

Gestion aérothermique des zones de fuites du compartiment moteur d'un véhicule automobile.

Mahmoud KHALED^{1,2*}, Fabien HARAMBAT², Hassan PEERHOSSAINI¹

¹Laboratoire de thermocinétique, CNRS-UMR 6607, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, rue C.Pauc, BP 50609, 44 306 Nantes cedex 3

²PSA Peugeot Citroën, 2 route de gisy, 78 943 Vélizy Villacoublay

*(auteur correspondant : mahmoud.khaled@mps.com)

Résumé – L'étude présentée ici concerne l'impact des fuites sur les températures du compartiment moteur d'un véhicule automobile. Cette étude synthétise les mesures de thermique sous-capot réalisées en soufflerie sur un véhicule. Le compartiment moteur est instrumenté avec environ 80 thermocouples de peau et d'air. Les mesures sont faites pour trois points de fonctionnement thermiques différents. Les roues avant sont positionnées sur un banc à rouleau et sont entraînées par le moteur de la voiture. Cinq configurations de bouchage des zones de fuites sont étudiées.

Nomenclature

GMV	groupe moto ventilateur	RAS	refroidisseur d'air suralimenté
n	régime moteur, $tr. \min^{-1}$	R_V	rapport de vitesse
PT-FCT-1	point de fonctionnement 1	V_R	vitesse des roues, $Km.h^{-1}$
PT-FCT-2	point de fonctionnement 2	V_V	vitesse du vent, $Km.h^{-1}$
PT-FCT-3	point de fonctionnement 3		

1. Introduction

Les zones de fuites d'air du compartiment moteur se situent essentiellement au niveau des jonctions du capot avec la calandre, avec les ailes, les optiques et le pare-brise. Dans les calculs numériques d'aérodynamique et d'aérothermique, ces zones de fuites ne sont généralement pas modélisées. A priori, elles sont pourtant susceptibles d'avoir un effet sur la traînée aérodynamique et sur les températures du sous-capot. Néanmoins, des études ont montré que l'influence des fuites sur la traînée de refroidissement était négligeable. Ainsi, une non prise en compte de ces dernières dans les calculs aérodynamiques n'impacte pas les résultats. En thermique cependant, l'influence des fuites sur le sous-capot est mal connue. Quel est leur impact en phase de roulage et également lorsque le véhicule est à l'arrêt, en phase de « coup de chaud »? Quelles zones du sous-capot sont les plus sensibles à l'effet des fuites ? Si les modélisations doivent prendre en compte ces effets, quelles sont les fuites à modéliser en priorité ?

Pour répondre à ces questions, nous présentons une étude expérimentale sur un véhicule, où nous comparons les températures dans le sous-capot pour différentes configurations de bouchages des fuites. Nous décrivons dans une première partie les modalités des essais : en particulier l'instrumentation, les paramètres de contrôle et le détail des configurations (&2). Nous exposons ensuite les résultats et les méthodes utilisées (&3 et &4) pour l'analyse des effets des fuites sur les températures du sous-capot.

2. Description des essais

2.1. Instrumentation

Le sous-capot de la voiture utilisée pour les essais est instrumenté par des thermocouples de peau et d'air de type T et de type K. Ces thermocouples permettent la mesure des températures d'environ 80 emplacements, correspondant à des températures d'organes, des températures d'air et des températures moteur. Parmi les organes étudiés, les plus importants sont le collecteur d'échappement, le répartiteur d'admission, la boîte froide (zone comprenant le calculateur et la batterie), le tablier, le boîtier de sortie d'eau et l'alternateur. Pour les zones d'air, les plus importantes sont celles de la zone froide, de l'auvent, du tablier, de l'arrière moteur, de l'aval GMV et du RAS. Les paramètres moteurs sont essentiellement l'entrée et la sortie du radiateur, du RAS, du turbo, du catalyseur et l'entrée du moteur.

2.2. Montage et configurations d'essais

Les essais thermiques sont réalisés à la soufflerie S4 de Saint-Cyr l'Ecole. Trois vitesses d'écoulement dans la veine sont testées. Par ailleurs, les roues avant sont placées sur un banc à rouleau. Le moteur de la voiture est en marche. Un conducteur dans le véhicule accélère et les roues avant entraînent ainsi les rouleaux. Le banc à rouleau est équipé d'un système « frein », permettant l'ajustement et le contrôle de la puissance aux roues et de leur vitesse de rotation. Les essais sont faits pour trois points de fonctionnement thermiques différents, décrits dans le tableau 1.

	V_R	V_V	R_V	n
	$Km.h^{-1}$	$Km.h^{-1}$	-	$tr. min^{-1}$
PT-FCT-1	90	90	5	2600
PT-FCT-2	110	55	4	3800
PT-FCT-3	130	130	5	3780

Tableau 1 : Paramètres définissant les trois points de fonctionnement thermiques étudiés.

Pour tester l'effet des fuites, cinq configurations de bouchage sont réalisées, en partant d'une situation « tout débouché » et en bouchant successivement les zones de fuites, c'est à dire les jonctions capot-calandre, capot-ailes, capot-optiques et capot-pare-brise (situation « tout bouché »).

Un logiciel relié au calculateur de la voiture est utilisé pour contrôler le GMV. Ce dernier possède deux vitesses de rotation. Le logiciel permet de maintenir le GMV en grande vitesse pendant la phase de roulage. A l'arrêt du moteur (début du coup de chaud), le calculateur repasse en mode autonome et le GMV tourne à vitesse lente pendant quelques minutes avant de s'éteindre complètement.

2.3. Les différentes phases d'un essai

Pour chaque essai (point de fonctionnement thermique et configuration de fuites fixés), l'enregistrement des températures couvre trois phases successives, chacune simulant une situation réelle à laquelle une automobile est confrontée : le roulage, le ralentissement et le coup de chaud.

1- La phase de roulage représente le roulage réel d'une voiture à un régime moteur, un rapport de boîte et à une vitesse d'avancement et de vent donnés. Cette phase de roulage peut être soit PT-FCT-1, soit PT-FCT-2, soit PT-FCT-3.

2- La phase de ralentissement est simulée en soufflerie en passant au point mort après la phase de roulage et en arrêtant le vent dans la soufflerie.

3- La phase de coup de chaud suit le ralentissement et simule le véhicule à l'arrêt après une charge thermique importante. L'inertie thermique des organes maintient des températures élevées malgré l'extinction du moteur. Dans ce cas, la circulation d'air permettant le refroidissement du sous capot est uniquement due à la rotation du GMV et/ou la convection naturelle. Au début du coup de chaud, le GMV tourne pendant une courte période (1 à 5 minutes) avant de s'arrêter.

2.4. Protocole d'essai avec les différentes phases

Pour une configuration de bouchage donnée, on se stabilise d'abord au point de fonctionnement thermique souhaité (PT-FCT-1, PT-FCT-2 ou PT-FCT-3). Le régime moteur atteint alors la valeur prédéfinie et on lance les acquisitions pour enregistrer les 3 phases successives de roulage, ralentissement et coup de chaud. La phase de roulage est maintenue jusqu'à la stabilisation des températures. La phase de ralentissement intervient ensuite, lorsque le conducteur lâche l'accélérateur : le vent dans la soufflerie est coupé et le moteur de la voiture est éteint lorsque la vitesse de l'air dans la veine atteint une valeur nulle. L'instant d'extinction du moteur correspond au début de la phase du coup de chaud. Pendant les enregistrements, le début de chacune des trois phases est repéré.

3. Analyse qualitative – Résultats

Une première analyse des résultats est faite suivant une méthode « qualitative » : il s'agit de faire émerger les tendances typiques des évolutions de températures en fonction des zones de fuites. Cette méthode consiste dans un premier temps à séparer les enregistrements des différentes phases et à se limiter après aux deux phases qui nous intéressent : la phase de roulage et celle du coup de chaud.

Pour étudier les effets des zones de fuites sur un emplacement donné, nous traçons les évolutions temporelles de températures des cinq configurations de bouchage, en recalant les courbes par rapport à l'instant de stabilisation du régime moteur en phase de roulage et par rapport à l'instant de l'arrêt du moteur en phase de coup de chaud.

En appliquant cette méthode pour les différents organes, zones d'air, et paramètres moteur, nous obtenons des tendances typiques suivantes :

- Le bouchage des jonctions capot-calandre, capot-ailes et capot-pare-brise augmente la température de façon significative sur de nombreux organes, zones d'air et paramètres moteur, aussi bien en coup de chaud qu'en roulage.
- Ces effets sont beaucoup plus sensibles pour les deux jonctions capot-calandre et capot-pare-brise que pour la jonction capot-ailes.
- De façon surprenante, la tendance est inversée pour la jonction capot-optiques : son bouchage diminue les températures.

Pour illustrer ces résultats et donner des ordres de grandeur, les figures 1 et 2 montrent des tendances typiques de températures au niveau du boîtier de sortie d'eau et de la zone d'air proche du tablier.

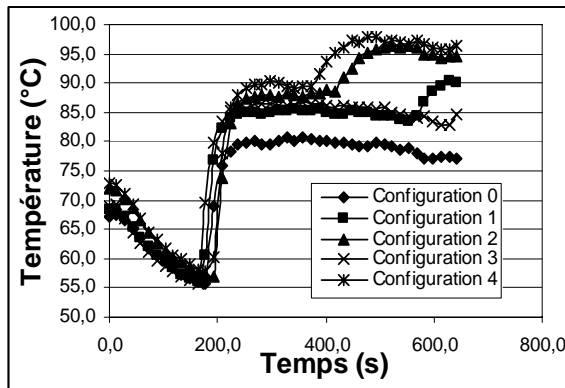


Figure 1 : Effets des fuites sur la température du boîtier de sortie d'eau en coup de chaud.

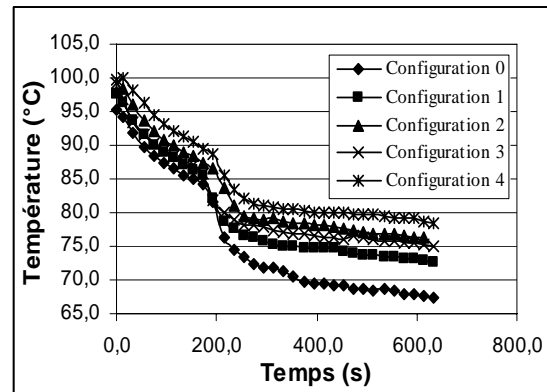


Figure 2 : Effets des fuites sur la température d'air proche du tablier en coup de chaud.

La configuration 0 correspond à la configuration où tout est débouché. La configuration 1 correspond à celle où la jonction capot-calandre est bouchée. La configuration 2 correspond à la configuration 1 avec en plus la jonction capot-ailes bouchée. La configuration 3 correspond à la configuration 2 avec en plus la jonction capot-optiques bouchée. Enfin, la configuration 4 correspond à la configuration 3 avec en plus la jonction capot-pare-brise bouchée (configuration « tout bouché »).

Pour le boîtier de sortie d'eau (BSE), on remarque nettement les effets de fuites sur la température en fin du coup de chaud et ceci pour des températures initiales très proches (Fig. 1). En fin de coup de chaud, par rapport à une température de 76,7°C pour la configuration tout débouché, on mesure un échauffement local de +13,5°C en bouchant la jonction capot-calandre. La température augmente de +4,5°C lorsque la jonction capot-ailes est bouchée et de +10,4°C lorsque la jonction capot-pare-brise est bouchée. Ces tendances sont également observées sur les autres organes. A l'inverse, le bouchage de la jonction capot-optiques entraîne un refroidissement du BSE de -9,3°C. Ce refroidissement est aussi constaté sur l'ensemble des organes et des zones d'air.

Ce dernier résultat s'explique par le fait que la jonction capot-optiques est une zone de dépression et correspond donc à une sortie d'air du sous-capot (ce comportement non-trivial a d'ailleurs déjà été observé en calculs numériques sur d'autres véhicules). En bouchant cette jonction, on empêche les faibles débits d'air frais rentrant dans le sous-capot, de sortir par la jonction capot-optiques. Puisqu'il ne peut plus sortir par cette jonction, cet air frais a alors tendance à passer plus près des organes et contribue donc à un meilleur refroidissement de ceux-ci.

Ces comportements thermiques se retrouvent sur les autres organes et zones d'air, comme par exemple la zone proche du tablier (Fig. 2). Pour une température de 67,2°C en fin de coup de chaud, on mesure des écarts de +5,2°C, +3,6°C, -1,2°C et +3,6°C respectivement pour les configurations 1, 2, 3, et 4.

Concernant la phase de roulage, on remarque les mêmes effets des différentes zones de fuites mais avec des écarts beaucoup plus faibles. De plus, ces écarts sont parfois dans les mêmes

ordres de grandeurs que les écarts entre les températures initiales et leur interprétation devient alors hasardeuse (Fig. 3).

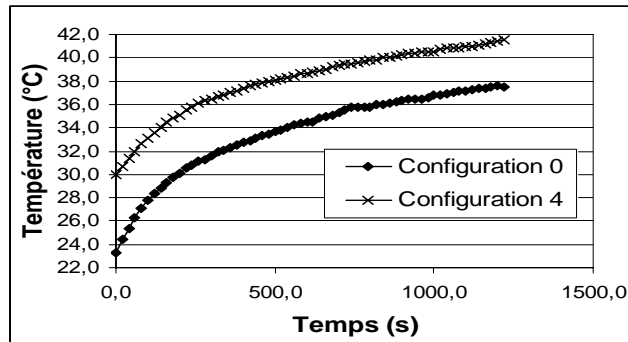


Figure 3 : Effet des fuites sur la température du triangle en roulage pour PT-FCT-3.

Pour pouvoir nous affranchir des défauts liés aux différences de conditions initiales de chaque phase, nous proposons une méthode dite « d'analyse quantitative ».

4. Analyse quantitative – Résultats

Avoir les mêmes conditions initiales de températures au début de chaque phase est en pratique irréalisable. De plus, en début du coup de chaud, le GMV se met en vitesse secondaire pour une courte période (avant de s'éteindre complètement) et cette durée dépend de la configuration de bouchage et du point de fonctionnement. C'est pourquoi, pour pouvoir comparer quantitativement les différentes configurations, nous utilisons une méthode d'analyse qui consiste à :

- 1- séparer les différentes phases de l'essai (roulage, ralentissement et coup de chaud),
- 2- séparer les parties strictement monotones dans le coup de chaud (ceci permet d'éliminer l'effet du temps de fonctionnement du GMV en vitesse secondaire),
- 3- faire coïncider les conditions initiales dans chaque partie obtenue, et calculer l'écart relatif de températures finales.

La méthode est appliquée sur l'ensemble d'organes et des zones d'air testées pour quantifier les effets des fuites. La figure 4 montre les écarts relatifs maximaux, sur toutes les parties séparées et pour chaque organe, en coup de chaud et en roulage.

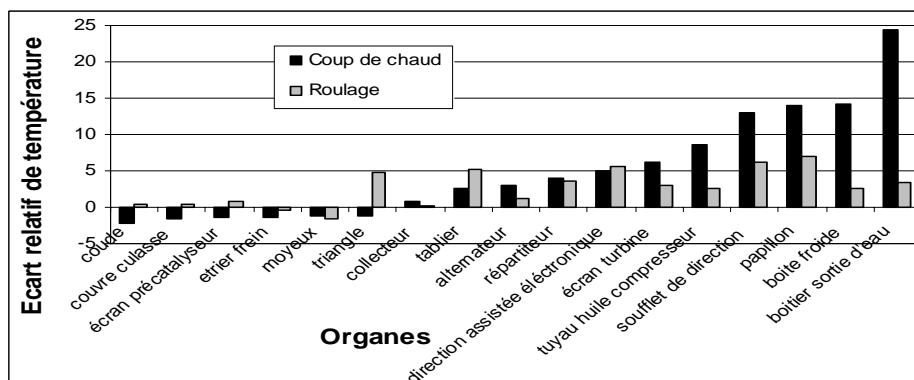


Figure 4 : Ecart relatif de température dû au bouchage des fuites pour les différents organes en PT-FCT-2.

L'écart relatif de température dû au bouchage des fuites dépasse les 4% pour la majorité des organes, en phase de roulage (par exemple 6% au niveau du soufflet de la direction et 7% au niveau du papillon). En coup de chaud, ces écarts sont plus élevés. Ils dépassent les 6% pour les mêmes organes (ils sont par exemple de 14% au niveau de la boîte froide et de 24% au niveau du boîtier de sortie d'eau).

La figure 5 montre les valeurs des écarts relatifs au niveau des différentes zones d'air.

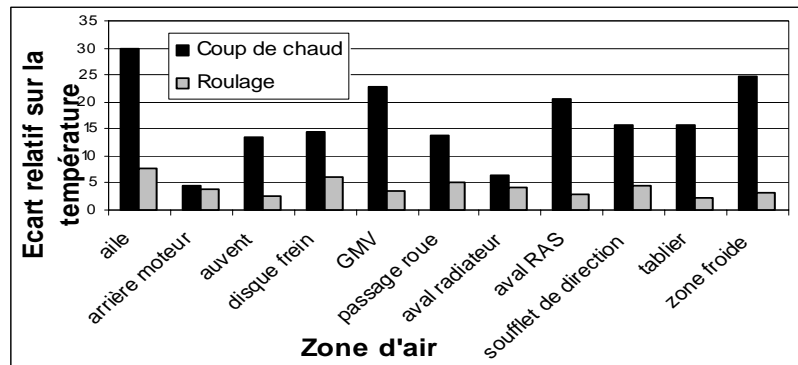


Figure 5 : Ecart relatif de température due au bouchage des fuites pour les différentes zones d'air en PT-FCT-2.

En coup de chaud, on remarque des écarts plus élevés au niveau des zones d'air qu'au niveau des organes. Ces écarts dépassent les 10% pour presque toutes les zones d'air étudiées. Ils atteignent les 25% au niveau de la zone froide et les 30% au niveau des ailes. En roulage, les écarts sont beaucoup moins élevés (par exemple de 6,24% au niveau du disque frein et de 7,63% au niveau des ailes).

5. Conclusion

Les fuites ont un effet significatif sur la thermique du sous-capot, aussi bien en coup de chaud qu'en roulage. Ces effets sont plus remarquables en coup de chaud et très clairement non négligeables (écarts de 6% à 30%, suivant les zones). Les fuites capot-calandre, capot-ailes et capot-pare-brise diminuent les températures dans le compartiment moteur : ces diminutions sont plus sensibles pour les deux jonctions capot-calandre et capot-pare-brise que pour la jonction capot-ailes. Inversement et de façon non-triviale, la jonction capot-optiques augmente les températures du compartiment moteur.