

**Recherche bibliographique
sur les phénomènes de
brouillard et d'éclaboussure
générés par les véhicules lourds**

par

M. Louis-Philippe Bibeau & Prof. Guy Dumas

avec la collaboration de

Prof. Jean Lemay & M. Louis Lamontagne

Rapport présenté à
Monsieur Mario Bussières
Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Le 8 mai 1997

Laboratoire de Mécanique des Fluides
Université Laval, Québec

**Recherche bibliographique
sur les phénomènes de
brouillard et d'éclaboussure
générés par les véhicules lourds**

par

M. Louis-Philippe Bibeau & Prof. Guy Dumas

avec la collaboration de

Prof. Jean Lemay & M. Louis Lamontagne

Rapport présenté à
Monsieur Mario Bussièeres
Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Le 8 mai 1997

Laboratoire de Mécanique des Fluides
Université Laval, Québec

Table des matières

1	Introduction	3
2	Importance	3
3	Distinctions physiques entre l'éclaboussure et le brouillard	4
3.1	L'éclaboussure	4
3.2	Le brouillard	4
4	Mécanismes	5
5	Essais expérimentaux	9
5.1	Les essais routiers	9
5.1.1	Impact de l'orientation et de la direction des vents	10
5.1.2	Impact de l'épaisseur du film d'eau	10
5.1.3	Luminosité (MTI)	10
5.1.4	État de la chaussée et des pneus	13
5.1.5	Pré-arrosage	13
5.1.6	La conduite du véhicule	13
5.1.7	Mises en garde de la SAE	13
5.2	Essais en soufflerie	14
6	Réduction du brouillard: Solutions existantes et futures	16
7	Conclusion	22

Liste des Figures

1	Effet de la vitesse sur la taille maximale des particules en suspension (Kirsh [7]).	4
2	Différentes sources de génération du brouillard et d'éclaboussure selon Weir [8].	5
3	Contribution mesurée de chacun des essieux lors de tests sur route réalisés par Weir [8].	6
4	Estimation approximative pour un cas particulier de Weir [8] de la contribution des différents mécanismes de génération de brouillard et d'éclaboussure, et des interactions entre ceux-ci.	7
5	Concentrations estimées par Weir [8] selon l'équation de Pasquill et Gifford. Vue de derrière du camion, juste en arrière des essieux doubles. Les concentrations sont en g/m^3 [8].	8
6	Concentrations estimées par Weir [8] selon l'équation de Pasquill et Gifford. Vue du dessus du camion à une hauteur de 1 mètre. Les concentrations sont en g/m^3 . [8].	8
7	Vue du dessus du montage expérimental proposé par la SAE [18] pour la MTI (Méthode par Traitement d'Images). Le dessin n'est pas à l'échelle.	11
8	Vue latérale du montage expérimental avec les deux méthodes, MTI et MPL. Le dessin n'est pas à l'échelle.	12
9	Vue transversale des montages expérimentaux pour la MTI et la MPL. Le dessin n'est pas à l'échelle.	12
10	Champs de pression obtenus en soufflerie [12] autour d'un modèle (a) à 0° d'incidence, et (b) à 20° d'incidence.	15
11	Système "Reddaway" [12]	16
12	Système "Baffle" ou jupe latérale [12]	17
13	Système "Gap" ou obstructeur [12]	17
14	Système "Angleside" ou déviateurs latéraux [12]	18
15	a) Système "Roberts" [14,16] , b) Système "Européen" [8,12]	18
16	a) "Astroturf" [20], b) Exemple d'un système collecteur [21]	18
17	Tableau-synthèse traduit de [8] des différents mécanismes mis au point durant les années '70 — Partie I.	19
18	Tableau-synthèse traduit de [8] des différents mécanismes mis au point durant les années 70 — Partie II.	20
19	Comparaison de l'efficacité relative de différents mécanismes testés lors d'une même série d'expérimentations [8].	21

1 Introduction

La présence des véhicules de transport lourds engendrent de nombreux désagréments et dangers aux véhicules plus "légers" qui occupent la route. Il est possible de distinguer trois types de perturbations reliées à la présence des véhicules lourds et qui peuvent représenter un danger pour les autres conducteurs. Un premier type concerne l'écoulement aérodynamique aux alentours des trains routiers. Selon plusieurs auteurs, ce type de perturbations est de loin le plus dangereux. Il peut entraîner une perte de contrôle du véhicule plus léger. Ce type de perturbation dépend grandement de la distance et de la position relative entre la voiture et le camion. Deux autres types de perturbations sont engendrés par temps humide. Le premier est l'éclaboussure ("splash") et le deuxième, le brouillard ("spray"). Ce rapport vise à mettre en relief l'importance de ces deux phénomènes, de les caractériser par leurs propriétés physiques, de distinguer leur origine, d'introduire les méthodologies expérimentales, de mesurer et de présenter succinctement les solutions possibles existantes et futures.

2 Importance

Le danger du brouillard et de l'éclaboussure réside dans la perte de visibilité ressentie par les conducteurs au moment du dépassement d'un camion lourd. Certaines études sont disponibles, mais elles ont été incapables pour la plupart de démontrer hors de tout doute statistique l'implication de ce phénomène.

1. *Michigan, 1960 [1]*: 2 % de tous les accidents seraient dûs au brouillard et à l'éclaboussure.
2. *Angleterre, 1966 [2]*: 1.3 % de tous les accidents qui surviennent par temps humide sur les autoroutes à 3 voies pourraient être causés par le "splash and spray".
3. *Finlande, 1972 [3]*: 10.7 % de tous les accidents sont causés par une perte de visibilité.
4. *Angleterre, 1973 [4]*: 7000 accidents seraient causés par une diminution de la visibilité due au brouillard et à l'éclaboussure.
5. *Angleterre, 1980 [5]*: La réduction du "splash and spray" pourrait apporter une réduction de 2000 accidents par année, approximativement 10 % de l'ensemble des accidents par temps humide.

De son côté, Wright [6] a démontré que la perte de contraste visuel pouvait diminuer dangereusement la distance à laquelle les conducteurs peuvent apercevoir et distinguer la présence d'un autre véhicule. Cette étude suggère que la perte de contraste est fortement corrélée avec l'intensité lumineuse mesurée par un système de lasers et de photo-diodes.

3 Distinctions physiques entre l'éclaboussure et le brouillard

3.1 L'éclaboussure

L'éclaboussure provient directement de l'impact du pneu sur une flaque d'eau, forçant ainsi l'eau à l'extérieur de la trajectoire du pneu. Habituellement, l'éclaboussure est constituée de particules d'eau de plus de 1 mm de diamètre qui sont alors projetées à une faible hauteur et de manière parabolique.

3.2 Le brouillard

Le brouillard est plutôt causé par la suspension de fines gouttelettes d'eau dans le sillage du camion. Habituellement, le diamètre de ces gouttelettes est inférieur à 0.5 mm. Pour demeurer en suspension, une gouttelette doit être entraînée dans un courant d'air suffisamment intense pour générer une traînée sur la gouttelette qui contrebalance son poids. Plus un camion roule vite, plus l'écoulement turbulent qu'il génère est intense. D'après Kirsh [7], la dépendance entre ces deux paramètres, vitesse du camion et grosseur maximale des gouttelettes, prend la forme (qualitative) illustrée à la FIGURE 1.

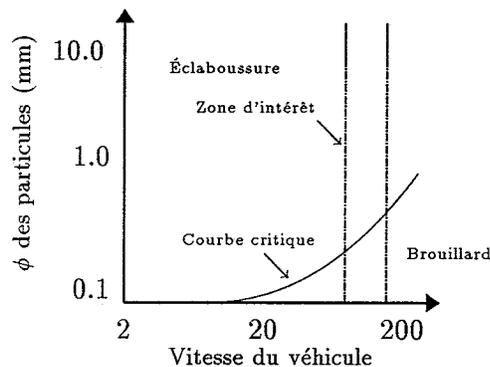


Figure 1: Effet de la vitesse sur la taille maximale des particules en suspension (Kirsh [7]).

Selon Weir [8], il est possible de regrouper les différents facteurs qui sont susceptibles d'influencer la sévérité du brouillard et de l'éclaboussure de la façon suivante:

1. l'écoulement autour du camion et plus particulièrement autour des roues. Celui-ci est principalement affecté par:
 - i la vitesse du véhicule
 - ii sa géométrie
2. le type de pneus et leur usure
3. l'état de porosité de la chaussée
4. la quantité et la répartition de l'eau sur la chaussée

4 Mécanismes

Les phénomènes de brouillard et d'éclaboussures sont directement reliés à l'interaction entre les pneus du camion et le film d'eau sur la chaussée. Lors du passage sur une voie détrempee, il est possible de distinguer plusieurs types d'interactions et leur importance relative en tant que contributeur à l'un ou l'autre des deux phénomènes.

Dans la littérature, il semble que Weir [8] fasse figure de pionnier dans ce domaine. Les mécanismes décrits ci-dessous et présentés à la FIGURE 2 sont tous tirés de cette référence.

1) Les jets latéraux

Ces vagues proviennent directement du passage de la roue dans une grande quantité d'eau. Une partie importante du liquide se trouve projetée sur les côtés et forme la très grande majorité de l'éclaboussure.

2) Le jet frontal

Elles proviennent du liquide qui n'a pas pu s'échapper de manière latérale. Elles peuvent être soulevées par l'écoulement, probablement turbulent autour de la roue, et favoriser ainsi la création du brouillard. Son effet est cependant considéré comme étant mineur.

3) Le jet arrière

Cette vague peut créer soit du brouillard soit de l'éclaboussure tout dépendant de sa trajectoire. En effet, si la vague frappe une surface lisse ou une autre roue, elle se retrouve atomisée et emportée par l'écoulement d'air, constituant ainsi la source la plus importante de brouillard.

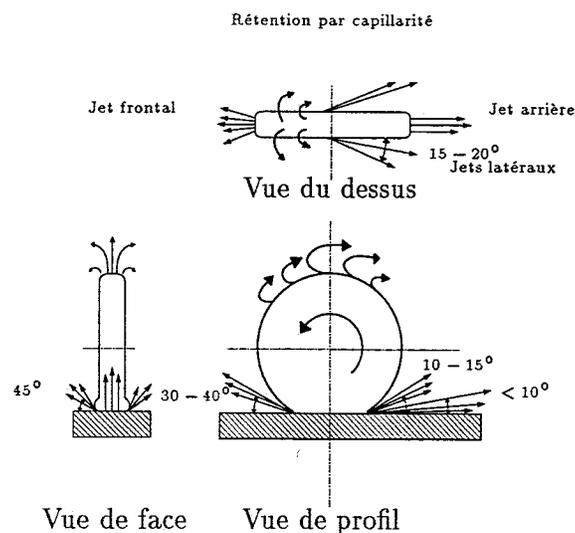


Figure 2: Différentes sources de génération du brouillard et d'éclaboussure selon Weir [8].

4) La rétention des pneus

Une certaine quantité d'eau se retrouve emportée par capillarité dans les sillons des pneus.

Celle-ci peut-être éjectée de manière radiale puis entraînée par l'écoulement autour du pneu. Ce phénomène ne serait à l'origine que de 1 % du brouillard émis [8].

La production du brouillard par les mécanismes cités ci-dessus dépend en plus de la position des essieux (avant versus arrière), de l'écoulement d'air autour de ceux-ci et enfin des interactions entre les différents essieux. Par exemple, le jet arrière peut venir frapper un essieu postérieur du tracteur. En fait, à cause de la proximité de surfaces planes (réservoirs), de la présence de certains écoulements entre la cabine et la remorque et de l'interaction des essieux doubles, il est plausible de conclure que les deux essieux arrières du tracteur sont les principales sources de brouillard. Ce brouillard ainsi généré est ensuite transporté dans le sillage du tracteur et de sa remorque. Cette conclusion est obtenue par Weir [8] et les FIGURES 3 ET 4 montrent de manière très schématisée la provenance et l'importance relative des quantités d'eau soulevées pour le cas particulier illustré (mais relativement général) considéré.

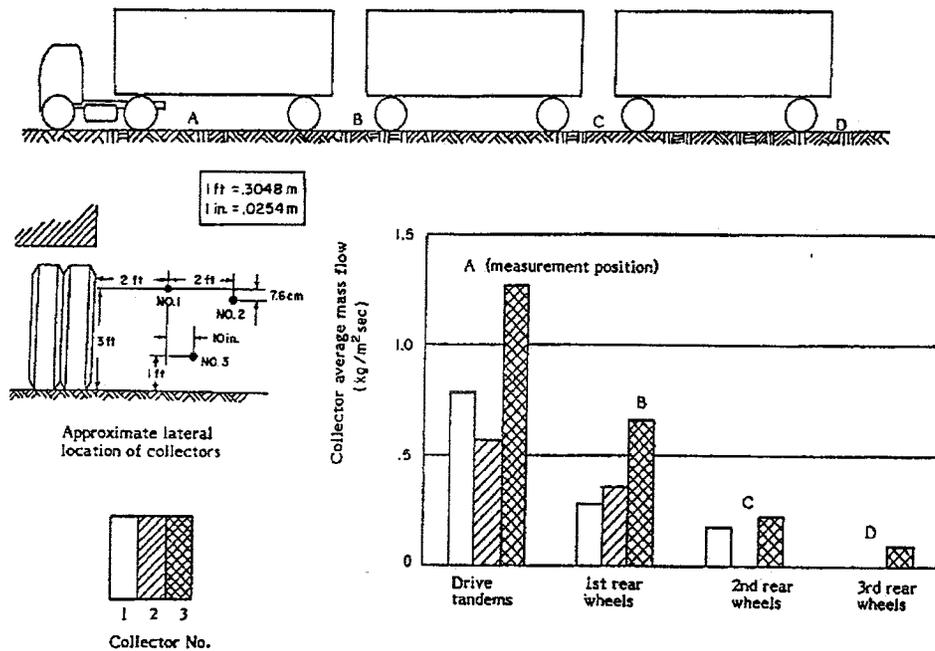


Figure 3: Contribution mesurée de chacun des essieux lors de tests sur route réalisés par Weir [8].

Il est possible de modéliser chacune de ces sources comme des jets et, à partir de l'équation de Pasquill et Gifford, d'obtenir un premier estimé des concentrations et de l'étendue du brouillard [8] (FIGURES 5 ET 6). Les résultats sont dans les ordres de grandeur du phénomène observé lors de tests sur route mais sans plus. Ils représentent néanmoins l'idée globale de la forme du brouillard mais il serait surprenant de pouvoir modéliser de manière exacte les caractéristiques du brouillard à cause de la multitude des géométries possibles des trains routiers et de la complexité de l'écoulement.

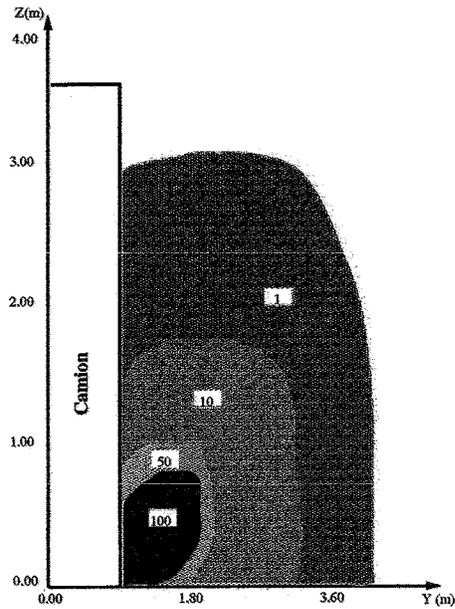


Figure 5: Concentrations estimées par Weir [8] selon l'équation de Pasquill et Gifford. Vue de derrière du camion, juste en arrière des essieux doubles. Les concentrations sont en g/m^3 [8].

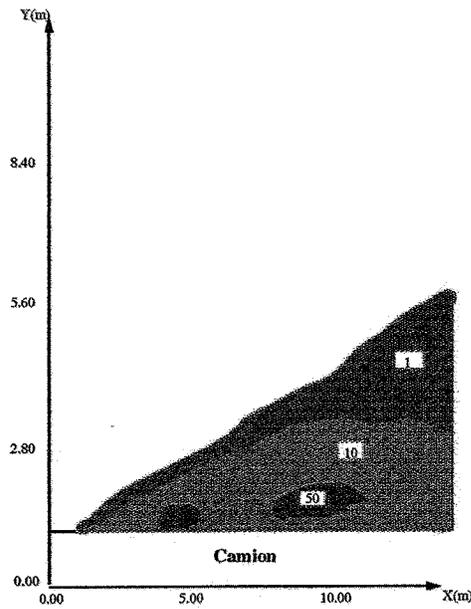


Figure 6: Concentrations estimées par Weir [8] selon l'équation de Pasquill et Gifford. Vue du dessus du camion à une hauteur de 1 mètre. Les concentrations sont en g/m^3 , [8]

5 Essais expérimentaux

Tous les essais expérimentaux rapportés dans la littérature et concernant les phénomènes de brouillard et d'éclaboussure ont été des essais routiers grandeur nature. Dans ce type d'investigation, on s'intéresse à la mesure (indirecte) de la "perte de visibilité" associée à l'existence d'un brouillard autour du camion-remorque. La section 5.1 est entièrement consacrée aux essais routiers.

Un deuxième type d'essais expérimentaux est présenté brièvement en 5.2. Il s'agit des essais en soufflerie avec un modèle réduit de camion-remorque. Ces essais, à ce jour, ne concernent pas directement le phénomène de brouillard mais visent plutôt à mieux comprendre l'écoulement d'air autour de ces longs corps non-profilés que sont les trains routiers. Comme l'écoulement aérodynamique joue un rôle très important dans la distribution spatiale du brouillard, ce type d'études peut éventuellement soutenir le développement de mécanismes anti-éclaboussures basés sur un contrôle de l'aérodynamique du camion-remorque. Cet aspect de la littérature n'est cependant pas revu de façon exhaustive ici pour le moment.

5.1 Les essais routiers

Inspirée des travaux antérieurs, principalement ceux de Weir [8], la SAE [18] propose deux types d'essais routiers permettant de mesurer la réduction de visibilité reliée à la présence de brouillard. Ces différents protocoles résument bien l'historique et les connaissances actuelles dans le domaine. Les grandes lignes des procédures SAE sont donc présentées dans cette section.

Il est généralement admis, et ceci est une prémisses importante ici, que la perte de contraste est la principale cause de la perte d'accuité visuelle qui, dans le contexte routier, peut conduire à une mauvaise perception des dangers et des autres véhicules.

Dans la procédure SAE, on propose de mesurer la "réduction de visibilité" par l'une ou l'autre de deux techniques:

1. Par des images (vidéo ou photographique) d'un fond quadrillé noir et blanc prises à travers le brouillard. Il s'agit d'une mesure directe de la perte de contraste. Cette méthode sera dénotée ici **MTI**, i.e., Méthode par Traitement d'Images.
2. Par un système de photomètres et de laser que l'on dénotera ici par **MPL**, i.e., Méthode Photomètres/Laser.

On doit noter que la MPL ne mesure pas directement la perte de contraste mais plutôt "l'opacité du nuage". Bien qu'aucune étude formelle n'ait été relevée sur la question, il semble accepté que cette mesure (MPL) soit bien corrélée avec la perte de contraste, et donc avec la réduction de visibilité. Une démonstration plus rigoureuse de la relation entre la MTI et la MPL reste cependant à faire.

Les "montages expérimentaux" associés à chacune des deux méthodologies sont schématisés sur les FIGURES 7, 8 ET 9. De manière générale, on y retrouve:

- un circuit routier
- une section de pré-arrosage avec un premier oeil électronique permettant de prendre une image de référence (MTI)
- une section d'essai avec les caméras ou les lasers, et un anémomètre pour mesurer la vitesse du vent. Un autre oeil électronique permet de déclencher la prise d'images. Le laser prend quant à lui les mesures en continu. Cette section se termine par un pavé noir optionnel (qui empêche les reflets du soleil pour la méthode MTI), et les "cibles", i.e., les photo-diodes ou les panneaux quadrillés selon le cas.

Ces types de montage sont très sensibles aux conditions atmosphériques et routières, et malheureusement, le vent et l'épaisseur du film d'eau sur la chaussée sont deux facteurs difficilement contrôlables. Certains expérimentateurs ont plus ou moins réussi à les contrôler en réalisant les essais en plaine désertique (les vents étant alors beaucoup plus faibles et constants qu'en milieu plus accidenté [8]).

On vise ci-dessous à faire la synthèse objective (non-critique) des principaux facteurs expérimentaux des essais routiers tels que discutés dans la procédure SAE.

5.1.1 Impact de l'orientation et de la direction des vents

Selon la SAE, le vent devrait être inférieur à environ 16 km/h et être orienté si possible dans l'axe du banc d'essai. Le brouillard est particulièrement sensible à ce facteur. Les particules en suspension peuvent être rapidement déplacées et ainsi induire d'importantes erreurs expérimentales. Les procédures SAE donnent différentes méthodes pour corriger un vent plutôt fort (plus de 16 km/h) et transversal en ne prenant qu'un seul des deux panneaux (celui vers lequel le vent souffle).

5.1.2 Impact de l'épaisseur du film d'eau

Évidemment l'épaisseur du film d'eau influence grandement l'intensité et l'étendue du brouillard et de la région éclaboussée. La SAE propose qu'un film d'environ 0.5 à 1.3 mm est souhaitable, permettant ainsi de mettre l'emphase sur la mesure du brouillard et non de l'éclaboussure. Pour assurer une uniformité du film d'eau, il est recommandé qu'un délai de 3 minutes soit respecté entre chacun des essais. En plus de cette précaution, le film devrait être mesuré à 6 endroits différents à tous les 4 essais, permettant ainsi de paramétrer et éventuellement contrôler le mieux possible ce facteur expérimental.

5.1.3 Luminosité (MTI)

Pour les mesures de contraste avec images digitales, l'intensité du brouillard est associée à la différence de la luminosité du blanc par rapport à celle du noir. Durant l'essai, cette différence de luminosité est diminuée par le brouillard. Il faut donc s'assurer selon la SAE qu'une image de référence (juste avant le passage du camion) soit prise pour pouvoir quantifier correctement cette diminution de luminosité (niveau de luminosité ambiante et effet de l'orientation de la lumière incidente).

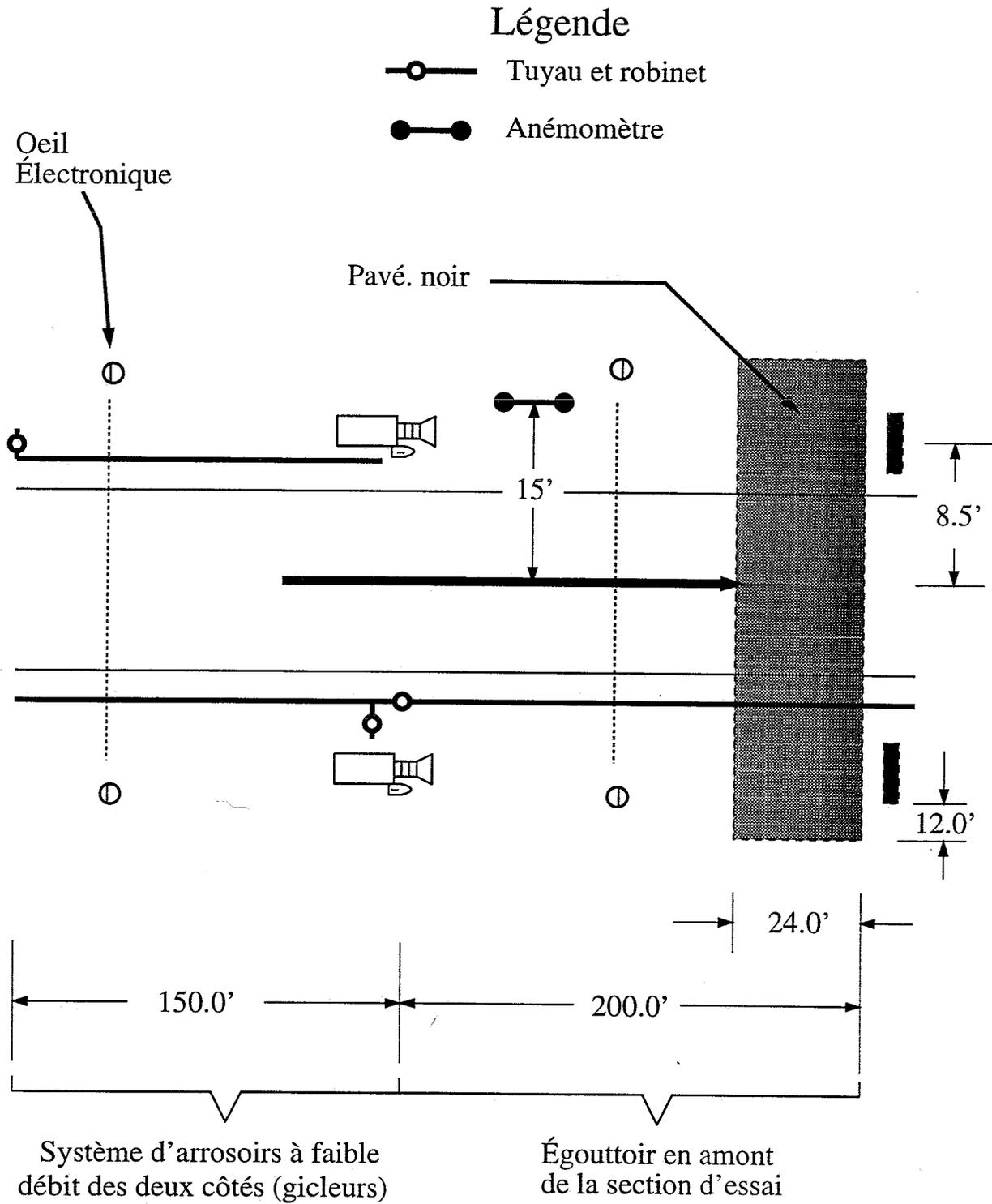


Figure 7: Vue du dessus du montage expérimental proposé par la SAE [18] pour la MTI (Méthode par Traitement d'Images). Le dessin n'est pas à l'échelle.

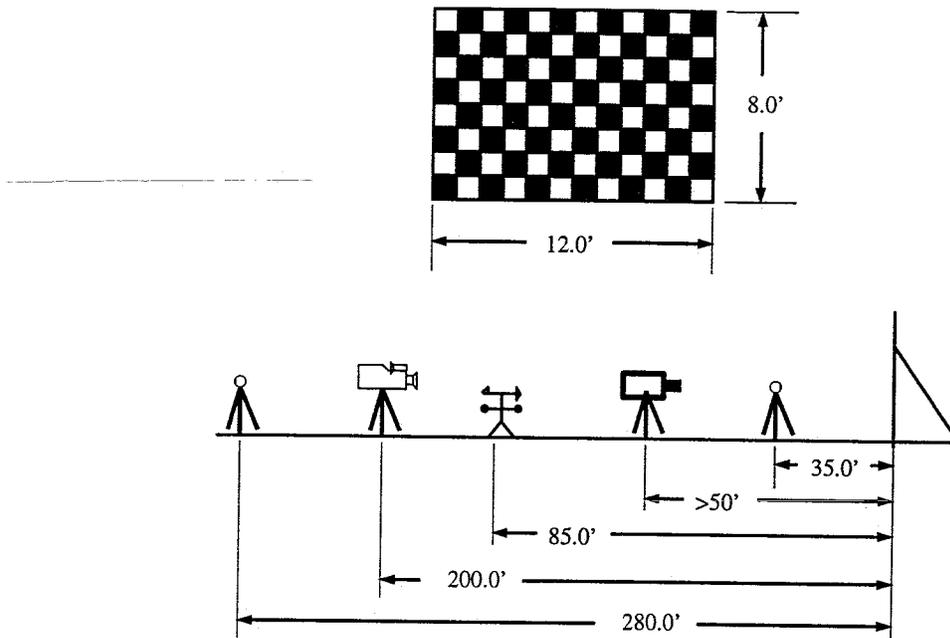


Figure 8: Vue latérale du montage expérimental avec les deux méthodes, MTI et MPL. Le dessin n'est pas à l'échelle.

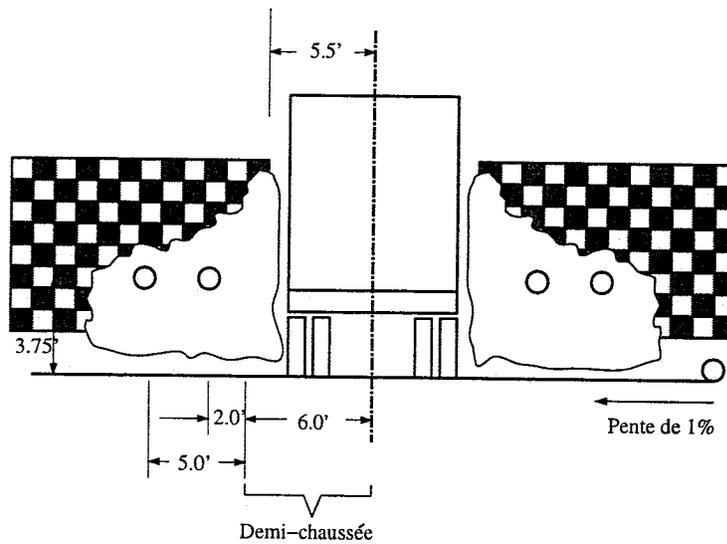


Figure 9: Vue transversale des montages expérimentaux pour la MTI et la MPL. Le dessin n'est pas à l'échelle.

5.1.4 État de la chaussée et des pneus

La SAE stipule bien évidemment que la présence de nid-de-poules et de flaques d'eau est à proscrire dans une étude sur le brouillard. De plus, la porosité de la route peut influencer localement l'épaisseur du film d'eau. La profondeur moyenne des cavités devrait être inférieure à 0.08 cm (0.030 in) et varier le moins possible. Les pneus quant à eux devraient répondre aux critères de ASTM 501-88 et ASTM 524-88 ("rib tire skid number" de 65 et "smooth tire skid number" de 20).

5.1.5 Pré-arrosage

La procédure SAE demeure relativement vague et obscure quant à l'aspect "pré-arrosage du camion" durant les 150 premiers pieds de la piste (FIGURE 7). Ce pré-arrosage apparaît nécessaire pour saturer les différents mécanismes anti-brouillard du camion et ainsi simuler la situation réelle. En effet, différents mécanismes collecteurs peuvent être très efficaces lorsque secs, mais rapidement perdre leur efficacité lorsque saturés d'eau. Ceci correspond évidemment à la situation rencontrée sur les routes puisque les chaussées deviennent rapidement détrempées sur de très longues distances.

5.1.6 La conduite du véhicule

Enfin, la vitesse et la position du camion dans la section d'essai sont des facteurs très importants. La vitesse peut être vérifiée par radar en plus de l'odomètre du camion. La position latérale quant à elle peut être mesurée par photographie, un fusil à ultrasons, ou autres. L'important selon la SAE est de s'assurer que la position et la vitesse du camion soient mesurées correctement lors des essais afin de pouvoir corriger ultérieurement les données expérimentales au besoin.

5.1.7 Mises en garde de la SAE

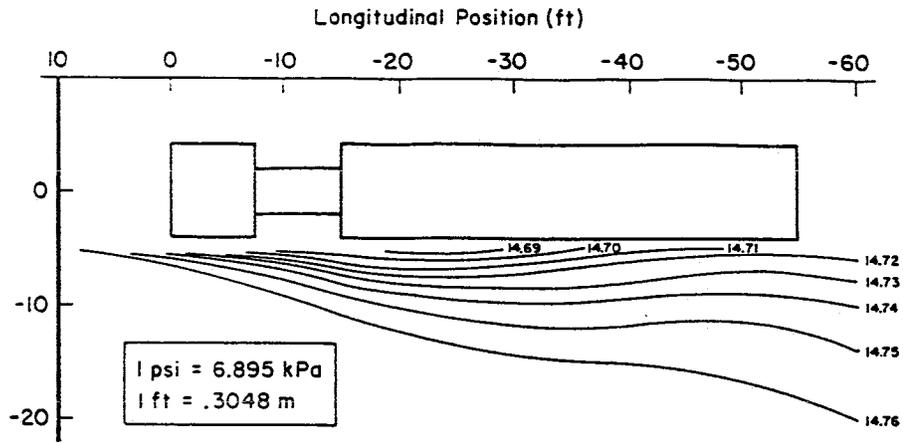
Les deux procédures décrites précédemment contiennent des facteurs expérimentaux très difficilement contrôlables. Lors de l'analyse des résultats, la SAE recommande les précautions et formule les avertissements suivants:

1. les procédures ne doivent s'appliquer que pour des essais comparatifs entre un modèle A et B. En aucun temps, ces mesures ne doivent être retenues comme globales et absolues.
2. Puisque des variables incontrôlables — telles que la vitesse du vent, son orientation, l'épaisseur du film d'eau, l'humidité et la température — peuvent influencer les résultats, des différences expérimentales demeurent marginales et non-significatives en deçà d'un seuil de 10 à 15 %.
3. Si possible, de nombreux essais de chacune des configurations données devraient être effectués dans le but d'obtenir des intervalles de confiance plus spécifiques par traitement statistique.

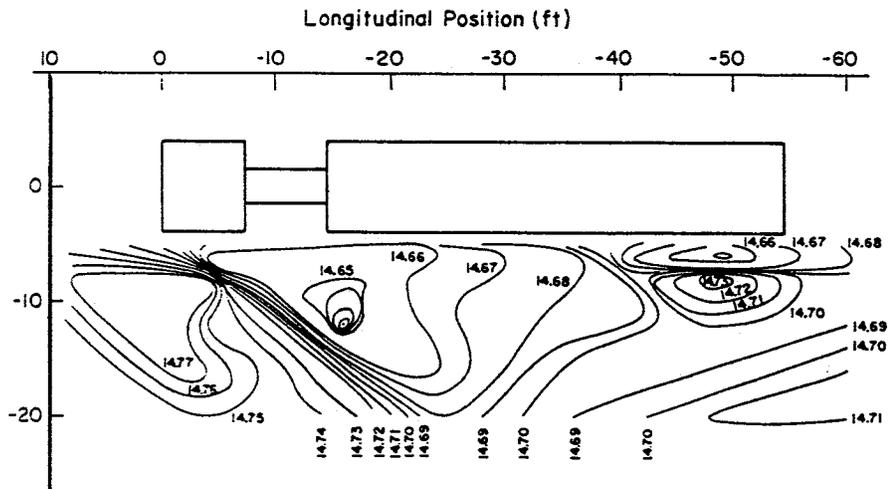
5.2 Essais en soufflerie

Des études de l'écoulement aérodynamique sur des modèles réduits (échelle 1/10) et grandeur nature ont été réalisées en soufflerie. Habituellement, les modèles sont équipés de nombreuses prises pariétales de pression pour mesurer la distribution spatiale de pression autour de l'ensemble camion-remorque. De plus, ils sont généralement montés sur un disque orientable par rapport à l'axe du tunnel ce qui permet d'investiguer les effets de vent transversal sur l'écoulement d'air. La référence [18] présente à cet effet quelques résultats intéressants. Malgré l'aspect qualitatif de plusieurs d'entre eux, il est possible de ressortir quelques éléments relativement généraux:

1. Les régions d'écoulement les plus "turbulentes" seraient situées essentiellement au niveau du tracteur proprement dit (à la cabine et au niveau de l'essieu double de traction).
2. Certains essais routiers permettraient de croire que la diminution de la traînée contribuerait à la diminution de génération de brouillard. Les données sont imprécises quant à savoir s'il s'agit de l'étendue du nuage ou de la quantité d'eau soulevée.
3. L'écoulement serait très sensible à la présence de vents latéraux. La FIGURE 10 tirée de [12] illustre ce point en présentant deux visualisations de l'écoulement correspondant respectivement à une incidence nulle et une incidence de 20° (vent latéral de l'ordre de 36 % de la vitesse du camion). Les champs de pression qui en résultent et qui affectent l'entraînement du brouillard s'en trouvent grandement affecté. Cette observation doit demeurer qualitative, étant fortement dépendante de la géométrie particulière du camion.



a) No Crosswind



b) -20 deg Relative Crosswind

Figure 10: Champs de pression obtenus en soufflerie [12] autour d'un modèle (a) à 0° d'incidence, et (b) à 20° d'incidence.

6 Réduction du brouillard: Solutions existantes et futures

Plusieurs types de solution ont été envisagés et étudiés, en particulier lors des années '70.

1. Le premier type de solution est assez répandu aux États-Unis et en Europe. Il regroupe l'ensemble des moyens mécaniques comme les *défecteurs* ("fenders") et les *gardes-boue* qui tentent de rediriger l'eau soulevée directement vers le sol (e.g., FIGURES 11, 15 ET 16).

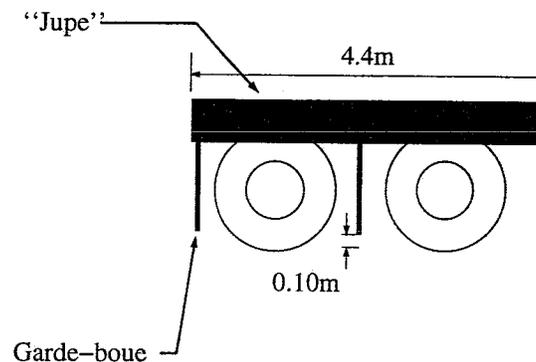


Figure 11: Système "Reddaway" [12]

2. En modifiant l'écoulement localement autour du camion par des dispositifs "aérodynamiques", il est possible de modifier et de contrôler jusqu'à un certain point l'étendu du brouillard. Une possibilité intéressante dans cette ligne de pensée est de concentrer le brouillard uniquement dans le sillage derrière le camion. Il est possible de regrouper dans cette rubrique les différents accessoires suivants [12]:

- (a) Le *bouclier anti-trainée* ("Drag Shield")
- (b) Les *déviateurs* placés dans l'espace entre la cabine et la remorque ("Gap Filler") (FIGURES 12 ET 13)
- (c) Les *déviateurs latéraux* placés en dessous du camion ("Angle side vane") (FIGURE 14)

Les résultats préliminaires rapportés pour ces méthodes semblent indiquer de bonnes tendances pour les deux premiers mécanismes. Par contre, le troisième s'avère plutôt néfaste, probablement dû à une erreur de design.

3. Les matériaux ou les revêtements constituant les *jupes* et les *gardes-boue* peuvent de plus être choisis pour minimiser l'atomisation des particules d'eau les impactant. En favorisant davantage la formation de grosses gouttelettes d'eau—qui ne peuvent alors que retomber au sol—ces matériaux neutralisent efficacement le phénomène de brouillard.

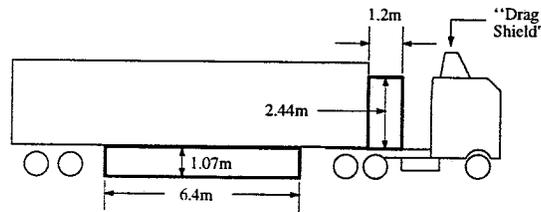


Figure 12: Système "Baffle" ou jupe latérale [12]

L'application de ce type de raisonnement a mené à la création de matériaux ou de revêtements *non-lisses* ("grass type materials" ou "Astrosturf"). Ces matériaux peuvent soit constituer la structure elle-même des gardes-boue et des jupes, ou alors être appliqués comme recouvrement sur la structure même du camion; ce serait le cas d'une peinture ou de l'application de fibres (e.g., FIGURE 16 A).

Deux types de configuration semblent donner des résultats très satisfaisants. Le premier, et **apparemment le plus prometteur**, est le "Reddaway system", FIGURE 11, qui allie les propriétés des garde-boue et des jupes avec un recouvrement permettant la formation de grosses gouttelettes d'eau. *Cependant, la récupération de l'eau en grosses gouttelettes est peu envisageable dans nos conditions climatiques.* En effet, de telles configurations favoriseraient l'accumulation possiblement excessive de neige et de glace. Il devrait être envisagé de devoir démonter et remonter de tels équipements à chaque saison hivernale.

Un deuxième prototype appelé "DOT" est constitué d'une coque recouvrant complètement les roues, s'apparentant quelque peu aux systèmes de la FIGURE 15. Malheureusement, un enveloppement excessif des roues entraîne divers problèmes dont le refroidissement des freins.

Ces différents mécanismes sont présentés par le biais de tableaux-synthèse fournis aux FIGS. 17 ET 18. Les pourcentages de réduction indiqués ne le sont qu'à titre informatif car il est difficile de comparer les résultats issus de travaux variés utilisant des méthodologies différentes et soumis à des conditions climatiques variables.

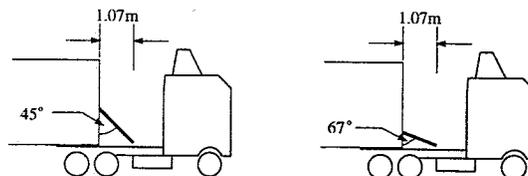


Figure 13: Système "Gap" ou obstructeur [12]

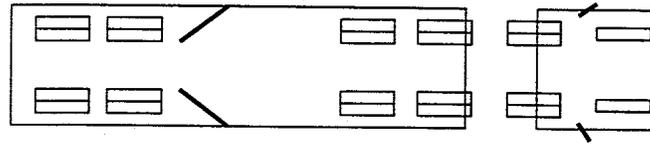


Figure 14: Système "Angleside" ou déviateurs latéraux [12]



Figure 15: a) Système "Roberts" [14,16] , b) Système "Européen" [8,12]

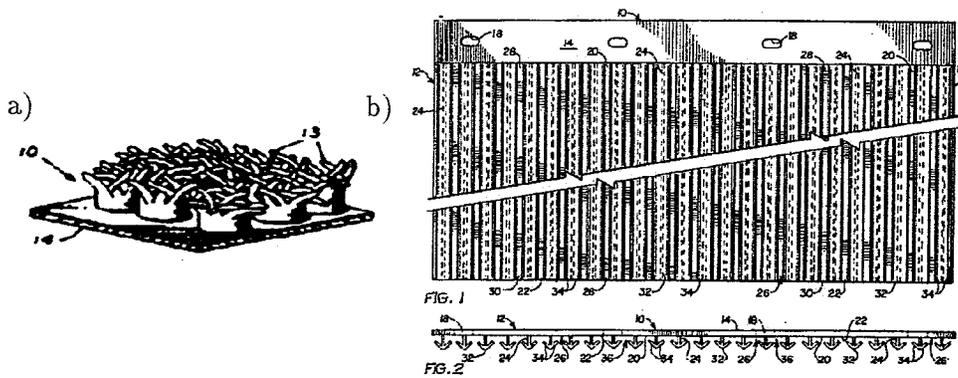


Figure 16: a) "Astroturf" [20], b) Exemple d'un système collecteur [21]

Mécanismes	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Réf.
Garde-boue conventionnels	Peut retenir une partie du brouillard et de l'éclaboussure au niveau de la roue.	Contient les rejets de l'adhésion par capillarité.	Pas très efficace, tend à atomiser les grosses gouttelettes projetées par le pneu.	15
Garde-boue (mudflaps)	Courte jupe flexible placées derrière chaque pneu.	Efficace à base vitesse. Peu coûteux	À haute vitesse, peut entraîner une atomisation de l'éclaboussure.	15 et 19
Jupes protectrices				
1- "Dot"	Enveloppe les roues.	Efficace pour l'éclaboussure à grand angle et le brouillard.	peu d'effets pour réduire les effets des vagues arrières qui peuvent engendrées du brouillard. Peut causer de sérieux problèmes de surchauffe des pneus et des freins.	14 et 15
2- Jupes "Koneta"	Contient le brouillard produit par la partie supérieure de la roue et l'éclaboussure avec un grand angle.	Réduit la turbulence de l'écoulement en dessus de la remorque. Ne tend pas à causer de problème de surchauffe.	Peu efficace.	16
3- Dunlop AG , garde-boue avec jupes.	Retient le brouillard et l'éclaboussure autour de la roue.	Réduit le brouillard latéral.	Recircule une partie de l'eau dans les vagues arrières. Ne fait que déplacer le problème. Surchauffe possible.	14
Garde-boue collecteurs				
1- "Roberts" modifiées	Tend à collecter les gouttelettes du brouillard pour les regrouper en grosses gouttes.	Réduction du brouillard latéral de 2 à 6 %, peu de surchauffe des freins.	L'eau emmagasinée est retournée sur la trajectoire de la roue. Peu d'effet sur les vagues arrière. Peut entraîner l'accumulation de glace et de neige.	14 et 16
2- "Reddaway"	Matériel poreux est utilisé pour capturer les fines gouttelettes d'eau.	9-10 % de réduction du brouillard. Peu d'effet sur la ventilation des freins.	Les gouttes d'eau sont déposées sur la trajectoire des pneus. Peut causer l'accumulation de glace et de neige.	16
3- "PABS"	Recueille et transporte les fines gouttelettes vers le centre du véhicule.	15-20 % de réduction.	Problème d'accumulation de glace et de neige. S'obstrue facilement.	14 et 16
4- "Oregon Division of Highway Suppression fender"	Collecteur métalliques avec déflecteurs.	Réduction du brouillard latéral.	Inefficace pour le brouillard arrière et les vagues arrières.	14

Figure 17: Tableau-synthèse traduit de [8] des différents mécanismes mis au point durant les années '70 — Partie I.

Mécanismes	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Réf.
Défecteurs d'écoulement et d'eau. 1- "Gaussoin"	Défecteur flexible situé à l'avant des roues. Réduit la turbulence autour des pneus.	Réduction du brouillard	Aucune réduction pour les vagues latérales. Pourrait servir d'atomiseur pour les roues postérieures.	14
2- Déviateurs d'écoulement	Redirige l'écoulement vers le centre du véhicule.	L'effet augmenterait avec la vitesse du véhicule.	Redirige le brouillard vers l'arrière. Problème d'accumulation de l'eau et de glace. Principe fragile, peut facilement entraîner l'effet contraire.	15
Autres				
1- Pneus avec rebords	Redirige l'éclaboussure vers le bas.	Réduction de l'éclaboussure de côté. Garde l'éclaboussure près du sol.	Ne règle pas le problème de la vague arrière. Dégradation de la tenue de route.	14
2- Peigne antibrouillard	Les peignes retire l'eau emprisonnée dans les sillons du pneus.	Réduit la vague arrière et la quantité d'eau entraînée par la rotation du pneu.	Problème de durabilité. Accumulation de glace et de neige.	14
3- Déflexion de l'écoulement par compresseur et jets d'air.	Redirige l'écoulement vers le centre du véhicule.	Indépendant de la vitesse, contrôle maximum de l'action.	Coût d'installation élevé. Manque au niveau du développement.	15
4- Changements de configuration du véhicule	Relocalisation des réservoirs, abaissement du châssis, réduction de la taille des pneus.	Peut amener l'amélioration du brouillard et de l'éclaboussure	Peut compromettre d'autres performances, consommation, capacité de transport, etc.	14 et 15

Figure 18: Tableau-synthèse traduit de [8] des différents mécanismes mis au point durant les années 70 — Partie II.

Par contre, le tableau suivant à la FIGURE 19 illustre pour une même expérience ([8]) l'influence de nombreux mécanismes. Cette expérience utilisait entre autres des mesures par rayon laser et photomètres (méthode MPL) ainsi que des observateurs humains. Dans ces essais, une visibilité de 100 % correspondait à la lecture des cellules photo-électriques avant le passage du camion. Des essais sans aucun mécanisme anti-brouillard ont permis de définir la visibilité marginale nulle.

Mécanismes	Visibilité marginale (%)
"Reddaway" + déflecteur anti-trainée	60
"Reddaway" + déflecteur anti-trainée + jupe latérale + garde-boue réduit au niveau du tandem	59
"Reddaway" + déflecteur anti-trainée + garde-boue réduit au niveau du tandem	59
"Reddaway" + garde-boue réduit au niveau du tandem	39
"Reddaway"	38
"Reddaway" + matériel poreux du garde-boue central du côté antérieur seulement	25
Jupe latérale + obstruction de l'espace entre le tracteur et sa remorque + déflecteur anti-trainée	25
Déviateur de l'espace entre le tracteur et sa remorque en position haute	23
Déflecteurs latéraux + déflecteur anti-trainée sans déflecteur en arrière du tandem	20
Jupe latérale + obstruction de l'espace entre le tracteur et sa remorque	20
Garde-boue de type "Roberts" seuls	19
Camion recouvert de matériaux poreux + déflecteur anti-trainée + jupe latérale	17
Déviateurs latéraux + déflecteur anti-trainée	16
"Reddaway" sans garde-boue	15
Jupe latérale + déflecteur anti-trainée	15
Garde-boues européens	15
Camion recouvert de matériaux poreux + déflecteur anti-trainée	14
Déviateur de l'espace entre le tracteur et sa remorque en position basse	11
Jupe latérale	10
Obstruction de l'espace entre le tracteur et sa remorque + coins arrondis	7
Déflecteur anti-trainée	5
Aucun	0
Obstruction de l'espace entre le tracteur et sa remorque + coins vifs	-1
Obstruction de l'espace entre le tracteur et sa remorque	-11
Camion recouvert de matériaux poreux	-12
Déviateurs latéraux	-18

Figure 19: Comparaison de l'efficacité relative de différents mécanismes testés lors d'une même série d'expérimentations [8].

7 Conclusion

Cette étude bibliographique a permis de mettre en lumière les démarches expérimentales existantes pour l'évaluation du brouillard. Beaucoup de ces recherches ont été conduites dans les années 70 à 80 et visaient non-seulement les phénomènes de brouillard et d'éclaboussures mais aussi et davantage la réduction de la consommation d'essence—la réduction d'autres éléments préoccupants comme la stabilité latérale et la nuisance aérodynamique pour les autres véhicules étaient également d'intérêt. Une certaine expertise a ainsi été développée au cours des années particulièrement aux États-Unis et en Scandinavie.

La procédure SAE a été inspirée de ces essais, et selon toute vraisemblance, devrait donner des résultats, sinon répétables, au moins efficaces pour la comparaison simple entre plusieurs systèmes donnés. Le contrôle des facteurs environnementaux constitue un obstacle majeur à cet égard.

Le design d'un système anti-brouillard idéal promet d'être un défi de taille en particulier en raison de la situation climatique du Québec. Rappelons qu'une bonne solution devrait entre autres s'avérer:

- Simple—pour s'adapter à tous les modèles existants
- Démontable—pour permettre une inspection facile des freins et des pneus lors de vérifications routinières
- Économique—comme pour le cas du "Reddaway" [8]
- Résistante et durable—pour résister aux chocs lors des manoeuvres de chargement.

Références

- [1] Forbes T. W.,(1960), *A study of accident hazards in relation to fenders and mudguards for motor vehicles*,Michigan State University, East Lansing. MI, 1960.
- [2] Maycock, G. (1966), *The problem of water thrown up by vehicles on wet roads*, RRI Report No. 4, Road Ressearch Laboratory, Harmondsworth, U.K., 1966.
- [3] *Adverse weather, reduced visibility and road safety*, Road research group on driving in reduced visibility conditions due to adverse weather, Organisation for Economic Co-Operation and Developpement, Paris, 1976.
- [4] Sobey, B. (1973), *Accidents: their cost and relation to surface characteristics*, Cement and Concrete Association, London , 1973.
- [5] Sobey, B. E. (1980), *The risks we run: The higway*,RRL report 567, Transport and road research laboratory, Crowthorne, U.K. 1980.
- [6] Wright, B. et Al. (1990), *Measurements of visibility through spray*, SAE Paper 902274.
- [7] Kirsh, J. W. (1972), *Informal comments on the road spray problem*, Document No. SSS-IR-72-1352 , Systems, Science and Software, La Jolla, CA, OCT. 1972. SAE Paper 902274.

- [8] Weir D., et Al. (1978), **Reduction of adverse aerodynamic effects of large trucks**, Report No. FHWA-RD-79-84, september 1978.
- [9] Clarke, R. M. (1983), *Heavy truck splash and spray suppression: near and long terms solutions*, SAE Paper 831178.
- [10] Olson M. E. , & Schaub, U. W. (1992), *Aerodynamics of trucks in wind tunnels: the importance of replicating model form, model detail, cooling system and test conditions*, SAE paper 920345.
- [11] Fujimoto, T. et al (1992), *Suppression of mud adhesion to the rear surface of a van-type truck*, SAE paper 920203.
- [12] Pilkington G.B. II (1990), **Splash and Spray**, ASTM special technical publication, ISSN: 0066-0558.
- [13] DelCanI (1981), *On highway evaluation of Splash and Spray under cold weather operating conditions-Phase I*, Report No. 041201A-00, Transport Canada, Ottawa, On., May 1981.
- [14] *Splash and spray characteristics of truck and truck combinations*, Western Highway Inst., Research Committee Rept. No. 5, 1 May 1973.
- [15] Sherard, Thurman D. (1973), *Suppression of vehicle splash and spray*, SAE paper 730718; Aug 1973.
- [16] Ritter, Thomas E. (1974), *Truck splash and spray tests at Madras, Oregon*, Southwest Research Inst., Rept AR-955, Oct. 1974.
- [17] SAE—Total Vehicle Operational Environment Subcommittee (1974). *Flow field properties in the vicinity of a trailer/semitrailer truck, and correlation with the aerodynamic disturbance of an adjacent vehicle*, System Technology, Inc., TR-1016-3, Oct.1972.
- [18] **Johnson, Walter A. et Weir H. D. (1994), Recommended practice for splash and spray evaluation**, SAE J2245, Aug 1994.
- [19] Maycock, G. (1966), *The problem of water thrown up by vehicles on wet roads*, Transportation and road research lab, TRRL Rept No. 4, 1966.
- [20] Mantarro, Joseph (1986), *Spray-suppression device*, United States Patent No. US4598000.
- [21] Eklund, Louis E. Jr (1991), *Spray-suppressant splash guard for vehicles*, United States Patent No. US5022680.

