est de 3,4 m pour les gros véhicules et de 1,7 m pour les plus petits. À 80 km/h les roues tournent à 400 tr/mn pour les gros véhicules et 800 tr/mn sur les petits soit environ 5 fois moins vite que les moteurs.

Au contraire, lors des manœuvres vers 4 km/h, la vitesse de rotation des roues est 20 fois plus faible.

Comme les vitesses extrêmes sont dans le rapport 1 à 20 et que les régimes moteurs extrêmes sont dans un rapport 1 à 2, il faudra que la transmission permette de faire varier les vitesses du moteur dans le rapport 1 à 10. C'est le rôle de la transmission et plus particulièrement celui de la boîte de vitesses.

3.14.2. CINÉMATIQUE DE LA TRANSMISSION OU CHAÎNE CINÉMATIQUE

La cinématique de la transmission dite aussi chaîne cinématique est la transmission du mouvement depuis le moteur jusqu'aux roues en passant par les différents organes.



3.14.3. L'EMBRAYAGE

3.14.3.1. RÔLE D'UN EMBRAYAGE

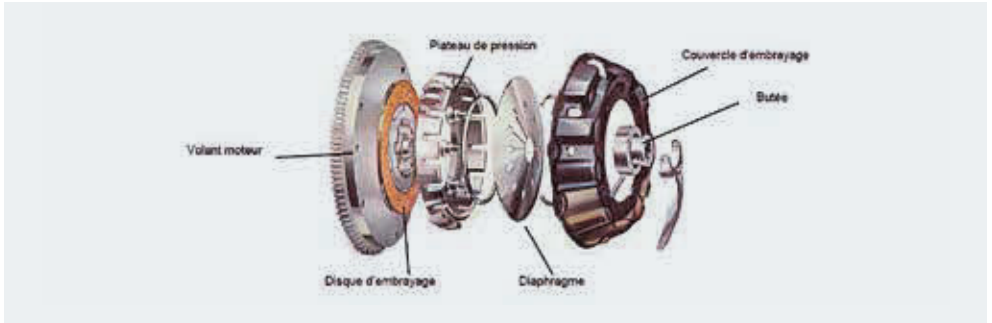
Quel que soit la disposition des organes participant à la transmission, l'embrayage est toujours situé entre le moteur et les autres éléments de la transmission.

Il permet de désaccoupler la chaîne cinématique du moteur lorsqu'on veut arrêter le véhicule et laisser tourner le moteur. Il permet aussi, par une friction progressive, de démarrer. C'est l'opération pendant laquelle les vitesses moteur et arbre entrée de boîte tendent vers une même valeur alors qu'au début du démarrage elles diffèrent de 800 à 1 500 tr/mn.

3.14.3.2. LES EMBRAYAGES MÉCANIQUES À FRICTION

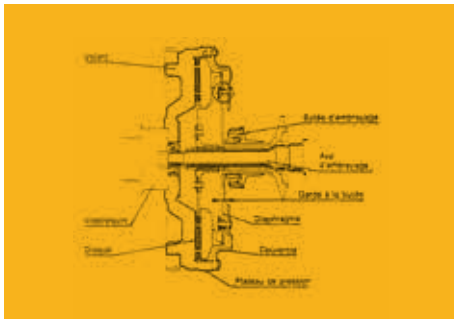
Ils sont composés d'un disque de friction, commandé par une fourchette, une tringlerie et une pédale d'embrayage. Cette commande est assistée sur les gros véhicules. Ce disque est maintenu plaqué par des ressorts, à boudins dans le type classique, à disque fléchi dans le type à diaphragme, sur le volant moteur, porté par le vilebrequin.

L'embrayage à diaphragme : Le diaphragme se présente sous la forme d'un disque conique en acier avec des fentes radiales.

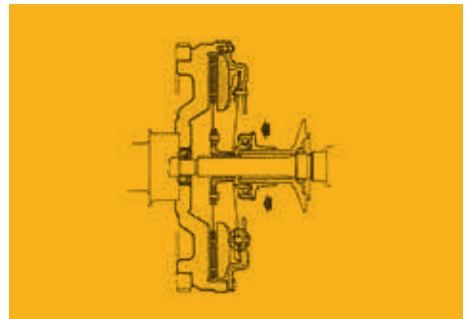


La partie active du diaphragme est comprimée entre le plateau mobile et le couvercle. Des jons maintenus en place par des rivets servent d'appui et d'articulation.

Pour débrayer, la butée agit au centre du diaphragme, sur l'extrémité des pattes formées par les fentes radiales

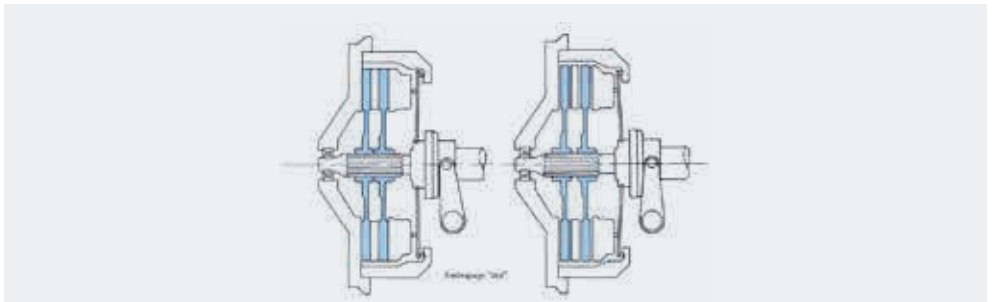


Position embrayée



Position débrayée

Il existe des embrayages monodiques ou bi disques.

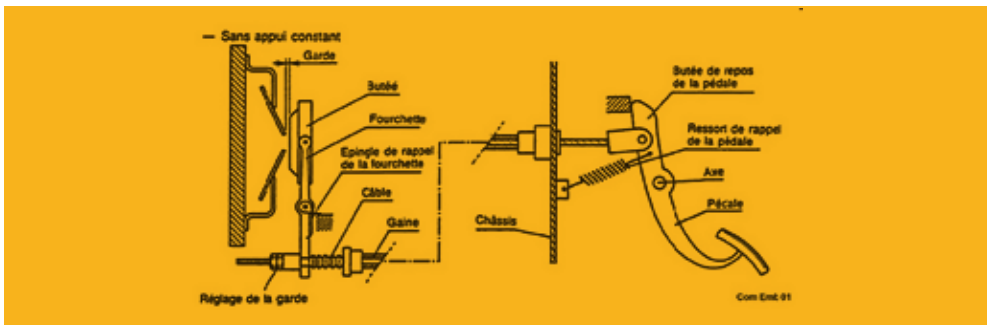


Embrayage à diaphragme tiré bi-disque

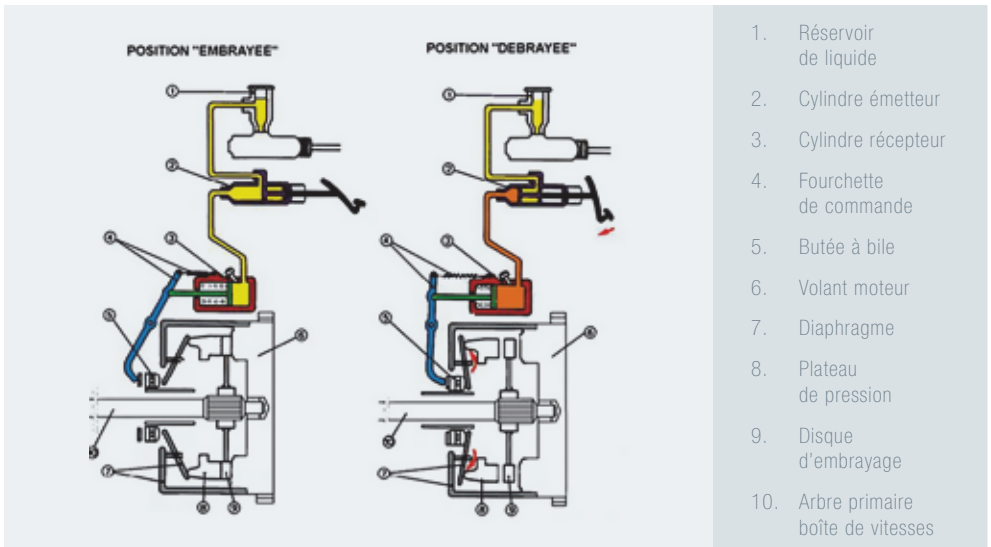
3.14.3.3. LES COMMANDES DE DÉBRAYAGE

Commande à câble : Ce type de commande d'embrayage n'est utilisé que sur certaines voitures et petits utilitaires. Il a tendance à disparaître au profit des commandes hydrauliques pour des raisons de confort du conducteur (moindre effort au débrayage). Désormais, il n'existe plus de réglage de la garde d'embrayage :

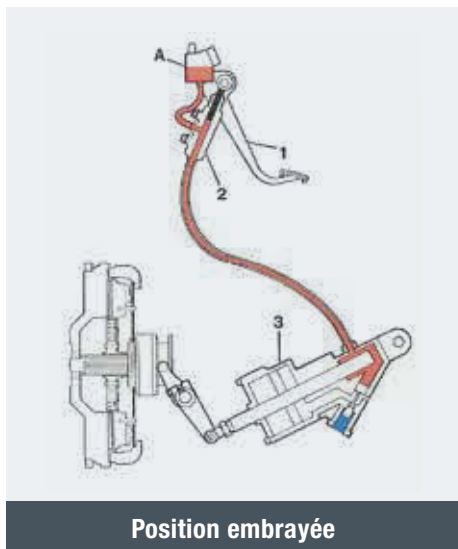
- Soit un rattrapage automatique de garde est monté sur le véhicule.
- Soit le système est conçu pour un appui constant de la butée sans garde.



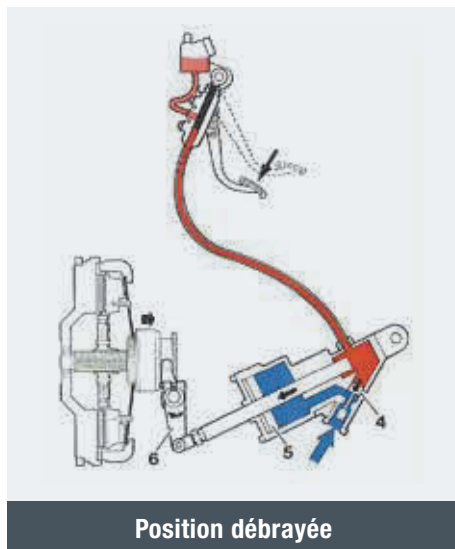
Commande à circuit hydraulique : Ce système est à comparer à un système hydraulique de freinage :



Commande à assistance oléopneumatique : Sur les poids lourds la démultiplication des renvois, l'effort à exercer pour assurer le débrayage reste très important. Il est donc nécessaire d'utiliser une assistance de débrayage. L'énergie utilisée est généralement l'hydraulique et l'air comprimé.



Position embrayée



Position débrayée

En enfonçant la pédale d'embrayage, une tige de piston est repoussée dans un vérin hydraulique, le maître cylindre (2) qui est rempli de liquide hydraulique. La tige de piston agit sur un piston qui est repoussé dans le cylindre et comprime le liquide. Cette pression est transmise au vérin de commande (3). Lorsque la vanne de commande est repoussée par la pression du fluide, elle ouvre le passage à l'air comprimé au vérin de commande. Un piston pneumatique (5) est alors repoussé vers l'avant. La tige de piston transmet le déplacement à un levier (6).

3.14.3.4. LES EMBRAYAGES HYDRAULIQUES OU COUPLEURS HYDRAULIQUES

Ils sont constitués de deux roues à aubes dans un carter contenant de l'huile. Une première roue, dite pompe est fixée au vilebrequin. L'autre qui lui fait face est montée sur l'arbre d'entrée de boîte de vitesses. Elle est dite turbine.

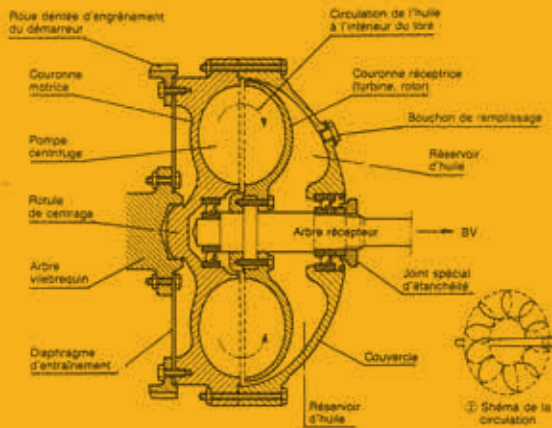


Schéma d'un embrayage hydraulique

Lorsque l'aubage moteur prend de la vitesse, la force centrifuge chasse l'huile à la périphérie ; elle est projetée contre les cloisonnements de l'aubage récepteur.

Lorsque la force de projection de l'huile devient suffisante pour vaincre les résistances de démarrage, le véhicule se met en mouvement.

L'aubage récepteur a tendance de son côté à projeter l'huile à sa périphérie de sorte que la vitesse des deux couronnes devient égale par suite de réduction de l'effort moteur, par exemple, le fluide s'immobilise complètement sous forme d'anneaux fluides n'ayant aucun mouvement relatif par rapport à l'ensemble.

Si la vitesse du moteur décroît plus vite que celle de l'aubage récepteur lié à la transmission, c'est lui qui devient moteur en projetant l'huile dans l'aube menante, le sens de la circulation d'huile est inversé, le véhicule entraîné le moteur (réversibilité de l'appareil, frein moteur).

Si en marche normale le couple résistant augmente, le glissement de l'aubage récepteur par rapport à l'aubage moteur augmente également, le courant d'huile s'intensifie ce qui augmente la force centrifuge qui va venir s'opposer à la diminution de la vitesse.

Malheureusement tout glissement se transforme en chaleur perdue et l'énergie restituée est inférieure à l'énergie fournie. C'est pourquoi ce genre d'embrayage est générateur de consommation supplémentaire de combustible.

3.14.4. LA BOÎTE DE VITESSES

3.14.4.1. RÔLE DE LA BOÎTE DE VITESSES

La boîte de vitesses a pour rôles de :

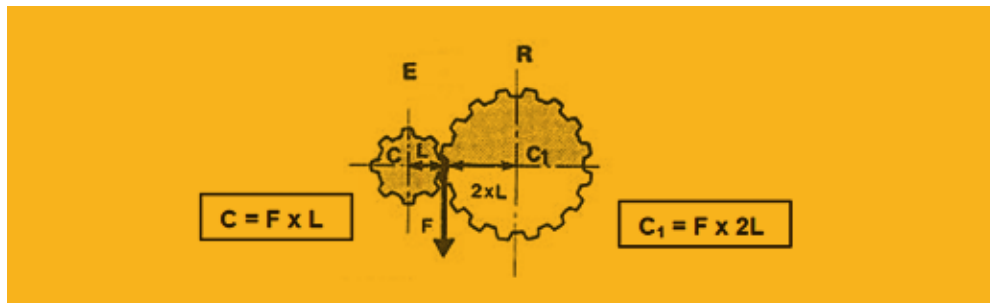
- Permettre de choisir différents rapports de démultiplication en fonction de l'effort résistant.
- Inverser le sens de rotation de la transmission (marche arrière).
- Désaccoupler la transmission du moteur sans qu'il ne soit nécessaire de maintenir l'embrayage ouvert (point mort).

La boîte de vitesse est un transformateur de vitesse et de couple.

3.14.4.2. LA BOÎTE DE VITESSE À ENGRENAGE

3.14.4.2.1. MULTIPLICATION DU COUPLE ET DE LA VITESSE DE ROTATION DES PIGNONS

Considérons deux pignons : Le premier de rayon L possède 8 dents. Ce pignon est en prise avec le second pignon de rayon deux fois plus grand soit $2L$ et possédant deux fois plus de dents. Nous appellerons le premier «pignon entraîneur» (E) et le second «pignon récepteur» (R).



Appliquons au pignon entraîneur, sur ses dents, et d'équerre à un rayon, une force F . Son couple sera $C = F \times L$

La force F est transmise au pignon récepteur par l'intermédiaire des dents de contact. Elle agira sur le pignon récepteur sous la forme d'un couple $C_1 = F \times 2L$

Ce qui donne $C_1 = 2C$

Pour multiplier un couple, il suffit de transposer le force F sur des pignons de rayons supérieurs.

Il y a démultiplication de la vitesse dans un rapport donné lorsque dans un engrenage le pignon entraîneur a un nombre de dents plus petit que le nombre de dents du pignon récepteur.

Il y a surmultiplication de la vitesse dans un rapport donné lorsque dans un engrenage le pignon entraîneur a un nombre de dents plus grand que le nombre de dents du pignon récepteur.

Une multiplication de couple correspond à une démultiplication de vitesse dans un même rapport et vice et versa.

La multiplication du couple s'appelle la démultiplication.

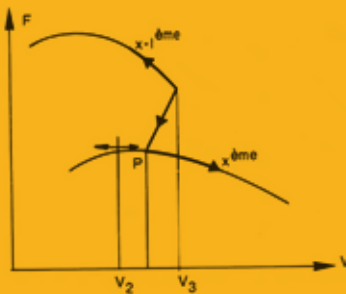
3.14.4.2.2. PARAMÈTRES DE CONCEPTION

L'ouverture de la boîte «λ» : C'est la plage balayée par les rapports extrêmes. Elle est précisée par un chiffre qui est le rapport de démultiplication de la 1^{ère} vitesse (R_1) sur la dernière vitesse de la boîte généralement une surmultiplication (R_n).

$$\lambda = \frac{R_1}{R_n}$$

La raison de la boîte «r»: C'est le rapport entre 2 combinaisons successives. Une boîte de vitesses bien étagée doit avoir une raison constante entre chaque combinaison.

Le recouvrement de la boîte de vitesses : C'est l'aptitude à faire évoluer, le régime moteur, dans une plage de couple et de rendement optimum, lors des changements de rapports.



Lorsque l'on accélère sur la vitesse X-1^{ème} jusqu'à obtenir le régime maximum, le débrayage neutralise la propulsion du véhicule et la rampe fait décroître sa vitesse. Le point P situé sur la courbe de pleine charge en X^{ème} à partir sur lequel on fera la reprise devra se situer en régime sur le point de couple maximum. Il faut donc que la vitesse max en X-1^{ème} V3 soit supérieure à la vitesse V2 obtenue au couple max en X^{ème}.

Le rapport $\frac{V_3 - V_2}{V_2}$ s'appelle le recouvrement de la boîte.

Lorsqu'il est trop grand, des rapports sont superflus et l'on perd en temps et en énergie. Lorsqu'il est trop faible, un essoufflement moteur se fait sentir (on dit qu'il y a un trou).

Ceci montre que l'accouplement moteur boîte de vitesses sur un véhicule est quelque chose de très complexe et que les performances de la boîte dépendent de celle du moteur et vice versa. L'ensemble moteur-boîte appelé groupe moto propulseur est indissociable.

3.14.4.3. TECHNOLOGIE DE LA BOÎTE DE VITESSES À ENGRENAGES

Toutes les boîtes de vitesses comportent :

- Un arbre d'entrée portant l'embrayage,
- Un carter contenant des trains de pignons,
- Un arbre de sortie accouplé à l'arbre de transmission.

Il existe de multiples types de boîtes. Nous nous limiterons ici aux technologies les plus usitées en poids lourd.

La disposition la plus classique concerne la boîte à 3 arbres : l'arbre d'entrée, celui de sortie et un arbre intermédiaire. Les deux premiers sont coaxiaux et crabotables (accouplables par crabots) entre eux.

Lorsqu'ils sont crabotés, ils tournent à la même vitesse et réalisent ainsi la «prise directe».

L'arbre intermédiaire porte des pignons clavetés qui engrènent avec des pignons montés libres sur l'arbre de sortie.

Des crabots, coulissants sur ce dernier, entraînent tel ou tel pignon libre en le solidarissant en quelque sorte avec l'arbre de sortie. Ces crabots sont translétés par des fourchettes commandées par un coulisseau lui-même manoeuvré par un levier.

La marche arrière est obtenue par l'intermédiaire d'un quatrième petit arbre inversant le sens de rotation.

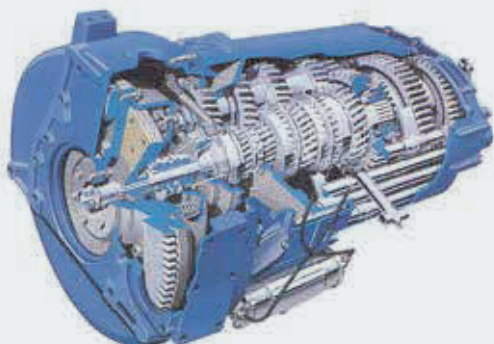
Les crabots ne s'engagent librement que si le pignon et l'arbre concernés tournent à la même vitesse. Dans le cas contraire, la boîte «grince» lors des passages de vitesses. Ces boîtes sont dites à crabots. Pour éviter cet inconvénient on peut :

- Soit faire l'opération dite de double débrayage pour relancer les arbres d'entrée et secondaire,
- Soit disposer en lieu et place des crabots des dispositifs permettant, par friction, de lancer le pignon au synchronisme de rotation avec l'arbre avant de le craboter. De telles boîtes sont dites **synchronisées**.

Toutes ces boîtes comportent, en général 4, 5 ou 6 rapports plus la marche arrière.

Pour augmenter le nombre de combinaisons sans augmenter trop l'encombrement (le poids et le prix) de la boîte, on double généralement le nombre de ses rapports en disposant, sur l'arbre d'entrée ou sur l'arbre de sortie, quelquefois sur les deux, un démultiplicateur à un seul étage dit relais.

Il est généralement du type épicycloïdal et permet, suivant qu'il est engagé ou non une réduction de 1 ou de 2. Ainsi la gamme de rapports de boîte se trouve doublée. Une boîte 4 vitesses + relais donnera 8 combinaisons, une de 6 vitesses + relais donnera 12 combinaisons et une 4 vitesses + relais avant + relais arrière donnera 16 combinaisons.



Le relais et la boîte proprement dite sont contenus dans le même carter.

La figure ci-contre montre une vue éclatée d'une boîte à 5 rapports et d'un relais, l'ensemble offrant 10 combinaisons toutes synchronisées. Le relais est également synchronisé avec présélection électro -pneumatique.

L'ouverture de cette boîte est de 12,5. A titre d'exemple, les différents rapports et raisons sont les suivants :

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_v	9,59	7,36	5,25	4,03	3,05	2,34	1,72	1,32	1	0,77
r		0,77	0,71	0,77	0,76	0,77	0,74	0,77	0,76	0,77

Le relais double également la marche arrière, fournissant les rapports 8,88 et 6,83 ($r = 0,77$).

La commande de telles boîtes de vitesses est soit :

- Manuelle directe, le levier étant sur la boîte,
- Manuelle indirecte, une timonerie commandant le levier,
- Asservie au moyen d'un vérin pneumatique,
- Automatique, le passage des vitesses étant déterminé par un système électronique qui reçoit des informations sur l'état de fonctionnement du moteur et l'allure de marche du véhicule.

A noter également que certaines boîtes sont dotées d'une première dite lente dont le rapport n'est pas lié à celui des autres combinaisons par la même raison. En d'autres termes, cette première ne «recouvre» pas d'autre rapport. Ces autres rapports sont calculés pour :

- Obtenir une ouverture permettant de satisfaire aux exigences de pente maxi gravie et de vitesse maximale,
- Assurer un recouvrement convenable.

Or il se peut que ces prescriptions conduisent, au régime stable de ralenti, à une vitesse trop importante pour effectuer des manoeuvres délicates. On cherche donc à obtenir, au moyen d'une vitesse dite lente, une vitesse de manoeuvre de l'ordre de 3 à 4 km/h.

3.14.5. L'ARBRE DE TRANSMISSION

C'est un tube qui transmet le couple de sortie de la boîte de vitesses au pont arrière (et au pont avant dans le cas d'un 4x4).

Le moteur étant fixé sur le châssis et le pont arrière pouvant se déplacer par rapport à ce dernier (grâce à la suspension), l'arbre de transmission doit être déformable dans le plan vertical.



Il porte un joint déformable à ses deux extrémités, du genre joint de cardan ou à croisillon. De plus, le débattement du pont modifie la distance entre les deux extrémités de l'arbre de transmission. Celui-ci est donc télescopique, avec glissement permis par un ensemble de rainures coulissantes.

Les joints de cardan ne peuvent transmettre tout le couple de propulsion que sous un angle α de déformation limitée. C'est pourquoi, sur les véhicules les plus courts se pose un problème d'empattement minimum.

Sur les châssis très longs, il est nécessaire de disposer plusieurs arbres les uns derrière les autres, soutenus par des relais (paliers fixés au cadre châssis).

3.14.6. LES PONTS MOTEURS

On appelle pont un essieu qui reçoit le mouvement de la transmission et le transmet aux roues qui sont alors dites motrices.

Le pont moteur est à l'arrière sur un 4 x 2 (d'où son appellation de pont arrière). Il est à l'arrière et double dans le cas d'un 6 x 4 et on dit alors pont tandem. Enfin, un autre pont sur l'essieu avant permet à toutes les roues d'être motrices sur un 4 x 4 et un 6 x 6.



4x2



4x4



6x4

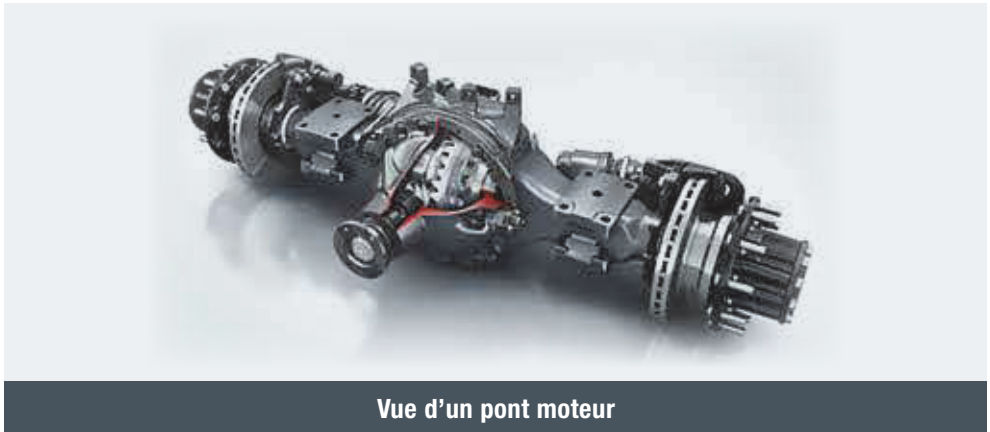


6x6

Lorsque les roues ne sont pas indépendantes mais portées par un essieu rigide, cet essieu, creux pour permettre le passage des arbres de roues est appelé poutre de pont.

A sa partie centrale, il forme une cavité contenant la mécanique de pont appelée cuve de pont.

Les parties extrêmes qui portent les roues et contiennent les freins s'appellent des moyeux de roue.



Vue d'un pont moteur

La cuve de pont porte un arbre d'entrée, accouplé par un plateau à l'arbre de transmission et terminé par un pignon conique dit pignon d'attaque. Celui-ci engrène avec une roue dentée, à 90° , dite couronne de pont. On exprime la démultiplication R_p du pont par le rapport du nombre de dents de la couronne à celui du pignon d'attaque. Le pont est généralement caractérisé par l'inverse de R_p et on parle d'un 16×41 qui signifie pignon de 16 dents sur couronne de 41 dents dont le rapport est : $41/16 = 2,56$

Ce rapport peut être augmenté :

- Soit en réduisant le nombre de dents du pignon mais il n'est pas possible, pour des raisons de solidité, de descendre au-dessous de 6 dents,
- Soit en augmentant le nombre de dents de la couronne, donc aussi son diamètre et la dimension de la cuve de pont. On est limité ici par la garde au sol, distance libre entre la cuve de pont et le sol,
- Soit en utilisant un deuxième étage de démultiplication.

C'est cette dernière possibilité qui est utilisée dans les ponts à réducteur dans les moyeux. Ceux-ci sont composés d'un train de pignons épicycloïdaux donnant une réduction telle que :

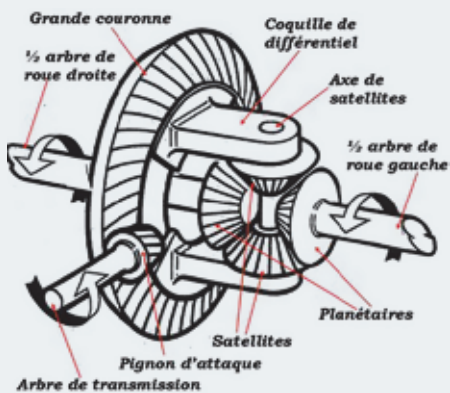
$$R_p = \text{réduction mécanique centrale} \times \text{réduction de moyeux.}$$

Cette dernière est souvent de 2 et ainsi, pour reprendre l'exemple précédent, on parlera d'un pont .16 x 41 x 1/2 dont le rapport est : $(41 \times 2) / 16 = 5,12$

Lorsqu'on a un pont tandem, le premier pont est dit pont milieu et le second pont arrière. Ils sont reliés entre eux par un arbre de transmission court et leurs démultiplications sont évidemment les mêmes.

Tous les ponts comportent dans leur cuve un dispositif dit **différentiel**. Son but est de permettre de transmettre le mouvement aux roues à des vitesses différentes. En effet, en virage, les trajectoires des roues n'étant pas les mêmes, elles tournent à des vitesses différentes.

Principe du différentiel :

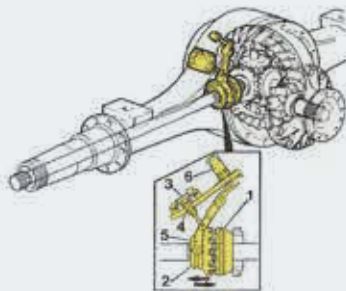


Le pignon d'attaque engrène sur la couronne solidaire d'un arbre de roue droite et porte 4 axes autour desquels peuvent tourner les pignons coniques appelés satellites.

Les satellites engrènent avec 2 pignons appelés planétaires. L'un de ceux-ci est fixé sur la couronne, l'autre sur le second arbre de roue gauche.

Si les satellites ne tournent pas, on voit que les 2 planétaires tournent à la même vitesse. Donc, les arbres de roues droite et gauche tournent aussi à la même vitesse : c'est le fonctionnement en ligne droite.

En virage, la vitesse de la roue droite est différente de celle de la roue gauche, donc, les 2 planétaires ne tournent pas à la même vitesse. Cela est possible grâce à la rotation des satellites sur leur axe.



Blocage du différentiel : Si une roue perd totalement son adhérence au sol (roue embourbée ou délestée) elle tourne dans le vide et l'autre ne reçoit pas d'effort moteur du fait de l'action du différentiel.

En conséquence soit le véhicule sera immobilisé, soit il subira une forte perte de motricité.

On équipera le différentiel d'un système de crabotage annulant l'effet de celui-ci.



3.14.7. LES PNEUMATIQUES

3.14.7.1. RÔLES

Produit complexe de haute technologie, le pneumatique constitue le seul point de liaison du véhicule avec le sol. C'est ce contact qui permet aux pneumatiques de remplir ses multiples fonctions. En effet, d'un pneu, nous attendons :

- Le support de la charge et l'amortissement des chocs,
- Une bonne capacité de traction et de freinage,
- Une bonne tenue de route et de virage,
- Une contribution à la stabilité dimensionnelle,
- Une faible consommation d'énergie,
- Un fonctionnement silencieux, sûr et en douceur,
- Un service de dizaines de milliers de kilomètres.

Pour exploiter au mieux toutes les qualités des pneumatiques, il est donc indispensable de prendre certaines précautions qui permettront d'obtenir non seulement le meilleur rendement possible des pneumatiques, mais surtout un usage en toute sécurité.

3.14.7.2. LA MORPHOLOGIE ET LES CÔTES D'ENCOMBREMENT D'UN PNEUMATIQUE

Les principales parties constituant un pneumatique sont les suivantes :

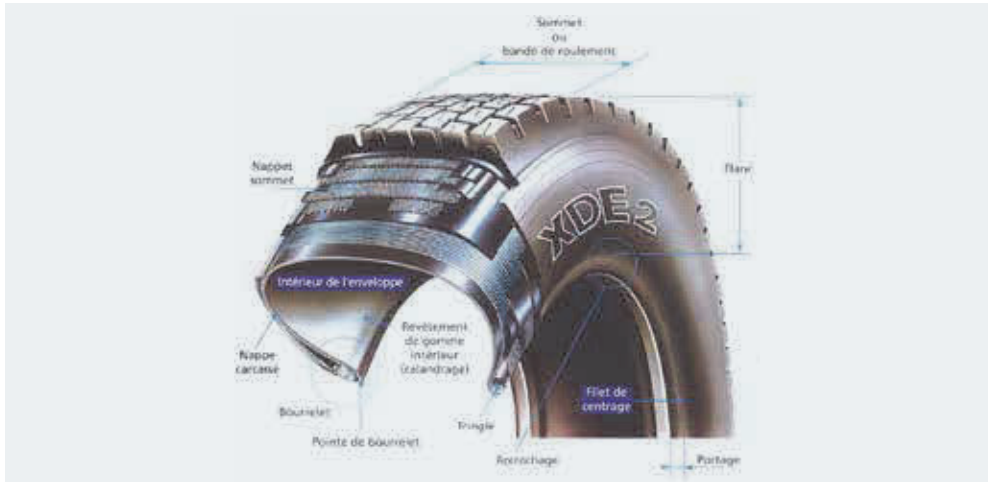
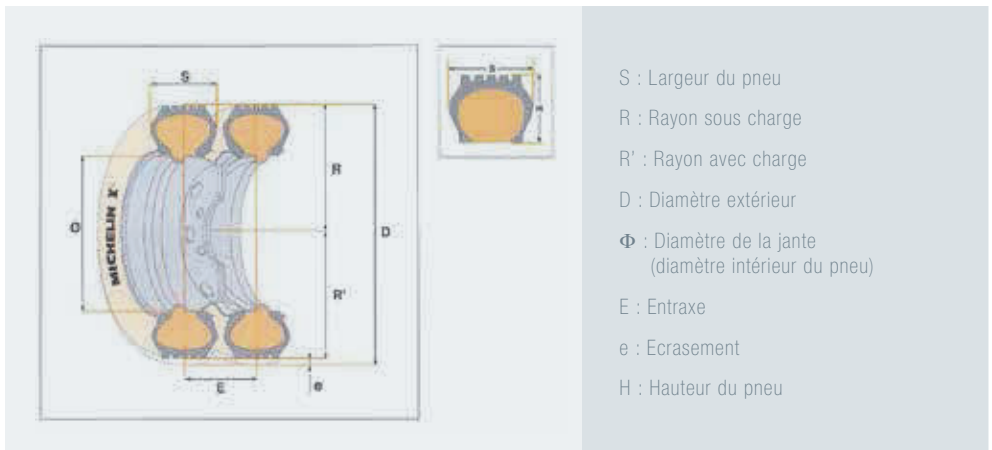


Schéma des principales parties d'une enveloppe



Les cotes d'encombrement d'un pneumatique

3.14.7.3. CONSTRUCTIONS DE PNEUS

Les pneus de poids lourds actuels existent en deux constructions, diagonale ou radiale :



La carcasse est composée de plusieurs nappes disposées les unes par-dessus les autres.

Le démonté n'est pas stabilisé.

La bande de roulement est stabilisée des flancs.

Contraire le gros poids, les flancs des pneus sont exposés à la bande de roulement en roulant.

Une déformation du flanc provoque le contact avec le sol.

Les nappes et la carcasse ont tendance à se déplacer les unes par rapport à l'autre.

Inconvénients :

- une usure plus rapide,
- une moindre adhérence,
- une consommation de carburant plus élevée.

Construction diagonale

Les câbles d'une carcasse à plis croisés vont en diagonale d'un talon à l'autre. Les plis se croisent successivement selon des directions alternées. Ce type de pneu peut également présenter des plis étroits, ou nappes de protection, formant un genre de ceinture sous la bande de roulement. Les câbles de ces nappes de protection sont également disposés en diagonales par rapport aux talons.



Le démonté est stabilisé par une ceinture composée de plusieurs nappes.

La carcasse est composée d'une seule nappe radiale en câbles d'acier avec perforles flancs.

Chaque partie du pneu, flanc et bande de roulement, travaille de façon indépendante.

Les flancs du pneu sont plus souples et la bande de roulement, d'être stabilisée des perforles de la surface de contact avec le sol, réduisant les frottements, et est de 17 mm plus de hauteur en moyenne que celle de la carcasse.

Avantages :

- représentation de la résistance à l'usure,
- amélioration de l'adhérence : plus de moirures, flancs et déformés une fois l'usure est faite,
- diminution de la consommation d'énergie par moins de résistance au roulement, et ainsi,
- renforcement de la résistance aux perforations.

Construction radiale

Les câbles des nappes de base d'une carcasse radiale vont perpendiculairement d'un talon à l'autre. Cette construction donne plus de flexibilité aux flancs de la carcasse. En outre, des nappes de ceinture entourent le pneu sous la bande de roulement. Ces ceintures (il peut y avoir trois ou quatre) resserrent les nappes radiales et confèrent au pneu une résistance et une solidité supplémentaires.

La construction radiale donne au pneu deux qualités essentielles, la flexibilité et la robustesse. De cette combinaison découlent de nombreux avantages :

- Plus grande durée de vie de la bande de roulement : la flexibilité des flancs permet à la bande de rester collée à la route, maintenue à plat par les ceintures, ce qui réduit l'usure.
- Diminution de la consommation de carburant: la plus grande flexibilité des nappes radiales offre moins de résistance au roulement que des plis croisés, plus rigides.

- Augmentation de la charge: la construction radiale est plus robuste et peut supporter des charges plus élevées.
- Réductions des immobilisations: les ceintures des pneus radiaux offrent une meilleure protection contre les crevaisons.
- Confort et meilleures performances: Les flancs plus flexibles et les ceintures robustes donnent une meilleure adhérence et donc une meilleure traction. La flexibilité des flancs donne une course plus confortable.

Plus important peut être que tous ces avantages sur le plan économique, les carcasses radiales ont une plus longue durée de vie. Les plis radiaux s'échauffent moins que les plis croisés, or la chaleur affecte la durée de vie des pneus. Une carcasse radiale offre donc un meilleur potentiel de rechapege et un plus grand kilométrage qu'un pneu à plis croisés.

3.14.7.4. LES INSCRIPTIONS D'UN PNEU

En plus du marquage à caractère commercial (Marque et type) d'autres inscriptions doivent figurer sur le flanc du pneumatique.

Exemple : 285/60 R 22.5 154/150 L TUBELESS

Les marquages obligatoires

285	Largeur en millimètres (mm) de la section du pneu (de flanc à flanc). Ici, le pneu fait 281 mm de large
60	Série du pneu. C'est la hauteur du flanc du pneu exprimé en % de la largeur de section du pneu. La hauteur du flanc est, ici, égale à 60 % de 285 mm soit environ 171 mm.
R ou RADIAL Pas d'indication ou D	La lettre «R» et facultativement le mot «RADIAL» pour les pneumatiques à structure radiale. Pas d'indication ou la lettre «D» pour les pneumatiques à structure diagonale
22.5	Diamètre nominal de la jante = Diamètre intérieur en pouces du pneu (1 pouce = 25,4 mm). Ici, le diamètre intérieur du pneu est donc de 571,5 mm. Attention, le diamètre de la jante sur laquelle le pneu est monté doit être toujours le même que le diamètre intérieur du pneu.

150/154	<p>Ces nombres sont très importants, ils indiquent la charge maximale que peut supporter le pneu à la pression nominale. Ces sont les indices de charge du pneu.</p> <p>Le premier nombre indique la charge maximum que peut supporter le pneu, monté en simple, sur un côté du véhicule. Ici, 154 correspond à 3750 kg soit 7500 kg à l'essieu.</p> <p>Le second nombre indique la charge maximum que peut supporter le pneu, monté en jumelé, sur un côté du véhicule. Ici, 150 correspond à 3350 kg soit 13400 kg à l'essieu.</p>
L	<p>Code de vitesse du pneu. C'est la vitesse maximale à laquelle le pneu peut rouler sans dommage. Ici, L = 120 km/h</p>
TUBELESS	<p>Ce pneu est dit TUBELESS ou à chambre incorporée. Doit donc se monter impérativement sans chambre à air. Attention, vérifiez que la jante est également Tubeless.</p>
E725 03-00 2	<p>Correspond au numéro d'homologation du pneumatique accordé par un pays signataire du règlement international UNECE R. 54. Cette marque d'homologation se compose :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de la lettre « E » suivie du ou des chiffres distinctifs de l'Etat membre ayant accordé la réception (2 pour la France par exemple) • du numéro d'homologation, précédé des chiffres « 00 » pour les pneumatiques neufs pour véhicules utilitaires et « 109R-00 » pour les pneumatiques rechapés pour véhicules utilitaires
e-03456 00 4s	<p>Correspond au numéro d'homologation du pneumatique traduisant la conformité à la réglementation sur le bruit des pneus (Directive européenne n° 2001/43).</p> <p>Le chiffre suivant la lettre « e » indique le pays l'ayant attribué ; ici, ce sont les autorités néerlandaises</p>

IV

BESOINS DE PUISSANCE ET ACTIONS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE



4.1. BESOINS DE PUISSANCE À LA ROUE ET FORCES RÉSISTIVES

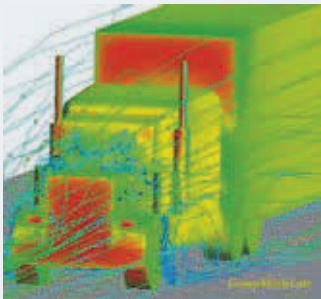
La puissance à fournir à la roue P_r peut varier à chaque instant. Elle est égale au produit de la résultante F des forces appliquées au véhicule et s'opposant à son avancement par la vitesse du véhicule.

$$P_r = F.V$$

Ces forces résistives dépendent de paramètres relatifs :

- À l'environnement dans lequel évolue le véhicule (route et atmosphère),
- À l'interaction du véhicule avec l'environnement (caractéristiques du véhicule),
- À la cinématique du véhicule.

4.1.1. LA RÉSISTANCE AÉRODYNAMIQUE



La résistance aérodynamique a deux origines :

- Les frottements de l'air sur les parois du véhicule et au travers du véhicule,
- La création de zones de pression et de dépression associées à des zones tourbillonnaires; en particulier, la partie avant du véhicule est dans une zone de pression et la partie arrière dans une zone de dépression, ce qui donne naissance à une force de pression s'opposant à l'avancement du véhicule.



La résistance aérodynamique F_A s'exprime sous la forme :

Avec :

ρ : Masse volumique de l'air en kg/m^3
(1,2 à 20°C et à la $P_{\text{atmosphérique}}$ de 1 atmosphère).

S : Surface frontale du véhicule ou maître couple en m^2 .

C_x : Coefficient de trainée aérodynamique.

V_a : Vitesse de l'air par rapport au véhicule en m/s

$$F_A = 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V_a^2$$

4.1.2. RÉSISTANCE AU ROULEMENT

La résistance au roulement des pneumatiques provient :

- Des frottements dans le contact pneumatique-chaussée,
- Des pertes d'énergie liées aux déformations des pneus.

Les frottements dépendent naturellement des caractéristiques du couple pneumatique-chaussée, donc du matériau constituant le pneumatique et de celui de la chaussée.

Les déformations du pneumatique dépendent :

- De sa structure,
- De la charge qu'il supporte,
- De sa pression de gonflage.

En fait les phénomènes qui interviennent sont complexes et mal connus et on se réfère à des mesures expérimentales. Il est commode de rapporter la force de résistance au roulement F_R à la masse du véhicule ce qui donne le coefficient R de résistance au roulement :

Avec :

R : Coefficient de résistance au roulement (kg/Tonne)

M : Masse du véhicule en Tonne

g : Attraction de la pesanteur égale à $9,81 \text{ m/s}^2$

Le coefficient de résistance au roulement R dépend de la charge supporté par les roues, de la pression de gonflage et de la vitesse du véhicule.



$$F_R = R \cdot M \cdot g$$

4.1.3. LES FORCES DE MASSE

Les forces de masse sont au nombre de deux :

a) La force de gravité :

$$F_G = M \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Avec

M : Masse du véhicule en Kg

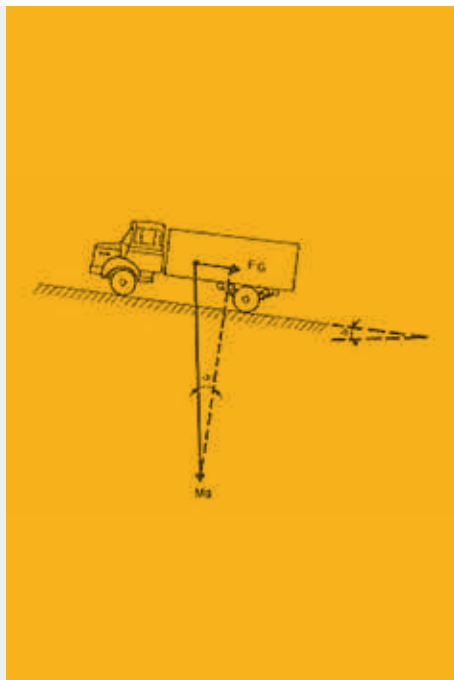
g : Attraction de la pesanteur égale à 9,81 m/s²

α : Inclinaison sur l'horizontale

$$\sin \alpha = \frac{p}{100}$$

Où p est la pente exprimée en pourcentage

$$F_G = M \cdot g \cdot \frac{p}{100}$$



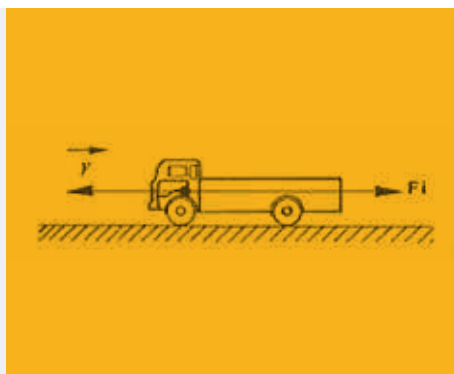
b) La force d'inertie :

$$F_G = F_i = M \cdot \gamma$$

Avec

M : Masse du véhicule en Kg

γ : Accélération en m/s²



4.1.4. RÉSUMÉ DES FORCES RÉSISTIVES ET PUISSANCE À FOURNIR PAR LE MOTEUR

Aérodynamique	: $F_A = 0,6 \cdot S \cdot C_x \cdot V_a^2$	(avec $\rho=1,2$)
Roulement	: $F_R = R \cdot M \cdot g$	
Gravité	: $F_G = M \cdot g \cdot \sin \alpha$	
Inertie	: $F_I = M \cdot \gamma$	

Le total des forces F est :

$$F = M \cdot g \left(R + \frac{p}{100} + \frac{\gamma}{g} \right) + 0,6 S \cdot C_x \cdot V_a^2$$

Le moteur doit fournir une puissance supérieure à P_r car il y a des pertes dans la transmission.

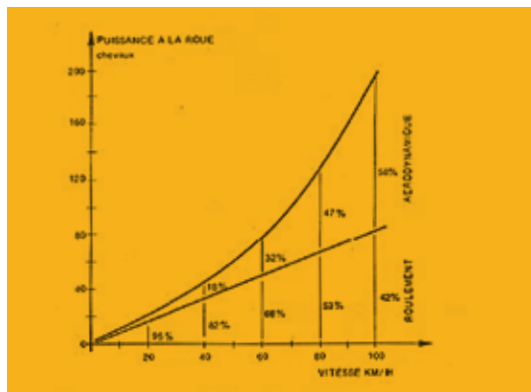
Si η est le rendement de la transmission, la puissance sur l'arbre moteur est :

$$P_{\text{Moteur}} = \frac{1}{\eta} \left[M \cdot g \left(R + \frac{p}{100} + \frac{\gamma}{g} \right) + 0,6 S \cdot C_x \cdot V_a^2 \right] V$$

Ainsi sur sol plat ($\rho=0$), en l'absence de vent ($V_a=V$) et à vitesse constante ($\gamma = 0$), la puissance sur l'arbre moteur est :

$$P_{\text{Moteur}} = \frac{1}{\eta} \left[M \cdot g \cdot R + 0,6 S \cdot C_x \cdot V^2 \right] V$$

Dans ce cas la puissance est fournie à la roue pour vaincre seulement deux forces : La résistance au roulement et la résistance aérodynamique



Variation de la puissance en fonction de la vitesse du véhicule et la part prise par la résistance au roulement et la résistance aérodynamique pour un poids lourd/

$M = 38$ tonnes
 $R = 0,006$ (6 kg/tonne)
 $C_x = 0,75$
 $S = 9$ m²

4.2. LES ACTIONS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

L'analyse des différents termes de F permet d'identifier les actions à envisager afin de réduire la consommation d'énergie d'un véhicule. Nous pouvons déjà constater que :

- Certaines actions interviennent directement à la conception et à la fabrication du véhicule et concernent de ce fait le constructeur (amélioration des performances du moteur, réduction de la masse, amélioration de l'aérodynamique etc.).
- D'autres interviennent sur la façon dont le véhicule est utilisé et concernent de ce fait l'exploitant (vitesse, maintenance, style de conduite etc.).

La consommation de carburant d'un véhicule est la résultante d'une multitude de facteurs et paramètres qui peuvent influencer d'une manière ou d'une autre, dans un sens positif ou négatif :

- la motorisation (puissance et âge du moteur) ;
- la masse du véhicule et de sa remorque ;
- les normes de pollution ;
- les charges transportées ;
- la vitesse moyenne du véhicule ;
- l'équipement du véhicule (aérodynamique, silhouette...) ;
- l'entretien du véhicule ;
- les pneumatiques (type, pression et état des pneus) ;
- les accessoires (climatisation, réfrigérateur...) ;
- le style de conduite du chauffeur ;

- les conditions climatiques (pluie, vent, froid, chaleur...) ;
- le profil du parcours ;
- les conditions de trafic.

Pour maîtriser l'ensemble de ces paramètres et dans le but de mettre en place un programme d'économie d'énergie, il est possible de regrouper ces paramètres autour de quatre axes :

- Le suivi rigoureux des consommations et des performances du parc.
- Le choix des véhicules énergétiquement performants et l'optimisation de leurs utilisations.
- La réalisation d'une maintenance efficace.
- La gestion des ressources humaines et plus particulièrement la formation

LE SUIVI RIGOUREUX DES COÛTS ET DES PERFORMANCES DU PARC



5.1. LA DÉMARCHÉ VERS LA GESTION D'UN PARC DE VÉHICULES :

Le parc de véhicules est l'outil de production des entreprises de transport routier. A ce titre, il mérite une attention tout à fait privilégiée.

Le parc doit être identifié précisément quant à la nature des matériels, de ses références techniques, de ses capacités de production et de ses paramètres de gestion.

Le parc doit être entretenu et le déclenchement des interventions et des immobilisations devra être planifié.

Enfin, le parc de véhicules doit être renouvelé opportunément, aussi bien en ce qui concerne le choix du moment, que celui des caractéristiques techniques, et financières.

Par ailleurs, la flotte des véhicules constitue, avec les conducteurs, une source essentielle d'informations pour la gestion d'entreprise.

La gestion du parc représente en conséquence, pour l'entreprise un ensemble de contraintes : celles qui relèvent de la gestion technique de l'outil de production, celles qui relèvent des conditions d'exploitation et celles qui relèvent du traitement des informations dont la flotte est à l'origine, et de l'intégration de ces informations dans l'ensemble des processus décisionnels de l'entreprise.

La démarche à adopter pour assurer une gestion d'un parc de véhicules repose sur quatre axes :

- Analyser ;
- Agir ;
- Informer ;
- Former.



5.1.1. ANALYSER

Analyser objectivement l'organisation du parc de véhicules et repérer ses atouts et ses faiblesses.

Pour effectuer cette analyse avec le concours éventuel d'un consultant extérieur, il est recommandé de s'organiser autour des trois axes suivants :

- Analyser la situation existante.
- Identifier des actions possibles.
- Définir un plan d'actions à court et moyen terme.

Cette démarche quand elle est volontariste, entraîne dans certains cas une remise en question de l'ordre établi et le nécessaire abandon d'habitudes parfois profondément ancrées, a le mérite de pouvoir se transformer en véritable projet d'entreprise où chacun a son rôle à jouer.

5.1.2. AGIR

Gérer c'est :

- Fixer un objectif de résultat,
- Établir les plans d'actions jugés nécessaires pour atteindre l'objectif,
- Déterminer les moyens nécessaires à la réalisation des actions,
- Allouer les moyens,
- Déclencher les actions,
- Mesurer les résultats aux objectifs,
- Comparer les résultats aux objectifs,
- Déterminer en quantité et en qualité les écarts entre résultats et objectifs,
- Établir éventuellement des plans d'actions correctifs pour réduire les écarts,
- Fixer un nouvel objectif en amélioration lorsque les objectifs sont atteints et stabilisés.

C'est donc prévoir, organiser, coordonner et contrôler.

Pour assumer ces différentes fonctions, il faut disposer de toutes les informations utiles et nécessaires. Des systèmes d'informations et de saisie des données bien conçus permettent d'assurer l'autocontrôle de sa gestion et de proposer des décisions organisationnelles.

Gérer un parc consiste à optimiser l'utilisation de l'outil de production. Il en résulte un certain nombre de choix que l'on peut qualifier de stratégiques :

- Stratégie d'acquisition (choix comparatif).
- Stratégie d'utilisation (suivi des consommations, exploitation rationnelle).
- Stratégie d'entretien (interne, externe, contrats de maintenance).

5.1.3. INFORMER

L'information est un outil d'accompagnement indispensable à la réussite de la démarche de mise en oeuvre de la gestion de parc.

Les personnels d'encadrement, en général doivent être sensibilisés sur l'aspect communication dans l'entreprise, afin de maintenir l'intérêt et la participation des divers personnels de l'entreprise à la mise en place de ces actions.

Quant au personnel d'exploitation, sachant que souvent ses besoins immédiats vont à l'encontre des objectifs à moyen et long terme de l'entreprise, il doit être conscient de l'importance de l'enjeu d'adhérer à cette démarche, sachant qu'il assure, en outre la liaison entre la direction de l'entreprise et les services de production.

5.1.4. FORMER

Les actions de formation représentent des investissements en temps et en moyens financiers qui peuvent paraître importants et parfois inaccessibles. Cependant, il est clair que dans le cas particulier d'actions visant à une productivité énergétique améliorée, c'est la compétence et la motivation de l'ensemble du personnel qui détermine la qualité et la pérennité de la mise en place d'un programme d'actions.

Ces actions concernent chacun et présentent au moins 4 intérêts :

- Elles sont des sources d'information toujours réactualisées.
- Elles « forment » le personnel à l'utilisation de moyens et techniques nouvelles.
- Elles sont des moyens de sensibilisation.
- Elles constituent un outil d'animation.

5.2. LE RÔLE FONDAMENTAL DU SUIVI DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT

5.2.1. L'ENVIRONNEMENT ÉNERGÉTIQUE D'UNE SOCIÉTÉ DE TRANSPORT

L'environnement énergétique d'une entreprise de transport est caractérisé par les éléments suivants :

- Le parc de véhicules : Nature, marque, type, âge, capacité, puissance, transmission, équipements etc.

- L'entretien et la réparation : Coût d'entretien énergétique propre à chacun.
- L'activité : Type d'activité, distances parcourues, types de parcours, durée des parcours, coefficient d'utilisation.
- Les conducteurs : Identification des conducteurs, suivi formation.
- L'utilisation des véhicules : Vitesse, régime moteur, consommation etc.

Le suivi rigoureux du poste carburant présente au moins deux avantages non des moindres :

- Il représente après la masse salariale, le coût le plus élevé.
- Il constitue un excellent indicateur de suivi car le rendement d'un véhicule en est étroitement lié.

5.2.2. LES ÉTAPES DU SUIVI DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT

La mise en oeuvre d'un programme de réduction des consommations de carburant adapté à l'entreprise n'a de sens que si celle-ci met en place des mesures de gestion et de suivi de la consommation efficaces et structurées qui lui permettent de connaître sa situation de départ et d'évaluer l'évolution de ses performances. Savoir mesurer et suivre sa consommation de carburant permet de définir un état des lieux initial et de se fixer un objectif de réduction chiffré et réaliste, ainsi que des actions ciblées.

Tout ce qui se mesure s'améliore !

L'économie de consommation passe bien évidemment par la connaissance parfaite des consommations par véhicule et/ou conducteur. Les différentes étapes pour la mise en place de cette gestion sont les suivantes :

- la collecte des données afin de définir des indicateurs de suivi pertinents ;
- l'analyse et l'évaluation des données collectées ;
- l'élaboration de rapports et le lancement d'actions correctives.

5.2.2.1. LA COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données est une étape primordiale pour bâtir des indicateurs de suivi de consommation efficaces. Elle doit être systématique et intégrer l'ensemble des données du périmètre défini.

Il faut chercher à recueillir des informations réalistes et fiables. Pour cela, il est nécessaire de :

- définir très précisément QUI, QUAND et COMMENT se fera le recueil de données.
- sensibiliser l'ensemble de son personnel, qu'il soit chargé ou non de ce recueil, sur l'utilité et l'importance des informations à recueillir.

Il n'existe pas de procédure type de recueil de données valable pour tous les parcs. Différentes méthodes existent aujourd'hui pour collecter les données de consommations de carburants :

a) Communication des volumes par les conducteurs à chaque plein

Il est possible de demander aux conducteurs de noter, à chaque plein, les données de volumes achetés et le kilométrage auquel le plein a été fait. Il est important d'exiger des conducteurs qu'un plein soit systématiquement réalisé en fin de mission. Cela permettra de comptabiliser les volumes de carburant réellement utilisés pour réaliser le transport et éviter d'affecter les consommations au conducteur suivant.

Cette gestion nécessite cependant un contrôle des oublis de la part des conducteurs et la validation des données au moment de la saisie des informations.

b) Suivi informatique des consommations internes

Dans le cas de stations de distribution de carburants internes à l'entreprise, des systèmes de gestion des prises de carburants, installés au niveau du volucompteur sont disponibles sur le marché et permettent de suivre les consommations de carburants. Ces systèmes permettent d'obtenir :

- le rapatriement, la centralisation et la gestion des données ;
- le traitement des transactions par conducteurs, par véhicules voire par véhicule et conducteur grâce à l'utilisation de cartes spécifiques ;
- l'exportation des données sous différents formats informatiques ;
- l'intégration des données des distributeurs de carburants ;
- l'élaboration de suivi et de contrôle des anomalies....

Ces systèmes intègrent ainsi directement la date et l'heure de la prise de carburant ainsi que les volumes prélevés. En fonction des systèmes et de leur paramétrage, ils peuvent exiger du conducteur son identification et celle du véhicule, le kilométrage du véhicule au moment du plein. L'intégration de ces informations par le conducteur avant le plein peut être indispensable à la délivrance du carburant par l'automate.

Dans le cas où le système n'exige pas l'intégration de ces données par les conducteurs, il sera nécessaire d'instaurer des fiches de suivi au niveau des pompes afin que les conducteurs s'identifient et indiquent le véhicule et le kilométrage de celui-ci au moment du plein.

c) Retour des consommations en stations par les distributeurs de carburants

Quelques distributeurs de carburants ont mis en place des systèmes de suivi des consommations de carburants à destination des flottes de véhicules professionnels. Ces systèmes permettent au conducteur de ne pas payer directement son plein, la facture totale pour l'ensemble de la flotte étant transmise à l'entreprise en fin de mois.

Les distributeurs de carburant utilisent ce système pour fournir aux entreprises les informations sur les consommations mais peuvent aussi donner accès à un suivi plus fin, par conducteur, par véhicule...

En effet, ce système est réalisé à l'aide de cartes personnelles attribuées spécifiquement à un véhicule, les cartes étant dotées généralement d'un code attribué au conducteur (possibilité d'avoir une deuxième carte dédiée au conducteur). Cela permet à l'entreprise de savoir qui a fait le plein et avec quel véhicule.

En fonction des systèmes, des cartes sont en effet affectées au véhicule et peuvent être complétées par des cartes dédiées aux conducteurs ou par des codes personnalisés qui permettent de relier les conducteurs à l'utilisation des véhicules. Par ailleurs, certains systèmes permettent de suivre les consommations au kilomètre, l'information du kilométrage au compteur devant être fournie par les conducteurs avant les pleins.

Ces différents systèmes permettent en outre de définir des paramètres d'utilisation de la carte (utilisation limitée à la semaine, achat restreint à certains produits, volumes de carburant limités en fonction de l'activité...). En cas d'anomalies et après définition des paramètres importants (consommation par kilomètre, fréquence des prises de carburants, plage horaires...), des messages peuvent être envoyés automatiquement au transporteur par le distributeur de carburant.

Les relevés des consommations sont transmis au transporteur et peuvent généralement être consultés au jour le jour sur Internet pour un suivi plus précis. La forme du suivi peut être paramétrée en fonction des besoins du transporteur. Les données sont transmises sous format de tableau avec calcul, permettant de les traiter et les exploiter facilement.

Cette gestion nécessite cependant une intégration des volumes de carburants achetés dans les stations services d'autres distributeurs que celui avec lequel l'entreprise travaille ou lors des prises de carburants sur site.

d) Suivi par informatique embarquée

Un certain nombre de logiciels d'analyse pour l'optimisation de l'exploitation sont disponibles aujourd'hui. Ceux-ci permettent d'avoir accès aux informations nécessaires pour :

- établir un suivi précis de la consommation et du bon usage d'un véhicule à travers l'analyse des modes de conduite ;
- comparer la consommation de plusieurs véhicules ou plusieurs types de conduite ;
- sensibiliser les conducteurs à l'impact de la conduite sur la consommation pour les amener ainsi à une conduite plus économe, notamment par des plans de formation ;
- optimiser les plans de maintenance.

Ces outils de mesure et d'analyse des données d'exploitation du véhicule permettent un suivi précis de son utilisation et de sa consommation de gazole grâce à un branchement sur le bus CAN (Controller Area Network). Un module embarqué est installé à l'intérieur du véhicule, et peut être

accompagné d'une antenne combinée GPS/GSM. Les informations relatives au véhicule et au conducteur sont transmises au transporteur pour être analysées.

En conclusion, à chaque responsable de définir précisément, en fonction de la structure de son parc, des compétences de son personnel sa propre méthode pour un recueil de données fiables et suivi dans le temps. Trois règles devraient dicter cette méthode :

- Prévoir le nombre minimal de documents de recueil de données.
- Concevoir un système cohérent et homogène de documents.
- Définir des documents aussi simples que possible.

5.2.2.2. LA VALIDATION DES DONNÉES ET L'IDENTIFICATION DES INCOHÉRENCES

Les différents modes de collecte des données de consommation présentés ci-dessus seront parfois utilisés conjointement par l'entreprise et nécessiteront donc de consolider les données collectées dans un système commun, pour permettre de valider les données, d'éviter les erreurs et de faciliter leur traitement.

Lors de la consolidation des données, il est important de faire particulièrement attention aux erreurs éventuelles. Une vérification attentive de chaque donnée d'entrée est hautement recommandée. Les erreurs pourront être le fait à la fois des opérateurs mais aussi des équipements. Ainsi, les principales erreurs humaines observées concernent notamment :

- les erreurs de lecture des volumes consommés ou des distances parcourues ;
- le mauvais remplissage des feuilles de suivi ;
- les oublis ;
- les pleins ne sont pas réalisés en retour de mission, impliquant le fait que le prochain conducteur utilisant le véhicule devra faire le plein et se verra attribuer les consommations de la mission précédente...

Les différents équipements peuvent aussi créer des erreurs. Les compteurs kilométriques, les tachygraphes, et les distributeurs de carburant dans le cas de stations internes peuvent fournir des indications erronées d'où la nécessité de les étalonner d'une manière régulière.

Enfin, les risques de vol de carburant sont aussi à noter. Un suivi régulier et précis des consommations permet de déceler ce genre de pratiques.

Afin de repérer ces éventuelles erreurs, il est donc nécessaire de réaliser un véritable contrôle des données collectées et de les valider. Une fois identifiées, les différentes erreurs devront être retirées de l'outil d'analyse afin que celle-ci ne s'attache qu'aux données cohérentes. Il paraît cependant intéressant d'analyser ces incohérences afin de déterminer leur cause et engager des campagnes de sensibilisation auprès des conducteurs ou revoir le fonctionnement de certains équipements.

5.2.2.3. L'EXPLOITATION DES SUIVIS DE CONSOMMATION

Une fois les résultats incohérents enlevés, un travail d'analyse des données doit être réalisé. Cette étape doit permettre d'identifier les conducteurs et/ou véhicules dont la consommation est anormalement basse ou haute.

Cette analyse peut prendre la forme d'une comparaison hebdomadaire ou mensuelle. Cette comparaison peut prendre en compte et évaluer les performances en fonction :

- des agences ;
- des types de véhicules ;
- des différences géographiques...

Le suivi des consommations par conducteur est à la base de toute action de maîtrise des consommations.

Un suivi personnalisé suppose que soient mis en œuvre des outils et des procédures permettant de suivre en détail et d'analyser les modalités d'utilisation des véhicules, les modes de conduite des conducteurs, ainsi que les consommations induites.

Un tel suivi est relativement aisé s'agissant de véhicules dédiés à un seul conducteur, et lorsque les pleins sont faits uniquement au moyen de pompes dans l'entreprise (ou, au moyen de cartes de paiement, dans les stations d'un réseau de distributeur), à condition d'identifier les distances parcourues entre deux pleins et le volume de carburant pris.

Le suivi est plus complexe lorsqu'un véhicule est utilisé par plusieurs conducteurs (sauf à utiliser l'informatique embarquée qui analyse la consommation sur des périodes définies).

Lorsque les consommations ne peuvent être suivies que par véhicule, et qu'un écart significatif de la moyenne des consommations par rapport à la moyenne de l'entreprise est constaté, il restera à déterminer lequel des «utilisateurs» perturbe la moyenne, à condition que ce ne soit pas le véhicule lui-même (ou son entretien) qui soit en cause.

La détermination de la consommation d'un véhicule est un exercice complexe quand on doit établir rigoureusement une consommation pour un véhicule, associé à un conducteur, associé à une mission, avec un chargement donné, et ceci dans un délai raisonnable si on veut pouvoir agir et corriger si besoin.

Le niveau minimal de traitement des données consiste à lire et analyser les données de consommation, et à établir si la consommation des conducteurs et des véhicules se situe dans la moyenne de l'entreprise, compte tenu de leur activité et des conditions d'exploitation.

Les véhicules ou les conducteurs dont la consommation est anormalement haute ou basse font ainsi l'objet d'une attention particulière afin de déterminer les raisons de ces consommations. Une consommation basse peut être issue d'un oubli de remplissage du réservoir en retour

de mission (remplissage affecté en conséquence au conducteur suivant qui a repris le véhicule). Dans ce cas, le conducteur suivant aura une consommation anormalement élevée. De même, les véhicules réalisant des missions sur de courtes distances ou en zone urbaine pourront présenter des consommations élevées, dues aux nombreuses séquences arrêt / démarrage.

L'objectif de cette démarche est de comprendre pourquoi un véhicule a de bons ou de mauvais résultats et de pouvoir axer son effort sur un conducteur ou un véhicule pour s'améliorer.

Il peut être pertinent d'intervenir les conducteurs, les véhicules et les activités pour voir l'effet sur la consommation.

Les résultats peuvent utilement être communiqués aux conducteurs afin de les informer et de bâtir avec eux des pistes d'amélioration.

Les observations faites aux conducteurs doivent être simples et parlantes afin que ceux-ci soient impliqués dans la démarche. Les résultats peuvent ainsi :

- donner lieu à des comptes-rendus périodiques transmis aux conducteurs, en pointant les conduites non adéquates et/ou en établissant des comparaisons avec les performances d'autres conducteurs
- être affichés dans l'entreprise, de manière à créer une émulation entre les conducteurs. L'effet peut être renforcé par la mise en oeuvre d'un concours et/ou l'attribution de primes aux meilleurs résultats
- servir de base pour l'élaboration d'un véritable programme personnalisé de formation.

5.3. LES ÉQUIPEMENTS D'AIDE À LA GESTION

5.3.1. LES TACHYGRAPHES

5.3.1.1. LE TACHYGRAPHE ANALOGIQUE

C'est un appareil d'aide à la gestion qui indique, dans sa version basique, trois informations à savoir la distance parcourue, le temps et la vitesse.



Tachygraphe analogique ordinaire



Tachygraphe analogique modulaires

Grâce aux enregistrements sur le disque, le tachygraphe analogique fournit les informations suivantes :

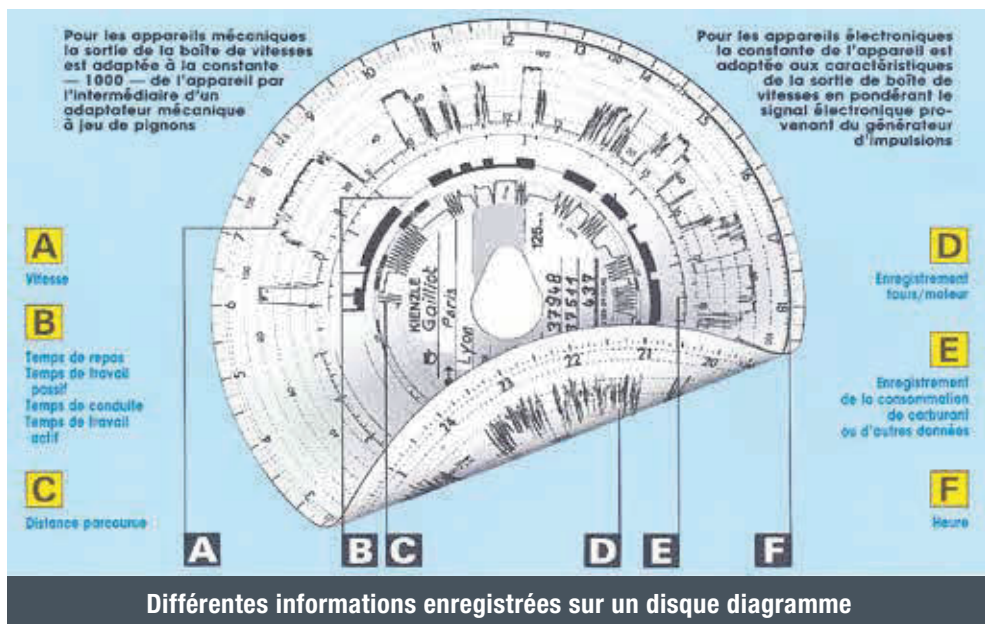
- Les temps de conduite ;
- Les kilomètres parcourus par le véhicule ;
- Les différentes activités du conducteur (travail autre que conduite, attente et temps de repos) ;
- L'heure exacte de chacun des faits de la journée ;
- La vitesse instantanée du véhicule ;
- Une ou deux informations supplémentaires (régime moteur, consommation de carburant).

Les disques diagrammes fournissent toute information utile concernant les véhicules et les conducteurs. Ils permettent de prendre des mesures et décisions importantes en vue d'améliorer la sécurité routière et la rentabilité du parc.

Une connaissance exacte de tous les enregistrements inscrits sur le disque-diagramme ainsi que leur analyse et leur interprétation est une condition préalable pour atteindre ces objectifs.

Il est également nécessaire de bien connaître les procédés d'analyse en vue de convertir les enregistrements analogiques en valeurs numériques.

En d'autres termes, seuls celui qui est capable de lire correctement les enregistrements sur le disque est en mesure de prendre la bonne décision et les mesures qui s'imposent au bon moment.



Différentes informations enregistrées sur un disque diagramme

5.3.1.2. LE TACHYGRAPHE NUMÉRIQUE

En Europe et depuis mai 2006, toutes nouvelles immatriculations pour les véhicules de transports de marchandise de plus de 3.5 T ainsi que les véhicules dédiés au transport de plus de 9 passagers (dont le conducteur) doivent être équipés d'un tachygraphe numérique, selon la réglementation numéro (CE) 561 / 2006.

Les données qui étaient, par le passé, enregistrées sur les disques analogiques sont maintenant stockées électroniquement dans la mémoire de masse du tachygraphe numérique et sur la carte Conducteur. Afin de respecter les obligations légales, ces données doivent être régulièrement téléchargées et archivées.

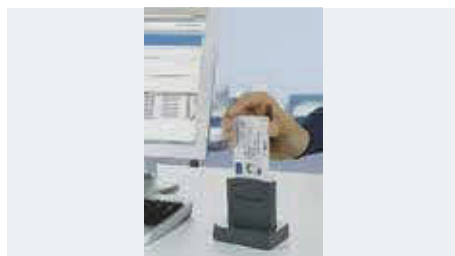
La mémoire du tachygraphe numérique enregistre des données propres au véhicule, quel que soit le chauffeur, durant 365 jours.

La carte conducteur enregistre les activités spécifiques au chauffeur (données personnelles, temps de conduite et de repos, distances, vitesse, dépassement de vitesse, anomalies, événements, contrôles) durant 28 jours.

À terme chaque chauffeur aura une carte à puce à son nom, cette carte possède une mémoire interne qui conserve les données sur une période d'un mois, et en cas de contrôle, l'agent de contrôle sera en mesure de savoir le nombre d'heures de conduites, et de repos etc.



Tachygraphe numérique



Lecteur de carte à puce

5.3.2. FOURNITURE DE CARBURANTS AUX VÉHICULES : LES SYSTÈMES DE SAISI AUTOMATIQUE DES INFORMATIONS

Les appareils de distribution des carburants en libre service mettent en oeuvre, le plus souvent, des bornes de gestion qui permettent de commander et de contrôler la distribution des pompes, le plus souvent à l'aide d'une carte et / ou d'un code d'accès confidentiel attribué au conducteur.

Ces appareils sont dans les versions de base adaptées aux petites flottes, intégrés directement aux pompes qu'ils commandent. Lorsque les besoins sont plus importants les bornes de gestion sont indépendantes et capables de piloter plusieurs pompes, quel que soit bien sûr le produit délivré.

5.3.2.1. LES APPAREILS DE DISTRIBUTION PROPREMENT DITS (POMPES)

Les pompes de distribution de carburant n'appellent pas ou peu de remarques. Les systèmes sont dans la plupart des cas équivalents sur le plan des spécifications techniques (qui correspondent aussi à des normes de sécurité). Les quelques particularités rencontrées concernent :

- Le débit ;
- L'affichage mécanique ou électronique des litres débités ;
- la présence de dispositifs optionnels tels que, pompage à main de secours, etc ;
- la connexion à une borne de gestion des carburants.

5.3.2.2. LES BORNES DE GESTION

Ces équipements concernent tous les systèmes qui permettent l'approvisionnement en libre service des carburants. On distingue trois types de systèmes :

a) Les bornes qui ne comportent pas d'outil informatique

Destinées le plus souvent aux petites unités, ces pompes sont soit munies de compteurs individuels électromécaniques, soit directement reliées à un système d'impression et ne nécessitent donc pas, par conséquent, l'emploi d'un outil informatique.

Dans le premier cas, le chauffeur met en service la pompe et un compteur individuel, au moyen d'une clé. L'exploitation des cumuls des quantités délivrées à l'utilisateur se fait donc par un relevé manuel des compteurs, à périodicité régulière.

Le second dispositif qui relie le distributeur à une imprimante (incorporée à la pompe et / ou situé à proximité immédiate de celle-ci), imprime systématiquement un historique des prises de carburants sur un listing. L'information peut donc en plus, être détaillée par véhicule et horodatée. Toutefois, il s'agit toujours d'un état brut, qu'il convient de traiter manuellement.

b) Les bornes qui transmettent leurs informations à un système informatique

Ces bornes sont en relation avec un système informatique qui se charge de traiter les informations saisies à la pompe. En général ces bornes communiquent leurs informations via une unité de transfert ou un modem à un micro-ordinateur. Dans le cas de la télétransmission d'information, celle-ci peut se faire par ligne spécialisée ou par le réseau téléphonique commuté : la borne de gestion peut ainsi se trouver dans une autre agence ou succursale de l'entreprise, par exemple.

L'avantage de la liaison en aval avec un système informatique, réside dans l'étendue du traitement de l'information. Il est possible de gérer un nombre plus élevé de postes de distribution et surtout, le traitement d'informations complémentaires peut s'y associer (gestion plus détaillée des prises de carburants en fonction des utilisateurs, des produits distribués, des véhicules ou des activités, prise en compte des approvisionnements externes...) sans oublier bien sûr que la gestion de ces données peut se faire selon les paramètres choisis. Notons enfin, que la télétransmission permet éventuellement d'opérer en temps réel.

c) Les systèmes qui incluent des dispositifs embarqués

Ils comportent des dispositifs qui permettent l'identification automatique des véhicules et des kilométrages effectués. De ce fait, ils autorisent la gestion d'autres fonctions liées à l'utilisation du véhicule, en particulier, son entretien.

Deux produits peuvent être considérés dans ce champ :

Le premier système est un système de distribution «en libre service intégral» , c'est à dire que l'approvisionnement à la pompe est contrôlé de manière entièrement automatique sans qu'il y ait intervention du conducteur (autre que le fait de se servir de carburant) . Pour ce fait chaque véhicule comporte un dispositif embarqué qui identifie le véhicule, signale le type de carburant utilisé et le kilométrage au compteur. Un détecteur monté à l'extrémité du pistolet de distribution met en action la pompe dès lors qu'il a identifié le véhicule, lorsque le pistolet est inséré dans le réservoir). Il n'y a donc plus ici, ni de badge, ni de code confidentiel, l'information est acquise automatiquement par la pompe, le système est transparent pour l'utilisateur tout en contrôlant l'accès.

Le second système comporte un boîtier embarqué permettant l'identification automatique du véhicule, au moyen du badge. Le badge sert donc à la fois de clé d'accès pour l'approvisionnement de carburant et de support de mémorisation de un ou deux paramètres complémentaires.

5.3.2.3. PARTICULARITÉS CONCERNANT LES APPAREILS

a) Borne distributrice

Selon les appareils, la pompe de carburant est intégré ou pas, à la borne distributrice. Cet aspect dépend essentiellement des besoins en fonction de la taille de la flotte à ravitailler, rappelons comme nous l'avons vu en introduction, que les références offertes dans une gamme donnée, se distinguent par le débit, la connexion à une borne de gestion, l'affichage des opérations et la présence de dispositifs optionnels.

b) Borne de gestion

- Nombre de pompe gérables : Capacité de la borne à piloter une ou plusieurs bornes distributrices, pour la distribution en libre service. Les bornes de gestion peuvent commander de une à huit pompes, en fonction simultanée ou non.
- Nombre de véhicules gérables : Nombre maximum de véhicule que la borne de distribution est capable de contrôler, et pour lesquels elle peut produire des comptes rendus d'approvisionnement et / ou de consommation.
- Édition systématique des prises : À chaque approvisionnement d'un véhicule à la pompe, le détail des quantités délivrées, ainsi qu'éventuellement d'autre information, telles que l'horodatage des prises, l'identification du véhicule... sont imprimés sur un support papier. L'imprimante peut être intégrée à la pompe et délivrer un récépissé au conducteur et / ou être installée dans un voisinage immédiat (c'est à dire sur le même site), imprimant au fur et à mesure le détail des prises : C'est à dire que chaque approvisionnement de carburant entraîne le déclenchement de l'imprimante.

c) Liaison informatique

Elle met en relation (direct ou par modem), un micro-ordinateur avec une ou plusieurs bornes de gestion, permettant l'exploitation des informations en leur provenance.

- Imprimante : Le cas d'espèce le plus simple d'inter relation est la connexion avec un périphérique informatique (imprimante, unité de disquette, clavier - écran). Elle s'effectue au moyen d'un boîtier interface si la borne de gestion n'intègre pas l'interface appropriée. L'impression peut être ou ne pas être systématique, dans ce dernier cas c'est la mémoire interne de la borne de gestion qui stocke les informations). Un point indique que la pompe est connectée à une l'imprimante, il mentionne implicitement que celle-ci est situé sur le même site que la borne (et / ou intégrée à celle-ci) , dans le cas contraire, le point «télétransmission» est coché.
- Clé de transfert : La clé de transfert constitue une solution pour le téléchargement et le transport des données de la mémoire de la borne de gestion
- Télétransmission: La liaison de la borne avec un système de traitement est assurée via un modem qui permet le transfert des informations en provenance de la borne par le réseau téléphonique commuté ou l'emploi d'une ligne spécialisée. Notons que cet aspect permet «d'interroger la ou les bornes, depuis le centre de traitement et qu'il permet dans certains cas, également, la mise en oeuvre de celle-ci à distance.

d) Badge

Support plastifié pouvant disposer de pistes magnétiques, optiques, de composants de mémoire ou encore fonctionner par induction. Dans quelques cas le «badge» est une simple clé en laiton permettant d'actionner la pompe.

Sur quelques badges, il est possible de mémoriser des informations complémentaires de gestion, qui permettent d'accéder à un meilleur niveau de détail, lors des traitements d'information : Chauffeur, service, activités, kilométrages, contrôle des enlèvements (quantités, distances minimales de réapprovisionnement, heure) etc. Notons que la plupart des badges peuvent gérer les conditions d'accès aux bornes distributrices.

Un code secret confidentiel permet de n'attribuer l'utilisation du badge qu'à un seul utilisateur.

e) Fonctions

Pratiquement toutes les bornes de distribution permettent d'opérer un contrôle et un suivi des prises de carburant, des consommations et des stocks de carburant, mais toutes ne le font pas de manière automatisée. C'est ce degré d'automatisation des opérations de gestion et le nombre de critères pris en compte (grâce au badge ou à une saisie clavier), qui fait toute la différence, et dont l'appréciation dépend des besoins de l'utilisateur.

5.3.3. LE JAUGEAGE ÉLECTRONIQUE DES CUVES

La pratique la plus répandue, aujourd'hui encore, pour la gestion des stocks, consiste à effectuer une mesure manuelle du volume des cuves. A première vue, cela peut sembler parfaitement adéquat, alors pourquoi commencer à utiliser des jauges électroniques ?

Les sources d'erreurs sont très nombreuses lors de la prise de hauteur de produit dans la cuve avec une règle de jaugeage. Une bonne mesure doit être répétitive et doit s'affranchir de l'effet piston qui se traduit par des mesures aléatoires. En effet en fonction de la vitesse de plongée de la règle de jauge le produit peut remonter le long de celle-ci et redescendre ensuite ce qui provoque un marquage erroné lors de la lecture. Il y a aussi les règles qui ne touchent pas le fond de cuve ou qui se tordent, les erreurs de parallaxe, de lecture, de transcription. La règle de jaugeage est graduée tous les 10 mm.

La conversion hauteur/volume s'effectue à l'aide d'un barème de jaugeage édité par le constructeur de la cuve lors de la fabrication de celle-ci. Ce barème est souvent générique et a une résolution de l'ordre de 10 mm avec une précision qui ne prend pas en compte les caractéristiques intrinsèques de chaque cuve et compartiment ainsi que celle-ci dans son environnement. Aucune cuve n'a les mêmes caractéristiques dimensionnelles, ainsi lorsqu'elle est installée, on peut observer très souvent des déformations ou une inclinaison de la cuve qui fausse les résultats.

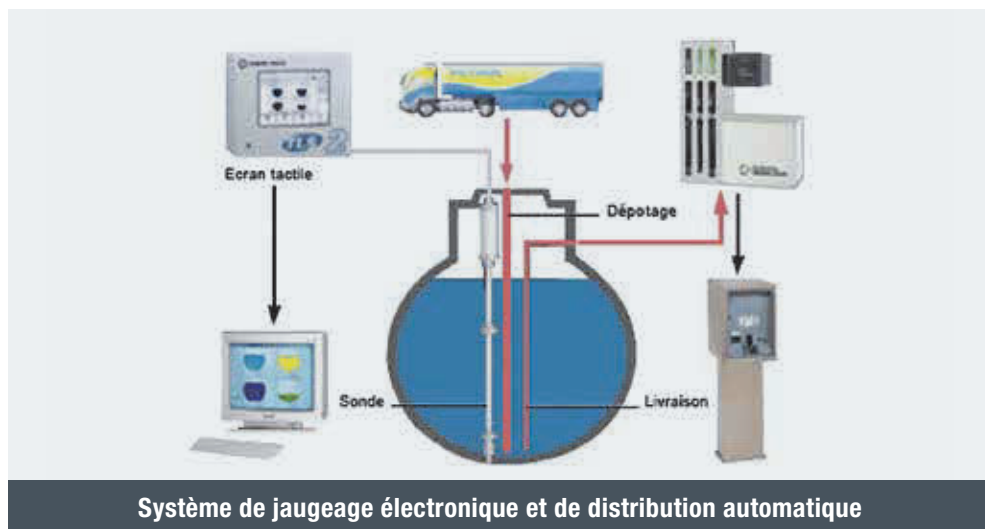
On s'aperçoit que le jaugeage manuel entraîne la manipulation de chiffres qu'il faut noter, vérifier, convertir, transcrire et cela pour chaque compartiment et tous les jours si l'on souhaite avoir une gestion de stocks efficace.

Il est évident que les écarts de stock sont monnaie courante et le temps passé à jauger et réconcilier ses stocks devient un handicap majeur au quotidien. On estime le temps passé à jauger manuellement un compartiment est d'environ 10 minutes. Il est préférable d'être 2 et l'environnement est souvent dangereux pour les personnes (piste, circulation, dépôts ...). Tous ces efforts pour un résultat plutôt décevant et peu industriel. Le jaugeage électronique solutionne l'ensemble des problèmes évoqués. La mesure est systématique, répétitive, précise, fiable et disponible en temps réel. Le système dispose du barème qui a été préalablement enregistré (Extrapolation ou auto-calibration des cuves). Cela signifie que les corrections nécessaires ont été apportées et que la conversion hauteur/volume est automatique et prend en compte les spécificités de chaque compartiment. La jauge électronique permet également de faire de la détection d'eau (finies les incertitudes et les contraintes des tests à la pâte à eau). Elle mesure la température du produit, compense le volume en fonction de cette température si besoin, détecte automatiquement les livraisons et les déchargements, les fuites, les vols et tout cela en toute sécurité et en temps réel. La fraude est également un sujet d'inquiétude ainsi compte tenu de la précision de la règle de jaugeage une perte journalière de 100 litres dans certains cas ne sera pas décelée ! En revanche avec une jauge électronique et des outils statistiques appropriés, on diminue par 10 cette valeur. Le Système de jaugeage va scruter tous les mouvements de produits non justifiés et vous informer le cas échéant. L'aspect dissuasif est non négligeable.

L'utilisation de jauges pour mesurer les creux disponibles ne se limite pas à une gestion automatisée des stocks. Elle permet également de contrôler plus étroitement l'utilisation du carburant, de compiler et de consolider plus facilement des informations précises provenant des sites et de prendre ainsi de meilleures décisions à l'égard de ses actifs.

En définitive, le système de jaugeage électronique permet de mieux connaître les stocks carburants réels, et d'en optimiser la gestion, augmentant ainsi la rentabilité de l'exploitation. Il assure un jaugeage aisé, en toute sécurité, sans intervention sur les cuves.

Connecté à un pupitre de gestion de station service ou privé, il offre un contrôle précis des pertes (fuites, vols) en comparant volumes fournis et volumes réels. Via modem ou Internet, un PC permet de consolider les données de plusieurs sites et d'optimiser la gestion des stocks répartis.



5.3.4. LA RECONNAISSANCE DU VÉHICULE ET LA TRANSMISSION DES DONNÉES

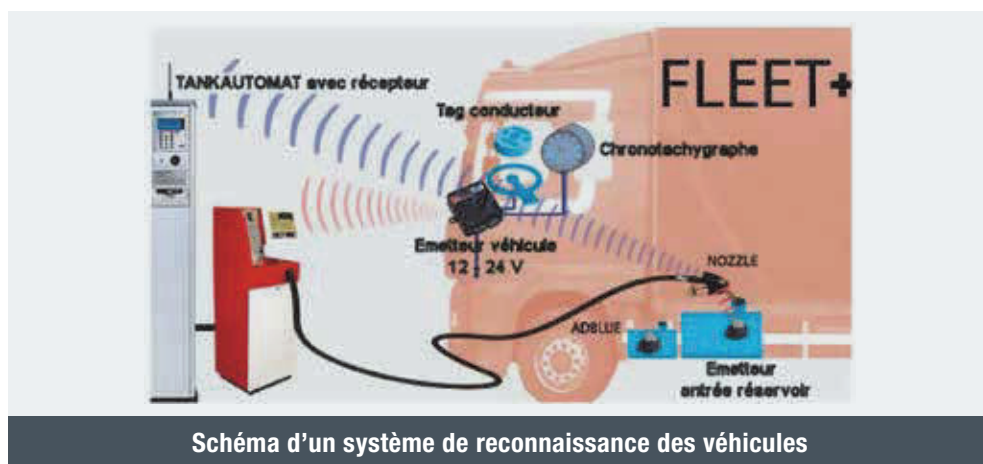
Le système de reconnaissance des véhicules est basé sur la fixation d'un transpondeur sur le pistolet et sur le réservoir et généralement sans aucun branchement ce qui se traduit par des appareils à faibles coûts et une usure quasiment inexistante.

Ce système peut être intégré dans tous les systèmes de distribution automatique. Le système se montre en outre plutôt efficace contre la perte de carburant.

Le conducteur n'a rien d'autre à faire que de prendre le pistolet à carburant et de faire le plein. Le système effectue le reste. La gestion optimale du parc devient aisée. Toutes les informations importantes sont transmises sans fil, rapidement et facilement. En quelques secondes et sans aucune autre manipulation, la vérification d'autorisation et le déblocage de la pompe ainsi que la mémorisation

et la gestion des données concernant la distribution se mettent en marche. La récupération automatique du kilométrage ou la récupération automatique des heures de fonctionnement peuvent aussi être effectuées, afin de gérer le parc avec la fiabilité qui s'impose (formations chauffeurs, révisions / entretiens véhicules, analyse des consommations de carburant, de lubrifiant...).

- Le système de reconnaissance offre les avantages suivants :
- transparence absolue des données ;
- optimisation et rapidité des opérations de pleins des véhicules ;
- protection antivol efficace ;
- économie de carburant ;
- récupération automatique des kilomètres ou récupération automatiques des heures de fonctionnement.



5.3.5. L'INFORMATIQUE EMBARQUÉE

L'informatique embarquée se définit par une famille d'appareils et / ou de systèmes, qui, à bord des véhicules, assurent une acquisition automatique ou manuelle d'informations, optimisent le transfert de ces informations entre le véhicule et l'entreprise, et permettent le traitement et l'interprétation de ces données dans la perspective d'une amélioration de la productivité et plus généralement, à terme, de l'intégration du couple conducteur / véhicule dans une démarche globale de traitement de l'information à des fins de gestion.

Les données recueillies concernent :

- L'utilisation du véhicule (kilométrages, vitesses, consommations, temps d'utilisation, sollicitations particulières : régimes, freinages,...).

- L'activité du conducteur (distinction des temps de travail, mise à disposition, repos,...)
- La mesure de données plus spécifiques (utilisation de prise de force, de hayons, ouverture de portes, températures.

Les informations sont enregistrées de manière automatique sur le support mémoire (ou dans la mémoire de l'appareil). Certaines de ces informations peuvent être saisies ou consultées manuellement (au moyen d'un petit clavier ou de touches fonction) soit par le conducteur, soit par le chef d'atelier, soit encore par le chef d'exploitation.

L'ensemble des informations enregistrées sont transférées avec une périodicité régulière, sur micro-ordinateur qui grâce à un programme de traitement se charge de mettre en forme les données recueillies, le plus généralement sous forme de tableaux et graphique, et en fonction de critères préétablis ou paramétrables par l'utilisateur.

5.3.5.1. LES APPLICATIONS DE L'INFORMATIQUE EMBARQUÉE

Le traitement des données saisies par l'appareil de bord permet, grâce à un suivi précis de l'activité du couple conducteur/véhicule, de mettre en oeuvre des actions dans cinq domaines :

- Le suivi des consommations de carburant.
- La formation des conducteurs
- L'aide à la conduite économique.
- La maintenance des véhicules.
- La gestion du personnel de conduite.
- L'optimisation des moyens de production (d'exploitation).

Suivi des consommations de carburant :

La connaissance des consommations par véhicule, par conducteur ou par tournées, permet de mener des actions en termes d'économies sur le poste «carburant» . On distinguera une approche évaluative de la mesure des consommations dont la finalité est essentiellement pédagogique, d'une approche plus «comptable» de gestion des carburants.

Formation des conducteurs :

Le traitement des données liées aux sollicitations du véhicule, permet de produire des profils de conduite et de mener des actions pédagogiques allant dans le sens d'une meilleure utilisation des véhicules.

Aide à la conduite économique :

Les appareils dotés d'écran produisent des informations complémentaires sur la conduite (consommation instantanée par exemple), des alertes visuelles (éventuellement sonores) et apporte une aide complémentaire au chauffeur dans sa conduite.

Maintenance des véhicules :

La production de résultats par véhicule permet de faire coller les fréquences d'entretien à l'usure réelle du matériel, de faire de la maintenance prédictive, d'opérer des choix objectifs sur les performances de matériel et d'allonger la durée de vie de ceux-ci.

On notera que les actions sur la consommation, la formation des conducteurs, l'aide de la conduite et la maintenance sont étroitement liées : vouloir abaisser les consommations, consiste à jouer un rôle pédagogique vis à vis de la conduite. Une conduite «économique» débouche inéluctablement sur une maintenance allégée.

Gestion du personnel de conduite :

Le traitement de l'information permet le contrôle des temps de travail, répond aux préoccupations concernant le respect de la législation de ces temps et permet une planification de l'affectation des tâches du personnel de conduite.

Optimisation des moyens d'exploitation :

Le flux des données provenant de l'informatique embarquée apporte les moyens d'optimiser la gestion des tournées, circuits et itinéraires, par un contrôle plus précis des composants de coûts et une meilleure affectation de ceux-ci.

A terme, l'évolution de ces systèmes devrait permettre d'aboutir à l'élimination progressive des documents papier qui accompagne le chauffeur, lors de certaines opérations. Notons que cette évolution s'accompagne pour de nombreuses entreprises, de la synergie que permet une informatique interne organisée en gestions de bases de données.

5.3.5.2. CRITÈRES D'APPRÉCIATION DES SYSTÈMES

- La puissance, la rapidité de calcul et d'interprétation des applications proposées : les applications écrites dans un langage évolué fonctionneront beaucoup plus rapidement et l'incidence n'est pas négligeable lorsque la flotte équipée est importante.
- La qualité de «l'interface utilisateur» : Certains logiciels sont plus conviviaux que d'autres, ce qui n'est pas dénué d'intérêt lorsque l'on n'est pas «informaticien».
- La faculté de permettre une analyse rapide et synthétique ou détaillée : Elle permet de gagner du temps dans l'interprétation des résultats, ne retenant que les éléments significatifs, par exemple, l'apparition d'événements anormaux (ce qui va bien n'est pas forcément intéressant en soi).
- L'actualisation de bases de données historiques permettant de retracer des chronologies en fonction de paramètres choisis et éventuellement paramétrables, (chauffeur, véhicule, tournée, périodes de temps, vitesses maxi atteintes, etc.), c'est à dire l'introduction de critères d'analyse propres à l'entreprise.

- La possibilité de couplage avec d'autres applications, tableurs, gestion de bases de données, ce qui permet d'établir des liens avec le système informatique de l'entreprise.
- La facilité avec laquelle peuvent se faire les nouvelles initialisations, corrections et paramétrages du système, lorsque des mises au point ou des réglages sont nécessaires.
- Le service de maintenance des matériels et / ou des logiciels par l'envoi d'équipes spécialisées, par serveur interposé, voire même par télémaintenance.
- L'aptitude, enfin, à permettre des évolutions en fonction des besoins : les matériels et les logiciels ne doivent pas être figés sur une configuration donnée.

5.3.6. LA LOCALISATION PAR GPS

La localisation par GPS (global positioning system) s'appuie sur les technologies de positionnement par satellite.

La mise en place d'un système de localisation par GPS suppose d'abord l'installation d'un boîtier GPS-GPRS dans le véhicule. Ce petit boîtier est équipé :

- d'un système de localisation par GPS qui va situer l'emplacement exact du véhicule.
- d'un modem qui va transmettre les informations à l'entreprise.

Pour permettre la communication du conducteur et de l'entreprise, des terminaux sont rattachés au boîtier GPS du véhicule et fonctionnent grâce à la bande passante du modem.

La localisation par GPS s'adresse à toute entreprise désirant optimiser ses conditions de travail. Pour faire face à la concurrence et répondre aux exigences des clients, la géolocalisation devient un réel outil de productivité permettant l'optimisation de la gestion de flotte de véhicules. Tous les métiers liés à la mobilité ont intérêt aujourd'hui maîtriser leurs coûts et rentabiliser les déplacements de leurs véhicules.

Les bénéfices apportés par la mise en place d'un système de géolocalisation sont :

La réduction des coûts :

- Par l'amélioration de la conduite des chauffeurs : En fonction de la solution de géolocalisation de flotte choisie, chaque camion peut être équipé d'un boîtier qui recueille les différents signaux en provenance de capteurs installés sur le véhicule, en l'occurrence liés au débit et au niveau de carburant. Le système de géolocalisation est aussi à même de restituer des données relatives au moteur du poids lourd (nombre et intensité des accélérations et coups de freins, vitesse...) mais aussi au type de route, etc. En mettant en regard l'ensemble de ces données, le gestionnaire d'exploitation peut déduire quelles sont les habitudes de conduite à proscrire et établir un profil type de conduite économique.
- Par l'optimisation des trajets qui participent à la réduction du kilométrage à vide. C'est ainsi que l'on constate que le suivi de véhicules équipés d'un tracker GPS concourt à une baisse de la consommation de carburant pouvant atteindre 15 à 20%.

- Par une amélioration de l'organisation de la maintenance : le paramétrage de certaines applications permet d'alerter l'exploitant lorsqu'il est nécessaire d'effectuer une maintenance sur un véhicule. En prévenant toute défaillance des véhicules, le dispositif de gestion de flotte automobile favorise la réduction des coûts d'entretien, de dépannage des véhicules, et prolonge leur durée de vie. Les systèmes de géolocalisation peuvent alerter le gestionnaire de la flotte lorsqu'un besoin de maintenance ou de réparation se fait sentir, au niveau du filtre à air, des pneus, ou d'autres pièces. De cette façon, il contribue à allonger la durée de vie du véhicule.
- Par la diminution des coûts de communication avec les conducteurs: Nul besoin d'effectuer des appels incessants pour savoir qui est disponible, pour attribuer des missions, pour avertir d'une anomalie ou d'un changement de programme, le système de géolocalisation de flotte permet de faire l'économie de messages verbaux.

Un gain de productivité

Grâce aux informations obtenues lors de l'utilisation du système de géolocalisation (position en temps réel, heure de départ et d'arrivée, distance parcourue, etc.), le gestionnaire de la flotte de véhicules est en mesure de :

- maîtriser le nombre d'heures réellement travaillées,
- réorganiser les horaires et les trajets,
- optimiser le rendement de ses équipes en augmentant le nombre d'interventions sans besoin de recrutement supplémentaire.

Une qualité de service accrue

En équipant les véhicules d'un tracker GPS, il est possible de récupérer des données qui permettent d'analyser les performances et d'identifier les pistes d'amélioration de gestion de flotte de véhicules. On dispose ainsi d'une meilleure réactivité qui permet d'améliorer la qualité de service en optimisant son organisation par :

- la diminution des temps d'intervention,
- le contrôle et le respect des engagements pris avec les clients,
- la maîtrise des délais.

Une prévention des risques pour une meilleure sécurité

Une entreprise capable de localiser les véhicules de sa flotte renforce la sécurité des biens et aussi des personnes transportées. En effet, le tracking GPS permet de localiser un véhicule volé et de contribuer à ce qu'il soit retrouvé rapidement mais aussi de contrôler la vitesse à laquelle roulent les conducteurs et ainsi faire baisser le risque routier.



5.4. LES LOGICIELS DE GESTION DE PARC

L'outil de production des entreprises de transport se trouve de plus en plus au centre d'une problématique d'optimisation qui passe par l'intégration de la chaîne de traitement de l'information dans l'entreprise. Les performances du parc deviennent liées à l'accélération du traitement de l'information que permet l'informatique, embarquée ou non, et l'explosion des outils de communication qui assure l'inter- relation complète entre les véhicules et leur base.

L'informatisation du suivi des performances d'un parc de véhicule constitue une action importante vers la gestion et l'optimisation des moyens de transport.

L'outil informatique pourra donc être utilisé à des fins différentes selon l'activité de l'entreprise, la taille de son parc, le degré d'intégration de son système de traitement de l'information.

5.4.1. TYPOLOGIE DES LOGICIELS

Les principaux constituants d'un logiciel de gestion de parc sont :

a) Les données de base : La gestion des données de base, consiste à saisir l'ensemble des paramètres et des données permanentes d'identification des véhicules, matériels, descriptifs techniques, administratifs, données comptables, et/ou de gestion, ... c'est à partir de cette mise à jour constante de l'information, que se déclencheront les décisions et les actions.

b) La maintenance : La gestion de l'entretien comprend en premier lieu le déclenchement des interventions : celles qui sont planifiées selon une fréquence propre d'utilisation ou prévues à une échéance donnée (y compris selon les cas, les contrôles obligatoires) et enfin, la prise en compte de

l'impondérable, les opérations soudaines. Dans tous les cas, c'est-à-dire que l'entretien se fasse en interne ou en externe, et quelque soit le degré de sophistication des seuils et processus d'alerte, un tel mode de fonctionnement est à la base de la gestion du parc.

La gestion de l'atelier, lorsqu'elle est présente s'y connecte étroitement, en particulier en ce qui concerne la gestion des temps de travail des agents, la gestion des temps d'immobilisation des véhicules et la saisie du coût des pièces et consommables.

La gestion des stocks de pièces et consommables, incluant des alertes en fonctions des seuils atteints, et par pièces et les paramètres commerciaux (gestion des fournisseurs, prix, conditions commerciales, délais d'approvisionnement, ...), est également pris en compte.

c) Paramètres de gestion : Le troisième volet couvert par les logiciels de gestion de parc consiste à produire des résultats de gestion tels que :

- Les statistiques plus ou moins détaillées sur l'état du parc, son âge, sa puissance, le kilométrage parcouru, la chronologie des interventions, nature et cause, l'historique des consommations, ..., permettant d'affiner la connaissance du parc et sa gestion.
- Le suivi des véhicules et des chauffeurs à des fins d'optimisation de l'activité.
- La détermination du prix de revient kilométrique.
- Etc.

La gestion des disques de chrono- tachygraphe, ainsi que de l'informatique embarquée, dans laquelle la gestion de parc trouve un outil performant d'acquisition des données.

5.4.2. LES BÉNÉFICES À ATTENDRE DE LA GESTION INFORMATISÉE DU PARC

Outre le bénéfice qu'offre la vision stratégique de la chaîne qui part de l'utilisation des véhicules, de leur mode d'entretien et de leur mode de remplacement, donc, d'acquisition, les principaux bénéfices que l'on peut attendre d'une gestion informatisée d'un parc de véhicules sont :

- la surveillance et la réduction des consommations,
- la réduction des coûts de fonctionnement global du parc,
- la mesure de la performance de chaque véhicule et ou organe par marque, type, (détermination des éléments les plus économiques et inversement, des éléments à risques et coûteux d'entretien)
- les coûts par type d'intervention, et ceux qu'il est plus économique de sous traiter,
- la détermination d'une politique de renouvellement,
- l'optimisation des investissements sur les plans techniques et financiers,
- la mise en place d'un système de connaissance des coûts de revient unitaires d'opérations,
- etc ...

5.4.3. CRITÈRES DE CHOIX D'UN LOGICIEL DE GESTION DE PARC

Le choix d'un logiciel de gestion de parc dépend tout d'abord de la taille du parc à gérer, mais aussi de son statut dans l'entreprise. Les réponses seront bien entendu différentes selon que l'on aura affaire à un parc pour compte propre ou pour compte d'autrui, selon le type de structuration en centres de coûts et de profits, selon le fonctionnement en entité séparée (la gestion du parc est individualisée), ou non... Dans ce champ, la possession d'un atelier intégré est un élément qui influe également sur le choix du logiciel.

On tiendra compte également du profil des utilisateurs potentiels. Les réponses seront ici aussi différentes selon que l'on envisage d'affecter l'outil à une seule personne ou un seul service, ou au contraire de l'ouvrir à plusieurs opérateurs aux attentes différentes.

Une réflexion sur l'insertion de cet outil dans les procédures d'informations de l'entreprise est primordiale. Il va de soi qu'entre les deux extrêmes que constituent d'une part l'inexistence d'autres procédures (l'informatisation de l'entreprise pouvant commencer par ce biais...), et d'autre part le fonctionnement acquis d'une informatique intégrée, à laquelle on souhaiterait simplement adjoindre une nouvelle fonctionnalité, toute une gamme de situations pourront être rencontrées. L'aptitude du progiciel concerné à s'insérer efficacement dans cet existant et plus encore dans un éventuel futur proche, sera déterminante.

Il est intéressant de mettre en compétition plusieurs produits correspondant aux critères de choix, et solliciter des démonstrations sur des exemples concrets d'application, de manière à pouvoir juger des fonctionnalités développées, des services offerts, de la qualité de «l'interface utilisateur» (facilité de mise en oeuvre et d'apprentissage), et des passerelles possibles avec les logiciels de l'entreprise.

Enfin et pour garantir la réussite au niveau de la mise en place, il est nécessaire de s'assurer du service après vente autour du logiciel, de sa mise à jour et de son évolution régulière.

5.5. LE PRIX DE REVIENT KILOMÉTRIQUE «PRK»

Il est utile de préciser que le prix de revient kilométrique est une référence instable à utiliser avec précaution. Il ne faut pas en faire le fondement à partir duquel on fixerait un prix de vente où on déterminerait le coût de transport d'un produit. Dans un vrai coût de revient, entrent infiniment d'autres composantes, qu'il faut analyser poste par poste.

Le prix de revient est propre au véhicule employé, à l'entreprise qui l'utilise, au conducteur qui le conduit, à la relation effectuée, à la nature du fret, etc.

Vouloir généraliser et utiliser le PRK dans tous les cas de figure est une mauvaise démarche et discuter un prix de transport sur la base de x dinars du kilomètre est une aberration.

Il ne peut pas y avoir de standardisation des facteurs constituant le coût de revient. Les interactions, retracées dans le schéma ci-dessous, sont trop nombreuses et multiplient les paramètres d'influence. En conséquence, il existe autant de coûts qu'il y a de véhicules. Les différences peuvent être minimes, mais elles existent toujours.

L'objectif est de construire une base stable, qui englobe toutes les charges. On les provisionnera si elles ne sont constatées qu'à des dates précises (revente, contrôle technique, franchise d'assurance...). On les rendra linéaires si elles varient d'un exercice sur l'autre (frais financier, entretien, pneumatiques).

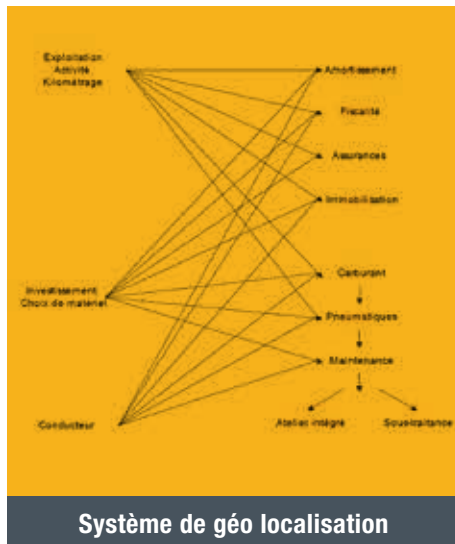
Le calcul est indépendant de la comptabilité. Cependant, il devrait permettre de retrouver l'ensemble des charges actualisées des différents exercices correspondant à la durée de vie du véhicule. Il évolue chaque année, en fonction des augmentations réelles des indices correspondant à chaque poste.

Le coût se calcule de préférence par véhicule ou par groupe homogène de véhicules c'est-à-dire des véhicules présentant un ou plusieurs critères communs. Par exemple, un groupe monocritère pourra ne comprendre qu'une seule activité ou qu'un seul type de véhicules alors qu'un groupe multicritères prendra en compte la marque, le kilométrage, la puissance, le type, la carrosserie, l'activité... Ce sont ainsi des groupes multicritères que l'on retiendra lorsqu'il s'agit de déterminer une période de renouvellement.

Le coût de revient comprend des charges stables annuelles et des charges variables kilométriques. On ne peut le calculer pertinemment que pour une durée de vie et un kilométrage déterminé.

Charges stables annuelles : elles comprennent

- L'amortissement technique ou économique (achat-vente/durée d'exploitation) en incluant la carte grise et les équipements.
- Les frais financiers annuels, répartis linéairement sur la durée d'exploitation, ou la rémunération annuelle des fonds propres en cas d'autofinancement ;
- Les assurances, c'est-à-dire non seulement les primes d'assurances annuelles mais aussi les franchises annuelles et les frais de réparation des sinistres auto-assurés ;
- Les taxes annuelles : fiscalité du véhicule, taxes professionnelle, contrôles techniques ;
- La rémunération des conducteurs qui englobe le salaire brut annuel, les charges patronales, les frais de déplacement ;
- Les frais de remplacement en cas d'immobilisation du véhicule (location ou véhicule supplémentaire)
- Les charges de structure de l'entreprise.
- Le total correspond au coût fixe moyen annuel, qui peut être décliné en coût mensuel, journalier ou horaire.



Système de géo localisation

Les charges variables kilométriques : Les coûts sont rapportés au kilomètre et sont composés des postes suivants :

- Carburant ;
- Pneumatiques ;
- Entretien-réparations (coût moyen au kilomètre pour la durée d'exploitation) ;
- Péages ramenés au coût moyen par kilomètre parcouru.

Le total correspond au coût kilométrique moyen.

Le tableau ci-dessous indique un exemple de la structure de coût d'un ensemble de 40 tonnes et met en évidence le poids du carburant par rapport au total du coût.

		CUMUL
Salaires et charges	27,3 %	27,3 %
Carburant	22,1 %	49,4 %
Charges de structure	14,6 %	64,0 %
Renouvellement tracteur	7,9 %	71,9 %
Entretien et réparation	7,1 %	79,0 %
Frais de route	6,0 %	85,0 %
Coût financier	3,3 %	88,3 %
Assurances et taxes	3,0 %	91,3 %
Péages	3,7 %	95,0 %
Pneumatiques	2,8 %	97,8 %
Renouvellement semi-remorque	2,2 %	100,0 %

Structure de coût d'un ensemble 40 tonnes (temps un temps de service de 200 h/mois) Source CNR

La présentation de chaque poste permet de mesurer facilement l'incidence d'une augmentation d'une charge sur le coût global. Les répercussions des variations des variations de chaque paramètre sont ainsi clairement apparentes. Par exemple, une augmentation de 3% du carburant dans la structure de coût aura une incidence de $0,221 \times 0,03 = 0,663 \%$.

Cette présentation hiérarchise le poids de chaque poste dans l'ensemble du coût. Chaque décision du gestionnaire peut être ainsi appréciée.

Le coût de revient, ventilé par poste, constitue le tableau de bord indispensable du gestionnaire de parc. Sans lui, aucun suivi sérieux des charges, aucune comparaison ne sont possibles. Le coût de revient, de plus, permet de calculer le budget prévisionnel du véhicule pour toute sa durée d'exploitation dans l'entreprise.

LES VÉHICULES ÉNERGÉTIQUEMENT PERFORMANT ET L'OPTIMISATION DE LEURS UTILISATIONS

6.1. CRITÈRES DE CHOIX POUR L'ACQUISITION DES VÉHICULES

L'économie de carburant commence par l'achat de véhicules à efficacité énergétique. Choisir un véhicule énergétiquement performant et qui répond aux conditions d'exploitation du transporteur doit constituer une priorité même si cela présente quelques difficultés.

Le véhicule le plus cher à l'achat n'est forcément celui qui coûtera le plus cher étant donné que le coût total d'un véhicule comporte le coût à l'achat et le coût de possession.

Les constructeurs de véhicules proposent des véhicules qui répondent à une large gamme d'utilisation et ils sont souvent à l'écoute des futurs acquéreurs pour les conseiller à choisir le véhicule qui correspond au mieux à leurs besoins.

Pour effectuer un bon choix, il est nécessaire de faire le tour des offres des constructeurs en accordant l'importance nécessaire aux détails contenus dans les fiches techniques des véhicules et si nécessaire à d'autres en demandant des éclaircissements auprès des constructeurs.

Pour faciliter cette tâche, nous avons retenu quelques critères qui doivent être pris en considération lors de l'acquisition d'un véhicule.

6.1.1. LA CONSOMMATION DE CARBURANT

C'est l'un des premiers critères à prendre en compte pour le choix du véhicule compte tenu de l'importance du prix du carburant dans la structure du prix de revient, d'une part, et des augmentations sans cesse du coût de celui-ci, d'autre part.

En dehors des consommations moyennes conventionnelles exprimées en litres aux 100 km et que l'on ne retrouve pas nécessairement dans la pratique, les constructeurs ne fournissent pas d'indications très précises à ce sujet.

La consultation des courbes de la consommation spécifique exprimée en g/kW.h, généralement fournies avec les courbes de performances, devient de ce fait un point clé pour comparer les performances des moteurs et retenir celui qui offre la plus faible consommation spécifique.

À titre d'exemple, deux litres en moins sur la consommation moyenne engendre au bout de 100 milles kilomètres une économie de 900 dinars (Gazole à 0,9 dinars le litre).

6.1.2. LA MOTORISATION

La puissance du moteur est étroitement liée à la consommation de carburant. Un excès ou un manque de puissance signifie une consommation excessive. Il est donc indispensable d'adapter



la puissance du moteur du véhicule à son exploitation et aux conditions dans lesquelles il va rouler. Schématiquement, il s'agit surtout d'éviter le surdimensionnement (en termes de puissance par exemple) ou l'inadéquation. On sait que la surconsommation peut aller couramment jusqu'à 1,5 L/100km pour cause de non adéquation de la puissance, et jusqu'à 1L/100km au motif d'une chaîne cinématique ou d'un rapport de pont non optimal.

Il n'existe pas un véhicule idéal multifonctions. Aussi, il s'agit bien, dans chaque cas, d'un choix optimal en fonction d'une activité spécifique dans un contexte donné.

Le transporteur doit donc choisir le véhicule en fonction des missions de transport, en tenant compte de la charge moyenne, du poids maximum au sol, des routes empruntées et des caractéristiques topographiques des trajets.

Une puissance importante n'est pas forcément indispensable lorsque le véhicule est utilisé en terrain plat ou peu accidenté. De même, des puissances plus faibles sont souvent suffisantes et offrent un bon compromis performances/consommation dans les cas :

- de retours à vide quasi-systématiques ;
- de charge utile transportée qui ne sature pas le PTR (activités de déménagement ou de marchandises de grands volumes) ;
- d'utilisation majoritaire des autoroutes ou de grandes routes de plaines.

6.1.3. LA MASSE DU VÉHICULE

La consommation d'un véhicule est bien évidemment impactée par son poids, ainsi que par celui de sa remorque. Outre une baisse de la consommation due à une masse moindre, la diminution du poids à vide d'un véhicule permet par ailleurs d'augmenter d'autant la charge utile transportée. L'allègement correspond donc à une économie, venant d'une diminution du nombre de voyages ou de véhicules concernés.

6.1.4. LES BOÎTES DE VITESSES ROBOTISÉES

L'atout majeur de la boîte de vitesses robotisée (BVR) est son excellent rendement : elle ne consomme de l'énergie que lors du changement de rapports. Sa base mécanique est identique à celle d'une boîte manuelle. Des servomécanismes «robot» actionnent et changent les rapports en fonction des instructions que leur communique un calculateur qui prend aussi en charge la gestion de l'embrayage.

On peut assimiler le fonctionnement d'une boîte de vitesses robotisée à la gestion automatisée d'une boîte manuelle.

Pour le conducteur, le comportement global du véhicule est très proche : pas de pédale d'embrayage, le passage des rapports se fait automatiquement en fonction du régime du moteur, des conditions de roulage, de la topographie de la route, etc.

Un calculateur, au fonctionnement comparable à celui d'une boîte automatique, assure l'ensemble des opérations nécessaires. La boîte de vitesses robotisée, comme une boîte manuelle, doit gérer

l'ouverture et la fermeture de l'embrayage lors des changements de rapport. Afin d'offrir des prestations de confort aussi proches que possible de celles d'une boîte automatique, le calculateur pilote le régime et le couple du moteur lors du changement de rapports.

Par ailleurs, l'optimisation du passage des rapports et le bon rendement de la boîte de vitesses robotisée permettent d'atteindre une réduction de la consommation comprise entre 2 % et 10 %. Comme les actionneurs ne travaillent que lors du changement de rapports, la consommation énergétique d'une boîte de vitesses robotisée est beaucoup plus faible que celle d'une boîte automatique traditionnelle, où les vérins de commande de ses embrayages internes et le convertisseur de couple, qui remplace l'embrayage, consomment de l'énergie en permanence. Or, sur un véhicule, toute consommation d'énergie se répercute sur la consommation du moteur : c'est lui qui génère la totalité de l'énergie disponible. Cette économie d'énergie se traduit par une baisse de la consommation et, par voie de conséquence, de ses émissions.

Dans le cadre de son partenariat avec l'ADEME (L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie en France), le groupe Norbert Dentressangle (4^{ème} acteur européen du transport et de la logistique) a réalisé un test en conditions réelles d'exploitation sur 2 agences pilotes et 11 véhicules, sur des périodes allant de 6 à 12 mois.

Les paramètres étaient identiques (conducteurs, types d'activités, tonnages moyens...) et une consommation de référence avait été déterminée pour chacun des conducteurs. Par ailleurs, une formation avait été organisée pour chacun des conducteurs sur l'utilisation de la nouvelle boîte de vitesses. Les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- réduction moyenne de la consommation : 1,2 L/100km (soit légèrement plus de 3%) ;
- lissage des consommations entre les conducteurs ayant une forte et une faible consommation de carburant (l'écart type se réduit de 2,5L/100km) ;
- les conducteurs ayant originellement une consommation faible ont vu leur consommation stagner voir légèrement augmenter ;
- les conducteurs dont la consommation était forte ont vu une forte diminution de leurs consommations moyennes ;
- par ailleurs, une amélioration des conditions de travail a été observée (conduite plus souple, réduction du stress...).

En Résumé une boîte de vitesses robotisée est une boîte «manuelle» dotée d'actionneurs électromécaniques qui changent les rapports en fonction des instructions que leur communique un calculateur en tenant compte de critères préétablis.

6.1.5. LES RAPPORTS DE PONT

Afin d'obtenir une consommation optimale de carburant, il faut choisir un rapport de pont adaptée à sa mission. Les constructeurs proposent un vaste choix de possibilités qui s'adaptent à tous les types de transport. Un rapport de pont adéquat permet au moteur de tourner le plus possible dans la «zone économique», indiquée sur le compte-tours, à l'intérieur de laquelle il fonctionne avec le maximum d'efficacité et la plus faible consommation.

6.1.6. LES DISPOSITIFS AÉRODYNAMIQUES

À la vitesse de circulation sur les autoroutes, une bonne partie de l'énergie utilisée pour déplacer un véhicule sert à lutter contre l'air environnant.

Lorsqu'un véhicule se déplace, l'air exerce une pression qui s'oppose au mouvement du véhicule, ce qui rend plus difficile son déplacement. Cette force est ce qu'on appelle la traînée aérodynamique et elle a des incidences importantes sur la quantité de carburant qu'un véhicule utilise. Par conséquent, un ensemble tracteur semi-remorque non aérodynamique a besoin de plus de puissance (soit plus de carburant) qu'un autre qui est aérodynamique. Les répercussions d'un mauvais aérodynamisme sur la consommation de carburant augmentent à mesure que la vitesse augmente.

Les **dispositifs aérodynamiques** améliorent le profilage de l'ensemble tracteur semi-remorque. Ils réduisent la surface sur laquelle l'air exerce une pression, ce qui diminue la traînée et, par conséquent, contribue à réduire la consommation de carburant.

Les recherches effectuées sur les dispositifs aérodynamiques permettent d'améliorer l'économie en carburant des camions semi-remorques depuis plusieurs années.



Image de gauche : Lorsqu'il n'y a pas de déflecteur sur la cabine, l'air frappe le devant de la remorque et crée une traînée dans l'espace entre le tracteur et la remorque.

Image de droite : Lorsqu'on ajoute un déflecteur de cabine, l'air passe au-dessus de l'espace entre le tracteur et la remorque, ce qui diminue la surface sur laquelle l'air exerce une pression. (Photos : Conseil national de recherches Canada)

Lorsqu'un camion semi-remorque se déplace, il y a quatre zones principales de traînée aérodynamique : la surface frontale du tracteur, l'espace entre le tracteur et la remorque, le train de roulement et la surface arrière de la remorque.



Il est possible de réaliser des économies importantes de carburant en améliorant l'aérodynamisme du camion semi-remorque. Les technologies qui ciblent ces zones problématiques :

- sont installées sur le tracteur ou en sont des éléments, comme les jupes de réservoir de carburant, les miroirs aérodynamiques, ainsi que les calandres et les pare-chocs arrondis;
- améliorent l'aérodynamisme de l'espace entre le tracteur et la remorque, comme les déflecteurs et les carénages de toit de cabine, les réducteurs d'écart entre le tracteur et la remorque et les rallonges de cabine;
- sont installées sur la remorque, comme les rétreints de remorque et les jupes de remorque.

Les carénages de toit de cabine, les déflecteurs de toit de cabine ajustables, les jupes de remorque et les rétreints de remorque sont les technologies qui offrent les meilleures économies de carburant prouvées et qui peuvent être utilisées par tous ceux qui possèdent un tracteur ou une remorque.



Les économies de carburant possibles obtenues grâce aux dispositifs aérodynamiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Dispositifs aérodynamiques et économies de carburant associées

Dispositif	Économie de carburant	Zone concernée
Carénages de toit de cabine	De 6 à 8 %	Espace entre le tracteur et la remorque
Déflecteurs de cabine ajustables	De 2 à 4 %	Espace entre le tracteur et la remorque
Jupes de remorque	De 4 à 7 %	Train de roulement de la remorque
Rétreints de remorque	Au moins 1 %	Surface arrière de la remorque

La quantité de carburant économisée à l'aide des dispositifs aérodynamiques variera selon les activités, les dispositifs choisis et les autres facteurs tels que la vitesse, la conception aérodynamique initiale, de la qualité de l'installation des dispositifs et de leurs entretiens.

Pour réaliser le maximum d'économies de carburant avec le dispositif aérodynamique, assurez-vous :

- d'installer le dispositif aérodynamique sur des tracteurs et des remorques qui circulent à grande vitesse;
- d'installer adéquatement le dispositif, conformément aux instructions du fabricant ;
- d'inspecter périodiquement le véhicule et de remplacer les pièces si elles sont endommagées.



Les constructeurs de véhicules industriels adoptent les meilleures solutions afin de réduire la résistance aérodynamique, avec un kit généralement composé de **spoiler, carénage latéraux et déflecteurs entre cabine et semi-remorque**.

Il en résulte une **économie moyenne de carburant de 6 %** (avec des pointes atteignant 10 %) par rapport à un véhicule dépourvu de ce kit.

6.1.7. LA RÉDUCTION DE LA RÉSISTANCE AU ROULEMENT

La résistance au roulement des pneumatiques représente environ un tiers de la force de résistance globale à l'avancement. Il est donc intéressant de tenter de diminuer autant que faire se peut la résistance au roulement.

La consommation est pour partie déterminée par le type de pneumatiques et leur état, sachant que des pneus taille basse peuvent diminuer la consommation de l'ordre de 0,4 litre/100. Mais ce gain

peut être annulé, voire se transformer en pertes, lorsque tracteur et remorque sont équipés de pneumatiques de tailles différentes.

Depuis quelques années, les manufacturiers proposent dans leurs gammes de produits des pneus qui réduisent la résistance au roulement (ajout de la silice dans le mélange des gommages) tout en conservant une bonne adhérence et permettent de ce fait de réduire la consommation de carburant.

Certains fabricants annoncent une réduction par 3 de la résistance au roulement et un gain sur la consommation jusqu'à 2,3 litres de carburant pour 100 km tout en conservant à la fois les propriétés d'adhérence et de sécurité ainsi qu'une excellente durée de vie.

D'autre part, la pression de gonflage des pneumatiques influe de façon considérable sur les performances du pneu et la sécurité. Un sous-gonflage des pneus entraîne :

- une influence sur le comportement et la sécurité du véhicule ;
- une diminution de la résistance de la carcasse, ce qui limite les possibilités de rechapage ;
- une augmentation de la résistance au roulement et donc de la consommation du véhicule ;
- une usure prématurée et parfois la destruction.

D'après Michelin, les valeurs de surconsommation pour un poids lourds en fonction du sous gonflage sont les suivants :

Sous gonflage		Surconsommation
En %	En bars (pour une pression nominale de 8 bars)	
0	0	0,0%
5	0,4	1,0%
10	0,8	2,8%
15	1,2	8,2%
20	1,6	18,0%

Un sur gonflage nuit :

- au confort,
- à l'adhérence,
- à la longévité du pneumatique, surtout sur les roues motrices.

Pour maîtriser les pressions de gonflage des pneus, il est nécessaire d'appliquer les consignes suivantes :

- Pesez le véhicule en charge, essieu par essieu, pour déterminer la pression de gonflage. En attendant de pouvoir peser, utilisez les pressions de base contenue dans les tableaux de gonflage poids lourd.
- Mesurez les pressions à froid (lorsque le véhicule n'a pas roulé depuis plusieurs heures) : les pressions doivent être vérifiées à intervalles réguliers et à chaque entretien en atelier.

- Précaution importante : la pression augmente en cours de roulage ; il ne faut jamais diminuer la pression d'un pneumatique à chaud.
- Les contrôleurs de pression : ils doivent être précis, manipulés avec précaution et étalonnés régulièrement, comme tous les appareils de mesure.

En résumé, un niveau optimal de pression des pneumatiques est fondamental pour de nombreuses raisons :

- parce qu'il est à la base de la tenue de route et de la sécurité de conduite,
- parce qu'il permet de limiter l'usure et donc de prolonger la durée d'un composant délicat et coûteux,
- et surtout parce qu'il permet de réduire considérablement les consommations.

Certains véhicules sont équipés (en option) du système TPMS (Tire Pressure Monitoring System) qui fournit au conducteur des informations en temps réel sur la pression des pneumatiques.

Un indicateur signale au tableau de bord l'éventuel état de basse pression, ce qui permet d'y remédier au plus vite.

6.1.8. LA RÉDUCTION DE LA VITESSE MAXIMALE DES VÉHICULES PAR LE BRIDAGE DES MOTEURS

La vitesse augmente la résistance aérodynamique de façon sensible, ce qui nécessite une demande de puissance accrue et donc une consommation en hausse.

Une augmentation de 1 km/heure autour de 80 km/heure se traduit par une augmentation de consommation de 0,5L/100km.

La réduction de la vitesse de conduite permet donc une économie de carburant sensible et directe.

Certains transporteurs routiers brident leurs véhicules afin de limiter les vitesses maximales de conduite et ainsi de réaliser des économies en carburant.

Dans le cadre de son partenariat avec l'ADEME, un grand groupe de transport et logistique a conduit une étude sur l'impact du bridage moteur (à 80, 85 et 88 km/h) sur les consommations de carburant des véhicules. Les objectifs poursuivis par cette étude étaient :

- de déterminer si le bridage des véhicules réduisait réellement la consommation de carburant ;
- d'identifier le bridage le mieux adapté afin d'optimiser cette réduction des consommations.

La méthodologie employée consistait en des entretiens qualitatifs avec les moniteurs. L'étude a porté sur 77 véhicules qui ont été suivis pendant 2 mois. La consommation de référence a été prise sur le mois précédent le bridage.

Pour exploiter les résultats, 3 groupes de conducteurs ont été distingués en fonction de leur consommation moyenne :

- Groupe 1 : conducteurs consommant moins de 32L/100km : L'impact du bridage est neutre.

- Groupe 2 : conducteurs consommant entre 32 et 35L/100km : Ils peuvent être bridés avec un impact positif sur la consommation de 1L/100km (pour un bridage à 88km/h) à 1,5L/100km (pour un bridage à 85km/h), soit entre 3 et 4%.
- Groupe 3 : conducteurs consommant plus de 35L/100km : Le bridage le plus efficace est celui à 80km/h permettant une réduction de près de 6L/100km (soit près de 15%).

En conclusion, un gain potentiel de l'ordre de 5% en termes de consommation de carburant en passant d'une vitesse maximale du véhicule de 90km/h à 80km/h grâce au bridage volontaire du moteur.

6.1.9. LA CLIMATISATION

L'utilisation de la climatisation dans les véhicules a amené plus de confort et de sécurité pour les conducteurs. Cependant, elle est responsable d'une augmentation de la consommation et donc des émissions des gaz à effet de serre pour deux raisons :

- le fonctionnement de la climatisation nécessite l'entraînement d'un compresseur par le moteur thermique du véhicule ce qui accroît la consommation de carburant de ce dernier (et donc émet plus de CO₂) ;
- les boucles de climatisation ne sont pas parfaitement étanches et les fluides frigorigènes utilisés, qui peuvent s'en échapper, ont un très fort effet sur le réchauffement climatique.

Dans le cas de la climatisation, deux actions peuvent donc être mises en oeuvre pour limiter les émissions de gaz à effet de serre :

- la limitation de l'utilisation de la climatisation par les conducteurs ;
- le remplacement des systèmes de climatisation classique par une climatisation dite «évaporative».

Traditionnellement la climatisation des camions est réalisée par l'utilisation des fluides frigorigènes appelés «R22» et «R134a». Cette climatisation par compression a jusqu'à ce jour été largement diffusée par les constructeurs en première monte.

Une solution alternative à cette technologie existe : il s'agit de la climatisation «évaporative». Sans compresseur ni fluide frigorigène, cette nouvelle technologie a fait l'objet de récents développements soutenus par l'ADEME.

Dans le cas de la climatisation «classique», la production du froid est obtenue par évaporation d'un fluide frigorigène. Pour s'évaporer un fluide a besoin d'un apport de chaleur. Le principe des climatisations «classiques» est de venir prélever cette chaleur à l'air extérieur et en partie à l'air intérieur de la cabine, qui est ainsi refroidi.

Dans le cas de la climatisation évaporative, l'air extérieur chaud et sec est filtré, rafraîchi et réhydraté grâce à l'évaporation d'eau puis diffusé dans la cabine. Cette technologie présente la particularité de fonctionner en air neuf, sans recyclage de l'air intérieur, tout en apportant une filtration et une purification de l'air extérieur introduit. La climatisation évaporative a fait l'objet de tests de validation et de plusieurs

centaines de mises en application en situation réelle, depuis plusieurs années, qui révèlent la satisfaction de ses utilisateurs. D'un point de vue environnemental, la technologie évaporative présente les avantages cumulés de n'utiliser aucun fluide frigorigène agissant sur l'effet de serre et de diminuer la surconsommation de carburant due au fonctionnement de la climatisation. L'abaissement de la température est cependant plus faible qu'avec une climatisation classique.

Pour limiter les surconsommations dues à la climatisation, il est recommandé de :

- faire changer le filtre à air habitacle tous les ans ;
- ne pas recharger en fluide frigorigène tant que la climatisation produit de l'air froid ;
- stationner à l'ombre quand c'est possible ;
- ouvrir les fenêtres pour évacuer la chaleur avant de mettre la climatisation en marche ;
- fermer les fenêtres dès que la climatisation fonctionne ;
- ne pas dépasser 4 à 5°C de différence entre l'extérieur et l'intérieur du véhicule climatisé ;
- éteindre la climatisation automatique tant qu'il ne fait pas trop chaud ;
- recycler l'air de l'habitacle par temps très chaud ;
- faire fonctionner la climatisation de temps en temps, même en hiver, pour maintenir les joints en état.

6.1.10. LES ORDINATEURS DE BORD

Un ordinateur de bord est un petit ordinateur que l'on place dans la cabine d'un véhicule. Grâce à une connexion avec d'autres équipements (capteurs de température ou de sécurité, tachygraphe numérique, etc.), l'ordinateur de bord peut fournir une multitude de données permettant d'accroître considérablement la productivité et la rentabilité de l'entreprise de services logistiques. Via l'écran, les chauffeurs peuvent échanger des données en temps réel avec le siège.

Parmi les principales possibilités de l'ordinateur de bord l'on peut citer : l'enregistrement des temps de conduite et de repos, la planification des tournées, la navigation, l'échange de messages, l'enregistrement de la consommation de carburant et l'évaluation du style de conduite des chauffeurs.

Actuellement, le GPS est intégré dans l'ordinateur de bord des véhicules. Le système de suivi est ainsi parfaitement soutenu et le siège sait précisément où et quand un véhicule s'est arrêté, pendant combien de temps, quelle direction il a ensuite prise et quel itinéraire il a emprunté. La connexion avec le GPS offre de nombreux avantages, comme la reconnaissance automatique d'adresses qui sont envoyées aux chauffeurs par le siège. Le traçage d'équipements permet de suivre la position d'équipements précieux comme les remorques, les conteneurs, les remorques roll-off ou les systèmes interchangeables.

Les ordinateurs de bord de la dernière génération permettent au siège de surveiller dans les camions des facteurs comme la température, l'ouverture des portes ou le niveau de carburant. Les collaborateurs dans les bureaux de la société ont la possibilité d'adapter le planning en temps réel, du fait qu'ils peuvent détecter des problèmes grâce aux informations relatives aux positions

et statuts. L'enregistrement des heures de chargement et de déchargement est facilité, du fait que les numéros de commande sont entrés via l'ordinateur de bord et que les informations correspondantes sont automatiquement traitées dans le système de gestion du transport.

La génération moderne d'ordinateurs de bord communique par GPRS. Cette forme de communication de données permet de suivre, à un coût mensuel fixe relativement bas, les véhicules en déplacement et d'échanger des messages avec les chauffeurs. Grâce à la connexion de l'ordinateur de bord avec le bus CAN, la consommation de carburant et le style de conduite des chauffeurs peuvent être surveillés. Un ordinateur de bord avec connexion GPRS permet au chauffeur d'envoyer, durant ses déplacements, des données du tachygraphe numérique vers les bureaux de la société.

6.2. L'ORGANISATION DU FLUX DE TRANSPORT

6.2.1. LOGICIEL D'OPTIMISATION D'ITINÉRAIRES

A qui et à quoi sont-ils destinés ?

Dits aussi logiciels d'optimisation de parcours, ils concernent essentiellement le transport pour compte d'autrui ou pour compte propre, sur moyennes et longues distances, de lots complets (ou partiels) mais peuvent être utilisés aussi en transport local ou régional.

Ils répondent à la question : quel est le meilleur itinéraire pour relier un point à un autre en considérant le problème sous l'angle de la vitesse, de la distance, ou de l'économie ?

La problématique peut sembler triviale et la réponse paraît d'habitude évidente, tant et si bien que les responsables d'exploitation et les conducteurs remettent trop rarement en questions leurs habitudes et certitudes en la matière.

Or, il apparaît bien que même s'agissant de parcours connus, classiques et réguliers, d'une entreprise, un examen attentif des composants d'un parcours et des alternatives, qui tiennent compte notamment des catégories de route – donc des vitesses moyennes réalisables, des temps de repos et de récupération, permet souvent de déterminer des itinéraires plus performants, plus intéressants du point de vue des coûts et / ou de l'efficacité dans certains cas, la remise en cause d'un itinéraire et le choix de certains tronçons ont permis au conducteur d'effectuer encore dans la journée un voyage retour, tout en respectant la réglementation des temps de repos.

Comment ?

Il s'agit en fait d'un système de calcul des distances, basé sur une carte numérisée permettant de déterminer l'itinéraire le plus adéquat selon trois critères de choix à savoir la vitesse (itinéraire le plus rapide), la distance (itinéraire le plus court) et le coût (itinéraire le plus économique).

L'introduction de paramètres choisis, spécifiques à l'entreprise concernant les conditions d'utilisation des véhicules – vitesse moyenne par catégorie de routes, coûts kilométriques, coûts horaires, coûts fixes par jour, éventuellement coûts par période de repos, périodes réglementaires de pause et de récupération, ... permet d'établir de véritables feuilles de route, explicites par

segments de parcours et, après détermination de l'heure de départ, détaillant les horaires correspondant à chaque segment de route et l'heure d'arrivée. A l'inverse et sur le même mode, la fixation d'une heure d'arrivée (impérative, correspondant à une heure limite de déchargement par exemple) peut permettre de déterminer l'heure de départ.

Ces feuilles de route peuvent être éditées ainsi que les cartes routières correspondantes, visualisant donc l'itinéraire sélectionné.

La comparaison, par le conducteur, du temps réalisé par rapport au planning établi, lui permettra de déterminer son retard éventuel et, selon l'importance de celui-ci, d'en avertir sa base pour suite à donner.

Qu'est-ce qui caractérise ces logiciels ?

La qualité opérationnelle d'un logiciel dépend de la cartographie utilisée, du nombre de points référencés, du degré de détail de la nature des voies routières et du nombre de noeuds routiers et de jonctions. Le choix de tel ou tel logiciel dépend évidemment du champ d'activité de l'entreprise utilisatrice, et du niveau de précision que chacun veut obtenir.

Utilisation

Ces logiciels seront utilisés :

- Soit pour la détermination d'itinéraires optimaux réguliers (comment améliorer la desserte d'un client régulier ou d'une ligne régulière). Dans ce cas, l'opération de détermination d'itinéraire peut être réactualisée en fonction des saisons, par introduction de paramètres correspondants, ou à l'occasion de travaux routiers lourds induisant des ralentissements importantes, déviations, ... Le bénéfice d'une opération d'optimisation est dans ce cas évidemment multiplié par le nombre de voyages effectués et un gain kilométrique, même minime, sera multiplié par le même facteur.
- Soit pour la détermination d'itinéraires au coup par coup, en transport à la demande ponctuelle donc, les opportunités sont dans ce cas multiquotidiennes puisque chaque opération de transport justifie du recours au logiciel, y compris pour ce qui est des trajets à vide entre points de livraison et point de chargement suivant.

En tout état de cause, de tels logiciels doivent permettre non seulement des gains de temps et de kilométrage et de réduire les coûts, ils doivent permettre aussi d'approcher au plus près, à titre prévisionnel, les coûts en vue de l'établissement des devis, et d'élaboration de plans stratégiques lors de la détermination de l'implantation d'un dépôt par exemple.

Modalités de mise en oeuvre

Les opérations de mise en oeuvre sont plus ou moins lourdes et contraignantes selon le logiciel et le degré de précision que chacun veut approcher, notamment au niveau des coûts.

Le logiciel comprend une base de données (cartographie numérisée et distancier) susceptible d'enrichissements, des zones à compléter grâce à un masque de saisie qui permettra de rentrer les informations relatives aux vitesses moyennes par catégorie de véhicules et catégorie de routes, des données spécifiques à certains segments et / ou plages horaires (pointes de trafic),

des données spécifiques au véhicule, caractérisant ses vitesses maximum, ses coûts par kilomètre (consommation, pneus, entretien, ...), par heure (conducteur, temps de repos et restauration, ...) et coûts fixes journaliers (vignette, assurance, ...).

Cette section peut aussi comprendre des spécificités de trajets à suivre ou de trajets interdits (routes non accessibles aux véhicules de plus de x tonnes, autoroutes interdites, hauteur de ponts, ...) ou de passages interdits (dans certaines villes par exemple).

Le programme d'application intègre enfin des zones destinées à renseigner les périodes de pause/durées (amplitude de conduite, ...) ainsi que les horaires normaux de départ (modification pour des trajets spécifiques) et des durées moyennes d'arrêts (chargement ou déchargement par exemple) ...

Une fois le programme chargé de toutes les informations entrantes nécessaires, l'opération de détermination de l'itinéraire optimum consiste à afficher les points de départ et d'arrivée, l'horaire de départ et d'attente, en sortie – après un temps plus ou moins rapide, fonction de la puissance de l'algorithme qui travaille par arborescence :

Le trajet détaillé et, par segment de route : le kilométrage parcouru, les horaires correspondants et les horaires et durées de repos et pauses,

- La durée totale du trajet,
- Le coût total du trajet,
- L'analyse comparative selon les critères demandés (temps, distance, coût),
- La visualisation sur écran et l'édition de la feuille de route et de la carte retenue.

Il convient de considérer qu'il s'agit essentiellement là d'un outil d'aide à la décision, qui doit permettre de déterminer plus aisément et plus rapidement la solution considérée comme optimale. Un tel logiciel doit être un outil au service du responsable d'exploitation et ne saurait en aucun cas le décharger de la responsabilité du choix final (dans lequel peuvent entrer des critères non programmés).

Critères à considérer

Outre le détail de la cartographie recherché, la plus ou moins grande latitude de recours à des échelles diverses (zooms), on s'attachera aux points suivant :

- L'aptitude du produit à accepter des corrections et des évolutions,
- La richesse des niveaux et critères de paramétrages,
- La rapidité des calculs,
- La faculté de minimisation des simulations et de comparaison, même des écarts, entre celles-ci,
- Surtout la convivialité des rapports hommes/machine. Certaines applications peuvent être menées jusqu'au bout sans avoir à entrer des informations autrement qu'en « cliquant » sur une valeur défilant dans une liste ou sur une zone, point géographique, tronçon de route déterminé.

6.2.2. LOGICIEL D'OPTIMISATION DES TOURNÉES

Soit un ensemble de colis (lots, marchandises, ...) destinés à être distribués dans un cadre géographique donné à partir d'un point vers un certain nombre de points de livraison ... et / ou soit un certain nombre de points destinés à être desservis en vue d'enlèvement.

Soit un parc de véhicules, identiques ou non, affectés à cette distribution et / ou à ces enlèvements.

Questions : Comment optimiser les opérations de transport relatives à ces dessertes, comment établir l'enchaînement idéal : chargement / itinéraire / points à servir, qui tienne compte des diverses contraintes intrinsèques à ce type d'opération.

Le problème peut être plus complexe encore lorsqu'il s'agit de plusieurs points de départ (dépôts, stocks) et / ou lorsqu'il s'agit d'enchaîner une tournée de ramassage à une tournée de livraison, de gérer donc d'abord une capacité pleine à vider, puis une capacité vide à remplir dans les meilleures conditions.

Qu'il s'agisse de transport en compte propre ou pour compte d'autrui, nombre d'entreprises sont quotidiennement confrontées au problème de l'organisation de tournées d'éclatement (ou de concentration), à partir de (ou vers) un dépôt, une usine, une plateforme de groupage- dégroupage, desservant de nombreux clients, destinataires, fournisseurs, ...

Et c'est bien à ces entreprises, qu'elles ouvrent à l'échelle locale, régionale, nationale ou internationale, que sont particulièrement destinés les logiciels d'optimisation qui seront des aides d'autant plus précieux et indispensables que seront nombreux les colis et points à desservir quotidiennement et que sera important le parc de véhicules destinés à assurer les dessertes.

Le but ultime est de parvenir à assurer la même production – les mêmes livraisons ou / et enlèvements – en utilisant moins de véhicules que par le passé ou en y passant moins de temps quitte à renégocier, dans certains cas avec certains clients, des horaires pas trop contraignants et / ou, à l'occasion d'un renouvellement de parc, à changer le modèle de véhicule.

Mais il est évident que la gestion d'une flotte importante et d'un grand nombre de demandes ne peut être que difficilement menée «de tête» tant sont nombreux les paramètres à prendre en compte ; en l'absence de la mise en oeuvre d'un logiciel d'optimisation de tournée, l'organisation de ces tournées est effectuée empiriquement, manuellement, par les responsables d'exploitation, en s'appuyant sur leur connaissance du territoire, sur leur expérience et en corrigeant leur pratique au jour le jour. Souvent, s'agissant de gérer des masses importantes de demandes, ce sont plusieurs responsables d'exploitation qui se partagent la tâche ...et l'on se rend bien compte que l'on n'est pas là dans une situation optimale, favorisant au mieux ni l'utilisation des véhicules, ni l'affectation des chargements.

Deux problèmes en fait, corrélés, se posent ainsi au responsable en charge de cette opération ; quels colis affecter à quel véhicule ... qui devra donc emprunter quel itinéraire ou quels véhicules affecter à tels colis, voir, à quel transporteur confier tels enlèvements / livraisons ? Sachant que c'est sur les marges de chaque tournée que la différence peut se jouer – là où telles livraisons pourraient avantageusement être affectées au véhicule effectuant telle tournée plutôt qu'à tel autre, en charge de la tournée voisine. Il s'agit donc bien d'une péréquation portant sur

les affectations de volumes (et poids) de fret par rapport à des capacités de véhicules ou jouant sur des itinéraires et des points de desserte. Et tout en tenant compte des plages horaires de livraison. Tout cela en tentant de réduire au mieux les distances à parcourir et les durées de trajet, voire en n'utilisant qu'une partie de la flotte disponible. Si le logiciel d'optimisation de tournée met bien en oeuvre un logiciel d'optimisation de parcours, les paramètres à prendre en compte prioritairement sont infiniment plus complexes puisque les impératifs commerciaux (horaires de livraison) peuvent contrarier l'itinéraire optimal.

De plus, la prise en compte, en approchant le plus possible des données réelles, des durées propres aux opérations elles-mêmes (temps contraints de chargement et déchargement proprement dits, attentes éventuelles, temps administratifs), est ici absolument essentielle sous peine de risquer de perturber le déroulement de la suite de la chaîne des opérations.

Le nombre et la diversité des paramètres à prendre en compte lors de la détermination d'une telle opération de planification sont de fait très importants, et il est clair dans l'esprit de chacun qu'un outil informatique performant d'aide à la décision peut en l'occurrence permettre d'améliorer très sensiblement des résultats obtenus manuellement. Selon le type d'activité et la taille du parc mis en jeu, il est permis d'espérer de dégager des économies de l'ordre de 5 à 25 % sur les coûts concernés, ou jusqu'à 1 véhicule sur 8, pour une productivité égale.

Mais il importe de disposer pour ce faire d'un logiciel performant et souple, capable non seulement d'intégrer facilement – les différents paramètres, et de les traiter rapidement, mais susceptible aussi de tenir compte d'une hiérarchisation dans le poids des critères les uns par rapport aux autres, de respecter les priorités, de manière à savoir aboutir par exemple à une solution moins économique en privilégiant le caractère commercial quitte à tenter par la suite de renégocier la contrainte commerciale.

En pratique, le problème que doit résoudre le logiciel de gestion de tournées est celui de l'affectation et de la détermination des chargements et des ordres de livraisons (ou d'enlèvements) et de l'ordre des livraisons (donc du chargement) selon des itinéraires qui permettent globalement de :

- Réduire le nombre de véhicules à mettre en oeuvre,
- Maximiser le coefficient de remplissage de chaque véhicule,
- Réduire les distances à parcourir,
- Réduire les durées de trajets,
- Réduire les coûts de chaque tournée.

Tout en

- Respectant les contraintes imposées par le client (horaires ou plages horaires de livraison-enlèvement),
- Sélectionnant les véhicules adaptés aux contraintes particulières (moyens de chargement-déchargement, difficultés d'accès, ...)
- Respectant, en zone urbaine, les réglementations de desserte-livraison.

Le logiciel d'optimisation de tournées doit donc intégrer, gérer et mettre en relation tous ces paramètres en vue d'élaborer des tournées qui satisferont au mieux toutes les contraintes tout en respectant les priorités qui lui seront imposées.

Le résultat de cette opération doit être la proposition-production d'un ensemble de plans de tournées, déterminant pour chaque véhicule, la composition du chargement et un itinéraire qui tienne compte de l'ordre des livraisons (ou des enlèvements), qui tienne compte lui-même des plages horaires relatives à chacun des points à desservir (qui déterminera l'ordre du changement).

Le but recherché est de parvenir à répartir ainsi, sur un minimum de véhicules à mettre en oeuvre, l'ensemble des unités de fret à livrer ... ou du moins le maximum de colis, sachant qu'il peut être possible de repousser à la tournée suivante certains de ces colis. L'outil le plus performant est celui qui proposera des solutions intégrant le plus grand nombre possible d'unités de fret ... et / ou qui saura proposer des alternatives faisant apparaître clairement quelles dessertes pénalisent lourdement l'optimisation proposée. La visualisation sur écran et sur fond cartographique des parcours des différentes tournées facilite très sensiblement la recherche de telles alternatives et permettra aux responsables de déterminer si, commercialement, telle ou telle opération peut être repoussée.

Chaque plan de tournées de livraison sera constitué d'un plan de déchargement (et par ordre inverse, d'un plan de chargement) et d'un itinéraire dont les segments reliant différents points à servir – affectés chacun d'une plage horaire de desserte – qui tiendra compte des distances, mais aussi des vitesses (induites par les catégories de routes empruntées) et dont le déroulement prévu prendra en compte de même les durées moyennes (ou mieux, spécifiques) d'attente et d'opération. En ce sens, il ne diffère pas de la feuille de route produite par le logiciel d'optimisation d'itinéraire, si ce n'est par la multiplication des points desservis.

Les modes d'utilisation

De tels logiciels peuvent être mis en oeuvre pour des finalités très différentes selon l'activité des utilisateurs. En effet, l'usage d'un tel outil ne sera pas le même selon qu'il s'agisse de déterminer :

- Des tournées fixes, dont les paramètres sont définis, saisonnièrement par exemple, desservant régulièrement, avec une fréquence connue, les mêmes points. C'est le cas par exemple de la collecte de lait ou du ramassage scolaire, de la distribution agro-alimentaire. Il s'agit dans ces cas d'élaborer une (ou plusieurs) fois par an, des schémas de tournées qui se répèteront ensuite jusqu'à modification de l'un ou l'autre paramètre.

Ces tournées sont basées essentiellement sur des critères de temps de travail, de kilométrage et de taux de remplissage, elles seront d'autant plus stables que les volumes à transporter ne subiront pas ou peu de variations, que la régularité des fréquences de passages ne seront pas remises en question non plus que les points de dessertes eux-mêmes.

- Des tournées variables adaptées quotidiennement et correspondant à des livraisons ou enlèvements se présentant au jour le jour, en l'occurrence lorsqu'il s'agit chaque matin de livrer des colis arrivés dans la nuit, ou de satisfaire chaque après-midi des demandes d'enlèvement exprimées le matin. C'est le cas notamment de la messagerie ou

de l'activité de transport de petits lots, de colis urgents et, en règle générale, de tous les transports J + 24 ou J + 48 : les demandes d'enlèvement ou les points de destinations ne sont connus que très peu de temps avant le départ de la tournée.

Les tournées doivent donc être construites quotidiennement, en fonction des demandes, les délais de livraison ou d'enlèvement sont courts et le nombre de clients à desservir par tournée est généralement élevé. Lorsque, pour un transporteur, le nombre de clients réguliers est élevé, c'est-à-dire lorsque est important le nombre de points à desservir déjà connus, identifiés et répertoriés, l'opération consiste à obtenir par simulation successive le meilleur taux de remplissage en jouant sur les points de dessertes situés aux marges dans les zones de recouvrement possibles de deux tournées voisines ... et / ou à redessiner les tournées en réaffectant certaines unités de fret et / ou en simulant des écarts avec des plages horaires de desserte jusqu'à obtenir une configuration optimale potentiellement réaliste.

Critères à considérer

Le degré de marge sur chaque paramètre est déterminé lors de l'implantation du logiciel, mais chaque logiciel sera d'autant plus performant que la valeur ou la priorité d'un paramètre par rapport aux autres pourra être aisément et facilement remise en cause et modifiée lors de chaque opération d'optimisation.

Ainsi, le logiciel qui permettra de déterminer, après une première simulation, que tel ou tel colis peut être rejeté (et repoussé à une tournée ultérieure), que telle ou telle plage horaire peut être «réaménagée» de l'ordre de 15 minutes – toutes données que seul le responsable d'exploitation pourra déterminer au coup par coup, en accord avec le responsable commercial – sera évidemment en l'occurrence celui qui doit être considéré comme le plus performant. Et la facilité de cette opération de réajustement, et la rapidité à proposer de telles solutions alternatives, feront toute la différence.

Doivent ainsi entrer aussi en ligne de compte lors de la détermination, le nombre de «clients» pouvant être mémorisé, ainsi que la richesse de l'information associée à chaque «clients» (point d'enlèvement ou de livraison), la diversité et la richesse des possibles entrées dans la base pour ce qui concerne le réseau routier, l'association plus ou moins riche des caractéristiques de coûts du véhicule et du chauffeur et surtout la facilité à saisir et actualiser-mémoriser ces données. Une fois tous ces éléments acquis et intégrés, les logiciels se distinguent fondamentalement entre eux par la puissance de leur algorithme, dont dépend la qualité de la solution et la rapidité avec laquelle celle-ci est proposée.

La vraie question est de savoir en combien de temps le logiciel pourra proposer à l'utilisateur les meilleures propositions de tournées pour traiter le même matin le nombre de colis ou instances de livraison en utilisant que le nombre strictement nécessaire de véhicules et en respectant les horaires de desserte.

Et cela, nul descriptif, aussi analytique et détaillé soit-il, ne permettra de la savoir sans expérimentation.

Les autres remarques formulées, quant à l'utilisation de l'outil, dans la partie relative aux logiciels d'organisation d'itinéraires sont, bien entendu, valables ici aussi.

Une donnée fondamentale : la maîtrise des informations.

Le potentiel d'optimisation de tels progiciels est directement proportionnel à la maîtrise des informations par l'utilisation, plus encore à sa maîtrise des contraintes.

Un opérateur souhaitant optimiser l'approvisionnement de ses propres points de vente, au départ de son entrepôt, avec sa propre flotte, donc ayant connaissance de toutes les variables et pouvant même agir sur un certain nombre de contraintes, en quelque sorte externes au modèle proprement dit, disposera bien entendu de conditions d'utilisation beaucoup plus favorables qu'un transporteur de messagerie.

Ce dernier devra, non seulement se plier aux contraintes définies par sa clientèle, et ne disposera souvent à cet égard que d'une faible marge de manoeuvre, mais aussi devra souvent travailler à partir d'informations incomplètes ou insuffisantes.

Dans la plupart des cas de transport pour compte d'autrui, l'optimisation de tournées de ramasse / livraison, au moyen de progiciels adaptés, relèvera de l'exercice de simulations, parallèlement à l'exploitation proprement dite, susceptible de provoquer des réflexions sur les écarts constatés, entre l'optimum et le réel.

6.2.3. NÉGOCIATION AVEC LES CLIENTS POUR UNE MEILLEURE OPTIMISATION

Certains trafics peuvent être optimisés grâce à l'échange et la négociation avec les clients :

- l'instauration d'un système de communication privilégié avec le client pour être plus réactif à sa demande ;
- la mise en place, avec l'accord des clients concernés, d'un ordre de passage et d'un horaire variable pour le chargement ou le déchargement afin de mieux prendre en compte les aléas du trajet (annulation ou ajout d'un client, embouteillages...) ;
- les livraisons nocturnes ;
- la réduction des temps d'attente (notion de prise de rendez-vous) ;

Ces mesures doivent être intégrées dans le cahier des charges et dans le contrat établi avec le client.

6.3. LA CONDUITE ÉCONOMIQUE

Par son style de conduite, le conducteur a une influence directe sur la consommation du véhicule qui lui est confié.

Ainsi, pour un même véhicule, conduit sur le même parcours, la différence de consommation de carburant entre un conducteur calme et un conducteur nerveux peut atteindre 40%.

La manière dont le conducteur conduit son véhicule peut être améliorée par une attitude positive, un suivi continu et surtout une bonne formation. Destinée aux conducteurs routiers, la formation à la conduite économique doit leur permettre d'adapter leur conduite aux conditions extérieures et d'acquérir une technique de conduite propre à limiter la consommation de gazole, à diminuer le coût d'entretien et à assurer une meilleure sécurité.

6.3.1. LES AVANTAGES DE LA CONDUITE ÉCONOMIQUE

- La conduite économique permet de réduire :
- La consommation de carburant ;
- Les coûts de réparation et de maintenance du véhicule ;
- Le stress ;
- Les nuisances sonores ;
- La pollution atmosphérique ;
- L'émission de gaz à effet de serre ;
- Le nombre d'accidents.

6.3.2. LES RÈGLES DE BASE DE LA CONDUITE ÉCONOMIQUE

Les conseils présentés ci-dessous résument les attitudes et les techniques à utiliser pour réduire sa consommation de carburant. Suivre une formation à la conduite économique reste le meilleur gage pour maîtriser les techniques de ce type de conduite.

1 **Vérifiez l'état du véhicule : Un véhicule mal entretenu peut entraîner une surconsommation de carburant pouvant atteindre 20 %.** Le conducteur est tenu de contribuer à la maintenance de son véhicule en effectuant des opérations de contrôle d'une manière périodique. Les anomalies peuvent être décelées par le conducteur, les interventions par contre, sont à réaliser soit par du personnel qualifié, soit par l'atelier de l'entreprise. Les opérations à effectuer sont généralement bien détaillées dans les manuels d'utilisation des constructeurs.

2 **Assurez-vous que les pneus sont constamment gonflés en respectant la pression recommandée par le fabricant.** Cette simple mesure peut réduire la consommation moyenne de carburant de 3 à 4 %. Les pneus sous-gonflés augmentent la résistance au roulement, augmentent la consommation de carburant et s'usent plus rapidement. Consultez le manuel d'utilisation du véhicule ou l'étiquette de pression des pneus pour connaître la pression minimale de gonflage à froid. Vérifiez également l'alignement de tous les essieux et le parallélisme des roues sur les essieux directeurs.

3 **Évitez les accélérations lors de la mise en route du moteur :** Il est inutile d'appuyer sur la pédale de l'accélérateur lors de la mise en route du moteur car les systèmes d'injection se chargent de doser la quantité de carburant nécessaire pour maintenir le moteur en fonctionnement.

4 **Évitez de faire chauffer excessivement le moteur au démarrage :** Les circuits de refroidissement sont dotés d'un ou de deux thermostats qui permettent au moteur d'atteindre assez rapidement la température de bon fonctionnement. Le temps de ce réchauffage à l'arrêt est sensiblement égal au temps nécessaire pour la mise en pression du circuit d'air comprimé.

- 5** **Effectuez des démarrages en douceur et sans à-coup** : Accélérez rapidement mais en appuyant à moitié seulement sur l'accélérateur. Évitez les démarrages en trombe car les fortes accélérations sont très gourmandes en carburant et usent prématurément les organes du véhicule.
- 6** **Roulez à vitesse modérée en début de parcours** : c'est à moteur froid que la pollution est la plus importante. Le moteur arrive à température normale après environ cinq kilomètres.
- 7** **Optimisez le passage des vitesses et passez à la vitesse supérieure dès que possible**. Les moteurs diesel diffèrent d'une marque à l'autre, mais la plupart requièrent un changement de vitesse à moins de 1500 tr/min, et parfois même à plus bas régime.
- 8** **Maintenez le régime du moteur dans la plage correspondant au couple maximum**, il bénéficie du meilleur rendement ce qui se traduit par une consommation raisonnable et des performances optimales sans fatigue excessive des organes mécaniques.
- 9** **Conduisez à vitesse constante** : Essayez de maintenir une vitesse constante avec le rapport de vitesse le plus élevé possible et évitez les accélérations et freinages inutiles. Sur autoroute, le régulateur de vitesse automatique contribue à une conduite fluide. Réduisez la vitesse par fort vent contraire ou en cas de forte pluie.
- 10** **Décélérez en douceur** : Les freinages brusques et intempestifs gaspillent du carburant et accentuent l'usure de certaines pièces du véhicule comme les freins et les pneus. Chaque utilisation des freins est une perte d'énergie. Observez la distance de sécurité entre les véhicules et anticipez le flux de circulation afin de vous donner plus de temps pour freiner et accélérer en douceur. Essayez d'utiliser au maximum l'inertie du véhicule. Utilisez le ralentisseur et le frein moteur pour réduire la vitesse à l'approche d'un feu rouge et ne freinez que pour l'arrêt final au feu. Vous limitez ainsi l'usure des freins, produisez moins de gaz d'échappement, économisez du carburant et rendra le trajet plus agréable pour vos passagers.
- 11** **Anticipez le trafic** : Regardez loin devant vous pour anticiper le trafic : Pour conduire à une vitesse stable et éviter de freiner et d'accélérer inutilement, l'anticipation du trafic est primordiale, notamment lorsque vous approchez des feux de signalisation, lorsque vous dépassez des cyclistes ou des véhicules agricoles ou lorsque vous conduisez sur des autoroutes encombrées.
- 12** **Respecter les limitations de vitesse** : Une augmentation de la vitesse de 80 km/h à 90 km/h sur terrain plat entraîne une élévation de la puissance à fournir pour un maxi code chargé à 38 tonnes de 30 à 40 chevaux correspondant à environ 2 litres de carburant.
- 13** **Fermez les fenêtres lorsque vous roulez vite** : Évitez de rouler à plus de 60 km/h avec les fenêtres ouvertes. Rouler les fenêtres ouvertes à grande vitesse augmente la résistance aérodynamique du véhicule et augmente la consommation de carburant. Supprimez tout accessoire susceptible de nuire à l'aérodynamisme du véhicule.

- 14** **Utilisez le chauffage et la climatisation avec modération** : N'utilisez que ponctuellement le chauffage et la climatisation afin de réduire la charge du moteur. Moins utiliser la climatisation peut permettre une économie de carburant de 10 à 15%. Garez votre véhicule à l'ombre. Ventiler les habitacles surchauffés avant d'enclencher la climatisation
- 15** **Exploitez les accessoires de bord qui permettent de maîtriser sa consommation** tels que les économètres, les compteurs, les régulateurs de vitesse et les ordinateurs de bord.
- 16** **Couper le contact en cas d'arrêt d'une durée de plus de deux minutes**. Faire tourner le moteur à l'arrêt augmente les émissions et gaspille du carburant.

6.3.3. LE SUIVI DES RÉSULTATS

Les démarches de management interne des transporteurs autour de ces formations peuvent prendre plusieurs formes selon le degré d'intégration dans l'entreprise.

- Réaliser un suivi et une analyse des données de consommations des conducteurs et établir si la consommation des conducteurs se situe dans la moyenne de l'entreprise, compte tenu de leur activité et conditions d'opérations. L'entreprise pourra faire la publicité des performances des conducteurs et afficher les résultats dans l'entreprise de manière à créer une émulation entre les conducteurs (l'effet peut être renforcé par des concours ou l'attribution de primes aux meilleurs résultats).
- Détailler, capter, mémoriser un nombre plus ou moins important de paramètres pertinents qui peuvent être saisis sur le disque du tachygraphe en complément des données réglementaires, ou par ordinateur embarqué, et les analyser pour déterminer sur quels aspects de la conduite mettre l'accent au cours de formation.
- Etablir un programme de formation personnalisé adapté à chaque conducteur, en fonction de ses performances. Celles-ci sont établies en fonction de l'analyse découlant des données enregistrées en continu pour chacun d'eux et corrélant modalités de conduite et consommations. Si l'analyse des comportements prend en compte tous les paramètres de conduite (vitesse, utilisation du régime et couple, utilisation du ralenti et des freins, de l'embrayage...), l'analyse des consommations tient compte aussi des paramètres influents exogènes qui ne relèvent pas du conducteur, mais du véhicule proprement dit et /ou des conditions de son utilisation opérationnelles.

Tout l'enjeu de la formation à la conduite économique est de suivre et d'animer les conducteurs. En effet, il est habituel que les consommations repartent à la hausse quelques semaines après la formation, les améliorations de conduites acquises lors des formations ne perdurant pas définitivement. Les formateurs estiment que, en situation optimale, une formation de réactualisation devrait intervenir tous les six ou huit mois.

LA RÉALISATION D'UNE MAINTENANCE EFFICACE

La maintenance a une incidence directe sur la consommation de carburant du véhicule ainsi que sur sa durée de vie.

7.1. DÉFINITION ET IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE

La norme Française NF X 60.010 définit la maintenance comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou d'établir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

La notion d'état spécifié contient plusieurs types d'états ou de performances qui sont à comparer ; par exemple :

- L'état initial : d'où l'importance de la connaissance des conditions de mise en service et de réception.
- L'état spécifié ou le service déterminé par l'utilisateur.
- L'état à la date d'observation.
- L'état déclenchant la mise au rebut.

La fonction maintenance a été jugée pendant longtemps comme une fonction secondaire, entraînant une perte d'argent inévitable. On l'assimilait dans la plupart des cas exclusivement à une fonction de dépannage et de réparation d'équipements soumis à usage et vieillissement.

En fait, la véritable portée de la maintenance mène beaucoup plus loin: elle est devenue une recherche incessante de compromis entre le «technico - économique» et le «technico - financier». Pourtant, il reste beaucoup à faire pour que sa fonction productive soit pleinement comprise. Pour cela, il faut que l'on devienne conscient que la maintenance n'est pas seulement une fonction de partenaire de la production, elle est tout simplement une condition indispensable pour produire.

Pour mener à bien sa mission, la maintenance exige des moyens humains et matériels importants et adéquats; Elle ne peut pas devenir le refuge d'un personnel inapte à la production et doit bénéficier d'un budget de fonctionnement qui doit lui permettre de jouer un rôle qui dépasse celui d'un service de dépannage. Un planning, une organisation et une approche de travail méthodique sont nécessaires pour gérer les activités de maintenance.

Des programmes de formation adéquats de formation professionnelle ainsi que de recherche développement dans le domaine de la maintenance devront permettre d'améliorer continuellement les programmes de travail. C'est ainsi que la fonction maintenance pourra jouer pleinement son rôle primordial dans l'assurance de la qualité du produit fini.



7.2. MAINTENANCE ET CYCLE DE VIE

Des actions de maintenance doivent être entreprises tout au long de la durée de vie d'un matériel. Certaines de ces actions se situent dès la conception du matériel. Celui-ci doit :

- Faciliter les actions de maintenance.
- Être apte à la production (disponibilité opérationnelle, fiabilité et maintenabilité) dans des conditions d'utilisations aisées.

Pendant toute la durée de vie de ce matériel, pratiquer sa maintenance implique :

- Des actions de surveillance et de suivi : visites, contrôles et inspections.
- Diverses opérations préventives ou correctives: dépannage, réparations changement de pièces d'usure, révisions partielles ou totales et le cas échéant, améliorations, avec certaines réserves.

Ces actions et opérations permettent de conserver le potentiel de ce matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

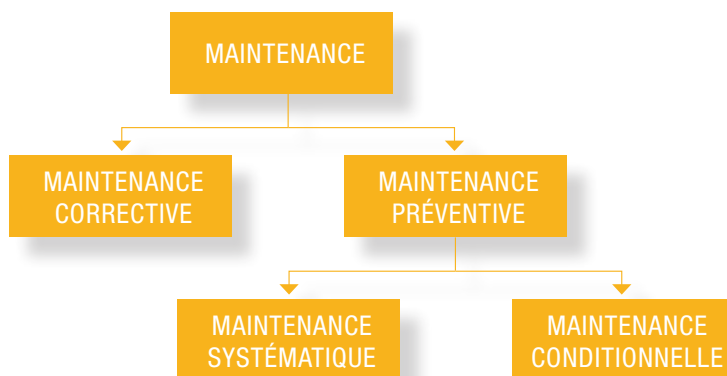
Une bonne maintenance, c'est assurer ces opérations au coût global minimum. Ainsi, au plan technique, la maintenance assure un suivi des dégradations du matériel et le remet à niveau avec un contrôle des performances, mais sur le plan économique, elle gère les coûts et la disponibilité en recherchant les solutions les plus simples.

En fin de vie, la maintenance propose d'abord un déclassement du matériel, c'est à dire une diminution des performances selon ses possibilités et enfin son renouvellement.

7.3. LES TYPES DE MAINTENANCE

En fonction de ses objectifs, la maintenance prendra des formes différentes qui peuvent être classées sous deux grandes familles :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive



7.3.1. LA MAINTENANCE CORRECTIVE

C'est une maintenance effectuée après défaillance. Elle est utilisée lorsque l'indisponibilité du matériel n'a pas de conséquence majeure sur le processus de production ou quand les contraintes de sécurité sont faibles.

Le fonctionnement de cette maintenance peut être réalisé sur deux phases :

- Le diagnostic qui permet d'identifier la cause de la panne à l'aide d'un raisonnement logique qui s'appuie sur des schémas fonctionnels, des tableaux de types causes-effet-remède, des tests, des systèmes experts.
- L'action curative qui est une réparation à caractère définitif qui est déduit du diagnostic et qui permet au système de fonctionner correctement.

La maintenance corrective débouche sur trois types d'intervention. Le premier type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la maintenance palliative. Le deuxième type est à caractère définitif sans modification, ce qui caractérise la maintenance curative. Le dernier type est aussi à caractère définitif mais avec modification, ce qui caractérise la maintenance d'amélioration..

7.3.2. LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Selon l'AFNOR, la maintenance préventive est effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. L'intérêt d'une telle maintenance réside essentiellement dans :

- La diminution des travaux urgents ;
- La bonne gestion de maintenance ;
- La planification des travaux ;
- La possibilité de préparation, d'ordonnement et de gestion des stocks ;
- Élimination des périodes de dysfonctionnement avant la panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive ;
- Augmentation de la sécurité ;

Il existe trois types de maintenance préventive :

a) La maintenance préventive systématique

Conformément à l'AFNOR, elle est définie comme étant une «Maintenance préventive effectuée suivant un échancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage».

Cette maintenance comprend des inspections périodiques et des interventions planifiées. Elle concerne :

- Des équipements dont une défaillance met en cause la sécurité des biens et des personnes ;
- Des équipements à coût de défaillance élevé ;
- Des équipements dont l'arrêt (ou le redémarrage) est long ;
- Des équipements soumis à des obligations réglementaires ;

La maintenance préventive systématique est facile à gérer car les périodes d'intervention sont fixes. De plus, elle permet d'éviter les détériorations importantes et de diminuer les risques d'avaries imprévues.

b) La maintenance préventive conditionnelle

Selon l'AFNOR, la maintenance préventive conditionnelle est définie comme étant une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminés révélateur de l'état du bien (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure...).

Cette maintenance a pour objectifs principaux :

- Eviter les démontages inutiles liés au systématique, qui eux même peuvent engendrer des défaillances ;
- Accroître la sécurité des biens et des personnes ;
- Eviter les interventions d'urgences en suivant l'évolution dans le temps des débuts d'anomalies, afin d'intervenir dans les meilleures conditions ;

c) La maintenance préventive prévisionnelle

L'AFNOR définit la maintenance prévisionnelle comme étant une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

7.4. CHOIX DU TYPE DE MAINTENANCE

Pour une conception donnée du matériel, l'optimisation du coût global de possession peut être atteinte, du moins en théorie, par un dosage judicieux entre maintenance préventive et corrective.

Dans tous les cas, le responsable de la maintenance d'un parc de véhicule cherchera à privilégier la maintenance préventive compte tenu des avantages qu'elle offre par rapport à la maintenance corrective.

Le responsable veillera au respect des périodicités d'entretien préconisées par les constructeurs qui sont calculées pour assurer un rendement optimum du véhicule. Lorsque le kilométrage moyen préconisé est dépassé dans des proportions significatives, cela peut engendrer des anomalies de consommation.

La périodicité des diverses opérations est préconisée par les constructeurs de véhicules sur une base des distances parcourues ou par tranches de distances ou de périodicité dans le temps selon que le véhicule roule surtout en milieu urbain ou sur autoroutes.

7.5. LES ACTIVITÉS D'UN SERVICE DE MAINTENANCE

Les activités du service maintenance englobent une série de fonctions énumérées ci-dessous par ordre chronologique dans la pratique de maintenance :

7.5.1. LES MÉTHODES

La fonction Méthodes consiste à réfléchir et à préparer au mieux les travaux du service de maintenance par l'utilisation de techniques adéquates et de moyens appropriés.

Il s'agit de rassembler le maximum d'éléments qui permettront de préparer convenablement les travaux de maintenance par :

- la codification des véhicules selon leur lieu d'implantation ;
- la création de fiches techniques et historiques des véhicules ;
- la création et la tenue à jour des dossiers ;
- la définition des modes opératoires ;
- la conception des programmes de maintenance préventive ;
- la collaboration à la standardisation et à la normalisation du matériel ;
- la participation aux diagnostics sur le tas en cas de défaillances critiques ;
- l'analyse et l'évaluation continue des renseignements obtenus en vue d'améliorer les méthodes dans les travaux importants et de mettre à jour ou de rectifier les programmes et procédures existants ;
- l'analyse des incidents répétitifs et la communication des propositions de modifications qui en découlent ;
- la collaboration avec la gestion des stocks pour la désignation des pièces de rechange, les outillages et matières à mettre en magasin et la détermination de leurs paramètres de gestion ;
- la création de formulaires et documents à utiliser par les différents services du Département de Maintenance et la détermination de leur flux (Système d'informations de gestion).

7.5.2. LES ÉTUDES ET TRAVAUX NEUFS

La fonction Etudes et Travaux neufs concerne l'étude et la conception de modifications ou petites extensions aux installations et matériel existant en vue d'en améliorer :

- La capacité ou le rendement ;
- La qualité de la production ;
- La sécurité du personnel ;
- La maintenabilité ou l'accessibilité ;
- La sauvegarde de l'environnement.

Le travail du Bureau d'Etudes et Travaux neufs est ainsi caractérisé tant par la grande diversité des travaux qui y sont étudiés que par la variété des techniques qui y sont mises en oeuvre pour les exécuter.

Le personnel de ce bureau devra donc être polyvalent et de haut niveau et être imprégné de l'esprit de maintenance c'est-à-dire :

- rapidité d'exécution ;
- absence de figlage inutile ;
- importance des problèmes de pièces de rechange et d'accessibilité ;
- maintenabilité du matériel.

Le Bureau d'Etudes et Travaux neufs, en tant que concepteur, assurera le rôle de superviseur de la réalisation effectuée par les services de maintenance concernés. A ce titre, il agira en tant que responsable, non seulement des études, mais également de la construction, de l'installation, du démarrage et de la mise au point des équipements concernés.

7.5.3. LA PRÉPARATION DU TRAVAIL

La fonction préparation du travail détermine les procédures, les modes opératoires, les moyens matériels nécessaires, les durées opératoires et les charges en main d'oeuvre.

Elle découle directement de la fonction méthodes, mais est axée sur un travail bien déterminé.

Une bonne préparation du travail étudie et spécifie principalement les 2 aspects : la description du travail et sa décomposition en opérations. La description du travail est également un guide pour le responsable chargé du suivi de la sécurité, de la qualité et du coût. La décomposition en opérations apporte les éléments de temps opératoires nécessaires au planning.

Il n'est pas indispensable de préparer tous les travaux de maintenance, d'abord parce que le personnel utilisé pour cette tâche doit être qualifié donc cher, ensuite parce qu'il est bon de laisser certaines initiatives aux contremaîtres ou responsables de l'exécution des travaux. Il faut donc agir avec discernement dans le choix des travaux à préparer. Dans le cas des interventions de maintenance, des analyses de travaux démontrent que la préparation du travail est rentable dans au moins 25 %, des cas, ne fût-ce que par une meilleure utilisation de la main d'oeuvre.

En outre, la préparation offre d'autres avantages tels que :

- la possibilité d'établir un devis avant l'exécution ;
- la fixation de délais réalistes ;
- une plus grande précision dans la définition des besoins en pièces de rechange ;
- la possibilité de s'assurer en temps opportun de la disponibilité en magasin de ces pièces ;
- l'assurance d'obtenir une charge de travail mieux équilibrée ;
- une plus grande liberté d'action pour les cadres qui pourront ainsi se consacrer davantage aux tâches d'organisation ;
- un meilleur climat de travail entre la maintenance et l'exploitation.

7.5.4. L'ORDONNANCEMENT - LANCEMENT – SUIVI DE L'AVANCEMENT

a) La fonction ordonnancement est responsable du rassemblement des moyens, matériels et humains, de l'établissement du programme et des délais. A ce titre, elle devra, en particulier :

- prévoir le programme général auquel le service doit faire face (planning à long terme) ;
- juger des priorités des demandes de travail ;
- assurer le suivi des commandes de sous-traitance et de fournitures nécessaires aux travaux programmés, en liaison avec la préparation ;
- veiller au respect des consignes données et au respect des délais au sein de chaque équipe.

Cette fonction est donc en relation étroite avec la préparation du travail. Il est ainsi recommandé de placer l'ordonnancement au même bureau que la préparation.

b) Le lancement est la fonction la plus proche de l'exécution. Elle assure la distribution du travail selon le planning établi en fonction de la charge des équipes et du matériel (planning à court terme). Dans ce contexte, elle constitue une nécessité pour assurer une utilisation rationnelle de la main- d'oeuvre.

c) Le suivi de l'avancement est assuré en général par les mêmes personnes que le lancement. Cette fonction doit suivre en permanence la charge de travail du personnel exécutant et corriger les sous charges ainsi que les surcharges. Un planning spécial pour la maintenance préventive doit permettre de contrôler facilement l'état d'avancement des travaux programmés en fonction des délais impartis.

7.5.5. L'EXÉCUTION DU TRAVAIL

L'exécution du travail est facilitée et optimisée par une bonne préparation et un planning efficace, pour autant que les responsables de cette exécution s'astreignent à réaliser un travail de qualité tout en respectant les délais impartis.

Dans cette préparation et ce planning, l'exécution accusera des pertes de temps et un faible taux d'utilisation du personnel de maintenance, par suite :

- d'une mauvaise synchronisation des interventions des différentes équipes ;
- des nombreux problèmes non résolus qui se présentent lors de l'exécution ;
- de l'emploi d'outillages non adaptés au travail ;
- de la mauvaise utilisation du personnel qualifié.

Il va sans dire que ces pertes de temps augmentent les coûts de la maintenance ainsi que le temps d'immobilisation du matériel.

Par ailleurs, lors d'un nouveau projet, de nombreuses pertes de temps peuvent être évitées en choisissant correctement, lors de la conception des locaux, l'emplacement des endroits stratégiques de la maintenance, tels que les ateliers, magasins centraux, magasins antennes, bureau technique, etc.

7.5.6. LE CONTRÔLE DU TRAVAIL

La fonction contrôle du travail est très importante en ce sens qu'elle garantit la qualité de l'exécution. Son degré d'efficacité constitue l'image de marque de la maintenance.

Son rôle essentiel justifie pleinement les investissements nécessaires tant en personnel qu'en outillages et instruments de mesure.

Les instructions précisant les procédures de contrôle, ainsi que la prévision de l'outillage nécessaire à ce contrôle, tant en atelier, que pour des travaux sous-traités, doivent être clairement décrites dans la préparation du travail.

7.5.7. LA GESTION DES STOCKS ET MAGASINS DE MAINTENANCE

La fonction gestion des stocks et magasins de maintenance doit être assurée par le Département de la Maintenance et non pas par le Département des Achats. Les tâches doivent être réparties entre les 2 services de la façon suivante :

- la Maintenance se chargera de l'établissement de la demande d'approvisionnement ou de réapprovisionnement qui concerne le choix technique, la codification et la désignation;
- le Département des Achats prendra en charge quant à lui, le choix commercial, la préparation des commandes et leur suivi.

Il est bien évident qu'une collaboration harmonieuse entre ces deux départements garantira un choix optimal dans l'achat des pièces de rechange.

La première tâche de la gestion des stocks est de prévoir, à tous moments, les besoins en :

- consommables et articles courants du magasin de maintenance ;
- pièces standards ;
- pièces de rechange spécifiques aux installations de production.

Ensuite, il faut gérer ces besoins et déterminer les quantités à réapprovisionner en fonction des niveaux des stocks et de divers paramètres tels que les consommations, les délais de livraison et de transport, stocks de sécurité, impératifs propres à certains marchés de produits à approvisionner, etc.

Cette fonction importante devrait être l'affaire de tous. En réalité, des conflits naissent souvent du fait que les différents utilisateurs imaginent les stocks en fonction de leurs propres objectifs.

Pour éviter de tels conflits, il est indispensable de mettre en place une politique saine de gestion des stocks avec codification et désignation de tous les produits. Cette codification et désignation éviteront toute ambiguïté dans l'échange des informations.

7.5.8. LA GESTION DU PERSONNEL DE MAINTENANCE

La gestion du personnel est un des aspects essentiels du fonctionnement d'un Département de maintenance. De cette gestion dépend en effet l'utilisation rationnelle du personnel, son choix et sa motivation. Ces critères se répercutent sur la qualité et la quantité du travail fourni par le service, donc sur son efficacité et sa rentabilité.

A ce titre, les points suivants retiendront particulièrement l'attention des responsables :

- La qualification du personnel : les travaux de maintenance, souvent complexes et variés, requièrent un personnel très qualifié ;
- Le personnel ayant reçu une formation polyvalente sera très apprécié étant donné les différentes disciplines avec lesquelles il sera confronté ;
- Une attention particulière devra être accordée à la maîtrise, qui est souvent sous-estimée. En dehors de sa fonction d'encadrement, elle doit assumer une tâche fondamentale qui est la formation du personnel ;

- Les descriptions de fonction ou de poste, détaillées, doivent couvrir tous les postes de la maintenance ;
- Le recrutement du personnel de maintenance nécessite un grand soin ;
- La formation et le recyclage du personnel de maintenance devraient faire l'objet d'une occupation permanente;
- La politique de rémunération doit veiller à ce que, à qualification égale, le taux moyen des salaires de la maintenance ne soit pas très différents de celui de l'exploitation.

7.5.9. LA COMPTABILITÉ DE MAINTENANCE ET LE CONTRÔLE DES COÛTS

Tout service de maintenance, par la diminution de ses coûts, augmente la rentabilité de l'entreprise. Pour maîtriser ces coûts, il est nécessaire de les connaître et de pouvoir les interpréter.

Pour ce faire, un système de comptabilité approprié pour la maintenance devra être introduit en étroite collaboration avec la comptabilité de l'entreprise, avec comme objectifs :

- de fournir en permanence à la maintenance, toutes les informations concernant ses dépenses propres et de lui permettre ainsi de réagir rapidement à tout écart ou anomalie ;
- d'assurer un meilleur suivi des imputations et de limiter ainsi les erreurs éventuelles;
- de faciliter l'établissement de devis ;
- de permettre de rassembler plus aisément les dépenses relatives à un même travail ;
- de mieux définir et suivre les affectations des frais généraux.

7.5.10. L'EXPLOITATION DES UTILITÉS

Les «utilités» ou installations de production et de distribution d'énergie et de fluides comprennent :

- Le stockage et la distribution des carburants ;
- La production et la distribution d'électricité ;
- Le traitement, la distribution et l'écoulement des eaux ;
- La production et la distribution d'air comprimé ;
- Etc.

L'exploitation des utilités englobe non seulement la maintenance, mais aussi la conduite de ces installations. La maintenance est le service le plus approprié pour mener à bien cette tâche.

7.5.11. LA GESTION DE LA MAINTENANCE

Toutes les fonctions décrites ci-dessus doivent être gérées de manière appropriée. Mise à part l'aspect technique, la maintenance est de plus en plus considérée comme une des fonctions de gestion de l'entreprise au plus haut niveau..

Les responsables de maintenance devraient s'approprier un langage qui est compréhensible pour la direction générale et les centres de décision. Le langage usuel des maintenanciers est souvent trop technique et devrait évoluer vers un langage de gestion et économique (par exemple axé sur des thèmes ayant trait aux coûts directs et indirects, retour de l'investissement, valeur ajoutée etc.).

La fonction de gestion de la maintenance est mise en oeuvre à différents niveaux :

- Sur site : gestion technique du travail de maintenance, y compris les méthodes, le planning, le contrôle de qualité des travaux, l'analyse des statistiques opérationnelles.
- Au niveau du département de maintenance : gestion stratégique et économique à travers la définition de politiques de maintenance y compris le concept de maintenance, le suivi d'indicateurs de performance économiques, la gestion du personnel, la politique de sous-traitance etc.
- Au niveau de la direction de l'entreprise : participation à la définition de plan, directeurs en ce qui concerne la politique de renouvellement, l'acquisition d'équipements, le développement de ressources humaines etc.

Afin d'atteindre cet objectif, le responsable de maintenance doit avoir un accès rapide à des données techniques et économiques et doit faire partie du comité de direction de l'entreprise.

7.5.12. LA GESTION DE LA MAINTENANCE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR G.M.A.O

7.5.12.1. DÉFINITION

La GMAO fait partie d'un système d'information, de gestion et de pilotage de la fonction maintenance qui a pour mission d'assurer le bon fonctionnement des outils de production et ceci d'une manière efficace et économique.

L'outil informatique de gestion est alors une aide pour prévoir, tracer, enregistrer, analyser et prendre les décisions sur les opérations de maintenance.

La GMAO peut être définie aussi comme un système informatique organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects techniques, budgétaire et organisationnel toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, ateliers, magasins et bureaux d'approvisionnement.

7.5.12.2. LES FONCTIONNALITÉS DE LA GMAO

Les fonctionnalités principales d'une GMAO sont utilisées pour répondre à des objectifs précis dans l'entreprise. Les plus standards sont :

- La gestion des actifs : équipements, localisations, bâtiments, réseaux, ordinateurs... ;
- La gestion de la maintenance : Corrective et préventive (périodique, conditionnelle, prédictive)...

- Gestions des stocks : magasins, quantités minimum / maximum, de réapprovisionnement, analyse ABC, articles de rechange, catalogue fournisseurs... ;
- Gestions des achats : de pièces détachées ou de services
- Gestion du personnel et planning : activités, métiers, planning de charge, pointage des heures... ;
- Gestion des coûts et budget : main d'oeuvre, stocks, achat, location de matériel... ;
- Préparation des budgets, suivi périodique, rapports d'écart... ;

7.5.12.3. LES INTÉRÊTS D'UNE GMAO

L'intérêt majeur de la maintenance assistée par ordinateur est d'atteindre certains objectifs avec un coût global minimum, ces principaux objectifs sont :

- Réduction des coûts de main d'oeuvre, de pièces détachées, de traitement administratif ;
- Amélioration de la fiabilité et de la disponibilité des équipements ;
- Meilleure gestion des coûts et préparation des budgets ;
- Amélioration du retour d'expérience et de l'historique des travaux de maintenance ;
- Amélioration de la planification des interventions, recherche du ratio préventif/correctif optimal en fonction des caractéristiques de l'activité ;
- Amélioration de la gestion des stocks.

7.5.12.4. CONDUITE D'UN PROJET GMAO

Diverses voies sont possibles pour la mise en place d'une GMAO, néanmoins l'oubli de certaines étapes peut conduire à un échec irrémédiable. La démarche la plus adaptée peut être résumée comme suit :

Elaboration d'un cahier de charge : Dans cette étape, un groupe multidisciplinaire est appelé à définir les résultats voulus par le demandeur dans un cahier de charge, exemple le volume de l'inventaire matériel à maintenir, degré de sophistication du logiciel, statistiques...

Choix du logiciel : Cette étape est la plus délicate, elle correspond à la prise de décision entre le développement spécifique ou l'achat d'un logiciel et par la suite l'orienter vers un logiciel ou un ensemble de logiciel avec les interfaces nécessaires.

Mise en place : Cette étape consiste à installer le hard et le soft (logiciel, ordinateurs...).

Formation du personnel : A tous les niveaux, les utilisateurs attendent de la GMAO qu'elle soit une aide dans leur travail avec un minimum de contraintes. La consultation des utilisateurs doit permettre un paramétrage efficace de l'application, en veillant par exemple à ce que le nombre d'écrans nécessaires à un utilisateur soit minimal, tout en permettant un travail ergonomique. La formation doit être faite "en situation", c'est à dire après intégration et configuration de l'application. L'intégrité des données, essentielle à la crédibilité ultérieure de l'application, dépend du soin apporté à la réalisation de cette étape.

Utilisation et exploitation de la GMAO : Après la saisie de l'inventaire complet du matériel, l'utilisation de la GMAO réside dans la saisie des données y relatives (demandes d'intervention, ordres de travail, ...) et d'autres saisies telles que la réalisation et l'édition des statistiques ainsi que les archivages et les sauvegardes.

7.5.12.5. CONDITIONS DE FAISABILITÉ D'UN PROJET DE GMAO

Il ne suffit pas de choisir le meilleur logiciel de GMAO pour garantir la réussite d'un projet d'informatisation de la gestion de la maintenance.

En effet, un certain nombre de conditions préalables doivent être obligatoirement remplies.

Les conditions de faisabilité peuvent être classées en quatre grandes catégories à savoir :

- Conditions de faisabilités techniques : examen des conditions propres au service de maintenance, de production, d'informatique.
- Conditions économiques : examen des contraintes budgétaires et de rentabilité.
- Conditions organisationnelles : définition des responsabilités, des organigrammes et des flux d'information, organisation de la conduite du projet de GMAO, documentation, formation.
- Conditions psychologiques : rôle de la direction de l'entreprise et changement des mentalités du personnel à tous niveaux.

7.6. EXEMPLE D'UNE MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE : LE SUIVI DE L'USURE DES ORGANES PAR LES ANALYSES SPECTROMÉTRIQUES DES HUILES EN SERVICE

7.6.1. AVANTAGES DES ANALYSES

L'exploitation des résultats d'analyses d'huiles en service permet, sans démontage, d'apprécier l'état d'usure et la qualité de fonctionnement des moteurs Diesel industriels et d'une manière générale les organes lubrifiés.

Son principe repose sur l'analyse physico-chimique du lubrifiant utilisé par le moteur et l'interprétation des résultats.

L'évolution des méthodes d'analyse ainsi que l'emploi de systèmes informatiques puissants permet aujourd'hui d'établir les diagnostics dans d'excellentes conditions de temps, de prix et de fiabilité des résultats.

En effet, les spécialistes de l'analyse du lubrifiant en service permettent, grâce aux indications qu'ils fournissent aux utilisateurs de moteurs Diesel, de répondre à leurs préoccupations en matière d'abaissement du coût d'exploitation de ces matériels.

Le schéma suivant est en effet décrit :

- Les utilisateurs de moteurs Diesel industriels cherchent à réduire leurs coûts d'exploitation.
- Le bain d'huile lubrifiant le moteur s'altère progressivement au cours de son fonctionnement.
- Cette altération varie selon la qualité du fonctionnement et le degré d'usure du moteur.
- L'analyse physico-chimique du lubrifiant permet, grâce à l'expérience des experts dans le traitement des résultats des mesures, d'apprécier cette usure et la qualité du fonctionnement du moteur.
- Une modélisation de ces traitements permet d'utiliser l'ordinateur pour obtenir des résultats fiables et pour réduire les temps de traitement.

Il en résulte pour l'utilisateur les avantages suivants, nettement supérieurs au coût d'achat de la prestation :

- Maintien des moteurs suivis dans les meilleures conditions de réglage des équipements.
- Elaboration de programmes de maintenance des matériels adaptés à la spécificité de l'entreprise.
- Disparition quasi-totale des avaries graves en service grâce à l'intervention préventive sur les matériels.

7.6.2. LE LUBRIFIANT : VECTEUR D'INFORMATIONS

Le lubrifiant en service dans le moteur se charge d'informations sur son fonctionnement général au cours de son utilisation. Il recueille en effet :

- Des particules métalliques de petites dimensions (diamètre inférieur à 5 microns) provenant de l'usure des pièces mécaniques en frottement et qui ne sont pas arrêtées par le système de filtration ;
- Des éléments de pollution solide ou liquide ayant leur origine au sein même du moteur (suies de combustion, gazole, eau du circuit de refroidissement) ;
- Des éléments de pollution solide ou liquide ayant leur origine à l'extérieur du moteur (poussières atmosphériques, eau de condensation ou d'infiltration).

Ainsi, au moment d'effectuer la vidange, le carter d'huile d'un moteur est porteur d'un message d'information sur la vie récente de ce moteur. Ce message aura disparu une fois la charge d'huile renouvelée.

Il convient, donc, d'effectuer une analyse systématique au moment de chaque vidange pour bénéficier de l'information maximum sur la vie récente du moteur.

7.6.3. CONTENU D'UNE ANALYSE D'HUILE

Les laboratoires d'analyses les plus performants proposent plusieurs types d'analyses en fonction de la provenance de la charge d'huile (moteur, organe de transmission, organe hydraulique...) et de la finalité recherchée (suivi de l'évolution d'usure, optimisation des espacements de vidange...).

En ce qui concerne les analyses d'huiles pour moteur, le contenu d'une analyse d'huile de vidange tourne autour de :

Usure des organes mécaniques : Spectrométrie d'émission des éléments :

L'origine des éléments d'usure est propre à chaque marque et type de moteur. Pour information, une liste non exhaustive des éléments les plus courants :

Fer	Chemises de cylindre, segment, cames et poussoirs, etc.
Plomb	Coussinets
Cuivre	Coussinets (combiné au plomb), paliers de turbo, refroidisseur d'huile, bagues en bronze, etc.
Etain	Coussinets, bagues en bronze, etc.
Chrome	Tiges de soupape, poussoirs, segments, etc.
Aluminium	Jupes de pistons, coussinets (certains types de moteurs), etc.
Nickel	Axes de pistons, cames, vilebrequin, poussoirs, etc.

Les éléments de pollution :

Dans un très grand nombre de cas, une usure anormale du moteur peut être la conséquence d'une pollution accidentelle de l'huile lors de l'utilisation. L'analyse détecte les éléments suivants :

- Silicium ;
- Eau ;
- Liquide de refroidissement (uniquement pour moteurs) ;
- Sues (uniquement pour moteurs diesel) ;
- Carburant (uniquement pour moteurs) ;


Les caractéristiques du lubrifiant :

- Viscosité à 40°C ;
- Viscosité à 100°C ;
- Indice de Viscosité ;
- Réserve d'alcalinité TBN (pour moteur) ;
- Niveau d'acidité TAN (pour autre organe).


Exemple de résultat d'une analyse d'huile

ANAC, un service de groupe TOTAL

ISO 9001-2000



ANAC références : FTES-410 - 1
 Vos références :
 Véhicule: 232270A2 / 26
 Organe: Moteur Diesel



Marque et type: ANAC EXPERT / FR-SLUDGE

Vintage: XXXXXX XXXXXXXXXX

Organe: XXXXXX XXXXXXXXXX

Date de diagnostic: 28 avr 2006
 Hôte: Total Rubis 13R 6400 15VAC

Classe d'échantillon	EXPERT	EXPERT	EXPERT	EXPERT	EXPERT
N° de référence	148278	148278	148278	148278	148278
Quantité fonde	380000 K	324000 K	380000 K	380000 K	429430 K
NSR d'huile	20000 K	44000 K	390000 K	26000 K	45630 K
Aspirés d'huile	2 L	2 L	2 L	1 L	2 L

Éléments	ppm	0	1	2	3	4	5	114
Fer	ppm	0	1	2	3	4	5	114
Plomb	ppm	0	1	2	3	4	5	21
Cuivre	ppm	13	1	1	1	2	2	22
Etain	ppm	4	1	1	1	1	1	1
Chrome	ppm	2	2	4	1	1	1	1
Aluminium	ppm	3	3	1	1	2	2	11
Nickel	ppm	4	4	4	4	4	4	2

Constantes	ppm	0	1	2	3	4	5	11
Huile	%	2.6	0.1	2.4	6.4	2.1	0.1	0.1
Eau	%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Liq. En Em.	%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Carburant	%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	17.0

Tests	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Consistance	OK	OK	OK	OK	OK	OK
B.N.	mg/100g	8.0	8.3	8.0	8.7	8.3
Visc. 40°C	mm²/s	163.3	153.3	162.1	153.8	161.1
Visc. 100°C	mm²/s	14.5	13.1	13.4	13.1	13.1
Vis	127	134	120	133	123	123
Caract. SAE	%	1.320	1.320	1.320	1.314	1.320

Vos Informations :

- Augmentation du niveau d'huile

Interprétation du diagnostic :

- Nous constatons une forte dilution de l'huile par le gasoil, agissant sur une chute des viscosités, entraînant une usure du niveau de la cylindre (par aluminium et chrome), et des scabotiers (proues/roues). La présence de gasoil explique l'augmentation du niveau d'huile. Nous vous conseillons de vérifier l'étanchéité du circuit d'injection et d'effectuer un pré-lavement immédiat à 10000 kms afin de suivre l'évolution de ce moteur.

Remarque :

- En cas d'erreur de communication sur le grade ou type de lubrifiant, le diagnostic de la viscosité sera erroné.

7.6.4. LES CRITÈRES DE RÉUSSITE D'UN PROGRAMME D'ANALYSES

7.6.4.1. LES CRITÈRES DÉPENDANT DE L'UTILISATEUR

Afin de garantir les conditions nécessaires à la réussite d'un programme d'analyses, l'utilisateur doit tenir compte des considérations suivantes :

a) Apporter de la rigueur au niveau de :

- L'identification du matériel
- Le prélèvement de l'échantillon
- L'identification de l'échantillon
- L'utilisation des nécessaires de prélèvements
- Expédition de l'échantillon

b) La prise en charge du programme :

La désignation d'un responsable est fortement recommandée afin d'assurer la réussite du programme. Ce responsable aura pour principales tâches :

- La coordination du programme d'analyse.
- Le suivi des temps de fonctionnement des matériels et le déclenchement des prélèvements.
- Le contrôle de leur exécution et des renseignements d'accompagnement.
- Le contrôle de l'expédition des échantillons.
- L'exploitation des résultats et des préconisations d'intervention.
- La mise en place, l'application et le contrôle des actions correctives.
- L'élaboration de rapports d'activités permettant d'évaluer l'impact du programme d'analyses.

Un rapport périodique, annuel par exemple, devra être établi pour chaque machine/moteur ou matériel faisant l'objet du plan de maintenance préventive.

Ce rapport technique, périodique permettra d'étudier l'évolution des machines /moteur en fonction du temps et voir les variations de certains paramètres importants tels que : l'usure des machines/moteurs, la dégradation et /ou la pollution du lubrifiant; il permettra aussi d'étudier certains paramètres particuliers tels que :

- L'espacement des vidanges : trop rapprochées, les vidanges représentent une perte de temps et d'argent; trop espacées, elles sont sources d'usures anormales du moteur et entraînent des changements de pièces coûteux.
- La pollution du lubrifiant due à un défaut de filtration (augmentation progressive des impuretés).
- L'usure du moteur ou de la machine (augmentation des teneurs de certains métaux dans l'huile).

Les indications fournies par le laboratoire d'analyses permettront au responsable de l'entretien des machines/moteurs d'une société, de mieux coordonner les actions de maintenance à entreprendre et surtout, dans beaucoup de cas de :

- Minimiser les coûts de la maintenance.
- Éviter des arrêts périodiques (parfois surabondants).
- Optimiser la durée de vie des lubrifiants.

c) La fréquence des analyses :

L'objectif principal d'un programme de suivi par les analyses d'huile en service est de suivre le bon fonctionnement d'un organe en vue de planifier des opérations d'entretien.

Cette action ne peut être conduite dans de bonnes conditions que si l'on exploite régulièrement et fréquemment les informations accumulées dans le bain d'huile.

Il est donc important d'effectuer des prélèvements à chaque vidange (cas idéal) ou toutes les deux à trois vidanges selon le kilométrage, l'état et les conditions d'utilisation du matériel.

Effectuer une analyse ponctuelle et unique ne fournira que des indications sur le niveau de pollution par les métaux d'usures de la charge d'huile à l'instant du prélèvement, inexploitable pour un suivi préventif.

7.6.4.2. LES CRITÈRES DÉPENDANT DU LABORATOIRE

a) La rapidité

Le laps de temps écoulé entre le moment du prélèvement et la mise en place de l'action corrective doit être le plus court possible.

b) La fiabilité des analyses et la précision des diagnostics

Le rôle du laboratoire est exclusivement de fournir des résultats de mesures pour chacune des caractéristiques examinées d'un échantillon.

Le client, lui, attend en fait une information sur le comportement de son matériel et, le cas échéant, un conseil sur l'attitude à observer lorsque tout ne fonctionne pas parfaitement. Il convient donc d'établir un diagnostic de bon ou de mauvais fonctionnement du moteur, à partir :

- des résultats d'analyse,
- de l'historique mémorisé sur le même matériel si des échantillons le concernant ont été précédemment traités,
- de la connaissance du comportement normal de matériels de mêmes caractéristiques.

L'utilisation poussée de l'informatique en collaboration avec des spécialistes des moteurs, a conduit à l'élaboration de modèles de diagnostics performants.

Ceci constitue un progrès capital comparé aux anciennes méthodes où l'ensemble des résultats était transcrit manuellement avec examen de chaque cas par un spécialiste.

La fiabilité des analyses dépend de la qualité des appareillages et des méthodes employées ainsi que de la haute qualification et des compétences du personnel.

et sont pilotés par micro-ordinateurs qui eux-mêmes sont tous reliés à un ordinateur central qui exploite des banques de données riches de plus de plusieurs milliers d'échantillons.

Le diagnostic de l'ordinateur est ensuite interprété par une équipe de spécialistes en mécanique et plus particulièrement Diesel qui préconise aux clients les actions correctives à mettre en place.

7.7. L'UTILISATION DES HUILES DE SYNTHÈSE

Pour la production de l'huile minérale, on extrait du pétrole certaines catégories de molécules. Le procédé n'est pas parfait, puisque l'on obtient des molécules de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite donc ses possibilités d'application.

Contrairement aux huiles issues du pétrole, les huiles synthétiques s'obtiennent par réaction de plusieurs composants. De cette réaction naît un composé chimique unique qui, dès le départ, possède des performances lubrifiantes nettement supérieures à celles des huiles minérales :

- Viscosité bien définie aux températures basses et élevées.
- Bonne stabilité à l'oxydation.
- Faible volatilité.
- Indice de viscosité généralement élevé.

Dans la pratique, les huiles synthétiques présentent une série d'avantages importants par rapport aux huiles minérales. Le seul inconvénient est uniquement le prix plus élevé, qui est dû à la fabrication plus coûteuse des liquides synthétiques de base.

PROPRIÉTÉS	>>> CONSÉQUENCES
Épaisseur de film supérieure (viscosité élevée avec de hautes températures)	>>>> Meilleure protection contre l'usure (paliers, segments de pistons, commande de soupape)
Ne contient pas de composants instables	>>>> Meilleure stabilité à l'oxydation et thermique
Nécessite moins d'optimisateur d'indice de viscosité	>>>> Stabilité au cisaillement optimisée
Faible volatilité et faible perte par évaporation	>>>> Consommation d'huile inférieure
Très bon comportement aux basses températures	>>>> Démarrage à froid optimisé et huilage rapide des moteurs = moins d'usure
Abaissement de la consommation de carburant sans consommation d'huile supérieure	>>>> Les huiles à faible viscosité (surtout OW & 5W) entraînent un frottement nettement plus faible dans le moteur
Résistance thermique supérieure, d'où réduction des dépôts de poussière	>>>> Meilleure propreté des moteurs et intervalles de vidange allongés

Tableau résumant les avantages des huiles synthétiques

Des mélanges de bases d'origines différentes, minérales ou synthétiques, sont également possibles. Toutefois, il est de règle de ne pas qualifier un lubrifiant de «synthétique» lorsque le pourcentage d'huile minérale excède 15 %.

Ces huiles semi-synthétiques sont disponibles et offrent des produits de qualité supérieure à l'huile entièrement minérale à un coût moindre que l'huile synthétique.

D'après les informations disponibles auprès des producteurs d'huiles synthétiques, l'utilisation de lubrifiants nouvelles génération « moteur, boîte de vitesse et pont » permettrait une économie de carburant :

- de 2% en service sévère ;
- de 3% sur autoroute ;
- de 4% en faible charge.

Ces résultats doivent donc être pris avec prudence car aucun résultat d'études indépendantes n'est disponible.





8.1. LA GESTION DES RESSOURCES HUMAINES ET SON ÉVOLUTION

La gestion des ressources humaines (GRH) peut être définie comme la gestion des hommes au travail dans des organisations (Martory et Crozet, 2005).

Gérer renvoie à l'idée de faire des choix. La gestion des ressources humaines suppose de prendre des décisions sous contraintes : elle est influencée par les décisions relevant d'autres parties de l'organisation (contraintes financières, comptables, techniques, juridiques...).

Gérer des hommes suppose de tenir compte du caractère autonome des individus et d'être capable de gérer les attentes et les interactions sociales.

Le travail représente une activité sociale aux dimensions contradictoires, à la fois source d'épanouissement, source de revenu, à l'origine d'un statut social et activité contraignante.

La gestion des ressources humaines ne se limite pas aux seules entreprises privées mais concerne toutes les structures (administrations publiques, organisations à but non lucratif...) rassemblant des individus pour atteindre un objectif commun.



Cette définition fait apparaître la complexité et l'enjeu de la gestion des ressources humaines, activité à la fois technique et stratégique, nécessitant des compétences variées et une compréhension des contraintes aussi bien internes qu'externes à l'organisation.

Évolution historique : De la gestion du personnel à la gestion des ressources humaines

Le service du personnel, dirigé par un directeur du personnel, a progressivement laissé la place dans les entreprises, à partir des années 1980, à un service ressources humaines (RH), dirigée par un directeur des ressources humaines (DRH).

Ce changement sémantique s'est en même temps accompagné d'une évolution du rôle et de la place de la gestion des ressources humaines dans les organisations. Les transformations de la fonction RH sont à la fois quantitatives et qualitatives :

- quantitatives car les effectifs de la fonction RH ont régulièrement progressé ;
- qualitatives car les problématiques et les missions confiées à la fonction RH se sont progressivement élargies en même temps que l'influence de la fonction s'est développée dans les processus de décisions stratégiques.

Ce passage d'une fonction Personnel à une fonction Ressources Humaines trouve principalement son origine dans la crise économique qui pousse les entreprises à revoir l'organisation peu productive du travail pour s'adapter à une économie ouverte et de plus en plus internationale.

Le tableau suivant fait ressortir l'évolution de la fonction ressources humaines en distinguant une direction du personnel « à l'ancienne » et une direction des ressources humaines « moderne » :

Rôle et missions	Fonction	
	Directeur du personnel	Directeur des Ressources Humaines
Recrutement	<ul style="list-style-type: none">• Prise en charge de certains recrutements• Suivi des opérationnels dans leurs recrutements et gestion de la phase administrative (salaire, contrat de travail)	<ul style="list-style-type: none">• Définition de la politique de recrutement• Gestion de certains recrutements stratégiques• Coordination des autres recrutements, gérés par un cadre spécialiste (chargé de recrutement, responsable de recrutement) ou par des opérationnels• Prise de décisions stratégiques en matière d'externalisation
Formation	<ul style="list-style-type: none">• Définition du plan de formation et suivi de la réalisation• Choix des prestataires	<ul style="list-style-type: none">• Impulsion de la politique de formation• Pilotage des process de formation, la réalisation étant le plus souvent confiée à un cadre spécialiste chargé ou responsable de la formation

Gestion des carrières	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'actions dans ce domaine • Mise en place éventuelle d'entretiens annuels • Gestion des demandes de mutation 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotage des projets de développement d'outils de gestion de carrières • Mise en place d'outils de gestion prévisionnelle des compétences
Paie et rémunérations	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion administrative et supervision de la paie • Affectation des enveloppes d'augmentation 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de systèmes de participation, d'intéressement ou de variable • Supervision de la partie Compensation & Benefits
Relations sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion au plus près des relations avec les partenaires sociaux • Gestion des litiges individuels 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervision des négociations et de la mise en place d'accords • Prise en main de certaines négociations sensibles et processus de séparation
Études RH	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'implication dans les études RH 	<ul style="list-style-type: none"> • Définition des champs d'étude, en fonction notamment des demandes de la direction générale • Mise en place et analyse des études qualitatives et quantitatives

Source : APEC (2004), Les métiers des Ressources Humaines.

Alors que les services du personnel étaient principalement centrés sur des activités administratives (paie, gestion des relations sociales, recrutement), le développement de la fonction Ressources Humaines a progressivement permis le développement stratégique des ressources humaines : la direction des ressources humaines ne se contente plus seulement de gérer les ressources humaines mais contribue au développement du capital humain dans l'entreprise.

De ce fait, les missions de la direction des ressources humaines s'élargissent :

- gestion des effectifs,
- des savoir-faire,
- des compétences,
- de la formation,
- des rémunérations,
- des carrières,
- maintien de l'employabilité...

En lien à la fois avec la direction générale de l'entreprise et les directions opérationnelles, les équipes RH les assistent dans l'organisation, l'administration et le développement des Ressources Humaines de l'entreprise. Les DRH sont progressivement devenus des partenaires stratégiques comme en témoigne leur présence accrue au sein des comités exécutifs des entreprises.

8.2. LA FORMATION

8.2.1. LES ENJEUX DE LA FORMATION

De nos jours, l'environnement des entreprises évolue sans cesse et cette évolution est si rapide que l'on préfère généralement parler de changement. Ce changement est souvent radical. Il marque la rupture entre hier et aujourd'hui, entre aujourd'hui et demain. La formation permet à l'entreprise de s'adapter aux changements prévus ou actuels qui menacent le rendement des employés et l'efficacité de l'organisation et, par conséquent, sa rentabilité. L'objectif de la formation est de provoquer chez les employés des changements désirables dans le domaine de leurs connaissances, de leurs habiletés, de leurs attitudes et comportements en milieu de travail.

8.2.2. L'ÉLABORATION DES PROGRAMMES DE FORMATION

Pour former le personnel de l'entreprise, il est primordial de connaître les besoins à combler sur les plans tant organisationnels qu'individuels. Pour ce faire, il est nécessaire d'élaborer un plan de développement, c'est-à-dire de planifier les activités de formation et d'évaluer les ressources nécessaires. Par la suite il sera possible de procéder au choix et à l'application des techniques de formation les plus appropriées en fonction des besoins identifiés et des ressources disponibles. Enfin, une analyse des résultats permettra d'évaluer le degré d'atteinte des objectifs initiaux (réponse aux besoins identifiés) et, si nécessaires, des correctifs pourront être apportés en cours de route.



Principales étapes pour l'élaboration d'un programme de formation

8.2.2.1. IDENTIFICATION DES BESOINS

L'identification des besoins en formation consiste à rassembler les diverses informations que les entreprises possèdent :

- sur les individus, entre autre, leur dossier et l'évaluation de leur rendement,
- sur leur travail, par la description des postes,
- sur l'entreprise, par les plans de développement.

Les besoins en formation peuvent surgir lors :

- De l'embauche d'un nouvel employé,
- De l'introduction d'une nouvelle technologie,
- De l'introduction de nouveaux procédés de production,
- D'une restructuration,
- D'une rationalisation,
- De l'enrichissement des tâches,
- D'un transfert de poste ou d'une promotion.

Les employés de l'entreprise devraient être les premiers consultés, que ce soit lors de rencontres formelles (entrevues d'évaluation, réunions, etc.) ou lors de discussions informelles. Le personnel de production, de bureau, de soutien technique, de supervision ainsi que les cadres ont des besoins particuliers pour réaliser leurs activités, que ce soit en raison de la nature même du travail ou encore des responsabilités qui y sont reliées. Un bon programme de formation doit tenir compte de cette réalité. Il est donc important de bien planifier les activités qui pourront répondre aux besoins des individus en utilisant les techniques de formation appropriées.

8.2.2.2. PLANIFICATION

Après avoir procédé à l'évaluation des besoins et pour bien y répondre, il est essentiel de bien choisir les activités à venir. Afin d'assurer le bon déroulement des différentes activités de formation, l'employeur devra aussi déterminer les priorités, les échéanciers et les ressources humaines, matérielles et financières nécessaires.

À titre d'exemple, une entreprise peut avoir identifié divers besoins, tel un manque de connaissance en informatique chez le personnel de bureau, des comportements fautifs des employés en matière de sécurité ou des difficultés en matière de relations humaines vécues par des contre maîtres et des directeurs. Le dirigeant doit prioriser les besoins de formation selon la situation propre de l'entreprise. À partir de cette réalité, il peut offrir une formation en santé et sécurité au cours des prochaines semaines pour répondre à une situation urgente, former le personnel de bureau en informatique dans les prochains mois et parfaire la formation en relations humaines de son équipe de direction lorsque les ressources le permettent.

Il est important de se rappeler qu'un programme de formation doit demeurer souple pour parer aux imprévus. Ainsi, si un nouveau besoin émerge, l'entreprise peut alors réviser les priorités et répondre à une urgence.

8.2.2.3. LE CHOIX ET L'APPLICATION DE TECHNIQUES DE FORMATION

Les techniques ou méthodes de formation sont très variées. Chacune de ces techniques comporte des avantages et des inconvénients. Le choix des techniques repose sur plusieurs facteurs dont les suivants : la nature du besoin, les ressources disponibles et le temps dont dispose le personnel pour acquérir les connaissances ou les habilités requises par les fonctions.

La formation en entreprise, effectuée sur les lieux de travail vise généralement l'acquisition de connaissances reliées directement au travail des employés, c'est-à-dire à leurs tâches actuelles. Cette formation est habituellement donnée par le superviseur immédiat ou par un collègue jouissant d'une certaine expérience et surtout utilisée lors de l'entrée en fonction d'un nouvel employé. Le formateur agit comme un modèle pour l'employé. Ce dernier bénéficie alors de l'expertise et des connaissances du formateur dans la mesure où ce dernier est apte à transmettre ses connaissances et a la volonté de le faire. Pour une activité réussie, le choix du formateur doit faire l'objet d'une attention particulière.

Il est utile de noter qu'une entreprise peut faire appel à une ressource externe pour donner une formation en interne.

La formation en inter entreprise est offerte à l'extérieur des lieux de travail. Elle présente l'avantage de faire sortir les participants de leur environnement de travail et de les dégager de leurs préoccupations quotidiennes. En conséquences, les employés sont mieux disposés à se concentrer, ce qui facilite généralement l'apprentissage.

De nombreuses techniques sont déjà connues et de nouvelles se développent constamment. Il peut s'agir de cours magistraux, de colloques ou conférences, de séminaires, d'ateliers, de cours professionnels ou spécialisés, etc. Le choix dépendra des besoins à combler (formation générale, spécifique, individuelle ou collective, etc.) des ressources et du temps disponible.

Les différentes techniques de formation signifient nécessairement des coûts pour l'employeur. Il est à cet effet nécessaire de procéder à un choix judicieux en fonction des besoins à combler.

Enfin, il est important de rappeler que la formation ne doit pas être considérée comme une dépense, mais bien comme un investissement qui rendra l'entreprise plus compétitive dans un marché en constante évolution.

8.2.2.4. L'ÉVALUATION ET LES CORRECTIFS

Pour s'assurer que le programme de formation se déroule tel qu'on le souhaite, il faut évaluer le déroulement des activités à chaque étape. Ainsi, si des erreurs de parcours surgissent, il est possible d'apporter immédiatement les correctifs nécessaires. On évite ainsi que ces erreurs ne soient décelées qu'à la fin de la formation.

En plus de procéder à une évaluation continue en cours de formation, il s'avère important d'évaluer les résultats obtenus pour s'assurer de l'influence positive de la formation sur le rendement global de l'entreprise. Par exemple, recueillir la réaction des employés à la suite d'une formation est l'une des activités les plus courantes d'évaluation. Même si cette méthode est utile pour évaluer la satisfaction des participants, elle s'avère peu fiable pour mesurer les résultats réels en termes d'amélioration du rendement.

L'évaluation doit plutôt viser à connaître le niveau de transfert des acquis, et ce, afin de s'assurer que la formation améliore la qualité du travail de l'employé. L'évaluation doit permettre de mesurer les impacts positifs sur l'efficacité globale de l'entreprise. Il est possible d'utiliser des mesures individuelles avant et après la formation si l'on veut garantir que l'amélioration est liée à cette formation. Différents instruments peuvent aider à effectuer cette comparaison (tests, questionnaire, observations, etc.). Le choix dépend des besoins propres aux entreprises.

8.2.3. QUELQUES THÈMES DE FORMATION DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE FLOTTE

Les actions de formation dans ce domaine sont très rentables pour l'entreprise et génèrent :

- des gains énergétiques,
- des gains mécaniques,
- des gains d'exploitation,
- une élévation du niveau de connaissance,
- une amélioration de l'image de marque de la société.

La formation en économie d'énergie doit :

- s'inscrire dans le cadre d'une politique intérieure de l'entreprise.
- trouver ses fondements dans un plan de formation à long terme avec définition des objectifs à actualiser annuellement.
- être connue de tous.
- être cautionnée par les chefs hiérarchiques.
- être continue et permanente.
- être adressée à l'ensemble du personnel (encadrement, exploitation notamment les chauffeurs, agents de maintenance, etc.

Les thèmes de formation proposés sont indiqués à titre indicatif et leurs contenus ne sont nullement exhaustifs. Il appartient aux entreprises de développer avec les fournisseurs de formation des programmes adaptés en fonction de leurs vrais besoins.

8.2.3.1. LA GESTION DE FLOTTE ET LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE

Cette formation offre aux gestionnaires de parcs de véhicules des conseils pratiques et des moyens éprouvés de réduire les dépenses en carburant et les charges d'exploitation. Le participant à cette formation apprendra à élaborer et mettre en oeuvre un plan de gestion du carburant qui répond aux besoins de l'entreprise, pour ensuite en mesurer les résultats et l'améliorer au fil du temps. À l'issue de cette formation, chacun des participants pourra :

- établir les niveaux de référence de son parc de véhicules ;
- élaborer un plan d'actions ;
- valoriser son plan à la direction ;
- mettre en oeuvre son plan ;
- analyser les résultats et élaborer une orientation future.

Le contenu de la formation s'articulera autour de quatre modules :

Module 1 : Inventaire du parc de véhicules et établissement du niveau de référence de consommation du carburant :

- recueillir et organiser les données relatives à la gestion de l'inventaire du parc de véhicules.
- calculer le niveau de référence du rendement énergétique de tous les véhicules et de toutes les catégories de véhicules du parc de véhicules.
- calculer la consommation de carburant.
- posséder les outils et les compétences nécessaires pour évaluer les pratiques internes courantes et savoir comment les améliorer.

Module 2 : Identification et évaluation des possibilités d'économie de carburant

- développer et proposer des possibilités d'économies de carburant à court et à long terme dont l'entreprise pourrait tirer profit.
- remplir des tableaux comparatifs présentant diverses possibilités d'économies de carburant et en analyser les coûts et avantages.
- Comparer et faire ressortir les différences entre les possibilités et présenter l'information d'une manière claire et convaincante.

Module 3 : Élaboration et mise en oeuvre d'un plan d'action

- établir un plan d'action pour la gestion du carburant en utilisant les données et les capacités analytiques acquises au cours des modules précédents.
- être en mesure de reconnaître l'importance du respect des échéanciers, de l'assignation de responsabilités claires, de la formation du personnel, des mécanismes de rétroaction et de l'évaluation des fournisseurs.
- reconnaître les obstacles éventuels comme la réticence des membres de l'équipe, les technologies non éprouvées.
- reconnaître les principales composantes d'un plan d'action et savoir comment organiser l'information pour accroître son impact.
- se préparer à présenter aux décideurs de l'entreprise le plan dûment complété.

Module 4 : Analyse du rendement

- préparer les instruments de mesure et de rapport requis pour évaluer les plans de gestion du carburant.
- posséder la capacité d'analyser l'information pour ajuster et améliorer les plans selon les besoins.

La durée de la formation sur la gestion de la flotte et la maîtrise de l'énergie peut varier de quatre à dix jours.

8.2.3.2. L'ORGANISATION ET LA GESTION DE LA MAINTENANCE

Ce type de formation est destiné aux responsables et aux agents d'encadrement des services d'entretien, de maintenance et d'exploitation.

Les objectifs visés sont :

- Acquérir les méthodes et les outils pour organiser et gérer un service maintenance
- Optimiser la maintenance des véhicules

Module 1 : La maintenance

- Définition et importance
- Evolution et mutation
- Objectifs, contraintes et moyens d'action

Module 2 : Les différentes méthodes de maintenance

- Systématique
- Conditionnelle
- Corrective

Module 3 : La gestion des moyens de maintenance

- Le personnel
- Les équipements
- Les pièces détachées

Module 4 : Audit et amélioration des équipements

- Evaluation des performances en termes de :
 - disponibilité de l'outil de production
 - activité de maintenance
 - coût
- Examen des résultats
- Elaboration d'un plan d'amélioration
- Mise en application

Module 5 : La Maintenance Assistée par Ordinateur

- Les préalables
- La mise en place
- Structure et exemples de G.M.A.O.

8.2.3.3. LA CONDUITE ÉCONOMIQUE

Cette formation a pour objectifs de fournir aux chauffeurs de véhicules des conseils théoriques et pratiques leur permettant de :

- Conduite un véhicule d'une manière économique.
- Contribuer à réduire les charges d'exploitation du véhicule.
- D'accroître la sécurité.

Le contenu de la formation s'articulera autour des principaux thèmes suivants :

- Le véhicule de transport.
- Le rendement énergétique d'un moteur.
- La chaîne cinématique.
- Les facteurs qui influent sur la consommation de carburant.
- Rôle du pneu sur la consommation et la sécurité.
- Les règles de la conduite économique.
- L'entretien du véhicule.

Pour illustrer les fondements de la conduite économique, il est nécessaire de prévoir des séances pratiques sur véhicules et de préférence dans les conditions réelles de la circulation. Ces séances pourraient être réalisées en début et en fin de stage afin d'apprécier le degré de mise en application des conseils prodigués.

La durée de la formation à la conduite économique peut varier d'un jour dans le cas d'un rappel à de 3 jours s'il s'agit d'une formation initiale.

9.1. DÉFINITIONS

On entend par audit énergétique, toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein de l'établissement à travers la réalisation de recherches, d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performance énergétique de l'établissement, à analyser les causes des insuffisances et à proposer des actions correctives.

En Tunisie, l'audit énergétique est obligatoire et périodique (tous les cinq ans) pour tout établissement appartenant au secteur du transport dont la consommation totale d'énergie est supérieure ou égale à cinq cents tonnes équivalent pétrole «TEP».

L'audit énergétique est réalisé conformément à un cahier des charges qui mentionne le minimum à réaliser par l'expert auditeur, qui décrit le déroulement de l'audit énergétique et qui indique le plan de rédaction du rapport à remettre à l'entreprise.

Le rapport d'audit énergétique servira de base à la signature d'un contrat-programme de réalisation des projets d'économie d'énergie, entre l'ANME et l'entreprise auditée.

L'entreprise pourra ainsi bénéficier des avantages prévus par la loi n°2005-82 du 15 août 2005 portant création d'un système de maîtrise de l'énergie et le décret n°2009-362 du 9 février 2009, modifiant le décret n°2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leur octroi.

9.2. DIFFÉRENTES ÉTAPES DE RÉALISATION ET CONTENU D'UN AUDIT ÉNERGÉTIQUE

L'audit énergétique est généralement réalisé en deux phases :

L'audit énergétique préliminaire

L'expert devra dans cette première étape faire remplir par l'entreprise un questionnaire afin d'obtenir toutes les données relatives à la consommation d'énergie, Kilométrage parcouru, voyageurs transportés, âge moyen du parc etc...

À la réception du questionnaire, l'expert effectue une visite générale de l'entreprise dans le but de :

- Compléter le questionnaire d'audit ;
- Connaître l'entreprise : visites des différents services en compagnie des chefs respectifs ;
- Étudier les informations disponibles et les moyens d'accès à celles-ci ;
- Évaluer les actions d'économie d'énergie déjà entreprises par la société avant le rapport d'audit ;
- Préparer la phase audit approfondi en prévoyant l'installation éventuelle d'instruments de mesure (compteurs de consommation, compteurs kilométrique, etc...) ;
- Identifier les principaux problèmes à surmonter lors de la phase audit approfondi ;
- Définir les objectifs à atteindre, répartition des tâches à effectuer ainsi que les responsabilités de chacun des participants et intervenants ;



- Fixer approximativement les dates de réalisation de l'audit approfondi compte tenu de la préparation de la campagne de mesure, des essais de démonstration de la volume de travail à effectuer.

L'audit énergétique approfondi

Au cours de cette phase l'expert devra traiter au moins les points suivants :

- Etude détaillée et analyse de la situation de l'entreprise au moment de la réalisation de l'audit. Cette analyse prendra en compte la situation du parc (nombre de véhicule, âge moyen, kilométrage effectué, voyageurs transportés et tonnage transporté, évolution de la puissance du parc, etc...), du personnel d'exploitation (conducteurs, mécaniciens etc...);
- Analyse de l'exploitation de la flotte de véhicules (Choix des itinéraires optimisation des parcours et changement etc ...) ;
- Analyse de la maintenance des véhicules et de la gestion du stock des pièces de rechange ;
- Analyse du système de gestion de l'énergie ;
- Analyse du bilan énergétique de l'entreprise par activité et par type de véhicule ;
- Examen des critères de renouvellement des véhicules ;
- Propose un plan d'actions pour les économies d'énergie touchant au moins les axes suivants :
 - La gestion et la comptabilité de l'énergie ;
 - La formation de l'ensemble du personnel ;
 - La maintenance des véhicules ;
 - Le choix des véhicules ;
 - L'adaptation d'équipements économiseurs d'énergie ;
 - Gestion du stock des pièces de rechange

9.3. PROCÉDURE DE RÉALISATION D'UN AUDIT ÉNERGÉTIQUE

La procédure d'audit énergétique se résume comme suit :

- Élaboration d'un contrat d'audit entre l'entreprise et le bureau d'études.
- L'entreprise envoie le contrat d'audit à l'ANME pour approbation.
- Démarrage de la réalisation après accord de l'ANME.
- L'expert remet le rapport d'audit à l'entreprise.
- L'entreprise envoie le rapport d'audit à l'ANME pour approbation.
- Réunion tripartite ANME, bureau d'études, entreprise pour la négociation d'un plan d'action pour les économies d'énergie.
- Élaboration par l'ANME d'un contrat programme ANME / ENTREPRISE.
- Approbation du contrat programme par la commission technique consultative.
- Signature du contrat programme par l'ANME et l'entreprise.
- Attribution des avantages financiers et fiscaux à l'entreprise.

9.4. LES ACTIONS GÉNÉRIQUES

Les sociétés détentrices d'un parc de véhicules dont la consommation n'atteint pas le seuil d'assujettissement prévu dans le cadre de la loi peuvent réaliser des actions lui permettant de réaliser des économies sur ses charges d'exploitation. Ces actions touchent :

9.4.1. L'ORGANISATION DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE

a) Objectifs :

- Détecter les anomalies de fonctionnement à partir d'un suivi des consommations des véhicules ;
- Rechercher les causes des surconsommations ;
- Définir les mesures pour y remédier et de les faire appliquer.

b) Moyens humains et matériels

- Un cadre technique.
- Gestion et traitement de données (ordinateurs et imprimantes, logiciel)
- Collecte de données (compteur kilométrique, tachygraphe, informatique embarquée, système de localisation à distance, borne de gestion de carburant, jaugeurs des réservoirs).
- Equipement d'économie d'énergie (déflecteur, détecteur de gonflage des pneus).

9.4.2. RENFORCEMENT DE L'ENTRETIEN PRÉVENTIF

a) Objectifs

- Améliorer les performances énergétiques des véhicules. Systématiser la maintenance préventive.
- Augmenter la disponibilité et réduire le taux de pannes des véhicules.

b) Moyens matériels

- Gestion et traitement de données (ordinateurs et imprimantes, logiciel, GMAO).
- Analyses spectrométriques des huiles.
- Outil de diagnostic des systèmes de gestion moteur.
- Opacimètre et analyseur de gaz.
- Outillages spécifiques (compressiomètre, machine de tarage les injecteurs ,etc.).

9.4.3. FORMATION ET SENSIBILISATION DU PERSONNEL

a) Objectifs

- Inculquer aux chauffeurs les méthodes de conduite rationnelle et d'entretien préventif.
- Améliorer les compétences des agents de la maintenance et les informer sur l'évolution technologique des véhicules.
- Assister les responsables de la gestion de l'énergie à la conception et l'exploitation du système de collecte, de contrôle et d'analyse des données.

Cadre réglementaire et incitatif de la maîtrise de l'énergie

- Loi n° 2009-7 du 9 février 2009, modifiant et complétant la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie.
- Loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie.
- Décret n° 2009-362 du 9 février 2009, modifiant le décret n°2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions de leur octroi.
- Décret n°2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions de leur octroi.
- Décret n° 2004-2144 du 2 septembre 2004, fixant les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'audit énergétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'audit et les catégories de projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs.
- Arrêté du Ministre de l'Energie et des Mines du 18 mars 1987 relatif à la fixation des coefficients d'équivalence et des pouvoirs calorifiques. Le Ministre de l'Energie et des Mines.

lois

Loi n° 2009-7 du 9 février 2009, modifiant et complétant la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie (1).

Au nom du peuple,

La chambre des députés et la chambre des conseillers ayant adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Article premier - Sont abrogés, les paragraphes deuxième et troisième de l'article 5, les paragraphes premier et deuxième de l'article 7, les articles 10, 12, 19, 26 et 27 de la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie et remplacés par ce qui suit :

Article 5 - (paragraphes deuxième et troisième nouveaux) :

Les critères d'assujettissement des projets consommateurs d'énergie à la consultation préalable, les conditions de réalisation de cette consultation et les délais dans lesquels l'agence émet son avis sont fixés par décret.

Les projets prévus au premier paragraphe du présent article sont soumis à une autorisation préalable octroyée par décision du ministre chargé de l'énergie prise sur avis de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie s'ils sont grands consommateurs d'énergie. Au sens de la présente loi, est considéré « projet grand consommateur d'énergie », tout projet dont la consommation dépasse un seuil fixé par décret.

Article 7 (paragraphes premier et deuxième nouveaux)

Tout établissement ou groupement d'établissements exerçant dans le secteur industriel ou dans le secteur tertiaire qui s'équipe d'une installation de cogénération économe en énergie pour sa consommation propre, bénéficie du droit de transport de l'électricité ainsi produite par le réseau électrique national jusqu'à ses points de consommation et du droit de vente des excédents exclusivement à la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz, dans des limites supérieures et ce, dans le cadre d'un contrat-type approuvé par l'autorité de tutelle du secteur de l'énergie.

Les conditions de transport d'électricité, la vente des excédents et les limites supérieures sont fixées par décret.

Article 10 (nouveau) - Les projets de construction de nouveaux bâtiments et les projets d'extension des bâtiments existants doivent répondre à des spécifications techniques minimales de maîtrise de l'énergie fixées par arrêté conjoint du ministre chargé de l'équipement et de l'habitat et du ministre chargé de l'énergie.

(1) Travaux préparatoires :

Discussion et adoption par la chambre des députés dans sa séance du 26 décembre 2008.

Discussion et adoption par la chambre des députés dans sa séance du 3 février 2009.

Discussion et adoption par la chambre des conseillers dans sa séance du 30 décembre 2008.

Article 12 (nouveau) - Les plans de déplacement urbain fixent les règles générales d'organisation du transport, de la circulation et du stationnement à l'intérieur des périmètres de transport urbain définis par l'article 17 de la loi n° 2004-33 du 19 avril 2004 portant organisation des transports terrestres et ce, dans le but de faciliter les déplacements, de rationaliser la consommation d'énergie et de protéger l'environnement.

Les procédures pratiques d'élaboration des plans de déplacement urbain y compris les critères techniques et les responsabilités des parties intervenantes sont fixées par décret.

Article 19 (nouveau) - Les investissements réalisés dans le cadre des actions de maîtrise de l'énergie prévues à l'article 3 de la présente loi donnent lieu au bénéfice de primes spécifiques dont les taux et les modes d'octroi sont fixés par décret. Pour bénéficier de ces primes, les personnes éligibles doivent conclure avec l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie des contrats-programmes fixant les aspects techniques, économiques et financiers des investissements à réaliser.

L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée d'assurer le contrôle et le suivi desdits investissements et de veiller à ce que les primes octroyées soient utilisées conformément à la législation en vigueur. La non-exécution des contrats-programmes entraîne le retrait des avantages conformément aux dispositions du code d'incitation aux investissements.

Article 26 (nouveau) - Est puni d'une amende de vingt mille à cinquante mille dinars :

- quiconque n'a pas réalisé l'audit énergétique obligatoire prévu à l'article 4 de la présente loi,
- quiconque n'a pas réalisé la consultation préalable conformément à l'article 5 (nouveau) de la présente loi,
- quiconque a réalisé un projet grand consommateur d'énergie sans obtenir l'autorisation prévue à l'article 5 (nouveau) de la présente loi,
- quiconque n'a pas réalisé la substitution conformément à l'article 15 de la présente loi.

Si le contrevenant est une personne morale, la sanction s'applique à titre personnel au dirigeant légal ou au dirigeant de fait dont la responsabilité dans l'infraction a été prouvée. La condamnation ne dispense en aucun cas l'auteur de l'infraction des obligations mises à sa charge en vertu de la présente loi.

En cas de récidive, les sanctions prévues à l'alinéa premier du présent article sont triplées. Le procureur de la République, avant la mise en mouvement de l'action publique et le tribunal saisi de l'affaire pénale peuvent ordonner le recours à la transaction sur demande du contrevenant concernant les crimes passibles des sanctions prévues au présent article.

Le procureur de la République ou l'instance judiciaire saisi approuve la transaction conclue par écrit entre l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie d'une part et le contrevenant d'une autre part.

La transaction doit être signée par le contrevenant et doit mentionner le paiement du montant objet de la transaction qui doit être fixé conformément à un barème de tarifs fixé par décret pris sur proposition du ministre chargé de l'énergie.

Les délais de prescription de l'action publique sont suspendus durant la période d'accomplissement des procédures de transaction ainsi que durant la période arrêtée pour son exécution. L'exécution de la transaction entraîne l'extinction de l'action publique et l'arrêt des poursuites ou du jugement ou de l'exécution de la peine.

Notobstant les sanctions susmentionnées, tout contrevenant aux dispositions de l'article 4 de la présente loi est tenu d'effectuer un audit énergétique et de remettre à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie un rapport à cet effet dans un délai n'excédant pas un an à compter de la date la constatation de l'infraction. Passé ce délai, l'agence désigne un expert-auditeur pour réaliser l'audit aux frais de l'établissement défaillant.

L'établissement concerné doit mettre à la disposition de l'expert-auditeur toute documentation nécessaire à l'accomplissement de sa mission et lui permettre d'accéder à toutes les installations objet de l'audit. Il est interdit à l'expert-auditeur de divulguer toute information dont il a pu avoir connaissance dans l'exercice de sa mission.

Article 27 (nouveau) - Les amendes et les recettes des transactions prévues à l'article 26 de la présente loi sont versées au profit du fonds de maîtrise de l'énergie créé en vertu de l'article 12 de la loi n° 2005-106 du 19 décembre 2005 portant loi de finances pour l'année 2006.

Art. 2 - Sont ajoutés à la loi susvisée n° 2004-72 du 2 août 2004, les articles 14 (bis), 14 (ter) et 26 (bis) dont la teneur suit :

Article 14 (bis) - Tout établissement ou groupement d'établissements exerçant dans les secteurs industriel, agricole ou tertiaire et qui produit de l'électricité à partir d'énergies renouvelables pour sa consommation propre, bénéficie du droit de transport de l'électricité ainsi produite, par le réseau électrique national jusqu'à ses points de consommation et du droit de vente des excédents exclusivement à la Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz, dans des limites supérieures et ce, dans le cadre d'un contrat-type approuvé par l'autorité de tutelle du secteur de l'énergie.

Les conditions de transport de l'électricité, la vente des excédents et les limites supérieures sont fixées par décret.

Les projets de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables, raccordés au réseau électrique national et réalisés par les établissements prévus au premier paragraphe du présent article, sont approuvés par décision du ministre chargé de l'énergie prise sur avis d'une commission technique consultative.

Article 14 (ter) - Tout producteur d'électricité à partir d'énergies renouvelables pour sa consommation propre, dont les installations sont connectées au réseau électrique national en basse tension, bénéficie du droit de vente de ses excédents d'énergie électrique exclusivement à la Société Tunisienne de l'Électricité et du Gaz qui s'engage à les acheter dans le cadre d'un contrat-type approuvé par l'autorité de tutelle du secteur de l'énergie et ce, selon des conditions fixées par décret.

Article 26 (bis) - Les infractions aux dispositions des articles 4, 5 et 15 de la présente loi sont constatées par les officiers de la police judiciaire prévus aux numéros 1, 3, 4 et 7 de l'article 10 du code des procédures pénales ou par les agents habilités et assermentés de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie appartenant à la catégorie des cadres de l'agence et qui ont une ancienneté de cinq ans au minimum dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et ce, par procès-verbal contenant le nom et la qualité du contrevenant ainsi que la nom et le siège social de l'entreprise.

Le procès-verbal d'infraction est transmis par voie hiérarchique au Procureur de la République aux fins de poursuites conformément à la législation en vigueur.

Art. 3 - Est ajouté à l'article 17 de la loi susvisée n° 2004-72 du 2 août 2004 un nouveau tiret dont la teneur suit :

Art. 17 (nouveau tiret) - Conseiller et fournir de l'expertise dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

La présente loi sera publiée au Journal Officiel de la République Tunisienne et exécutée comme loi de l'Etat.

Tunis, le 9 février 2009.

Zine El Abidine Ben Ali

Loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie (1).

Au nom du peuple,

La chambre des députés ayant adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Article premier - La maîtrise de l'énergie est considérée comme une des priorités nationales dans la mesure où elle constitue un élément principal du développement durable et qui a une relation étroite avec l'évaluation économique et sociale et avec la protection de l'environnement.

Art. 2 - La maîtrise de l'énergie comprend l'ensemble des actions mises en oeuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, la promotion des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie.

On entend par :

- l'utilisation rationnelle de l'énergie : L'ensemble des actions qui permettent la réduction des quantités d'énergie consommées pour la production d'une unité d'un produit ou d'un service, et ce, tout en préservant la qualité,

- la promotion des énergies renouvelables : L'ensemble des actions qui visent l'exploitation de toutes formes d'énergies électrique, mécanique ou thermique obtenues par la transformation de l'énergie solaire, du vent, de la biomasse, de la géothermie ou de toute autre source naturelle renouvelable,

- la substitution de l'énergie : Le remplacement d'une forme d'énergie habituellement utilisée dans un secteur déterminé par une autre forme d'énergie, lorsque des considérations techniques, économiques ou environnementales rendent cette substitution avantageuse ou nécessaire.

CHAPITRE II

LES ACTIONS DE MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

Art. 3 - Les actions de maîtrise de l'énergie couvrent tous les programmes et les projets qui ont pour objectif d'améliorer le niveau d'efficacité énergétique et de diversifier les sources d'énergie dans le cadre de la politique de l'Etat en matière d'énergie, et ce, notamment à travers :

- l'audit énergétique obligatoire et périodique,
- la consultation préalable concernant les projets consommateurs d'énergie,
- le recours aux établissements de services énergétiques,
- la cogénération,
- l'étiquetage des matériels, appareils et équipements électroménagers qui indiquent leur niveau de consommation d'énergie,
- la réglementation thermique des nouveaux bâtiments,
- l'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'éclairage public.

(1) Travaux préparatoires :

Discussion et adoption par la chambre des députés dans sa séance du 27 juillet 2004.

- le diagnostic des moteurs des automobiles,
- l'élaboration des plans des déplacements urbains pour les grandes villes,
- la promotion des énergies renouvelables,
- la substitution de l'énergie.

Art. 4 - Les établissements dont la consommation totale d'énergie dépasse un seuil fixé par décret sont assujettis à un audit énergétique obligatoire et périodique effectué par les experts-auditeurs

On entend par audit énergétique, toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein de l'établissement à travers la réalisation de recherches, d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performance énergétique de l'établissement, à analyser les causes des insuffisances et à proposer les actions correctives.

Les conditions d'assujettissement des établissements à l'audit énergétique, le contenu et la périodicité de l'audit ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs sont fixés par décret.

Art. 5 - Les nouveaux projets consommateurs d'énergie ainsi que les projets d'extension des établissements consommateurs d'énergie doivent être soumis avant le début de leur réalisation à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie prévue à l'article 17 de la présente loi, et ce, en vue de s'assurer de leur efficacité énergétique.

L'agence s'engage à donner son avis à propos du projet qui lui a été soumis dans un délai n'excédant pas trente jours de la date de réception du dossier. Passé ce délai, le projet est réputé avoir obtenu l'accord de l'agence.

Les projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation préalable et les conditions de réalisation de cette consultation sont fixés par décret.

Art. 6 - Les établissements consommateurs d'énergie peuvent conclure des contrats avec les établissements de services énergétiques dans le but de réaliser des économies dans la consommation de l'énergie.

Au sens de la présente loi, est considéré établissement de services énergétiques tout établissement qui s'engage vis-à-vis d'un établissement consommateur d'énergie à :

- effectuer des études visant à réaliser des économies dans la consommation de l'énergie,
- préparer un projet qui réalise des économies d'énergie et veiller à son exécution, sa gestion, son suivi et éventuellement son financement,
- garantir l'efficacité du projet dans le domaine de l'économie d'énergie.

Les établissements de services énergétiques exercent leur activité conformément à un cahier des charges approuvé par arrêté du ministre chargé de l'énergie.

Art. 7 - L'établissement qui s'équipe d'une installation de cogénération, bénéficie du droit d'écoulement de ses excédents d'énergie électrique sur le réseau électrique national dans des limites supérieures fixées par décret.

Les excédents d'énergie électrique doivent être cédés à la société chargée du transport et de la distribution de l'électricité qui s'engage à les acheter dans le cadre d'un

contrat-type approuvé par l'autorité de tutelle du secteur de l'énergie.

Au sens de la présente loi, on entend par installation de cogénération, tout ensemble d'équipements et de matériels installé dans un établissement appartenant au secteur industriel ou au secteur tertiaire, en vue de produire simultanément de l'énergie thermique et de l'énergie électrique à partir d'une énergie primaire conformément à des critères techniques fixés par décret.

Art. 8. - Tout fabricant, importateur, vendeur ou locataire de matériels, d'appareils et d'équipements électroménagers consommant de l'énergie commercialisés en Tunisie doit garantir l'extension d'indications sur les matériels, appareils et équipements électroménagers qui renseignent sur le niveau réel de leur consommation d'énergie.

Les conditions et les modalités d'application des dispositions du présent article ainsi que les indications relatives à la consommation d'énergie et les modalités d'étiquetage des matériels, appareils et équipements électroménagers sont fixées par décret.

Art. 9. - Est interdite la mise sur le marché de matériels, d'appareils et d'équipements électroménagers dont la consommation d'énergie dépasse un seuil fixé par arrêté conjoint du ministre chargé du commerce et du ministre chargé de l'énergie.

Art. 10. - Les nouveaux bâtiments sont assujettis à des spécifications techniques visant l'économie dans la consommation d'énergie qui seront fixées par arrêté conjoint du ministre chargé de l'équipement et de l'habitat et du ministre chargé de l'énergie.

Art. 11. - Lors de l'installation des réseaux d'éclairage public, il est impératif de se conformer aux spécifications techniques relatives à l'économie d'énergie, qui seront fixées par arrêté conjoint du ministre chargé des collectivités locales, du ministre chargé de l'équipement et de l'habitat et du ministre chargé de l'énergie.

Art. 12. - Les municipalités dont le nombre d'habitants dépasse un nombre qui sera fixé par arrêté du ministre chargé des collectivités locales, sont tenues de dresser leurs plans des déplacements urbains en prenant en considération les aspects relatifs à l'économie d'énergie et à la protection de l'environnement.

Les procédures pratiques d'élaboration des plans des déplacements urbains qui fixent les critères techniques et les responsabilités de toutes les parties intervenantes seront fixées par arrêté conjoint du ministre chargé des collectivités locales, du ministre chargé de l'aménagement du territoire et du ministre chargé du transport.

Art. 13. - Les automobiles sont soumise, à l'occasion de la visite technique périodique qu'elles subissent conformément aux dispositions du code de la route, à un diagnostic de leurs moteurs dans le but de la maîtrise de la consommation d'énergie.

Les conditions de l'exercice de l'activité de diagnostic des moteurs des automobiles dans le secteur privé, les équipements nécessaires à la réalisation du diagnostic, les opérations de diagnostic et de contrôle seront fixés conformément à un cahier des charges qui sera approuvé

par arrêté conjoint du ministre chargé du transport et du ministre chargé de l'énergie.

Art. 14. - Le programme national de promotion des énergies renouvelables consiste dans :

- le développement de l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité.

- l'encouragement à l'utilisation de l'énergie solaire thermique.

- l'exploitation de l'énergie solaire dans le domaine de l'électrification rurale, du pompage et du dessalement des eaux dans les zones éloignées du réseau national d'électricité.

- l'incitation à la valorisation des déchets, des eaux géothermales, de la petite hydraulique et des gaz naturels associés aux opérations de production des hydrocarbures et ce, pour la production de l'énergie.

Art. 15. - Pour des considérations techniques, économiques ou environnementales, il est obligatoire de recourir, dans les différents secteurs, à la substitution d'une énergie utilisée par une autre forme d'énergie.

La forme de l'énergie remplacée, les modalités, les délais et les conditions technique de la substitution seront fixés par arrêté du ministre chargé de l'énergie.

CHAPITRE III

L'AGENCE NATIONALE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

Art. 16. - Il est créé un établissement public à caractère non administratif doté de la personnalité juridique et de l'autonomie financière dénommé « agence nationale pour la maîtrise de l'énergie ». Elle est placée sous la tutelle du ministre chargé de l'énergie.

Art. 17. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée notamment des missions suivantes :

- gérer les actions d'audit énergétique obligatoire et périodique dans les secteurs de l'industrie, du transport et des services,

- instruire les projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation préalable obligatoire,

- proposer les incitations, les encouragements et les procédures susceptibles de développer le domaine de la maîtrise de l'énergie,

- octroyer des attestations pour les équipements, matériels et produits concourant à l'utilisation rationnelle de l'énergie ou relatifs aux énergies renouvelables et ce, en vue de bénéficier des avantages prévus par la législation et la réglementation en vigueur,

- inciter à l'exploitation des techniques et des technologies énergétiquement performantes,

- développer les projets de démonstrations dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et en suivre la réalisation,

- promouvoir, en collaboration avec les organismes concernés, la formation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie,

- préparer et exécuter les programmes nationaux de sensibilisation et d'éducation dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

- contribuer aux programmes de recherche scientifique dans le domaine de la maîtrise de l'énergie,

- étudier, programmer et évaluer les projets de maîtrise de l'énergie et effectuer les études portant sur l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre liés à la consommation de l'énergie et plus généralement toutes études rentrant dans le cadre de ses attributions,

- élaborer un inventaire des émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation de l'énergie et analyser les indicateurs de maîtrise de l'énergie.

Art. 18. - L'organisation administrative et financière et les modalités de fonctionnement de l'agence seront fixées par décret.

CHAPITRE IV

LES AVANTAGES ACCORDES AU TITRE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Art. 19. - Les établissements qui se proposent de réaliser des projets ayant pour but la maîtrise de l'énergie peuvent conclure des contrat-programmes avec l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie, fixant tous les aspects techniques, économiques et financiers des investissements à réaliser.

Les investissements réalisés dans le domaine de la maîtrise de l'énergie donnent lieu au bénéfice des avantages prévus par le code d'incitation aux investissements.

L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée d'assurer le contrôle et le suivi des investissements et de veiller à la bonne utilisation des aides octroyées conformément aux dispositions du code d'incitation aux investissements.

Art. 20. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie bénéficie des avantages fiscaux suivants :

- l'exonération de la taxe sur la valeur ajoutée due au titre des travaux réalisés et les prestations de service effectuées par ou pour elle,

- l'exonération de la taxe douanière, la taxe sur la valeur ajoutée et la taxe sur la consommation au titre des équipements, appareils et matériels importés dans le cadre des dons s'inscrivant dans le domaine de la coopération internationale.

CHAPITRE V

LES INFRACTIONS ET LES SANCTIONS

Art. 21. - Les infractions aux dispositions des articles 8 et 9 de la présente loi sont constatées par :

- les officiers de police judiciaire,

- les inspecteurs du contrôle économique, désigné conformément au statut particulier régissant le corps du contrôle économique.

Les agents chargés de la constatation des infractions sont autorisés dans l'accomplissement de leurs missions à pénétrer durant les heures habituelles d'ouverture ou de travail dans les locaux concernés. Ils sont également autorisés à accomplir leurs missions au cours du transport des matériels, des appareils et des équipements prévus par les articles 8 et 9 de la présente loi.

Art. 22. - Les agents visés à l'article 21 de la présente loi peuvent saisir les matériels, les appareils et les

équipements qui ont fait l'objet du constat d'infraction aux dispositions des articles 8 et 9 de la présente loi. Les produits saisis sont laissés sous la garde de leurs propriétaires.

Art. 23. - Les procès-verbaux de saisie des appareils et des matériels sont adressés dans les 48 heures au ministre chargé du commerce qui se charge de convoquer le contrevenant par lettre recommandée avec accusé de réception à l'effet de l'entendre et de le mettre en demeure de se conformer aux dispositions de la présente loi dans un délai ne dépassant pas trente jours.

A défaut pour le contrevenant d'obtempérer, il sera procédé, par arrêté, à la fermeture de l'établissement ou des établissements dans lesquels la contravention a été commise et ce, pour une durée maximum de trente jours.

En cas de persistance dans l'infraction, le ministre chargé du commerce se chargera dans les 48 heures à compter de la fin de la durée de la fermeture provisoire, de transmettre les procès-verbaux au Procureur de la République auprès du tribunal compétent.

Art. 24. - Les procès-verbaux de constat et de saisie prévus aux articles 21, 22 et 23 de la présente loi sont rédigés conformément aux conditions et aux modalités prévues par la loi.

Art. 25. - Sous réserve des dispositions des articles 22, 23 et 24 de la présente loi, est puni d'une amende de 60 à 5000 dinars, quiconque contrevient aux dispositions des articles 8 et 9 de la présente loi.

La même sanction s'applique en cas d'apposition intentionnelle d'indications fausses et non conformes à la consommation réelle d'énergie des matériels appareils et équipements.

Art. 26. - Est puni d'une amende de 5 000 à 10 000 dinars, quiconque n'a pas réalisé l'audit énergétique obligatoire et périodique prévu au paragraphe premier de l'article 4 de la présente loi.

Si le contrevenant est une personne morale, les sanctions s'appliquent à titre personnel selon le cas au dirigeant légal ou de fait dont la responsabilité a été prouvée dans la commission de l'infraction.

Le contrevenant demeure soumis à l'audit énergétique obligatoire et périodique dans un délai ne pouvant dépasser les six mois à compter de la date de sa mise en demeure par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie par lettre recommandée avec accusé de réception ou par tout autre moyen laissant une trace écrite.

Passé ce délai sans résultat, l'agence désigne un expert-auditeur pour réaliser l'audit aux frais de l'établissement défaillant. L'établissement concerné doit permettre à l'expert auditeur d'accéder à toute documentation qui lui sera utile pour l'accomplissement de sa mission dans les meilleurs conditions et mettre à sa disposition tous les équipements, matériels et appareils objet de l'audit.

Il est interdit aux expert-auditeurs de divulguer toutes informations dont ils ont pu avoir connaissance à l'occasion de l'exercice de leurs missions.

Art. 27. - Les infractions aux dispositions de l'article 4 de la présente loi sont constatées par procès-verbaux dressés par les officiers de police judiciaire prévus aux numéros 1,

3, 4 et 7 de l'article 10 du code de procédure pénale ainsi que les agents habilités et assermentés de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie appartenant à la catégorie des cadres de l'agence et qui ont une ancienneté de cinq ans au minimum dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

CHAPITRE VI

Dispositions diverses

Art. 28. - L'agence nationale des énergies renouvelables créée par l'article premier du décret-loi n° 85-8 du 14 septembre 1985 ratifié par la loi n° 85-92 du 22 novembre 1985 est supprimée et remplacée par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie qui prendra en charge ses droits et obligations. En cas de dissolution de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie créée par la présente loi, son patrimoine fera retour à l'Etat qui exécutera les engagements qu'elle aura contractés.

Art. 29. - Sont abrogées toutes les dispositions antérieures contraires à la présente loi et notamment

- l'article premier du décret-loi n° 85-8 du 14 septembre 1985 ratifié par la loi n° 85-92 du 22 novembre 1985.

- la loi n° 85-48 du 25 avril 1985, portant encouragement de la recherche, de la production et de la commercialisation des énergies renouvelables.

- la loi n° 90-62 du 24 juillet 1990, relative à la maîtrise de l'énergie.

Demeurent en vigueur les textes réglementaires pris en application des deux lois précitées tant qu'ils ne sont pas en contradiction avec la présente loi et ce, jusqu'à leur remplacement ou abrogation.

La présente loi sera publiée au Journal Officiel de la République Tunisienne et exécutée comme loi de l'Etat.

Tunis, le 2 août 2004.

Zine El Abidine Ben Ali

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE,
DE L'ÉNERGIE ET DES PETITES
ET MOYENNES ENTREPRISES**

Décret n° 2009-362 du 9 février 2009, modifiant le décret n° 2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leur octroi.

Le Président de la République,

Sur proposition du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises,

Vu la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie,

Vu la loi n° 2005-82 du 15 août 2005, portant création du régime pour la maîtrise de l'énergie,

Vu la loi n° 2005-106 du 19 décembre 2005, portant loi de finances pour l'année 2006 et notamment ses articles 12 et 13,

Vu le décret n° 95-916 du 22 mai 1995, fixant les attributions du ministère de l'industrie,

Vu le décret n° 2000-1124 du 22 mai 2000, fixant l'organisation administrative et financière et les modalités de fonctionnement de l'agence nationale des énergies renouvelables, tel que modifié et complété par le décret n° 2004-795 du 22 mars 2004,

Vu le décret n° 2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leur octroi,

Vu l'avis du ministre des finances,

Vu l'avis du tribunal administratif.

Décrète :

Article premier - Sont abrogées, les dispositions de l'article premier et de l'article 2 du décret susvisé n° 2005-2234 du 22 août 2005 et remplacées par ce qui suit :

Article premier (nouveau) - Les actions ayant pour objectifs l'utilisation rationnelle de l'énergie, le développement des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie sont éligibles au bénéfice des primes suivantes :

1- Pour l'audit énergétique et la consultation préalable :

- une prime de 70% du coût de l'audit énergétique et de la consultation préalable avec un plafond de trente mille dinars (30 000 D).

2- Pour les projets de démonstration :

- une prime de 50% du coût global du projet de démonstration avec un plafond de cent mille dinars (100 000 D).

3- Pour les investissements dans le domaine de la maîtrise de l'énergie :

a) une prime de 70% du coût des investissements immatériels avec un plafond de soixante dix mille dinars (70 000 D).

b) une prime de 20% du coût des investissements matériels avec un plafond de :

- cent mille dinars (100 000 D) pour les établissements dont la consommation globale annuelle moyenne d'énergie ne dépasse pas quatre mille tonnes équivalent pétrole,

- deux cents mille dinars (200 000 D) pour les établissements dont la consommation globale annuelle moyenne d'énergie varie entre quatre mille tonnes équivalent pétrole et sept mille tonnes équivalent pétrole,

- deux cent cinquante mille dinars (250 000 D) pour les établissements dont la consommation globale annuelle moyenne d'énergie dépasse sept mille tonnes équivalent pétrole.

Pour les établissements en activité, la consommation globale annuelle moyenne d'énergie est calculée sur la base de leur consommation durant la dernière période de leur activité qui varie entre un an et trois ans selon l'ancienneté de l'établissement. Pour les nouveaux projets et opérations d'extension assujettis à la consultation préalable, c'est la consommation prévisionnelle durant un an qui est prise en considération.

Ces primes sont débloquées conformément aux dispositions d'un contrat-programme conclu avec l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie, et ce, après réalisation de l'investissement.

4- Pour l'installation des équipements de maîtrise de l'énergie sur les unités de pêche :

- une prime de 40% du coût des investissements relatifs à l'installation des équipements concourant à la maîtrise de l'énergie sur les unités de pêche avec un plafond de trente mille dinars (30 000 D).

Le déblocage de la prime s'effectue directement au profit du fournisseur après installation des équipements auprès du bénéficiaire.

5- Pour l'installation des stations de diagnostic de moteurs des automobiles :

- une prime de 20% du coût de l'investissement avec un plafond de six mille dinars (6.000 D), débloquée directement au fournisseur après l'installation des équipements auprès du bénéficiaire. Le bénéficiaire doit satisfaire aux prescriptions d'un cahier des charges portant organisation de la profession de diagnostic des moteurs des automobiles.

6- Pour la substitution du gaz naturel :

a) dans les secteurs industriel et tertiaire :

- une prime de 20% du coût des installations intérieures de raccordement et de la conversion des équipements, avec un plafond de quatre cent mille dinars (400 000D).

Le déblocage de la prime s'effectue après réalisation et l'entrée en exploitation du projet.

b) dans le secteur résidentiel :

- une prime de cent quarante dinars (140D) pour chaque logement individuel;

- une prime de vingt dinars (20D) pour chaque appartement dans les immeubles collectifs.

Le déblocage de la prime s'effectue conformément aux dispositions d'un contrat-programme conclu entre la société tunisienne de l'électricité et du gaz et l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie.

7- Pour l'utilisation des énergies renouvelables :

a- Pour le chauffage solaire de l'eau :

*** Dans les secteurs résidentiel et des petits métiers :**

- une prime de deux cents dinars (200D) pour le chauffe-eau solaire dont la surface de capteur est comprise entre un mètre (1 m²) et trois mètres carré (3 m²).

- une prime de quatre cents dinars (400D) pour le chauffe-eau solaire dont la surface de capteur est comprise entre trois (3 m²) et sept mètres carré (7 m²).

*** Dans les secteurs industriel et tertiaire :**

- une prime de 10% du coût de l'investissement avec un plafond de cent cinquante dinars (150D) par mètre carré.

Le déblocage de la prime s'effectue directement au profit du fournisseur après installation des équipements auprès du bénéficiaire. Le fournisseur et le chauffe-eau solaire doivent être conformes aux prescriptions d'un cahier des charges technique approuvé par arrêté du ministre chargé de l'énergie.

b) Pour la production de l'électricité dans le secteur agricole :

- une prime de 40% du coût de l'investissement, avec un plafond de vingt mille dinars (20 000D) pour les projets d'éclairage rural et le pompage de l'eau par énergie solaire et énergie éolienne pour les fermes agricoles et projets ruraux.

c) Pour la production du biogaz :

- une prime de 40% du coût de l'investissement avec un plafond de vingt mille dinars (20000D) pour la production du biogaz.

- une prime de 20% du coût de l'investissement, avec un plafond de cent mille dinars (100 000D) pour la production du biogaz dans le but de produire de l'électricité.

d) Pour la production de l'électricité dans les bâtiments solaires :

- une prime de 30% du coût de l'investissement avec un plafond de trois mille dinars (3 000D) pour un kilowatt crête et quinze mille dinars (15 000D) pour un bâtiment solaire.

Ces primes sont débloquées directement au profit du fournisseur après réalisation de l'investissement.

8- Pour la cogénération :

- une prime de 20% du coût de l'investissement avec un plafond de cinq cents mille dinars (500 000D).

Article 2 (nouveau) - Il est créé auprès du ministre chargé de l'énergie une commission technique consultative chargée d'émettre un avis sur l'octroi des primes prévues à l'article premier du présent décret, présidée par le directeur général de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et composée des membres suivants

- un représentant du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises,
- un représentant du ministre des finances,
- un représentant du ministre du développement et de la coopération internationale,
- un représentant du ministre de l'environnement et du développement durable,
- un représentant du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire,
- un représentant du ministre du tourisme,
- un représentant du ministre de l'agriculture et des ressources hydrauliques,
- un représentant de l'union tunisienne de l'industrie, du commerce et de l'artisanat,
- un représentant de l'union tunisienne de l'agriculture et de la pêche,
- un représentant de la société tunisienne de l'électricité et du gaz.

Le président de la commission peut inviter toute personne qu'il juge utile à participer avec avis consultatif aux travaux de la commission.

La commission se réunit sur convocation de son président pour émettre un avis sur les questions inscrites à l'ordre du jour communiqué à tous ses membres au moins une semaine avant la tenue de la réunion. L'ordre du jour doit être accompagné de toutes les pièces relatives à tous les points à étudier lors de la réunion de la commission. La commission ne peut délibérer sur les questions inscrites à l'ordre du jour de ses réunions qu'en présence de six de ses membres au moins.

La commission émet ses avis à la majorité des voix des membres présents. En cas d'égalité des voix, celle du président est prépondérante.

Le secrétariat de la commission et la rédaction des procès-verbaux des réunions sont assurés par un cadre de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie désigné par le président de la commission. Les travaux de la commission sont consignés dans des procès-verbaux signés par le directeur général de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et au moins deux membres des membres présents et sera transmis au ministère chargé de l'énergie.

Les membres de la commission sont désignés par arrêté du ministre chargé de l'énergie sur proposition des ministres et organismes concernés.

Art. 2 - Le ministre des finances et le ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République Tunisienne.

Tunis, le 9 février 2009.

Zine El Abidine Ben Ali

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE,
DE L'ÉNERGIE ET DES PETITES
ET MOYENNES ENTREPRISES**

Décret n° 2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime pour la maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leur octroi.

Le Président de la République,

Sur proposition du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises,

Vu le code d'incitation aux investissements promulgué par la loi n° 93-120 du 27 décembre 1993, tel que modifié et complété par les textes subséquents et notamment la loi n° 2004-90 du 31 décembre 2004, portant loi de finances pour l'année 2005 et notamment son article 40,

Vu la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie,

Vu la loi n° 82 du 15 août 2005, portant création du régime pour la maîtrise de l'énergie,

Vu le décret n° 94-537 du 10 mars 1994, fixant les montants et les conditions d'octroi de la prime spécifique inhérente aux investissements dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, tel que modifié et complété par les textes subséquents,

Vu le décret n° 95-916 du 22 mai 1995, fixant les attributions du ministère de l'industrie,

Vu le décret n° 2000-134 du 18 janvier 2000, portant organisation du ministère de l'industrie,

Vu le décret n° 2000-1124 du 22 mai 2000, fixant l'organisation administrative et financière et les modalités de fonctionnement de l'agence nationale des énergies renouvelables, tel que modifié et complété par le décret n° 2004-795 du 22 mars 2004,

Vu le décret n° 2004-2144 du 2 septembre 2004, fixant les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'audit énergétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'audit et les catégories des projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire et préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts auditeurs,

Vu le décret n° 2005-910 du 24 mars 2005, portant désignation de l'autorité de tutelle sur les entreprises et les établissements publics à caractère non administratif,

Vu l'avis du ministre des finances,

Vu l'avis du tribunal administratif,

Décrète :

Article premier. - Les actions ayant pour objectifs l'utilisation rationnelle de l'énergie, le développement des énergies renouvelables et la substitution de l'énergie sont éligibles au bénéfice des primes suivantes :

a- L'audit énergétique, les contrats-programmes et la consultation préalable :

1- une prime de 50% du coût de l'audit énergétique avec un plafond de vingt mille dinars (20.000D),

2- une prime de 50% du coût global du projet de démonstration approuvé par un contrat-programme avec un plafond de cent mille dinars (100.000D),

3- une prime de 20% du coût de l'investissement dans les projets de maîtrise de l'énergie prévus par des contrats-programmes avec un plafond de :

- cent mille dinars (100.000D) pour les établissements dont la moyenne de la consommation globale annuelle d'énergie ne dépasse pas quatre mille tonnes équivalent pétrole (TEP),

- deux cents mille dinars (200.000D) pour les établissements dont la moyenne de la consommation globale annuelle d'énergie varie entre quatre mille et sept mille tonnes équivalent pétrole (TEP),

- deux cent cinquante mille dinars (250.000D) pour les établissements dont la moyenne de la consommation globale annuelle d'énergie dépasse sept mille tonnes équivalent pétrole (TEP).

La moyenne de la consommation globale annuelle d'énergie pour les établissements en activité est calculée sur la base de leur consommation durant la dernière période de leur activité qui varie entre une et trois années à partir de l'entrée de l'établissement en activité.

Quant aux nouveaux projets et aux actions d'extension objet des consultations préalables, c'est la consommation prévisionnelle d'une année qui est prise en considération.

Le déblocage de la prime au profit de l'entreprise bénéficiaire s'effectue conformément aux dispositions du contrat-programme signé à cet effet avec l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie.

b- L'installation des stations de diagnostic des moteurs des véhicules :

Une prime de 20% du coût de l'investissement avec un plafond de six mille dinars (6.000D) débloquée directement au fournisseur après approbation préliminaire par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et installation des équipements concernés auprès du bénéficiaire qui satisfait aux dispositions du cahier des charges portant organisation de la profession de diagnostic des moteurs des véhicules.

c- Le chauffage des eaux par l'énergie solaire dans le secteur résidentiel et dans les entreprises privées :

Une prime de 20% du coût des capteurs solaires dans la limite de cent dinars (100D) pour chaque mètre carré, débloquée directement au fournisseur après installation des équipements concernés.

d- La substitution de l'énergie par le gaz naturel dans le secteur industriel :

Une prime de 20% du coût de raccordement interne et de la conversion des équipements plafonnée à quatre cent mille dinars (400.000D).

Le déblocage de la prime s'effectue au profit de l'entreprise bénéficiaire après réalisation de l'investissement approuvé.

e- La substitution de l'énergie par le gaz naturel dans le secteur résidentiel :

Une prime de cent quarante dinars (140D) pour chaque logement individuel et une prime de vingt dinars (20D) pour chaque appartement dans les logements collectifs.

Le déblocage de la prime s'effectue directement au profit de la société nationale de l'électricité et du gaz.

Art. 2. - Il est créé auprès du ministre chargé de l'énergie une commission technique consultative chargée d'émettre un avis sur l'octroi des primes prévues à l'article premier du présent décret, présidée par le directeur général de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et composée des membres suivants :

- un représentant du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises,
- un représentant du ministre des finances,
- un représentant du ministre du développement et de la coopération internationale,
- un représentant du ministre de l'environnement et du développement durable,
- un représentant de la société tunisienne de l'électricité et du gaz.

Le président de la commission peut inviter toute autre personne dont la contribution est jugée utile avec avis consultatif.

La commission se réunit sur convocation de son président pour émettre un avis sur les questions inscrites à un ordre du jour communiqué à tous ses membres au moins une semaine avant la tenue de la réunion. L'ordre du jour doit être accompagné de toutes les pièces relatives à tous les points à étudier lors de la réunion de la commission. La commission ne peut délibérer sur les points inscrits à l'ordre du jour de ses réunions qu'en présence d'au moins quatre de ses membres.

La commission émet ses avis à la majorité des voix des membres présents. En cas d'égalité des voix, la voix du président est prépondérante.

Un cadre de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est désigné par le président de la commission pour assurer le secrétariat de la commission et élaborer les procès-verbaux de ses réunions. Les travaux de la commission sont consignés dans des procès-verbaux signés par le directeur général de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et les membres présents et transmis au ministre chargé de l'énergie.

Les membres de la commission sont désignés par arrêté du ministre chargé de l'énergie sur la base des propositions des ministres concernés.

Art. 3. - Les primes prévues à l'article premier du présent décret sont accordées par décision du ministre chargé de l'énergie conformément aux modalités prévues au présent décret sur avis de la commission technique consultative prévue à l'article 2 du présent décret, et ce, dans le cadre d'un contrat-programme conclu entre l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et les bénéficiaires qui fixe tous les aspects techniques, économiques, financiers de l'investissement et le montant de la prime accordée ainsi que les conditions et les modalités de son paiement.

Art. 4. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée du contrôle et du suivi des investissements approuvés. Elle doit veiller à la bonne utilisation des primes accordées en vertu de la loi susvisée n° 82 du 15 août 2005.

Art. 5. - La prime est retirée en cas de commencement de la réalisation des actions prévues à l'article premier du présent décret dans l'année qui suit l'approbation de son octroi ou en cas de non-exécution ou de détournement de la prime de son objet initial. Les bénéficiaires seront contraints de restituer la prime, majorée des pénalités de retards conformément à la législation fiscale en vigueur et calculée à compter de la date de l'obtention de la prime.

La restitution de la prime se fera en vertu d'une décision du ministre des finances sur avis ou proposition des services compétents, après audition des bénéficiaires par ces services.

Art. 6. - Sont abrogées toutes les dispositions du décret n° 94-537 du 10 mars 1994, fixant les montants et les conditions d'octroi de la prime spécifique inhérente aux investissements dans le domaine de maîtrise de l'énergie ainsi que tous les textes qui l'ont modifié et complété.

Art. 7. - Le ministre des finances et le ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République Tunisienne.

Tunis, le 22 août 2005.

Zine El Abidine Ben Ali

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
ET DE L'ÉNERGIE**

Décret n° 2004-2144 du 2 septembre 2004, fixant les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'audit énergétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'audit et les catégories de projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs.

Le Président de la République,

Sur proposition du ministre de l'industrie et de l'énergie,

Vu la loi n° 2004-72 du 2 août 2004, relative à la maîtrise de l'énergie et notamment ses articles 4 et 5,

Vu le décret n° 87-50 du 13 janvier 1987, portant institution des audits énergétiques obligatoires et périodiques, tel que modifié par le décret n° 2001-329 du 23 janvier 2001,

Vu le décret n° 87-51 du 13 janvier 1987, portant institution de l'obligation de la consultation préalable de l'agence de maîtrise de l'énergie pour les grands consommateurs d'énergie,

Vu le décret n° 94-537 du 10 mars 1994, fixant les montants et les conditions d'octroi de la prime spécifique inhérente aux investissements dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, tel que modifié par le décret n° 2002-174 du 28 janvier 2002 et le décret n° 2004-1239 du 31 mai 2004,

Vu le décret n° 95-916 du 22 mai 1995, fixant les attributions du ministre de l'industrie,

Vu le décret n° 2000-1124 du 22 mai 2000, fixant l'organisation administrative et financière et les modalités de fonctionnement de l'agence nationale des énergies renouvelables, tel que modifié par le décret n° 2004-795 du 22 mars 2004,

Vu l'avis du tribunal administratif,

Décrète :

Article premier. - Le présent décret fixe les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'audit énergétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'audit et les catégories de projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs.

TITRE PREMIER

De l'audit énergétique obligatoire et périodique

Art. 2. - Sont assujettis à l'audit énergétique obligatoire et périodique, les établissements suivants désignés ci-après par les termes « établissements assujettis » :

- les établissements appartenant au secteur industriel dont la consommation totale d'énergie est supérieure ou égale à mille tonnes équivalent pétrole,

- les établissements appartenant aux secteurs du transport, du tertiaire et du résidentiel dont la consommation totale d'énergie est supérieure ou égale à cinq cents tonnes équivalent pétrole.

Au sens du présent décret, on entend par consommation totale d'énergie :

- la consommation annuelle de tous combustibles solides, liquides et gazeux calculée sur la base de leur pouvoir calorifique inférieur,

- la consommation annuelle d'électricité calculée sur la base d'un coefficient d'équivalence énergétique.

Les valeurs des pouvoirs calorifiques et des coefficients d'équivalence énergétique à prendre en compte pour le calcul de la consommation totale d'énergie sont fixées par arrêté du ministre chargé de l'énergie.

La consommation totale d'énergie est exprimée en tonne équivalent pétrole. Seuls les achats effectués à l'extérieur de l'établissement seront pris en compte pour la détermination de la consommation totale d'énergie.

Art. 3. - Tout établissement non assujéti à l'audit qui a réalisé des travaux d'extension entraînant une augmentation de sa consommation totale d'énergie de manière à dépasser les seuils fixés à l'article 2 du présent décret est tenu d'en informer l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie dans un délai ne dépassant pas les trois mois à partir de la date d'achèvement des travaux d'extension et d'initier immédiatement la réalisation d'un audit énergétique sous peine d'être considéré comme contrevenant et d'encaisser les sanctions prévues à l'article 26 de la loi susvisée.

Art. 4. - Tout établissement assujéti est tenu de charger tous les cinq ans un expert-auditeur dûment habilité pour réaliser l'audit énergétique prévu à l'article 2 du présent décret sous peine d'être considéré comme contrevenant et d'être soumis à l'application des dispositions de l'article 26 de la loi susvisée.

Art. 5. - L'audit énergétique aboutira à l'établissement d'un rapport qui doit comporter notamment :

- une description de l'établissement, de ses principales caractéristiques en matière d'utilisation de l'énergie, de sa consommation prévisionnelle d'énergie et une note justifiant le choix des équipements et matériels visant l'économie d'énergie,

- une évaluation du niveau de performance énergétique des installations de l'établissement par comparaison principalement au niveau atteint dans des établissements similaires particulièrement performants,

- une évaluation du système d'organisation mis en place pour contrôler, suivre et gérer l'utilisation de l'énergie,

- des recommandations en vue d'améliorer le niveau de performance énergétique des installations de l'établissement et une évaluation économique des actions proposées.

- une évaluation d'un programme d'action visant à améliorer l'utilisation de l'énergie et à développer le recours aux énergies de substitution.

Les établissements ayant fait l'objet d'une extension ou de modifications importantes de leurs structures depuis le dernier audit énergétique effectué doivent réaliser un nouvel audit qui sera considéré comme le premier audit à la suite duquel un rapport sera établi et comprendra obligatoirement les informations prévues au premier paragraphe du présent article.

Pour les établissements ayant déjà effectué un audit énergétique, le rapport prévu au premier paragraphe du présent article doit également comprendre :

- une description de l'évolution de l'utilisation de l'énergie dans l'établissement depuis le dernier audit,
- un compte rendu des principales actions entreprises depuis le dernier audit et leurs résultats,
- une actualisation des évaluations précédemment effectuées dans le domaine de la consommation d'énergie et le système d'organisation adopté,
- les recommandations éventuelles pour le recentrage du programme d'action et son développement.

Art. 6. - Le rapport d'audit doit être signé par l'expert-auditeur. L'établissement assujéti est chargé de le remettre à l'agence afin de l'étudier et de se prononcer à son sujet.

Art. 7. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie est chargée de veiller à la qualité de l'audit énergétique. A ce titre, elle peut, après étude du rapport, demander au chef de l'établissement d'inviter l'expert-auditeur à procéder à des investigations ou à des études complémentaires. L'expert-auditeur doit, le cas échéant, effectuer, dans le rapport, toutes modifications demandées par l'agence.

L'agence rejette le rapport si elle s'aperçoit qu'il contient des insuffisances graves. Dans ce cas, l'établissement assujéti doit entamer la réalisation d'un deuxième audit par un autre expert-auditeur dans un délai ne dépassant pas les trois mois à partir de la date de son information du rejet du rapport sous peine d'être considéré comme contrevenant et d'encaisser les sanctions prévues à l'article 26 de la loi susvisée.

Art. 8. - L'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie se charge d'informer le chef de l'établissement par lettre recommandée avec accusé de réception de sa décision d'acceptation, de rejet ou de la nécessité de procéder à des études complémentaires, et ce, dans un délai ne dépassant pas les trois mois à partir de la date de la réception du rapport.

Art. 9. - Le rapport servira de base pour l'octroi des avantages prévus par la législation et la réglementation en vigueur. Pour bénéficier de ces avantages, l'établissement concerné doit conclure avec l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie un contrat-programme relatif à l'audit énergétique et aux actions qui en découlent visant la rationalisation de la consommation de l'énergie et le recours aux énergies renouvelables.

Art. 10. - Les établissements assujétis devront désigner un responsable qui sera l'interlocuteur de l'expert-auditeur durant le déroulement de l'audit et qui sera chargé ultérieurement de suivre et de contrôler l'exécution du

programme proposé. Le chef de l'établissement est tenu de fournir à l'expert-auditeur toutes les informations nécessaires à la bonne conduite de l'audit énergétique.

Art. 11. - L'expert-auditeur est tenu d'informer l'agence par écrit du planning et des étapes de l'audit au sein de l'établissement concerné. L'agence se réserve le droit de suivre toutes les étapes de l'audit sans être tenue d'informer au préalable l'expert-auditeur de son intervention.

Art. 12. - Tout établissement non assujéti à l'audit énergétique obligatoire et périodique qui désire se soumettre à cet audit est tenu d'effectuer un audit énergétique conformément aux articles 4 et 5 du présent décret et de présenter le rapport de l'audit à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie.

TITRE DEUXIEME

De la consultation obligatoire préalable

Art. 13. - Les nouveaux projets consommateurs d'énergie et les projets d'extension des établissements consommateurs d'énergie dans les secteurs de l'industrie, du transport, du tertiaire et du résidentiel qui répondent à l'un des critères suivants au moins sont assujétis à l'obligation de la consultation préalable de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie avant le début de leur réalisation, et ce, en vue de s'assurer de leur efficacité énergétique :

- la puissance installée totale des équipements industriels qui s'approvisionnent en combustibles est égale ou supérieure à trois mille thermies par heure,
- la puissance installée totale des équipements industriels qui s'approvisionnent en électricité est égale ou supérieure à un mégawatt,
- la consommation totale prévisionnelle d'énergie pour les équipements industriels qui s'approvisionnent en combustibles et en énergie électrique en même temps est égale ou supérieure à mille tonnes équivalent pétrole,
- la consommation totale prévisionnelle d'énergie pour les équipements appartenant aux secteurs du transport, du tertiaire et du résidentiel est égale ou supérieure à cinq cents tonnes équivalent pétrole.

Au sens du présent décret, on entend par consommation prévisionnelle d'énergie :

- la consommation annuelle de tous combustibles solides, liquides et gazeux calculée sur la base de leurs pouvoirs calorifiques inférieurs,
- la consommation annuelle d'électricité calculée sur la base d'un coefficient d'équivalence énergétique.

La consommation totale d'énergie est exprimée en tonne équivalent pétrole. Seuls les achats effectués à l'extérieur de l'établissement seront pris en compte pour la détermination de la consommation totale d'énergie.

Art. 14. - La consultation obligatoire préalable consiste en la réalisation par l'établissement concerné d'un audit énergétique avant l'exécution des projets consommateurs d'énergie prévus à l'article 13 du présent décret et la soumission de ses résultats à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie qui donnera son avis à son sujet dans les délais prévus à l'article 5 de la loi susvisée.

Pour les établissements appartenant aux secteurs du résidentiel et du tertiaire, l'audit est effectué sur plan

conformément aux dispositions d'un cahier des charges technique élaboré par l'agence et approuvé par arrêté du ministre chargé de l'énergie.

Art. 15. - L'audit énergétique objet de la consultation obligatoire préalable donne lieu à la soumission à l'agence d'un rapport d'audit qui doit comporter notamment :

- une description du projet, de ses principales caractéristiques en matière d'utilisation de l'énergie, de sa consommation prévisionnelle d'énergie et une note justifiant le choix des équipements et matériels visant l'économie d'énergie,

- une évaluation du niveau des performances thermiques du bâtiment à atteindre tout en s'assurant de sa conformité aux exigences d'efficacité énergétique en cours dans ce domaine,

- une évaluation du niveau des performances énergétiques des installations techniques à acquérir par comparaison principalement au niveau atteint dans des établissements similaires particulièrement performants,

- la proposition d'un plan d'action portant sur les modifications éventuelles à apporter au projet en vue d'améliorer son efficacité énergétique et de recourir aux énergies renouvelables.

Art. 16. - En cas d'approbation par l'agence du rapport d'audit, la consultation obligatoire préalable et les actions qui en découlent visant la rationalisation de la consommation de l'énergie et le recours aux énergies renouvelables doivent faire l'objet d'un contrat-programme à conclure entre l'établissement concerné et l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie et qui servira de base à l'octroi des avantages prévus par la législation et la réglementation en vigueur.

Art. 17. - Tout établissement non assujéti à la consultation obligatoire préalable qui désire effectuer cette consultation est tenu de déposer à cet effet un dossier à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie, et ce, conformément aux dispositions de l'article 14 du présent décret.

TITRE TROISIEME

Des conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs en énergie

Art. 18. - Tout établissement assujéti est tenu d'effectuer l'audit énergétique obligatoire et périodique par l'intermédiaire d'un expert-auditeur inscrit sur la liste des experts-auditeurs habilités, dressée par secteur, par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie conformément à l'article 20 du présent décret.

L'établissement assujéti conclut avec l'expert-auditeur une convention d'audit énergétique conformément à un modèle élaboré par l'agence. La convention sera soumise, avant sa signature par les deux parties, à l'agence pour approbation.

La convention d'audit énergétique sera accompagnée obligatoirement des documents suivants :

- une attestation d'inscription à l'ordre des ingénieurs,
- une attestation d'appartenance à un bureau d'études ou une déclaration d'ouverture pour les ingénieurs-conseil,

- une attestation d'affiliation à l'une des caisses de sécurité sociale.

Art. 19. - Ne peuvent exercer la profession d'expert-auditeur en énergie dans les secteurs de l'industrie, du transport, du tertiaire et du résidentiel que les ingénieurs appartenant à des bureaux d'études ou les ingénieurs-conseil. Ils doivent être de nationalité tunisienne et avoir une expérience de cinq ans au moins dans leur spécialité.

Art. 20. - Les personnes prévues à l'article 19 du présent décret doivent déposer une demande auprès des services de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie en vue de l'inscription de leurs noms sur la liste des experts-auditeurs en énergie. La demande doit être accompagnée des documents suivants :

- le curriculum vitae de l'expert-auditeur,
- le diplôme de fin d'études ou un certificat d'équivalence pour les diplômés des établissements universitaires étrangers,

- une attestation d'inscription à l'ordre des ingénieurs,

- une attestation d'appartenance à un bureau d'études ou une déclaration d'ouverture pour les ingénieurs-conseil,

- une attestation d'affiliation à l'une des caisses de sécurité sociale,

- une fiche de renseignements conforme à un modèle établi à cet effet et mis à leur disposition par l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie.

L'agence inscrit les noms des demandeurs qui remplissent les conditions prévues à l'article 19 du présent décret sur la liste des experts-auditeurs habilités à réaliser les audits énergétiques et les en informe, dans un délai qui ne doit pas dépasser quinze jours, par lettre recommandée avec accusé de réception.

L'agence remettra aux établissements la liste des experts-auditeurs habilités à exercer l'activité d'audit énergétique chaque fois qu'il lui est demandé.

Art. 21. - Nonobstant les sanctions prévues par la législation en vigueur, l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie peut, après l'avoir entendu, radier l'expert-auditeur de la liste prévue à l'article 18 du présent décret, et ce :

- si elle constate à travers les rapports présentés des manquements graves dans les prestations de l'expert-auditeur,
- s'il lui est prouvé que l'expert-auditeur a enfreint la déontologie de la profession,

- si l'expert-auditeur divulgue des informations dont il a pu avoir connaissance à l'occasion de l'accomplissement des fonctions qui lui sont dévolues.

En cas de radiation de l'expert-auditeur, l'agence notifie immédiatement la décision de radiation à l'expert-auditeur et à l'établissement assujéti concerné par lettre recommandée avec accusé de réception.

L'expert-auditeur radié ne pourra exercer l'activité d'expert-auditeur en énergie qu'après trois ans à compter de la date de sa radiation. A l'expiration de cette période, l'expert-auditeur concerné pourra redemander son inscription sur la liste des experts-auditeurs en énergie conformément à l'article 20 du présent décret.

Art. 22. - La mission de l'expert-auditeur comporte trois étapes :

- A - l'audit énergétique préliminaire : cette étape vise la collecte des données relatives à la consommation d'énergie dans l'établissement, et ce, par une visite préliminaire

destinée à cerner le domaine d'intervention et à dresser une liste des lieux et des instruments de mesure nécessaires pour effectuer les opérations de l'audit approfondi.

B - l'audit énergétique approfondi : cette étape consiste dans la réalisation des opérations de mesure de la consommation de l'énergie et la collecte des données relatives aux équipements consommateurs d'énergie et l'évaluation des modalités de contrôle de l'utilisation de l'énergie et de la bonne utilisation des équipements.

C - l'élaboration du rapport d'audit énergétique : l'expert-auditeur établit un rapport sur la consommation d'énergie dans l'établissement qui doit obligatoirement comporter les informations prévues à l'article 5 du présent décret et être conforme à un modèle établi par l'agence.

TITRE QUATRIEME

Dispositions diverses

Art. 23. - Les experts-auditeurs inscrits sur la liste des experts-auditeurs en énergie de l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie avant l'entrée du présent décret en vigueur sont exemptés de l'accomplissement des formalités prévues à l'article 20 du présent décret.

Art. 24. - Sont abrogés, tous les dispositions et textes antérieurs contraires au présent décret et notamment les décrets susvisés n° 87-50 et n° 87-51 du 13 janvier 1987.

Art. 25. - Le ministre de l'Industrie et de l'énergie est chargé de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République Tunisienne.

Tunis, le 2 septembre 2004.

Zine El Abidine Ben Ali

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES

POUVOIRS CALORIFIQUES

Arrêté du ministre de l'énergie et des mines du 18 mars 1987 relatif à la fixation des coefficients d'équivalence et des pouvoirs calorifiques.

Le ministre de l'énergie et des mines;

Vu la loi n° 85-02 du 22 novembre 1985 portant ratification du décret-loi n° 85-8 du 14 septembre 1985 relatif à l'économie d'énergie;

Vu le décret n° 87-51 du 13 janvier 1987 portant institution de la consultation préalable de l'Agence de maîtrise de l'énergie pour les projets grands consommateurs d'énergie;

Vu le décret n° 87-50 du 13 janvier 1987 portant institution des audits énergétiques obligatoires et périodiques;

Vu l'avis de la commission nationale de base de données énergétiques.

Arrête :

Article premier. — Le coefficient d'équivalence énergétique de l'électricité ainsi que les pouvoirs calorifiques inférieurs des combustibles solides, liquides et gazeux et leurs coefficients d'équivalence énergétique sont fixés comme indiqué dans les tableaux ci-joints.

Art. 2. — Jusqu'à leur modification les présentes valeurs des coefficients et des pouvoirs calorifiques doivent être utilisées dans les calculs de conversions énergétiques.

Tableaux fixant les coefficients d'équivalence énergétique
1. — Produits pétroliers

	Densité volumétrique	Pouvoir calorifique inférieur en milliers de calories par kilogramme	Équivalent en tonnes équivalent pétrole par tonne
— Pétrole brut			
• Qualité mélange zarrakine.....	0.815	10300	1.030
• Qualité aharti.....	0.879	10080	1.008
— Fuel lourd n° 2.....	0.965	9790	0.979
— Fuel oil domestique (98/2).....	0.846	10170	1.017
— Fuel oil léger (55/45).....	0.898	10010	1.001
— Gaz-oil.....	0.844	10270	1.027
— Pétrole lampant.....	0.798	10320	1.032
— Essence normale.....	0.722	10540	1.054
— Essence super.....	0.755	10450	1.045
— Kérosène aviation.....	0.794	10350	1.035
— G.P.L.....	0.56	11060	1.106
— Virgin naphtha.....	0.72	10540	1.054
— Essence légère.....	0.66	10670	1.067
— White spirit.....	0.775	10410	1.041
— Bitumes.....	1.02	8000	0.800
— Lubrifiant.....	0.9	10000	1.000

2. Gaz

	Densité par rapport à l'air	Pouvoir calorifique inférieur en million de calories par normal mètres cube	Équivalent en tonnes équivalent pétrole par milliers de normales mètres cube
— El Borma avec récupération de G.P.L.....	0.69	9.9	0.990
— El Borma sans récupération de G.P.L.....	0.75	10.8	1.080
— Gaz naturel algérien.....	0.656	9.0	0.900
— Gaz manufacturé (gaz de ville).....	0.58	4.27	0.427

3. — Electricité

	Equivalent en tonne equivalent pétrole par mégawattheure
— Electricité	0,283

4. — Charbons et combustibles traditionnels

	Pouvoir calorifique inférieur en milliers de calories par kilogramme	Equivalent en tonnes equivalent pétrole par tonnes
— Charbons	7000	0,700
— Combustibles traditionnels (bois grignons etc...)	3500	0,350

Tunis, le 18 mars 1987
Le ministre de l'énergie et des mines
SALAH BEN MBARLA

VU
Le Premier ministre
RACHID SFAR

