

# MESURES POUR REDUIRE LA FORMATION DE “FUMÉE NEIGEUSE” DERRIÈRE LES POIDS LOURDS

Harald Norem, Lars Roar Sætran et Skuli Thordarson  
Université des sciences et techniques de Norvège (NTNU),  
7491 Trondheim, Norvège  
Tél.: +47 7359 4710/Fax: +47 7359 7020  
Courriel: Harald.Norem@bygg.ntnu.no

## Résumé

Par temps froids, quand une neige légère recouvre partiellement la chaussée, les poids lourds et autocars produisent des nuages de neige en suspension sur les côtés et à l’arrière des véhicules que l’on peut appeler “fumée neigeuse”. La fumée neigeuse réduit la visibilité et crée des conditions de circulation difficiles et dangereuses.

Afin de remédier aux problèmes liés à la formation de fumée neigeuse, l’on peut : (1) améliorer l’entretien hivernal des routes ; (2) introduire le salage sur toutes les routes ; (3) modifier la conception des poids lourds et autobus afin de diminuer la formation de fumée neigeuse. L’amélioration du déneigement et le salage sont des actions très utiles, mais ils sont probablement trop onéreux pour les routes à faible volume de circulation et dans les régions à climat froid.

Les efforts d’amélioration de la conception des poids lourds pour diminuer la fumée neigeuse devraient également viser à diminuer la résistance aérodynamique et la dispersion de saletés et gouttelettes d’eau.

Les essais effectués en soufflerie pour étudier l’utilisation de becquets sur les véhicules lourds indiquent que les becquets de type corniche situés en bas à l’arrière du camion donnent des résultats positifs aussi bien pour la fumée neigeuse que pour la résistance aérodynamique. Des effets positifs ont également été observés avec des becquets courbés placés en haut à l’arrière des poids lourds pour diriger le flux d’air vers le bas. Les essais seront poursuivis pour tester des configurations avec des becquets montés sur les parties frontales et latérales des camions.

## 1. Introduction

Par temps froids, quand une neige légère recouvre partiellement la chaussée, les poids lourds et les autocars génèrent de fortes contraintes de cisaillement le long de la chaussée, ce qui met la neige en mouvement. Dans le cas d’une circulation à grande vitesse, ce genre de neige en suspension, la “fumée neigeuse”, réduit radicalement la visibilité pour les véhicules roulant derrière. La mauvaise visibilité rend également dangereux le dépassement de ces poids lourds. Dans tous les pays nordiques, plusieurs graves accidents de la route se produisent à cause de ces conditions difficiles de circulation.

Pour étudier l’effet de la neige ainsi suspendue dans les sillages derrière les poids lourds, des essais en soufflerie ont été menés à l’Université des Sciences et Techniques de Norvège (NTNU).

Lors de la modélisation l’on a utilisé de la fumée pour enregistrer le schéma de circulation de la neige en suspension et la répartition des sillages. Les essais ont été menés pour tester différents types de becquets.

Le rapport présente le processus physique à l’origine de la formation de la fumée neigeuse, la visée des mesures compensatoires ainsi que les résultats des essais en soufflerie.

## 2. La formation de “fumée neigeuse”

Les problèmes liés à la fumée neigeuse se rencontrent généralement dans des régions au climat hivernal froid et où les routes ne sont pas traitées au sel au cours de l’hiver. Dans les pays scandinaves, le sel est seulement utilisé pour l’entretien des routes principales et lors de températures au-dessus de  $-6$  à  $-8^{\circ}\text{C}$ . La fumée neigeuse peut donc être considérée comme un problème généralisé dans toutes les régions avec un climat hivernal stable.

Dans ces régions, l’on trouve habituellement de la neige sur toutes les routes lors de températures en dessous de  $0^{\circ}\text{C}$ , même pendant des périodes sans précipitation. Cette neige consiste en de très petites particules incohérentes qui colle rarement à la chaussée ou sur la croûte de glace/neige de la route. Toute circulation sur ces routes engendre un mouvement de va et vient de ces petites particules à cause de la contrainte de cisaillement et des sillages générés dessous et derrière les véhicules qui circulent à grande vitesse.

Le nombre de particules et la hauteur à laquelle les particules sont soulevées dépend de l’énergie transférée du véhicule vers l’air environnant. La fumée générée par les voitures particulières est donc insignifiante comparée à la fumée neigeuse que l’on trouve derrière les camions et autocars. Cette fumée peut couvrir toute la largeur de la route et elle est située à une hauteur qui dépasse largement la hauteur des conducteurs. Les Figures 1 et 2 montrent clairement que la fumée neigeuse réduit la visibilité à presque zéro.

Les conditions de conduite derrière les poids lourds dans de telles situations sont fatigantes et souvent dangereuses. Les situations les plus dangereuses surgissent lors de dépassements de camions ou autocars. Les pays scandinaves enregistrent de graves accidents de la route dus à l’impatience des conducteurs qui tentent le dépassement des poids lourds malgré la mauvaise visibilité. Les accidents se produisent surtout sur les routes peu fréquentées sur lesquelles il est peu probable de rencontrer un véhicule dans la voie opposée.

D’autres problèmes sont également liés à la génération de puissantes fumées neigeuses : les sillages qui sont créés derrière les grands véhicules dispersent les agents anti-dérapants comme le sable et le sel et les saletés et gouttelettes d’eau dispersées se déposent sur les vitres et les phares.



**Figure 1.** Cette photographie d’un poids lourd qui arrive en face montre que le nuage de neige créée derrière le camion réduit la visibilité à presque zéro. (Crédit photographique : Dagfinn Moe, SINTEF, Trondheim)



**Figure 2. Réduction de la visibilité derrière les camions à cause de « fumée neigeuse ». Notez la silhouette du camion et la visibilité réduite sur la gauche. (Crédit photographique : Dagfinn Moe, SINTEF, Trondheim)**

### **3. Actions envisageables**

Afin de réduire les problèmes liés à la formation de fumée neigeuse, trois solutions différentes sont envisageables :

1. L'amélioration de l'entretien hivernale des routes afin d'éliminer la fine couche de particules de neige incohérentes de la chaussée.
2. Introduire le salage sur toutes les routes les jours où les problèmes se présentent.
3. La modification de la conception des véhicules lourds pour rediriger ou diminuer la formation de fumée neigeuse.

L'entretien hivernal des routes peut, dans une certaine mesure, être amélioré, mais jamais au point d'éliminer la totalité des petites particules de neige sur la route. En période de chute de neige ou lors d'un temps froid et stable, il y a toujours suffisamment de particules sur la route pour réduire la visibilité à presque zéro.

L'introduction du salage pour dégeler les routes secondaires est une question politique et économique. De plus, le sel traditionnel NaCl, ne peut être utilisé que jusqu'à une température de  $-8^{\circ}$  C. Les températures plus basses nécessitent l'utilisation de sels qui sont plus chers et plus nuisibles à l'environnement. L'on peut donc dire que les problèmes liés à la fumée neigeuse peuvent être diminués par le biais de l'amélioration de l'entretien hivernale des routes, mais ces actions sont cependant limitées.

L'idée à la base du présent rapport fut d'étudier les actions possibles dans le domaine de la conception des camions pour réduire les effets négatifs de la fumée neigeuse. Ceci peut être obtenu soit par

- la diminution du volume de particules mises en suspension par les sillages qui sont créés ; soit par
- le cheminement des particules vers la droite de la route

En modifiant la conception du poids lourd, il est souhaitable d'obtenir, en complément, une réduction de la résistance à l'air des poids lourds afin d'économiser le fuel et de réduire la dispersion

de saletés de la chaussée. Ceci n'est pas un objectif irréaliste puisque la formation de nuages de fumée neigeuse et la dispersion de saletés sont directement liés au transfert d'énergie des poids lourds vers l'air.

Les études préliminaires présentées dans ce rapport ont eu pour objet de tester l'utilisation de becquets montés sur la partie arrière des camions dans le but de mettre le moins possible de particules de neige en suspension et pour tenir les sillages à une hauteur minimale. A ce jour, les configurations avec becquets montés sur les parties frontale ou latérale des véhicules n'ont pas encore été testées.

Les becquets peuvent également servir à diriger le flux d'air vers la droite. Un effet adverse des becquets est que la vitesse du vent de la route devient si grande qu'elle représente un danger pour les piétons et les cyclistes qui se déplacent sur la droite de la route. Les mesures visant à réduire le danger pour une catégorie d'utilisateurs de la route ne doivent pas être appliquées au détriment de la sécurité routière des autres utilisateurs.

#### **4. La physique des fumées neigeuses**

##### *Les éléments physiques à analyser*

Pour étudier les fumées neigeuses, les éléments physiques les plus importants sont :

- Les contraintes de cisaillement qui agissent sur la chaussée et qui sont dues à la mise en mouvement de l'air par les camions.
- Les sillages créés par les fortes contraintes de cisaillement le long de la chaussée et l'entraînement de l'air au voisinage de la surface dans les sillages.
- La taille et le schéma de circulation des sillages qui sont créés sur les côtés et derrière les camions.

##### *La résistance aérodynamique des poids lourds*

La traînée est la résistance aérodynamique d'un camion. Sa direction est toujours parallèle et inverse à la direction du camion. La traînée est habituellement exprimé par un coefficient de traînée,  $C_D$ , et la traînée totale,  $D$ , est exprimé par l'équation suivante :

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 A$$

Où:             $\rho$ =densité de l'air  
                   $v$ =vitesse du camion  
                   $A$ =la zone exposée du camion (section transversale)

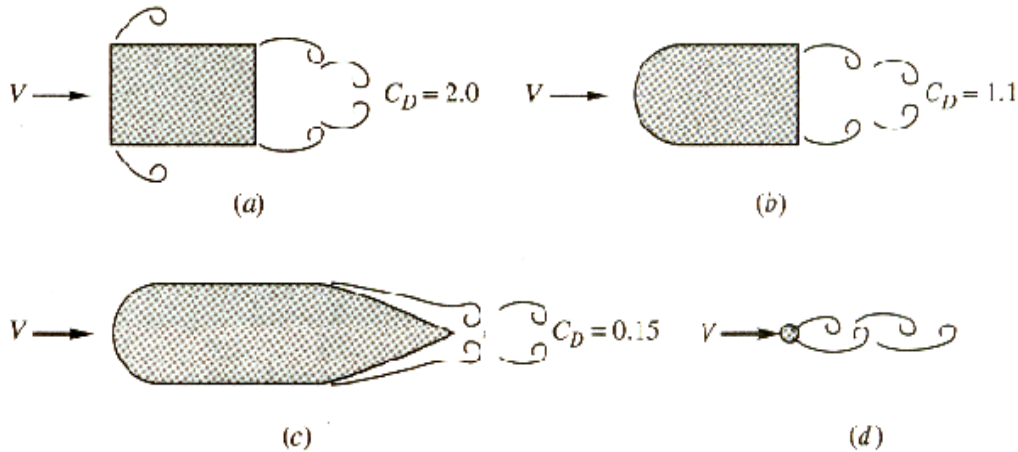
Le coefficient de traînée dépend pour beaucoup de la forme du véhicule, et dans une certaine mesure, de sa vitesse. Cependant, pour les vitesses de circulation concernées, le coefficient de traînée peut être considérée comme un constant et indépendant de la vitesse.

L'influence de la forme sur le coefficient de traînée est clairement montrée par la Figure 3, où le coefficient est donné pour différentes formes. Le cylindre rectangulaire dans la Fig. 3a a un  $C_D$  de 2,0. En arrondissant le nez le  $C_D$  peut être réduit de 45 % à 1,1. Une réduction complémentaire du  $C_D$  est seulement possible par un profilage plus aérodynamique de la partie arrière vers un bord de fuite pointu. Dans le cas présenté, le coefficient de traînée est réduit à 0,15 ou seulement 7,5 % du cylindre rectangulaire d'origine.

Le profilage arrondissant la partie frontale des véhicules pour diminuer le coefficient de traînée est effectué à l'aide d'un montage de becquets sur la partie supérieure des camions. L'utilisation de

becquets sur la partie arrière des camions est plus rare. Les coefficients de traînée typiques pour les autocars et camions sont respectivement 0,5-0,8 et 0,7-1,0.

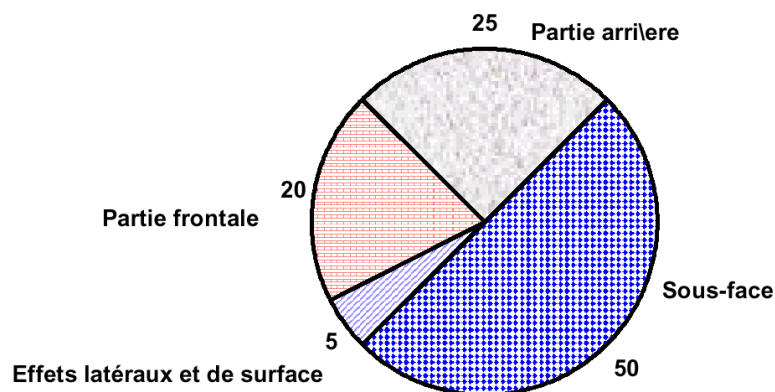
Le coefficient de traînée dépend également de l'espace libre entre la surface du sol et le camion. Généralement, le coefficient diminue avec la réduction de l'espace. Ceci est dû à l'augmentation des gradients de vitesse et la formation de tourbillons latéraux due à la canalisation de l'écoulement de l'air dans l'espace libre entre la surface de la route et le camion. La traînée de la sous-face du camion peut être réduite avec un profilage plat ou par le montage de lamelles sur les côtés du véhicule.



**Figure 3. L'importance du profilage aérodynamique des véhicules pour diminuer le coefficient de traînée. (a) cylindre rectangulaire (b) nez arrondi (c) nez arrondi et bord de fuite aérodynamique (d) cylindre circulaire avec la même traînée que le cas c. (White 1994)**

La contribution relative des différentes parties du camion pour le coefficient de traînée est montrée dans la Fig 4. Seulement 5 % et 20 % de la traînée proviennent de la surface et de la partie frontale du camion, les parties les plus importantes sont la partie arrière et la sous-face avec respectivement 25 % et 50 %.

**Répartition de la contribution au coefficient de traînée pour les camions**



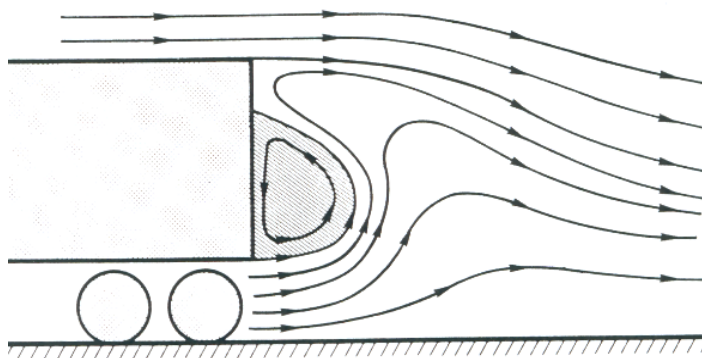
**Figure 4 La contribution relative sur le coefficient de traînée pour les différentes parties du camion. (Filippone 2000)**

## La formation de sillages

La traînée est principalement due à l'entraînement de l'air par le camion. Ce transport des masses d'air est principalement dû à la formation de sillages. Les sillages sont généralement formés par les modifications abruptes dans le design du véhicule au-dessus des pare-brises, sur les côtés du véhicule et à l'arrière. A l'endroit de la rupture du flux, les écoulements d'air sont emportés dans des sillages à rotation. Après un court instant, ils sont relâchés dans le flux libre et de nouveaux sillages sont créés. Les zones de sillage sont facilement détectées en observant les endroits où les saletés de la route se déposent sur le camion. En hiver, les zones de sillage peuvent également être retrouvées en observant l'emplacement des particules de neige en suspension.

Les sillages qui se forment sur les côtés et à l'arrière du camion sont d'un intérêt particulier pour ce projet. Sur la face frontale du camion s'opère une pression d'arrêt qui fait que l'air est poussé par-dessus, vers les côtés et par-dessous le camion. En complément, la friction entre l'air et le camion met les masses d'air sous le camion en mouvement. Ces deux phénomènes créent une augmentation de la pression sous le camion et une partie de l'air est ainsi poussée vers les côtés. Cela produit une séparation et une formation de sillages le long des côtés du camion. La formation de sillages apparaît clairement dans la figure 1 où on voit que la fumée neigeuse est poussée vers les côtés et réduit totalement la visibilité sur la voie de circulation opposée.

Les mécanismes d'écoulement à l'arrière des camions ont été étudiés par Mason et Beebe (1978). Ils ont démontré qu'une partie du flux d'air qui passe sous le camion est emportée dans de grands sillages qui se créent derrière le camion et une partie de l'air suit la surface par un courant descendant, fig. 5. La partie inférieure de la masse d'air pris dans le sillage présente un flux inverse à proximité de la surface arrière et l'air de la partie supérieure du sillage est emporté par l'écoulement du dessus du camion. Les particules de neige situées sur la surface de la route sont mises en suspension par leur entraînement dans le sillage et sont ainsi soulevées à des hauteurs importantes.



**Figure 5. Image d'écoulement à l'arrière des camions. (Mason et Beebe 1978)**

### 5. Essais effectués avec becquets

L'utilisation de becquets a plusieurs objectifs, dont les principaux sont :

- Diminuer de la traînée
- Réduire le dépôt de saletés sur les vitres arrières.
- Prévenir la projection de poussières de la chaussée.

Les effets de l'installation de becquets sur les camions sont résumés dans les paragraphes suivants :



- *Becquets sur la face frontale du camion*

Les becquets sont souvent utilisés sur les voitures de course. Le but est d'augmenter la pression sur les roues avant plutôt que de diminuer la traînée. L'efficacité de ces becquets pour diminuer la fumée neigeuse n'a pas fait objet d'études au préalable, ce qui pourrait être intéressant. L'hiver dernier, un certain nombre d'essais pratiques ont été effectués en Norvège à l'aide d'un camion chasse-neige dont le dispositif de chasse était soulevé à 10 cm au-dessus de la chaussée. Les essais ont montré qu'une partie considérable des particules de neige mobiles sur la chaussée étaient chassées de la route et déposée à un demi-mètre de la route. Ces essais seront poursuivis par modélisation et observations in situ. Le rapport de Hucho (1987) indique que les jupes montées devant l'essieu avant réduit la dispersion de saletés par les roues avant. Cependant, ces jupes augmentent légèrement la traînée.

- *Becquets en haut sur la face arrière*

Les becquets sont également utilisés sur les autocars et véhicules familiaux pour éviter le dépôt de saletés sur la vitre arrière. Ces becquets tendent à augmenter la traînée, (Hucho 1987). Une utilisation particulière de ces becquets est montrée dans la Fig. 6, qui illustre un camion d'entretien des routes équipé d'un becquet pour éviter le dépôt de neige sur le disque de salage.



**Figure 6. Camion d'entretien des routes équipé d'un becquet pour éviter le dépôt de neige sur le disque de salage. (Photographie Thordarson)**

- *Becquets en bas sur la face arrière*

Les camions sont parfois équipés d'une plaque à l'arrière pour réduire l'espace libre entre la chaussée et le camion afin d'éviter la projection de poussières et de gouttelettes par les pneus. Ces plaques engendrent des sillages plus puissants et augmentent leur rotation au voisinage du sol. Les plaques ont ainsi pour effet d'augmenter la traînée, et augmenteraient probablement aussi le nombre de particules de neige mises en suspension.

Un autre type de becquets testés en soufflerie pour être utilisés sur les camions sont les becquets en forme de corniche, qui sont montés en prolongement d'une ou de plusieurs faces. L'utilisation de ces becquets donne une petite mais perceptible réduction de la traînée.

- *Jupes latérales*

La conception actuelle des autocars et camions comprend l'utilisation de jupes ou de profilages latéraux. Les essais ont démontré que ces dispositions diminuent de façon significative la traînée et la dispersion de saletés. (Hucho 1987). Ces améliorations sont le résultat d'une surface plus uniforme mais aussi d'une réduction de la formation de sillages le long des côtés du camion. Ces dispositions ont probablement aussi un effet positif important sur la formation de fumées neigeuses étant donné que le volume d'air dans les sillages latéraux est diminué.

## 6. Techniques de modélisation

Les essais sur modèle physique ont été réalisés dans la soufflerie du Département des dynamiques mécaniques, thermiques et des fluides de l'Université des sciences et techniques de Norvège. La soufflerie a les dimensions suivantes : longueur 12,5 m ; hauteur 1,8 m et largeur 2,7 m. La vitesse du vent peut aller de 0,5 à 30 m/s.

Le camion modèle était une boîte rectangulaire mesurant, 1,5 m de long, 0,6 m de haut et 0,4 m de large, et la modélisation était faite à l'échelle 1:5. La vitesse du vent au cours des essais était de 5 m/s, ce qui correspond à une vitesse réelle de 18 m/s. Cette faible vitesse de vent fut choisie pour obtenir de bonnes conditions de visualisation. Il est supposé que la faible vitesse du vent est sans influence pour les résultats, étant donné que les essais sont toujours effectués dans l'étendue du nombre de Reynold où le coefficient de traînée est constant. Le nombre de Reynold était  $5 \cdot 10^5$ .

Il est important lors d'essais sur modèle réduit de prouver que les couches limites sont modélisées correctement. Le modèle fut placé sur un faux sol surélevé pour obtenir les meilleures conditions possibles, et il fut prouvé que le rattachement du flux était obtenu à l'arrière du camion modèle.

Le comportement de l'écoulement et l'existence de sillages étaient visualisés à l'aide de fumée introduite à des endroits différents. La fumée était rendue visible à certaines sections à l'aide d'éclairages laser de l'écoulement sur certaines tranches. Tous les tests ont été photographiés pour présenter les résultats des différentes configurations.

Vu que la vitesse de déposition des particules de neige est très petite, la fumée peut être considérée comme un outil adéquat. L'on peut ainsi supposer que les différences de densité et de vitesse de déposition à l'intérieur du nuage de fumée sont sans effet pour les résultats.

Au total, quatre différentes configurations ont été testées, dont trois sont présentées :

1. Camion modèle sans becquet (Figure 7)
2. Becquet courbé placé en haut à l'arrière pour diriger le courant du dessus vers le bas (Figure 8)
3. Becquet courbé en bas à l'arrière pour diriger le courant vers le haut.
4. Becquet courbé placé en haut à l'arrière et becquet corniche en bas à l'arrière (Figure 9)

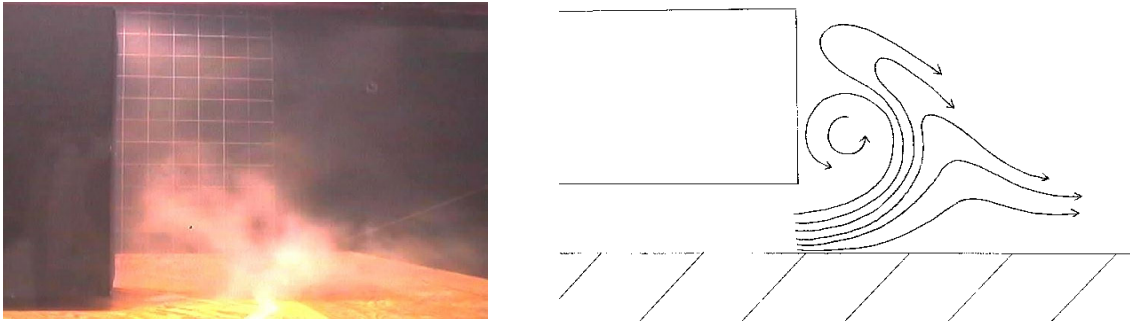
Une série de photographies et d'esquisses ont été réalisées pour chaque configuration pour décrire les mécanismes du comportement des écoulements.



## 7. Résultats de la modélisation

### *Test 1. Sans becquet*

Les tests sans becquet montrent clairement comment le flux d'air sous le camion est emporté dans le sillage à l'arrière du camion et que l'air au voisinage du sol est soulevé au moins jusqu'à la mi-hauteur du camion. Les résultats des tests rejoignent les résultats présentés par Mason et Beebe (1978)



**Figure 7. Résultats des tests sans becquets. Photographie et aérodynamique supposée. (Mælum 2000)**

### *Test 2. Becquet courbé en haut sur la face arrière*

La configuration avec un becquet courbé placé en haut à l'arrière du camion est similaire à celle des autocars sur lesquelles les becquets sont utilisés pour éviter le dépôt de saletés sur la vitre arrière. Un becquet similaire est montré dans la fig. 6. L'idée principale de cet essai était de vérifier si le becquet était efficace pour amener le sillage à un niveau plus bas. Le volume de neige en suspension au niveau des yeux des conducteurs serait alors réduit.

Les résultats présentés dans la figure 8 montrent clairement que le becquet génère un écoulement descendant puissant ainsi qu'une petite réduction de la taille du sillage. Le volume de fumée emporté dans le sillage est également réduit. Les modélisations avec emplacement de becquets en haut à l'arrière semblent donc prometteurs.

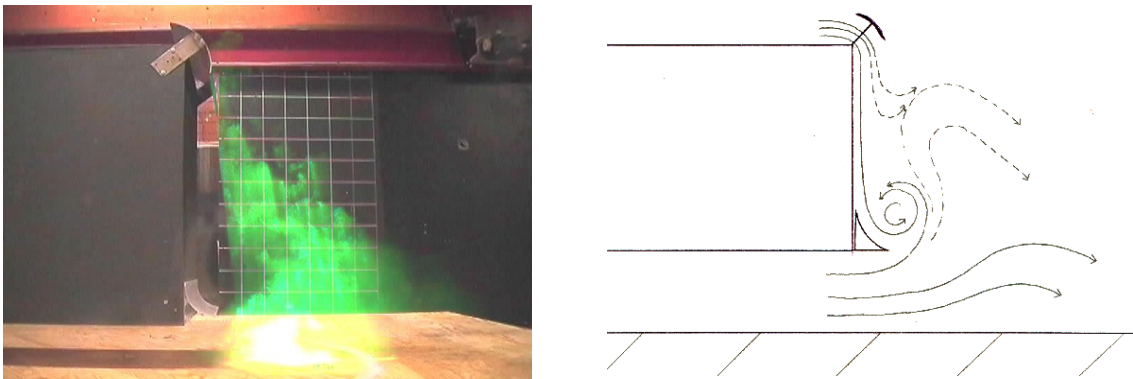


**Figure 8 Résultats des tests avec becquet en haut à l'arrière. Photographie et aérodynamique supposée. Les lignes pointillées représentent les écoulements d'air faibles. (Mælum 2000)**

### *Test 3. Becquet courbé en haut et becquet corniche en bas sur la face arrière*

Le deuxième test avec becquet était effectué avec un becquet courbé placé en haut de la face arrière du camion et un becquet corniche en bas à l'arrière, Fig. 9. Les becquets corniches sont réputés diminuer la traînée puisqu'ils génèrent des tourbillons verticaux dans le sillage à proximité du camion, et réduit ainsi la tendance au relâchement fréquent des tourbillons générés.

Les résultats de cette configuration sont assez prometteurs. Le becquet corniche permet au flux d'air de dépasser le camion pour être amené dans un sillage à une distance plus éloignée du véhicule où l'intensité des sillages est plus petite. Il semble donc que le becquet supérieur a un effet positif sur la réduction de la taille des sillages et que les sillages sont tenus à un niveau plus bas.



**Fig. 9 Résultats des tests avec becquet courbé en haut et becquet corniche en bas. Photographie et aérodynamique supposée. (Mælum 2000)**

## **8. Conclusions**

Les résultats présentés dans ce rapport sont basés sur des essais préliminaires par modélisation en soufflerie. La suite des essais donnera probablement des connaissances plus approfondies sur la physique des « fumées neigeuses », étant donné que d'autres configurations de becquets restent à analyser. Les essais les plus importants à réaliser sont les configurations avec jupes frontales et avec protections latérales. Cette dernière donne une amélioration significative de la traînée et a probablement le même effet sur la fumée neigeuse.

Restent également à tester les configurations avec becquets destinés à diriger la neige hors la route. Ces tests pourraient vérifier les résultats des tests effectués sur site qui indiquent que l'utilisation de jupes ou becquets sur les camions contribue à éliminer la neige mobile de la chaussée.

Les résultats des essais déjà effectués par modélisation indiquent que certains becquets ont un effet positif sur la visibilité derrière les camions et autocars.

## **Remerciements**

La présente étude a été menée dans le cadre du sous-projet Winter Maintenance du programme de recherches de l'Union européenne appelé "ROADX". Le projet est financé en partie par le programme Northern Periphery soutenu par l'UE (ERDF, Article 10), et en partie par les administrations routières en Finlande, en Suède, en Norvège, en Islande et en Ecosse.

Monsieur Mikkel Mælum a réalisé les modélisations dans le cadre d'un projet Ms.

## Références

Hucho, W.H., (1987)  
Aerodynamics of Road Vehicles. Butterworth – Heinemann Ltd, London.

Filippone, A. (2000)  
<http://www.aerodyn.com>

Mason, W., Beebe, P., (1978)  
The drag related flowfield characteristics of trucks and buses.  
General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan.

Mælum, M. (2000)  
Wind tunnel experiments with spoilers on trucks (In Norwegian).  
Ms-thesis, NTNU, Trondheim

White, F.M., (1994)  
Fluid Mechanics, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw – Hill Book Company Inc.