

# *INTRODUCTION: POSITION DU PROBLEME*

## INTRODUCTION

### 1 - LES EMISSIONS DUES AUX TRANSPORTS

### 2 - PRESENT ET FUTUR DES REGLEMENTATIONS

2.1 - Réglementation U.S.A.

2.2 - Réglementation européenne

2.3 - Réglementation japonaise

### 3 - PARAMETRES INFLUANTS SUR LA FORMATION DES POLLUANTS

3.1- Oxydes d'azotes

3.2 - Hydrocarbures imbrûlés

3.3 - Monoxydes de carbone

3.4 - Particules

### 4 - TECHNOLOGIES DE DEPOLLUTION

4.1 - Effets des technologies futures

4.2 - Le turbocompresseur à géométrie variable

### 5 - CONTRAINTES DE LA COMMANDE EN TEMPS REEL

### 6 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

## **INTRODUCTION :**

La terre elle-même (océans, forêts, volcans, ...) génère des polluants, mais selon un équilibre naturel vieux de millions d'années, équilibre que des nouveaux polluants produits par l'homme viennent perturber. Ces nouveaux polluants peuvent être classés en trois grandes sources [107] : les installations de combustion tels que chaudières industrielles, foyers domestiques, centrales thermiques; les procédés industriels tels que cimenteries, verreries, raffineries, usines chimiques et sidérurgiques; la circulation routière.

La plupart des véhicules routiers à moteurs émettent des substances qui représentent une nocivité potentielle pour la santé de l'homme et / ou pour la qualité de son environnement (tableau 0.1) [58]. Les émissions dues aux seuls véhicules industriels sont minoritaires, mais la forte croissance des transports routiers de marchandises ainsi que l'augmentation de la puissance des moteurs et l'expansion de l'urbanisme, conduisent à engager un effort de recherche important en vue de les réduire.

<b>POLLUANTS</b>	<b>EFFETS</b>
Dioxyde de carbone ou gaz carbonique ( CO <sub>2</sub> )	Non toxique en tant que tel, mais il prend la place de l'oxygène. Responsable de l'effet de serre.
Monoxyde de carbone ( CO )	Ralentit l'oxygénation des tissus par le sang et aggrave les insuffisances cardiaques. A doses élevées (embouteillages), il peut entraîner des troubles sensoriels. Mortel dans les 30 minutes à 0.3 % de volume dans l'air
Oxydes d'azote ( NO <sub>x</sub> )	Entraînent des troubles respiratoires, maux de tête. Participent à la formation du smog, de l'ozone et des pluies acides.
Hydrocarbures imbrûlés ( HC )	Contribuent à la formation d'ozone. Certains seraient cancérigènes (HAP et NHAP tels que le benzopyrène à très hautes doses sur certains animaux).
Particules	Suspectées d'être cancérigènes dans les mêmes conditions que les HAP et les NHAP.
Oxydes de soufre ( SO <sub>2</sub> en particulier )	Troubles respiratoires. Odeurs. Participent à la formation du smog et des pluies acides
Plomb	Attaque le système nerveux. Peut perturber le développement intellectuel des jeunes enfants.

*Tableau 0.1 : Effets nocifs des polluants*

## **1 - LES EMISSIONS DUES AUX TRANSPORTS :**

L'inventaire des émissions de polluants atmosphériques ont permis de connaître la part actuelle du secteur du transport et des véhicules industriels [95, 56].

Les transports en émettent environ 5 millions de tonnes d'oxydes de carbone chaque année, soit 70% des rejets totaux en France, celle des véhicules industriels ne représente que 1,5%. Pour les oxydes d'azotes, les transports en produisent environ 1 million de tonnes

chaque année, soit 45% des rejets totaux en France, les activités agricoles viennent ensuite avec plus de 30% de ces rejets, la part des véhicules industriels est de 16,5%. Les transports routiers représentent 45% du total de l'émission annuelle des hydrocarbures qui est de l'ordre de 2 millions de tonnes, la part des véhicules industriels est de 6%. Les rejets annuels des particules en suspension dépassent les 300 000 tonnes dont la part des transports routiers est faible (10%) mais due essentiellement aux véhicules industriels (6%). Enfin, le soufre contenu dans le gazole est à l'origine de rejets d'environ 100 000 tonnes de dioxyde de soufre par les moteurs Diesel, soit environ 5% des émissions totales.

A l'horizon 2010 les perspectives de croissance des déplacements des personnes et des marchandises en France comme dans le reste de l'Europe et le recours croissant aux transports routiers se traduisent par des atteintes profondes à l'environnement . Les émissions de CO<sub>2</sub> dues au transport en France augmenteraient de 50% d'ici 2010, représentant près de la moitié des émissions globales de ce gaz [93]. Les oxydes d'azotes émis par les transports devraient décroître d'ici l'an 2000 (par la généralisation des pots catalytiques) mais augmenteraient fortement la décennie suivante [93] ( + 40%) en raison de la croissance du trafic de marchandises.

L'évolution et la sévérisation des normes de pollution constitue l'enjeu de base en vue de réduire ces émissions et d'améliorer la qualité de l'air.

## **2 - PRESENT ET FUTUR DES REGLEMENTATIONS :**

Des limites sont aujourd'hui imposées par voie réglementaire dans une trentaine de pays à travers le monde, suivant des procédures standardisées de roulage des véhicules, associées à des méthodes d'analyses également réglementées. Les procédures correspondent à un cycle d'évolution de la vitesse en fonction du temps, réalisé sur banc à rouleaux. Nous décrivons ici les principales réglementations appliquées aux U.S.A., en Europe et au Japon pour les poids lourds.

### **2.1 - Réglementation U.S.A. :**

Le cycle "transient", utilisé aux Etats-Unis, tient compte de la variété des trafics des poids lourds et des bus dans les villes américaines, incluant la circulation dans et autour des villes, sur des autoroutes et des route. Il se compose de quatre phases, une première NYNF (New York Freeway) typique d'un trafic urbain peu chargé avec des arrêts et des démarrages fréquents, une deuxième LANF (Los Angeles Non Freeway) typique d'un trafic urbain chargé avec peu d'arrêts, une troisième LAFY (Los Angeles FreewaY) simulant le trafic autoroutier chargé de Los Angeles, la quatrième répétant la première NYNF [53]. Il comporte un démarrage à froid après un arrêt d'une nuit, puis des phases de ralenti, d'accélération, de

décélération et une grande variété de régimes et charges. La vitesse moyenne équivalente est d'environ 30 km/h et la distance parcourue équivalente à 10,3 km sur une durée opératoire de 20 minutes. L'évolution dans le temps des vitesses et couple apparaît en fraction des valeurs nominales sur la figure **0.1** [8].

Dates	NOx	HC	CO	Particules
1988	14,35	1,74	20,8	0,8
1990	8	1,74	20,8	0,8
1991	6,7	1,74	20,8	0,34
1994	6,7	1,74	20,8	0,13
1996	5,36	-	-	0,13

*Tableau 0.2 : Valeurs réglementaires américaines*

Le tableau **0.2** résume l'évolution de la législation fédérale américaine, pour les poids lourds, adoptée par 49 états [56, 21] selon le cycle précédent. Les valeurs limites sont exprimées en g/Kw.h .

## **2.2 - Réglementation européenne :**

Le cycle 13 modes européen, adapté aux moteurs Diesel de poids lourds, a été introduit par le règlement CEE n° 49 et adopté ensuite par le CEE. Il se compose de 13 modes de fonctionnement stabilisées dont les conditions expérimentales et les facteurs de pondération sont donnés dans le tableau **0.3** [8]. Il présente l'avantage d'être plus précis et moins coûteux que le cycle transitoire américain, et plus facile à exécuter.

Les valeurs réglementaires sont actuellement en discussion à Bruxelles en vue d'une deuxième, puis d'une troisième étape. La sévèrisation devrait être de plus en plus important et les limites envisagées sont fournies en g/Kw.h, pour le cycle précédent, dans le tableau **0.4** [56].

## **2.3 - Réglementation japonaise :**

Un nouveau cycle 13 modes réalisé en conditions stabilisées est actuellement appliqué au Japon (l'ancien était de 6 modes). La figure **0.2** donne les caractéristiques de ce cycle dont les émissions sont calculées en g/Kw.h par pondération des concentrations correspondantes à chaque mode [123].

Le Japon n'avait pas limité, jusqu'à présent, les émissions massiques de particules. Les limites exprimées en ppm sont données jusqu'à l'année 1989 (tableau 0.5) en fonction du cycle 6 modes ancien [56]. De nouvelles limites sont à l'étude pour 1994 avec le cycle 13 modes japonais [8].

Mode	Régime	Taux de charge [ % ]	Facteurs de pondération
1	Ralenti	-	0,25/3
2	Régime de couple maximal	10	0,08
3		25	0,08
4		50	0,08
5		75	0,08
6		100	0,25
7		Ralenti	-
8	Régime de puissance maximale	100	0,10
9		75	0,02
10		50	0,02
11		25	0,02
12		10	0,02
13	Ralenti	-	0,25/3

Tableau 0.3 : Cycle 13 modes européen

Polluants	1982	1988	1990	1992	1993	1996	1999
CO	14	11,2	11,2	4,5	4,5	4	2
HC	3,5	2,4	2,4	1,1	1,1	1,1	0,5
NOx	18	14,4	14,4	8	8	7	5
Particules	-	-	-	0,36	0,3	0,15	0,1

Tableau 0.4 : Valeurs réglementaires européennes

### **3 - PARAMETRES INFLUANTS SUR LA FORMATION DES POLLUANTS :**

La composition des gaz présents à l'échappement d'un moteur dépend d'un nombre important de facteurs. Parmi ceux-ci, on peut regrouper les facteurs de "structure", comme la

Date	NOx	HC	CO
------	-----	----	----

1974	1000	670	980
1977	850	670	980
1979	700	670	980
1983	610	670	980
1989	520	670	980

*Tableau 0.5 : Valeurs réglementaires japonaises*

forme des chambres de combustion, des conduits d'admission et d'échappement, les caractéristiques des injecteurs et du système d'allumage, les angles d'ouverture et fermeture des soupapes, leur nombre, .... La variable la plus importante gouvernant les émissions des polluants est le rapport Air/Carburant ou son inverse la richesse du mélange carburé qui agit directement sur l'ensemble des émissions polluantes (figure **0.3**). L'interaction entre ces diverses émissions montre des tendances contradictoires (bosse des NOx et remontée des HC) qui rendent impossible leur réduction simultanée, et difficile le compromis d'optimisation.

### **3.1- Oxydes d'azotes :**

La combustion comprend trois phases [101] : une phase initiale incontrôlée, avec inflammation spontanée et élévation de la température dans la zone du jet, une seconde phase caractérisée par la propagation du front de flamme, toujours alimenté par l'injecteur, avec formation notable de NO dans les zones moins riches et plus chaudes et enfin une troisième phase mettant fin à la combustion avec stabilisation du NO aux valeurs atteintes auparavant.

Dans la phase de formation du NO, l'influence de la température semble ainsi prépondérante. La réduction des NO passe par la diminution de la température maximale de combustion; plusieurs moyens sont possibles [56]:

- réduction de la température initiale par refroidissement de l'air de l'admission : les limites envisagées pour l'avenir impliqueront obligatoirement des moteurs suralimentés refroidis avec efficacité thermométrique élevée conduisant à une température d'admission ne dépassant pas 50°C ;

- réduction de la vitesse de combustion en limitant la vitesse du mélange, ce qui peut être obtenu par diminution des mouvements d'air (swirl) ou de la vitesse d'injection;

- décalage de la combustion en retard dans le cycle.

Ces deux derniers points dégradent la consommation spécifique et la recherche du meilleurs compromis nécessite un variateur d'avance pilotable en fonction du régime et de la charge.

### **3.2 - Hydrocarbures imbrûlés :**

Les hydrocarbures qui se forment essentiellement dans la troisième phase de la combustion ont trois causes essentielles [101]: les zones dans laquelle la composition limite ou les températures d'auto-inflammation n'ont pas été atteintes, le délai d'inflammation trop long qui à la base de la formation d'hydrocarbures non saturés, l'effet de paroi, particulièrement aux échanges partielles avec zones de trempe, où le combustible est incomplètement brûlé.

Les solutions pour réduire les émissions d'hydrocarbures imbrûlés sont donc de différentes types [56, 101]:

- augmentation de la température de combustion par réchauffage de l'air d'admission, augmentation du rapport volumétrique et augmentation de l'avance;
- adoption d'une loi d'injection avec une fin d'injection très rapide;
- maîtrise de la pénétration des jets et suppression des étalements des gouttelettes liquides sur les parois, ce qui peut être facilité par des chambres plus ouvertes;
- post-traitement des gaz d'échappement au moyen d'un pot catalytique.

### **3.3 - Monoxydes de carbone :**

La formation de CO est liée à une insuffisance d'oxygène, généralement à forte charge, durant la combustion [56]. Cependant la quantité de CO produite peut être réduite en augmentant le débit d'air par une suralimentation plus poussée et en améliorant le mélange de l'air et du combustible [8]. Le monoxyde de carbone peut également être oxydé dans l'échappement à l'aide d'un pot catalytique [90].

### **3.4 - Particules :**

Par définition, on appelle "particules" les corps qui se déposent sur des filtres en verre téflonnés à partir des gaz d'échappement dilués prélevés à une température inférieure à 52°C [8]. Elles sont composées des agglomérats de sphérules de carbone, d'hydrocarbures lourds provenant de l'huile ou du carburant, des composés soufrés ajoutés au carburant et des particules métalliques issues de l'usure du moteur, des additifs du gazole ou du carburant (figure 0.4). Le carbone se forme dans la zone riche en fuel de la phase de combustion par

deux sortes des réactions [45]: le cracking qui s'opère à haute température et la polymérisation et l'addition moléculaire qui se développent à basses températures.

Afin de limiter les émissions des particules, les principales tendances actuelles [56,101] consistent à :

- limiter la teneur en soufre à 0,05% dans le carburant, à réduire les déformations de chemise, à adopter un profil de piston adapté avec des jeux réduits, une segmentation efficace pour le raclage de l'huile avec des arrêtes vives et enfin un état de surface de chemise fin comportant des réserves d'huiles limitées,

- augmenter le rapport air/carburant à des valeurs comprises entre 22 minimum à bas régime et 28 à haut régime, en réadaptant le turbocompresseur ou en utilisant le turbocompresseur à géométrie variable;

- améliorer le mélange air/carburant en agissant sur la volute d'admission (swirl), ou en injectant le carburant à haute pression (plus de 1000 bars) avec des injecteurs comportant 6 à 8 trous plus fins;

- avancer la combustion, ou isoler thermiquement la chambre de combustion afin de bénéficier de températures suffisantes pour rebrûler les suies en fin de cycle.

#### **4 - TECHNOLOGIES DE DEPOLLUTION :**

Dans les années à venir l'évolution dans la technologie du moteur Diesel résultera de la combinaison de plusieurs technologies [56, 90] : les variateurs d'avance, la suralimentation par air refroidi, les systèmes d'injection électronique, les systèmes de recirculation des gaz d'échappement et les filtres à particules, les turbocompresseurs à géométrie variable, les systèmes de variation de swirl. L'interaction entre ces divers systèmes de dépollution ne semble pas évidente : les effets de leurs paramètres caractéristiques sont malheureusement parfois antagonistes sur les divers polluants émis.

##### **4.1 - Effets des technologies futures :**

L'augmentation de l'avance à l'injection, favorisant le développement d'un maximum de pression et une température de combustion élevée, tend à accroître les émissions de NO [88]. En allongeant le délai d'allumage, l'avance à l'injection augmente la quantité de carburant prémélangé formant ainsi des mélanges pauvres difficiles à allumer et engendrant plus de CO [88]. Ce réglage est par contre favorable à la réduction des HC [8].

Une vitesse d'injection plus élevée (par l'intermédiaire de la pression d'injection) agit sur les émissions en augmentant la part des NOx mais en diminuant les particules, aussi bien

la fraction solide que les SOF [100]. Une augmentation de la pression d'injection (à plus de 100 MPa) augmente cependant à nouveau la partie SOF des particules émises [105].

L'allongement de la durée d'injection est favorable à faible charge à la réduction des émissions de NO<sub>x</sub>, HC et CO, mais pénalise à forte charge particules et fumées [8]. Un freinage du débit injecté associé à une diminution de l'avance peut sur certains moteurs réduire de 30% les émissions de NO<sub>x</sub>, mais augmente les émissions de HC de 100%, de CO de 70% et de particules de 150% [8].

La turbulence engendrée par l'admission a des effets antagonistes sur le rendement et les émissions de NO<sub>x</sub> et le bruit d'une part et les émissions d'imbrûlés, de fumée et de particules d'autres part [8]. L'accroissement du rapport volumétrique à des valeurs comprises entre 16 et 18 pour les gros moteurs est nécessaire afin de compenser les effets nocifs d'une combustion retardée sur les émissions d'imbrûlés à froid, bien qu'il ne soit pas favorable pour les suies [56].

La suralimentation permet d'éviter la formation du CO due à un excès d'air insuffisant, surtout à forte charge. L'excès d'air apporté par le turbocompresseur permet également de rebrûler les suies. Toutefois, la suralimentation n'apporte pas des solutions à faibles charges [56]. L'apparition des turbocompresseurs à géométrie variable permet de combler ce dernier inconvénient et de réduire les périodes transitoires des moteurs (accélérations et décélérations) sources d'un accroissement important de l'ensemble des émissions [125], elle demande par contre un pilotage efficace pour minimiser les particules durant les variations transitoires [8].

La suralimentation à air refroidi diminue la température maximale de combustion et par la suite les émissions de NO<sub>x</sub>. Cet effet présente des conséquences positives sur les émissions de particules à forte charge, bas régime, mais pas à haut régime [79]. L'abaissement de la température d'admission, en allongeant le délai d'allumage, peut apporter des inconvénients sur la formation des suies et les imbrûlés [8].

L'examen précédent montre l'influence souvent contradictoire des réglages du moteur sur les divers polluants. Seule l'électronique permet de mieux les optimiser en fonction du régime, de la charge et des autres variables internes ou externes (températures, pressions, ...) en calculant à chaque instant et en temps réel les réglages moteur permettant de réaliser le meilleur compromis sur les émissions des polluants imbrûlés, oxydes d'azote, oxydes de carbone et particules. Le calcul en temps réel exige des contraintes sur le modèle de calcul ainsi que sur le microprocesseur à utiliser. Ces contraintes sont fonction du système étudié.

#### **4.2 - Le turbocompresseur à géométrie variable :**

L'influence du turbocompresseur à géométrie variable sur la pollution, la consommation ainsi qu'aux performances générales du moteur constitue l'élément principal dans cette étude. La géométrie variable a été conçue au départ pour mieux adapter le turbocompresseur au moteur. Dans la suralimentation traditionnelle, la géométrie fixée résulte d'un compromis entre un couple élevé à faible régime moteur et une puissance élevée à haut régime :

Si la priorité est donnée au couple élevé à basse vitesse, la turbine sera rendue peu perméable de manière à faire monter le taux de détente au travers de la roue de la turbine et à fournir un maximum d'énergie au compresseur dès le régime de ralenti. En langage motoriste on dit que la turbine doit être plus "serrée". Si au contraire, c'est le paramètre puissance à haut régime qui prime, un carter de turbine plus "ouvert", associé à une roue profilée en conséquence sera choisi. De cette façon, tout le débit de gaz généré par le moteur à ce point de réglage transitera dans les meilleures conditions de rendement sur la turbine, allouant un travail compresseur optimum en termes de pression-débit-rendement et température de sortie.

Après maintes recherches sur le principe à retenir, mais surtout sur les dispositions constructives à adopter pour que cela "marche" bien et longtemps, les constructeurs de turbocompresseurs ont mis au point la technique de la turbine à carter d'ouverture ou perméabilité variable plus communément connue sous le vocable de turbocompresseur à géométrie variable. Le graphique couple-vitesse (figure **0.5**) illustre la comparaison des performances en fonction de ce critère de choix de turbine.

Cette solution consiste en un distributeur de gaz à ailettes multiples placées à la circonférence d'un anneau mobile en rotation entre deux positions extrêmes permettant ainsi de pouvoir faire varier à volonté la section de passage entre les bords de fuite de deux ailettes consécutives et les parois latérales les contenant (figure **0.6**). Ce dispositif doit être muni d'un automate afin de piloter le positionnement des aubages directeurs de la turbine en fonction d'un critère de choix. Ce critère peut, théoriquement, porter sur plusieurs variables telles que le rendement de la turbine, la pression de suralimentation fournie par le compresseur, la pollution,....

En plus que la meilleure adaptation moteur / turbo, la géométrie variable a son influence sur le fonctionnement stationnaire et transitoire du moteur : le parcours urbain, constituant la partie prépondérante de la circulation automobile (figure **0.7**), se caractérise par des arrêts, des accélérations et des décélérations intenses. Ces périodes de changements de régime moteur sont facteurs d'accroissements d'émissions, le rapport (air/carburant) se trouve enrichi lors des accélérations et appauvri lors des décélérations. On observe des pics d'émissions de particules, de fumées et d'hydrocarbures pendant une accélération ou un chargement du moteur après une période de ralenti (figure **0.8**). La réduction de ces périodes

transitoires moyennant l'apport d'air que peut assurer la géométrie variable du turbocompresseur permet de réduire ces émissions.

## **5 - CONTRAINTES DE LA COMMANDE EN TEMPS REEL :**

Un système automatisé peut se décomposer en deux parties qui coopèrent : la partie opérative appelée également processus et la partie commande ou automatisme. La communication avec l'opérateur fait partie intégrante de la commande. Dans notre étude, la partie opérative est le moteur Diesel, et la partie commande est le calculateur (figure **0.9**).

Pour chaque événement  $E_i$  caractérisé par la modification de l'état d'un capteur ou par une information liée au processus..., il est nécessaire de calculer un ensemble de fonctions  $F_j$  dépendant de l'état  $Q$  de la commande. La durée  $t$  du calcul est fonction des algorithmes utilisés et de la puissance du processeur. Le processus fixe une échéance de temps  $T_e$  pour chaque calcul. La présence de cette échéance caractérise un système temps réel. Pour des processus industriels,  $T_e$  est compris entre quelques dizaines de microsecondes et quelques centaines de millisecondes.

Pour les moteurs Diesel, les commandes délivrées par un régulateur évolué (automatisme) peuvent être classés en deux catégories [75]:

- les premières agissent sur le moteur quasi instantanément (dans l'intervalle de temps que représente un tour moteur par exemple). Il en est ainsi des commandes de sécurité comme la coupure de la pompe d'injection en cas d'emballement. L'accélération en un tour peut être très grande ( 300 tr/mn par 1/10 de seconde) si l'emballement est dû à une rupture de charge au point de fonctionnement nominal, ce qui impose la coupure de l'injection lors du prochain cycle sous peine de dégradation du moteur.

- dans la deuxième catégorie, on trouve les commandes qui permettent d'optimiser le fonctionnement du moteur au bout de quelques tours (optimisation de la consommation, de la pollution, ...).

Les algorithmes du régulateur régissant la sécurité du moteur doivent donc agir dans la durée d'un cycle moteur, c'est-à-dire 60 ms pour un Diesel lourd tournant à 2000 tr/mn et 20 ms pour un Diesel automobile. Cette durée doit correspondre au minimum à un cycle complet de l'ensemble des programmes nécessaire à l'acquisition de toutes les valeurs des capteurs repérant l'état actuel du moteur, le traitement de ces valeurs et l'élaboration des différentes commandes à travers les algorithmes considérés et enfin la restitution de ces ordres à travers les interfaces, les convertisseurs, ...

En conclusion, pour qu'un système de commande en temps réel remplisse son rôle, il doit être en mesure de satisfaire toutes les contraintes de temps auxquels il est soumis. L'algorithme de simulation, construit d'après le modèle de fonctionnement du moteur, doit être exécuté en moins de 60 ms.

## **6 - OBJECTIFS DE L'ETUDE :**

Dans les paragraphes précédents ont été présentés les dangers de la pollution, les exigences actuelles et futures de la réglementation, quelques moyens de réduction des émissions de polluants ainsi que leurs effets parfois antagonistes. Par ailleurs, la réduction de la pollution ne peut pas être le seul souci des constructeurs automobiles : le prix de revient du véhicule, le confort de conduite, les émissions du bruit, la réduction de la consommation sont des facteurs qui entrent en jeu simultanément avec la pollution dans la mise au point d'un véhicule.

La prise en compte de tous ces paramètres est de mieux en mieux maîtrisée grâce à l'apport de l'électronique automobile, qui permet d'ajuster en temps réel les différents réglages possibles pour optimiser les réponses aux différentes contraintes. Aussi il existe déjà des dispositifs d'injection électronique (figure **0.10**). Le calculateur doit recevoir les données des capteurs suivants : position de l'accélérateur, compte-tours, températures d'air, de carburant et du liquide de refroidissement, pression et température ambiante, etc. Les signaux de ces capteurs sont conditionnés et dirigés vers une unité centrale de traitement et de contrôle; celle-ci, en communiquant avec une banque des données et un modèle de simulation du moteur basé sur des cartographies statiques fournit son signal de commande .

Cette étude, consiste en une contribution dans la mise au point et la simulation sur calculateur des lois de commande agissant sur l'air et minimisant les excursions de la richesse autour d'une consigne optimale, L'actionneur de commande choisi est le turbocompresseur à géométrie variable. Une excellente connaissance préalable du groupe moteur s'avère indispensable afin de réaliser deux objectifs essentiels : simuler les sorties du moteur en fonction de son état et ses entrées, déduire une loi de commande minimisant sa pollution. Le plan de la thèse est divisé en cinq chapitres :

- Etude bibliographique,
- Présentation du banc d'essais
- Modélisation dynamique du groupe moteur suralimenté par un turbocompresseur à géométrie variable,

- Etude de l'influence de la géométrie variable sur la pollution et les performances du moteur : contribution sur l'optimisation et la commande de ses émissions et sa consommation.

*Figure 0.1: Cycle US "transient" [53]*

*Figure 0.2 : Nouveau cycle japonais Diesel 13 modes [123]*

*Figure 0.3 : Emissions de polluants fonction de la richesse [8]*

*Figure 0.4 : Composition des particules dans le moteur Diesel*

*Figure 0.5 : Courbes de couple comparatives en fonction du type d'adaptation de turbocompresseur choisi [12]*

*Figure 0.6 : Principe de fonctionnement du turbocompresseur à géométrie variable*

*Figure 0.7 : Distribution du kilométrage annuel entre le parcours urbain, routier et autoroutier en fonction de la cylindrée (Doc. INRETS)*

*Figure 0.8 : Influence des accélérations transitoires sur la pollution pour un couple de 720 N.m et un régime passant de 800 tr/mn à 2000 tr/mn*

*Figure 0.9 : Décomposition structurelle simplifiée d'un automatisme*

*Figure 0.10 : Schéma de principe de la commande d'injection du moteur Diesel [9]*