

Introduction

Contexte

Les habitudes de déplacement en automobile dans les sociétés contemporaines ont énormément évolué depuis les exodes ruraux massifs des milieu et fin du siècle dernier. La forte concentration urbaine et nos modes de vie actuels imposent en effet aux personnes des déplacements plus fréquents et plus courts. Ainsi en France, en 2004, 1 déplacement sur 3 en voiture ne dépasserait pas 1km [1].

Dans ce contexte, le moteur et les organes auxiliaires des véhicules sont régulièrement démarrés à froid, et fonctionnent principalement en régime thermique transitoire, provoquant divers problèmes :

- la consommation de carburant est accrue car l’huile de lubrification reste froide et visqueuse ;
- les polluants contenus dans les gaz d’échappement ne sont pas traités, puisque le pot catalytique reste inactif à basse température ;
- le chauffage de l’habitacle n’est pas assuré, car le circuit d’eau de refroidissement n’a pas eu le temps de monter en température.

Depuis la prise de conscience internationale des problèmes climatiques dus aux émissions polluantes, des solutions sont envisagées pour limiter la consommation globale de carburants. En effet la quantité d’émissions est directement liée à la consommation, qui ne cesse de croître pour les transports par l’intensification du trafic routier. Pour information en 2004, les émissions moyennes des véhicules neufs du parc français s’affichaient à 154 g/km de CO₂, tous constructeurs confondus. Ce qui est encore bien loin de l’objectif annoncé par les industriels d’atteindre une moyenne de 140 g/km en 2008 [2].

La première solution envisagée est de contraindre les personnes et entreprises à réduire leurs déplacements. Cette solution, peu envisageable dans le cas des particuliers mais intéressante pour les entreprises, est notamment étudiée par la CIPEVE (Commission interministérielle pour les véhicules propres). La seconde solution est de réduire le taux d’émissions par kilomètre parcouru. Pour cela, les moteurs sont désormais soumis à des règles strictes d’émissions. Ces contraintes réglementaires, établies à l’échelle nationale ou internationale (normes EURO pour l’Europe), imposent aux constructeurs et équipementiers de développer des solutions technologiques fiables pour limiter la consommation et les émissions.

Les constructeurs sont également confrontés à l’augmentation récente et durable du prix des carburants. Les consommateurs, conscients des enjeux environnementaux, sont d’autant plus attentifs à la consommation de leur véhicule s’ils doivent payer 50% de plus à la pompe. Les futures générations de véhicules (biocarburants, hybrides ou tout-électrique) permettront de fortement réduire voire an-

nuler la consommation en carburant pétrolier. Mais ces générations ne sont pas encore suffisamment attrayantes pour le grand public, en Europe tout au moins.

Dans ce cadre, les constructeurs n'ont d'autre recours que d'améliorer les performances des moteurs, s'ils veulent rester commercialement compétitifs, et surtout respecter les normes environnementales.

Amélioration du rendement des moteurs

Une première solution aux problèmes d'émissions consiste à traiter les gaz d'échappement. De nouvelles générations de catalyseurs et de filtres à particules sont ainsi apparus. Une autre solution est de directement réduire la formation de ces polluants au sein du moteur, en maîtrisant les phénomènes de combustion. Concernant les véhicules diesel, l'EGR (Recirculation des Gaz d'Echappement), les systèmes d'injection directe haute pression (rampe commune et injecteurs pompe), les géométries adaptées des cylindres et pistons ou l'usage du "rate-shapping" (injections multiples pour contrôler la température maximale dans le cylindre) ont permis de considérablement augmenter le rendement de la combustion et ainsi limiter la consommation de carburant et les émissions de polluants. Ces évolutions technologiques ont ainsi participé au net recul des émissions d'oxydes d'azote NO_x des automobiles.

Autrefois boudés des consommateurs pour leurs mauvaises performances, les véhicules diesel proposent désormais des agréments de conduite très proche des véhicules essence, avec un gain certain de consommation pour un carburant en outre moins cher à la pompe. Les motorisations diesel récentes (dénominations HDI, dCI, TDI...), qui intègrent les dernières technologies citées précédemment d'injection et de suralimentation notamment, sont les moteurs conventionnels actuels les plus performants (donc de meilleur rendement). Ils sont d'ailleurs depuis peu devenus majoritaires sur le marché des ventes de véhicules neufs en France.

Déficit thermique et chauffage additionnel

Le confort de l'utilisateur est parfois victime de ces évolutions techniques. En améliorant le rendement et en utilisant la suralimentation (qui permet de "gaver" un moteur en air d'admission), on peut en effet disposer d'un moteur de même puissance que les versions antérieures, mais avec une cylindrée réduite (phénomène de "downsizing"). Cette diminution est particulièrement visible sur les moteurs diesel qui, de 2L ou plus de cylindrée en moyenne dans les années 90 est aujourd'hui de 1,2L chez certains constructeurs, à puissance identique voire supérieure.

La réduction de la cylindrée et l'optimisation de la combustion se traduisent d'un point de vue énergétique par une réduction de la chaleur dissipée par le moteur (énergie "perdue" car non utile à la motorisation). Cette chaleur, recueillie par le circuit de refroidissement, est ensuite distribuée au circuit d'huile, au circuit de chauffage de l'habitacle ou dissipée par le radiateur de refroidissement (Fig. 1).

Sur un déplacement de quelques minutes en conditions hivernales, le système de chauffage n'a

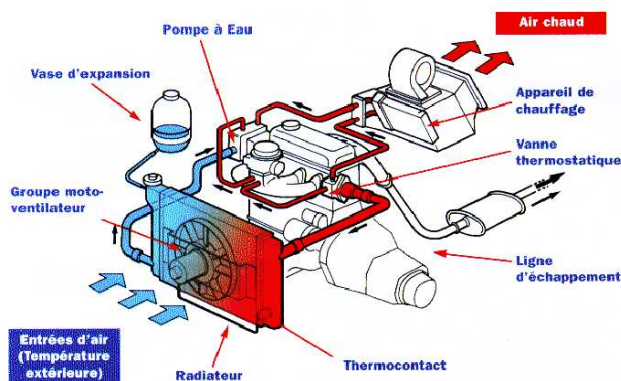


FIG. 1 – Représentation du circuit de refroidissement et ses organes annexes

alors pas assez de ressources ni de temps pour chauffer l'habitacle. Un véritable "déficit thermique" se crée alors : la chaleur récupérée étant moindre, en démarrage à froid la température de l'eau augmentera d'autant plus lentement. L'inertie du système de chauffage en condition hivernale est aujourd'hui estimée entre 10 et 20 minutes selon les conditions climatiques, les cycles de roulage et le véhicule. La figure 2 présente un exemple de simulation de la montée en température de l'air soufflé dans l'habitacle, sur un démarrage à froid à -20°C ambiant, et en roulage stabilisé à 40 km/h en 3^{ème} vitesse. Dans ces conditions extrêmes, la température de l'air soufflé (donc celle du circuit d'eau) ne parvient même jamais en régime thermique stabilisé.

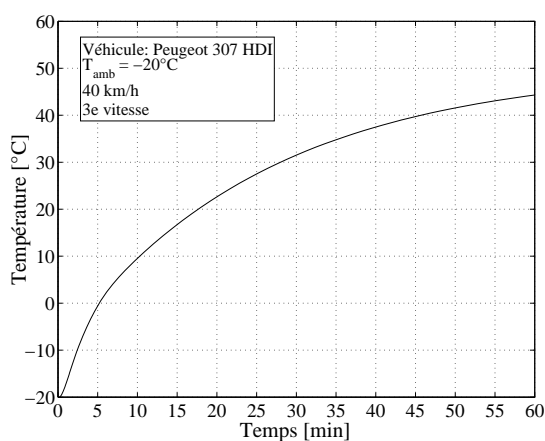


FIG. 2 – Exemple d'évolution de la température d'air soufflé dans l'habitacle pendant un démarrage à froid

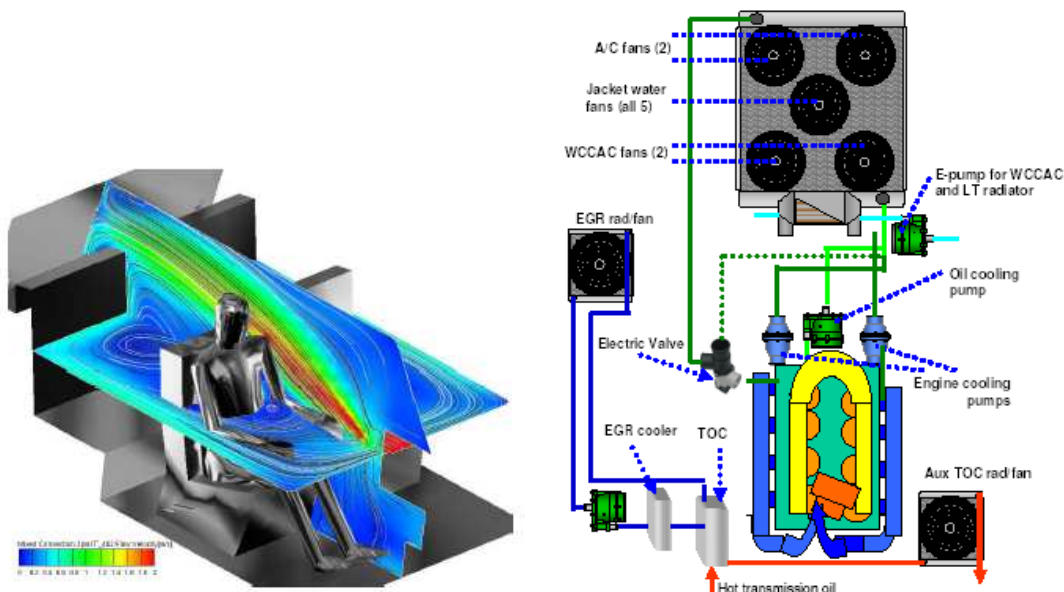
Le déficit thermique ainsi créé par le downsizing et l'amélioration du rendement, est une conséquence voire un objectif des chercheurs qui tentent de réduire la consommation des véhicules. Malheureusement ces pertes ont une influence néfaste sur les performances du système de chauffage. Ne pouvant pénaliser le confort des usagers au profit de la consommation, les équipementiers ont alors développé des systèmes de chauffage additionnels, ayant pour objectif une mise en température de l'habitacle la plus rapide possible, avec une surconsommation énergétique la plus faible possible.

Les systèmes étudiés et utilisés sont nombreux, mais tous ont des avantages et défauts que les équipementiers aimeraient pallier. Les brûleurs sur l'eau ou sur l'air sont de forte puissance, mais nécessitent des installations spécifiques et de la place, entraînant également une surconsommation de carburant. Les radiateurs électriques sont peu onéreux, de faible encombrement, mais de faible puissance. Les systèmes de préchauffage électrique du moteur ou de l'habitacle sont efficaces, mais nécessitent des bornes de raccordement...

L'optimisation de la montée en température de l'habitacle est désormais un enjeu commercial pour les équipementiers, puisque les rendements augmentent en permanence et les prestations de confort, comme de consommation, restent des arguments de vente décisifs.

Modélisation du véhicule

Les outils de modélisation sont apparus avec l'avènement de l'informatique, vers les années 60. Le logiciel, reproduisant les caractéristiques de l'automobile et de son environnement, permet de simuler un fonctionnement spécifique (par exemple un démarrage à froid) et d'étudier le comportement du véhicule sans engager des moyens expérimentaux de mesure conséquents et onéreux. Des exemples de simulation et modélisation sont proposées sur les figures 3.



(a) Simulation des écoulements d'air dans un habitacle automobile [3] (b) Simulation pour l'optimisation d'un système de refroidissement moteur [4]

FIG. 3 – Exemples de simulations appliquées à l'automobile

Les outils de modélisation sont extrêmement diversifiés, selon les objectifs et les moyens mis en oeuvre pour leur développement. Les codes commerciaux comme Amesim, GT-Power, ou KIVA sont très performants, car développés en permanence et intégrant les évolutions technologiques les plus récentes. Le coût d'achat des licences, la dépendance des utilisateurs et les contraintes d'adaptation

incitent cependant les constructeurs et équipementiers à développer leurs propres codes.

Valéo Thermique Habitacle a depuis 2000 développé un code interne dénommé HMOD [5, 6, 7]. L'objectif de ce code est de simuler la montée en température de l'air soufflé dans l'habitacle au cours de cycles de roulage standardisés, dans une optique d'optimisation du confort. Ce logiciel intègre un modèle de combustion, une modélisation nodale des circuits d'eau, d'huile et des masses métalliques, et des modèles de comportement pour les organes annexes (alternateur, échangeurs, pompes, etc). Les caractéristiques de chacun de ces éléments sont détaillés en annexe et au cours des chapitres suivants.

L'intégration des différents systèmes de chauffage additionnel du marché dans la bibliothèque de données permet de définir des stratégies optimales et de valider des choix technologiques. Plusieurs cycles de roulage sont implémentés (cycles urbain, extra-urbain, démarrage à froid...) permettant de simuler les performances du véhicule dans des conditions homologuées. Un exemple de simulation est proposé sur la figure 4.

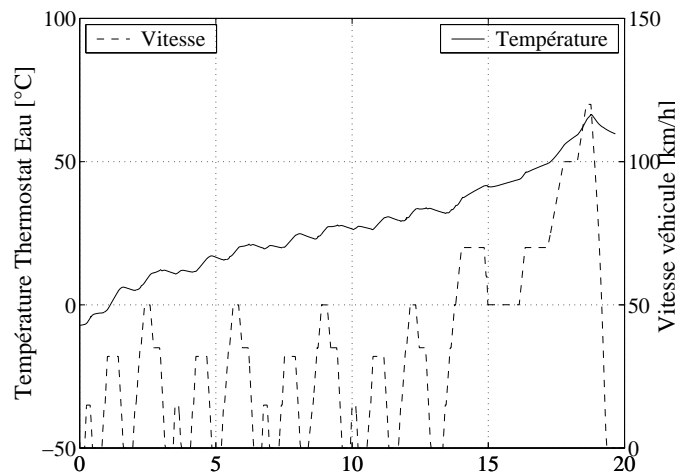


FIG. 4 – Simulation d'un cycle de roulage Européen ($T_{amb} = 7^{\circ}C$)

L'une des principales contraintes de ce type de logiciel est l'adaptation à des véhicules et des environnements différents. La précision des résultats de simulation dépendant directement des méthodes employées, plus les sous-modèles seront exhaustifs (donc complexes et coûteux en temps de calcul), plus les résultats seront fiables. Par contre dans ce cas seuls des utilisateurs initiés pourront le comprendre, l'utiliser et l'adapter à leur besoin. Inversement, des sous-modèles plus simples peuvent réduire les temps de calcul et alléger l'interface du logiciel, facilitant son accès donc assurant son développement et sa pérennité. Un compromis entre précision des résultats et complexité des sous-modèles est donc à définir.

Objectifs de l'étude

Le premier objectif de cette étude est d'équiper HMOD d'un modèle de combustion plus complet, permettant la prédiction des émissions polluantes. En effet les performances des moteurs et de leurs accessoires sont désormais couplés aux performances environnementales du véhicule en entier.

Étant donné la diminution régulière des taux d'émissions et l'optimisation croissante des moteurs jusqu'aux moindres détails de géométrie et de commande de contrôle, les accessoires deviennent des facteurs influents sur les performances globales du groupe motopropulseur. Concrètement, une gestion inadaptée ou défectueuse du contrôle moteur peut, par exemple, entraîner une surconsommation de 5 voire 10%, impliquant une surémission de polluants et éventuellement une non-conformité du véhicule aux règles de pollution. La possibilité pour HMOD de prédire les émissions polluantes est un avantage technique prépondérant pour Valéo dans l'étude de la boucle de refroidissement, la boucle de et des systèmes de chauffage et de ventilation.

Une fois le nouveau modèle de combustion développé et intégré à HMOD, nous étudierons l'impact du modèle de combustion sur la précision des simulations. Les deux précédents modèles de combustion seront comparés à un modèle réduit, caractérisant les performances du moteur par de simples relations empiriques moins fiables mais moins gourmandes en temps de calcul et en complexité de programmation. Une étude exhaustive des bilans thermiques et énergétiques est nécessaire. Nous étudierons les capacités d'adaptation des différents modèles de combustion à divers types de simulations et dresserons un bilan exhaustif des avantages et défauts de chacun.

La seconde tâche de ce projet est le développement d'un système de chauffage additionnel innovant. Ces systèmes, nous l'avons vu, sont soumis à de nombreuses contraintes : puissance disponible suffisante, inertie réduite, source d'énergie interne... Le système ici proposé reste en relation avec le fonctionnement moteur et doit contribuer à minimiser les émissions polluantes.

Bibliographie

- [1] ADEME. Chiffres clés des transports. *site www.ademe.fr*, 2006.
- [2] *revue Flottes Automobiles*, n°114, décembre 2005.
- [3] J.K. Wolfahrt, W.B. Baier, B. Wiesler, A. Raulot, J.P. Rugh, D. Bharathan, et C. Kussmann. Aspects of cabin fluid dynamics, heat transfer, and thermal comfort in vehicle thermal management simulations. *SAE Paper 2005-01-2000, VTMS7 Congress, Toronto, Canada*, 2005.
- [4] R.D. Chaldren et D.J. Allen. Light duty diesel advanced thermal management. *SAE Paper 2005-01-2020, VTMS7 Congress, Toronto, Canada*, 2005.
- [5] F. Pirotais. Contribution à la modélisation du flux thermique disponible pour le chauffage d'un habitacle d'automobile après un démarrage à froid. *Thèse de doctorat, Université de Nantes*, 2004.
- [6] C. Garnier, D. Dinescu, J. Bellettre, M.L. Tazerout, R. Haller, B. Hamery, et G. Guyonvarch. Numerical study of heat losses in automotive engines during cold starts. application to prediction of thermal deficit. *SAE Paper 2005-01-2039, VTMS7 Congress, Toronto, Canada*, 2005.
- [7] D. Dinescu, C. Garnier, et B. Hamery. *HMOD User's Guide*. Valéo Thermique Habitacle (rapport interne), 2005.