

## Edito

Bonjour,

L'année 2010 a été marquée par une orientation très sensible de nos prestations vers deux secteurs d'activité principaux : le secteur nucléaire et le naval militaire. Pour ces deux secteurs, nous disposons d'une expertise scientifique et de moyens d'essais associés. Les prestations que nous effectuons dans ces domaines sont d'une part des analyses d'expert à base de mesures ou de modélisations numériques (cf. l'article de P. Rascalon) et d'autre part des essais de qualification mécanique, hydraulique et acoustique. Pour répondre aux problématiques de sûreté nucléaire, nous avons conçu trois boucles d'essais de colmatage de composants hydrauliques. Une boucle de pompes dédiée aux essais de Discrétion Acoustique a également été réalisée. Ces installations complètent efficacement les moyens de notre laboratoire dont les tunnels hydrodynamiques sont présentés ci-après.

Nous aurons l'occasion rapidement de vous présenter nos nouvelles installations soit lors d'une journée technique soit dans une prochaine TDF.

Je vous souhaite une bonne lecture de cette nouvelle édition.



René PERRET,  
Directeur du  
CERG

[rene.perret@cerg-fluides.com](mailto:rene.perret@cerg-fluides.com)

## Au Sommaire

### Page 1 et 2

- Refroidissement de gaz chauds par micro-gouttes d'eau par Patrick RASCALON

### Pages 3 et 4

- Le tunnel Hydrodynamique TH8 par Philippe NOE

### Page 4

- Nos prochaines formations

## Refroidissement de gaz chauds par micro-gouttes d'eau par P. RASCALON



Patrick RASCALON est ingénieur au CERG depuis 1976 ; il est responsable du pôle Simulation Numérique.

[patrick.rascalon@cerg-fluides.com](mailto:patrick.rascalon@cerg-fluides.com)

Diverses demandes de clients utilisateurs de moteurs diesels ou de turbines à gaz pour des navires militaires ou civils, concernant le refroidissement rapide des gaz d'échappement, ont amené le CERG à étudier des solutions par injection de micro-gouttes d'eau dans les conduits d'échappement.

Les températures des gaz d'échappement peuvent, selon les machines et les conditions de fonctionnement, atteindre voire dépasser 600°C, et il peut être demandé d'atteindre des températures de rejet atmosphérique inférieures à 100 °C après un très court trajet des gaz, soit de quelques diamètres de tuyauterie seulement.

Le système étudié consiste à injecter des micro-gouttes d'eau dans le conduit de gaz chauds. Les gouttelettes vont très vite suivre l'écoulement du gaz, s'échauffer par échange thermique (essentiellement par conduction et convection) et se vaporiser partiellement en soutirant des calories au gaz (échange de masse et de chaleur latente). Le résultat est un refroidissement progressif du gaz, associé à une diminution du diamètre des gouttes.

# Refroidissement de gaz chauds par micro-gouttes d'eau... Suite...

Les vitesses des gaz chauds sont importantes, de l'ordre de 20 m/s pour des grosses turbines à gaz avec des sections de conduit d'environ 5 m<sup>2</sup>, mais dépassant 80 m/s pour des diesels de sous-marins. Diminuer la température des gaz de 400 °C sur la distance exigée signifie un dispositif efficace sur une durée très courte, par exemple ne dépassant pas 30 millisecondes dans le cas des diesels considérés.

## Les contraintes du dispositif demandé sont multiples :

- Production de gouttes très fines (diamètre) et en grande quantité (débit liquide) afin de disposer d'une surface d'échange suffisante.
- Création d'une bonne répartition spatiale des gouttes dans l'écoulement : en particulier elles doivent atteindre le cœur de l'écoulement de gaz (bonne pénétration), mais ne pas provoquer un mouillage important des parois de la conduite.
- N'obtenir à l'aval, après refroidissement, que des gouttes de faible diamètre (entre autre pour minimiser les risques d'érosion).
- Faible besoin énergétique pour la production des gouttes (pressions modérées).
- Nombre limité de buses nécessaires (compacité de l'implantation).
- Filtration de l'eau nécessaire afin d'éviter les colmatages d'orifices.
- Matériaux inoxydables, en conditions marines.

## La démarche générale a été la suivante :

- Création d'un modèle de calcul thermique monodimensionnel d'évolution des gouttes dans l'écoulement de gaz chaud et de refroidissement du gaz (échange de chaleur et de masse entre phases liquide et vapeur).
- Optimisation du jeu de paramètres théoriques du projet : granulométrie des gouttes et débit.
- Recherche de buses adaptées, avec validation expérimentale de la granulométrie obtenue selon la pression d'injection, à l'aide d'un granulomètre Malvern.
- Réalisation d'un banc d'essai d'injection à froid de micro-gouttes dans un écoulement de gaz en conduit, permettant de tester différentes disposition de buses, de caractériser la pénétration afin d'obtenir une bonne homogénéité dans la section de passage, tout en minimisant le mouillage des parois en évitant la création de films d'eau. Des mesures granulométriques ont également été effectuées à travers le conduit transparent d'écoulement du gaz.
- Essais à chaud chez un client, sur un diesel équipé du dispositif d'injection choisi.

## Calculs dans le cas d'un conduit d'échappement diesel de 300 mm de diamètre :

La figure 1 montre les évolutions de la température du gaz et du diamètre de gouttes sur une distance d'environ 13 diamètres de conduit. La température du gaz passe de 500 °C à 100 °C sur une longueur d'environ six diamètres, le diamètre des gouttes diminuant plus modérément. Les gouttes injectées ont un diamètre moyen de 35 microns.

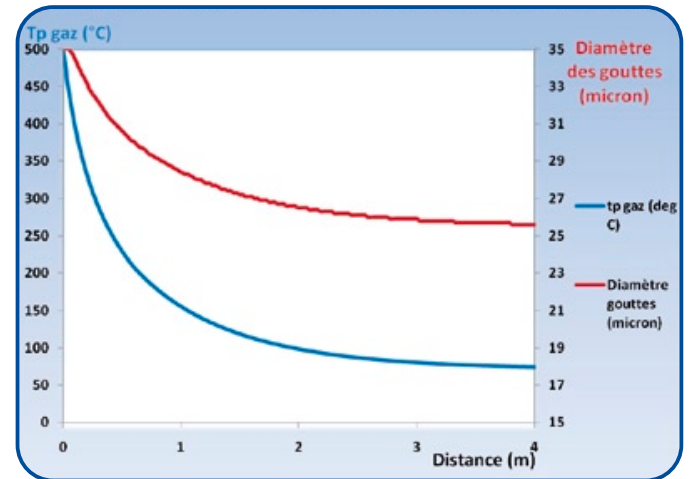


Figure 1 : Evolution de la température du gaz et du diamètre des gouttes en fonction de la distance après l'injection.

La figure 2 montre en contrepartie une forte augmentation de l'humidité relative du gaz et parallèlement de sa teneur en vapeur d'eau.

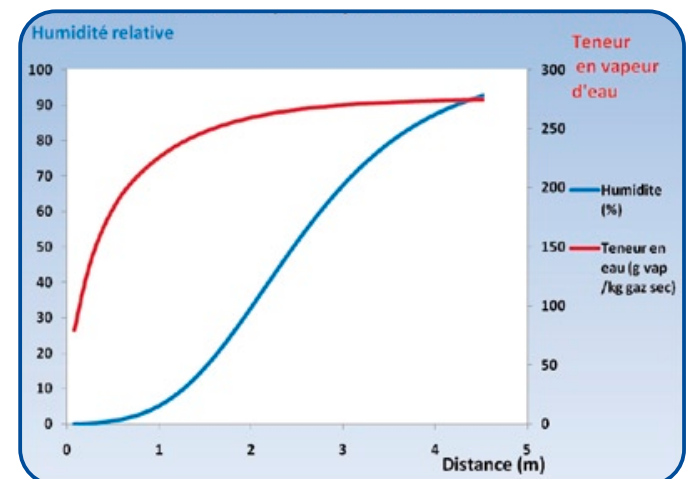


Figure 2 : Evolution de l'humidité relative et de la teneur en eau du gaz en fonction de la distance après l'injection.

## Essais à froid sur banc (ventilateur + conduit plexiglass + buses + pompe d'injection et filtre + granulomètre ...) :

La figure 3 représente une photographie de micro-gouttes dans l'écoulement de gaz, éclairées par une tranche lumineuse laser, dans une configuration, simplifiée où une seule buse est utilisée.

Les pressions d'injection sont assez élevées, de plusieurs dizaines de bars, nécessaires pour générer les faibles granulométries à un débit d'eau suffisant.

### Essais sur prototype à chaud :

Les essais à chaud ont confirmé les performances de refroidissement du gaz estimées et la bonne pénétration des micro-gouttes dans l'écoulement. Une conséquence prévue du refroidissement est l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans le gaz d'échappement, saturé à la température de l'atmosphère, ce qui provoque en sortie un panache blanc important. C'est le prix à payer pour le refroidissement. La réduction de ce panache nécessiterait un dispositif aval de condensation partielle et une extraction des gouttes résiduelles par un séparateur d'embruns classique.

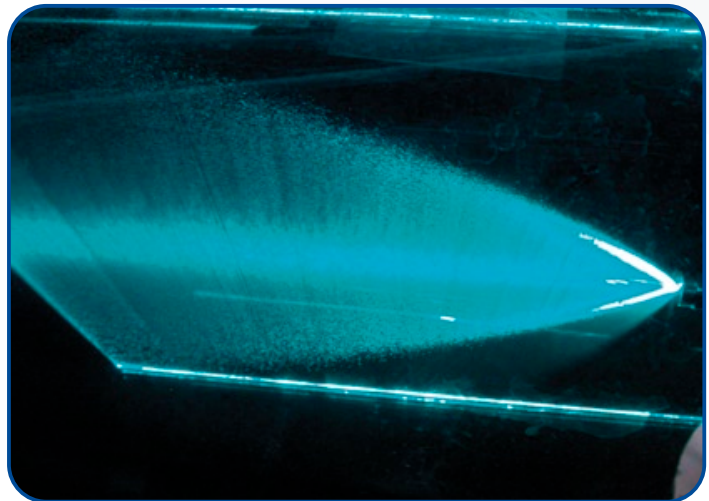


Figure 3 : Visualisation de gouttelettes dans un écoulement de gaz (buse à jet creux)

## Le tunnel hydrodynamique TH8 et les essais de POD par Philippe NOE



**Philippe NOE est ingénieur au CERG depuis 1984 ; il est responsable du pôle Laboratoire.**

[philippe.noe@cerg-fluides.com](mailto:philippe.noe@cerg-fluides.com)

### Introduction

Le tunnel hydrodynamique TH8 est un équipement conçu en particulier pour tester des propulseurs de navires en échelle réduite et donc particulièrement des propulseurs en POD ainsi que l'article le présente.

### Le tunnel Hydrodynamique TH8

Le tunnel hydrodynamique TH8 est une boucle d'essai en circuit fermé. La veine d'essai est la zone dans laquelle le modèle est installé.

### La veine d'essais

Elle comporte des hublots destinés à la visualisation des phénomènes mis en jeu et aux mesures laser. La taille de la veine d'essais est de 900mm par 900mm, sa longueur est de 3,20m. Le débit maximal des pompes est de 8m<sup>3</sup>/s, ce qui conduit à une vitesse maximum dans la veine de 10 m/s.

Le design du convergent d'entrée et de la veine a été particulièrement soigné pour garantir une homogénéité de la vitesse dans la veine dans la section d'essai

de l'ordre de 2% à l'endroit où les modèles sont installés. L'épaisseur des couches limites est de l'ordre de 2 à 3 cm en milieu de veine.

### Circuit

Le tunnel se développe sur trois étages du laboratoire. En effet, il est adapté pour régler des faibles pressions au niveau de la veine d'essais afin d'obtenir des conditions de cavitation des propulseurs en similitude. Par contre la pompe de circulation ne doit pas elle-même caviter. Pour obtenir cela, les pompes sont placées au sous-sol alors que la veine d'essais est au niveau du 2eme étage.

Le tunnel est équipé d'une cuve de grande dimension en aval de la zone de test. Cette cuve à surface libre permet, du fait d'un temps de séjour important, la décantation des bulles de cavitation transportées par l'écoulement. La cuve aval est raccordée à une pompe à vide à fort débit qui permet l'évacuation des gaz ainsi libérés mais aussi le réglage de la pression dans la veine d'essai par la dépressurisation ou la pressurisation générale de la boucle.

Après la cuve aval se trouvent les pompes, celles-ci sont à vitesse variable pour régler la vitesse de l'eau dans le tunnel.



# Le tunnel hydrodynamique TH8... Suite...

## par Philippe NOE

Au refoulement des pompes est installé le résorbeur, tuyau de grand diamètre (2,5 m) qui permet d'obtenir un temps de séjour de 35 s à la vitesse maximum ; ainsi, les éventuelles petites bulles qui pourraient subsister sont résorbées, d'autant plus rapidement que c'est la zone de l'installation où la pression est la plus élevée.

### Dégazage et germes de cavitation

Pour les essais de cavitation, il est indispensable de contrôler le nombre et la qualité des germes de cavitation de l'eau. Ces germes sont essentiellement des microbulles. Le tunnel doit donc permettre de dégazer totalement l'eau et d'injecter des microbulles en tailles et nombre connus. Pour cela, le TH8 est équipé d'un circuit complet d'injection de germes.

### Réglage des paramètres

Le réglage de la vitesse de l'eau est obtenu en jouant sur la vitesse des pompes du tunnel. La pression dans la veine est contrôlée par la pression de la cuve aval.

### La maquette du POD

Les PODs qui sont des nacelles orientables installées sous les navires sont des propulseurs particulièrement performants et intéressants car ils offrent une excellente manœuvrabilité aux navires qui en sont équipés.

Le CERG a testé sur son tunnel TH8 une maquette d'un tel POD pour en mesurer les caractéristiques hydrodynamiques.

Le modèle réduit testé est à l'échelle du 1/20<sup>ème</sup> ; c'est un propulseur caréné dont la tuyère a un diamètre de l'ordre de 250 mm. Il est équipé d'une motorisation électrique et d'un dynamomètre qui mesure le couple moteur fourni à l'hélice ainsi que la poussée générée par celle-ci. Ces mesures permettent de déterminer les performances propulsives de l'hélice.

Le mât du POD est fixé au plafond de la veine au travers d'une balance dynamométrique à six composantes. Un second moteur permet l'orientation du POD par rapport à l'axe de la veine. Il est ainsi possible de déterminer, dans toutes les situations de vitesse d'écoulement et d'angle d'orientation du POD, les efforts engendrés sur la coque du navire, y compris lors des transitoires de changement d'orientation.

Ces essais sont représentatifs des phases de giration du navire pendant lesquels le POD est orienté pour obtenir un effet directif. Un dispositif d'étanchéité a été spécialement développé qui permet l'orientation du POD tout en assurant un minimum d'efforts parasites sur la balance.

4

## Planning des formations 2011

### Récapitulatif des dates de stages...

**AVH1** : Les bruits et vibrations liés aux écoulements - CERG/Environne'Tech

**H1** : Initiation aux écoulements en charge - CERG

**H2** : Initiation aux écoulements à surface libre - CERG

**H3** : Pompes et coups de bélier - CERG

**H6** : Les stations de pompage - CERG

**H7** : Les turbines hydrauliques - CERG

**A1** : Acoustique automobile - Environne'Tech

**C1** : Essais climatiques - Environne'Tech

**C2** : Comprendre les normes - Environne'Tech

**V1** : Initiation aux essais vibratoires - Environne'Tech

**V2** : Pilotage des essais vibratoires - Environne'Tech

**V3** : Essais de chocs - Environne'Tech

**V4** : Essais mécaniques - Environne'Tech

**V5** : Mesures mécaniques - Environne'Tech

2011	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>AVH1</b>											22 - 24	
<b>H1</b>						06 - 10						05 - 09
<b>H2</b>										17 - 21		
<b>H3</b>			21 - 24							03 - 06	14 - 17	
<b>H6</b>						SUR DEMANDE						
<b>H7</b>									20 - 22	11 - 13		
<b>A1</b>												14 - 15
<b>C1</b>									28 - 29 - 30			
<b>C2</b>										26 - 27 - 28		
<b>V1</b>			16 - 17						21 - 22			
<b>V2</b>				20 - 21						19 - 20		
<b>V3</b>											23 - 24	
<b>V4</b>											30	1 <sup>er</sup> - 2
<b>V5</b>												7 - 8 - 9

## Contact

Pour tout renseignement : [www.cerg-fluides.com](http://www.cerg-fluides.com)  
ou contacter Christine LAMBERT :  
[christine.lambert@cerg-fluides.com](mailto:christine.lambert@cerg-fluides.com) - 04 76 40 91 44



CERG - Rue Lavoisier - 38800 LE PONT DE CLAIIX  
Tél. : 33 (0) 4 76 40 90 40 - Fax : 33 (0) 4 76 40 92 00 - [www.cerg-fluides.com](http://www.cerg-fluides.com)