



**HAL**  
open science

## Essais en vraie grandeur de systèmes de recueil des liquides enflammés en tunnel routier

Didier Lacroix, Eric Casale, Claude Cwiklinski, André Thiboud

### ► To cite this version:

Didier Lacroix, Eric Casale, Claude Cwiklinski, André Thiboud. Essais en vraie grandeur de systèmes de recueil des liquides enflammés en tunnel routier. 2. International Conference on Safety in Road and Rail, Apr 1995, Grenade, Espagne. ineris-00971921

**HAL Id: ineris-00971921**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00971921>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## ESSAIS EN VRAIE GRANDEUR DE SYSTEMES DE RECUEIL

### DES LIQUIDES ENFLAMMES EN TUNNEL ROUTIER

Didier LACROIX, CETU  
Eric CASALE, SCETAUROUTE  
Claude CWIKLINSKI, INERIS  
André THIBOUD, S.A.P.R.R.

**Centre d'Etudes des Tunnels  
(CETU)**  
109 avenue Salvador Allende  
Case n° 1  
69674 BRON CEDEX  
FRANCE  
Téléphone : 33 + 78.41.81.25  
Télécopie : 33 + 72.37.81.11

**Société des Autoroutes  
Paris-Rhin-Rhône  
(S.A.P.R.R.)**  
42 boulevard Eugène Deruelle  
69003 LYON  
FRANCE  
Téléphone : 33 + 72.60.11.14  
Télécopie : 33 + 78.62.26.54

**SCETAUROUTE**  
Les Pleïades n° 35  
Park Nord Annecy - La Bouvarde  
74371 PRINGY CEDEX  
FRANCE  
Téléphone : 33 + 50.27.39.39  
Télécopie : 33 + 50.27.39.40

**Institut National de l'Environnement  
Industriel et des Risques  
(INERIS)**  
Parc Technologique Alata  
B.P. 2  
60550 VERNEUIL EN HALATTE  
FRANCE  
Téléphone : 33 + 44.55.66.77  
Télécopie : 33 + 44.55.66.99

## RESUME

Des essais dans six tunnels routiers ont permis de comparer l'efficacité hydraulique de plusieurs systèmes destinés à recueillir d'éventuels liquides enflammés répandus sur la chaussée suite à un accident. Une installation expérimentale en vraie grandeur longue de 50 m et comportant caniveaux fendus, regards munis de siphons et collecteur a par ailleurs été soumise à vingt-cinq essais d'incendie et d'explosion. Des enseignements en sont tirés sur l'intérêt et la sécurité d'un tel système.

This booklet is also available in English with the following title (*Le présent fascicule est également disponible en langue anglaise sous le titre suivant*) :

FULL SIZE TESTING  
OF DRAINAGE SYSTEMS FOR BURNING LIQUIDS  
IN ROAD TUNNELS

# ESSAIS EN VRAIE GRANDEUR DE SYSTEMES DE RECUEIL DES LIQUIDES ENFLAMMES EN TUNNEL ROUTIER

## 1 - INTRODUCTION

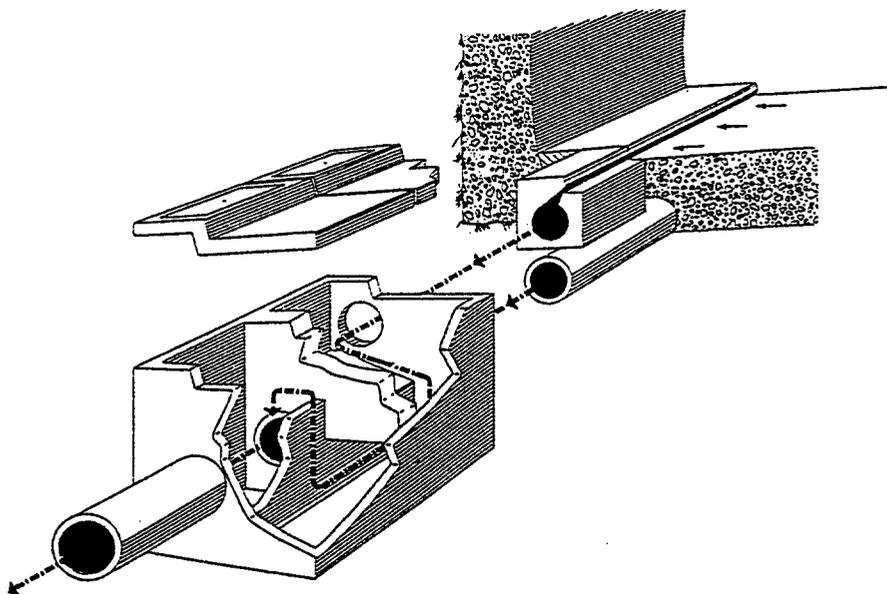
La majorité des transports routiers de matières dangereuses est constituée de citernes d'hydrocarbures liquides. Lorsque leur passage est autorisé dans un tunnel, il est nécessaire de prendre des dispositions afin de réduire les risques en cas d'accident. C'est ainsi que les tunnels français récents sont équipés de systèmes de recueil des liquides enflammés répandus sur la chaussée. L'objectif est de réduire la chaleur et les fumées produites par un incendie, de limiter la propagation du feu à d'autres véhicules, et de permettre aux secours d'approcher du foyer.

A l'occasion du doublement du tunnel de Chamoise sur l'autoroute A40 entre Lyon et Genève, une étude générale de ces systèmes a été financée par l'Etat français et par la Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône (S.A.P.R.R.), concessionnaire. La définition et le suivi de l'étude ont été menés conjointement par la société SCETAUROUTE, maître d'oeuvre de la S.A.P.R.R., et le Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), qui a assuré le pilotage général et réalisé les essais hydrauliques.

L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) a été chargé d'effectuer des études de risques et des essais d'incendie et d'explosion.

## 2 - ETUDES PRELIMINAIRES

Traditionnellement, les eaux de ruissellement des tunnels routiers sont recueillies dans des caniveaux ouverts en bordure de chaussée, puis déversées dans un collecteur grâce à des regards avaloirs espacés de 50 à 100 m. Afin d'améliorer l'absorption, SCETAURROUTE prévoit pour les matières dangereuses des regards plus rapprochés, tous les 10m environ. Pour sa part le CETU s'est inspiré des réalisations suisses et a mis au point des caniveaux à fente continue qui communiquent avec le collecteur par des regards munis de siphons, afin d'éteindre les liquides enflammés (figure 1).



**Figure 1 - Schéma d'un système de recueil avec caniveaux à fente continue et siphons**

Très peu de données bibliographiques existent sur l'efficacité et les risques éventuels de tels systèmes, que ce soit en tunnel ou dans d'autres contextes, comme celui de l'industrie pétrolière. C'est ce qui a justifié la réalisation d'une campagne d'essais.

Les statistiques d'accident de matières dangereuses sur route à l'air libre et en tunnel ont été analysées et ont permis de retenir des situations d'étude représentatives :

- fuite continue de 30 à 70 l/s correspondant à une rupture d'organe ou une perforation de 100 à 150 mm de diamètre,
- relâchement brutal d'un volume correspondant à la moyenne des déversements constatés, soit 5 m<sup>3</sup> en excluant les cas extrêmes, ou 10 m<sup>3</sup> en incluant les quelques cas les plus importants.

### 3 - ESSAIS HYDRAULIQUES

La première phase expérimentale a été réalisée dans six tunnels routiers en service, dans le but d'évaluer et de comparer sur le plan hydraulique les différents systèmes de recueil.

#### 3.1 - Méthodologie d'essai

De l'eau a été utilisée pour des raisons évidentes de sécurité et de commodité. Les fuites continues ont été obtenues en faisant couler les poteaux d'incendie des tunnels. Un bac préfabriqué de 3 x 3 m, dont un des côtés pouvait s'ouvrir brusquement, a ensuite permis de simuler les déversements brutaux de 5 m<sup>3</sup> et 10 m<sup>3</sup>, dans de bonnes conditions de reproductibilité.

Pour caractériser la surface mouillée lors des déversements, trois caméscopes enregistraient les essais. La chaussée était quadrillée par des bandes rétro réfléchissantes autocollantes et des plots numérotés qui permettaient également d'estimer l'épaisseur de la flaque. Chaque fois que le site le permettait, la hauteur d'eau était mesurée en continu dans les caniveaux.

#### 3.2 - Résultats des essais

L'observation dans le temps de la nappe liquide fait apparaître trois zones successives d'écoulement qui interagissent entre elles (figure 2) :

- Une première zone peut être qualifiée d'inertielle, car elle est fonction des conditions de relâchement du liquide, et surtout de sa vitesse d'éjection.
- La seconde zone est déterminée par la déclivité, le dévers et les caractéristiques de surface de la chaussée : le liquide s'y écoule sous l'effet de la gravité dans la direction générale de la ligne de plus grande pente.
- Dans une troisième zone, également gravitationnelle, le liquide non absorbé par le caniveau s'évacue le long des bordures de trottoir avant de pouvoir être éliminé par le système d'assainissement.

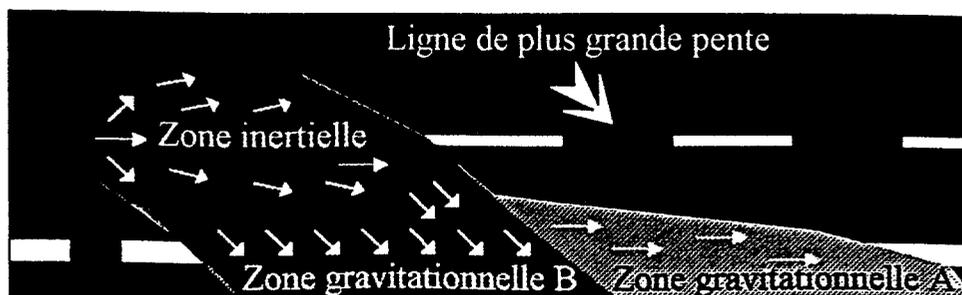


Figure 2 - Schématisation des zones d'écoulement

Nous avons appelé zone B l'ensemble des deux premières surfaces : elle correspond à l'extension minimale de nappe qui serait obtenue si toute l'eau atteignant le bord de la chaussée était immédiatement absorbée. La troisième surface, nommée zone A, traduit le fait que le dispositif n'absorbe pas parfaitement le liquide : elle permet donc de comparer l'efficacité des différents systèmes.

Caractéristiques des tunnels				Surfaces et longueurs mouillées			
Nom du tunnel (lieu)	Déclivité (%)	Dévers (%)	Système d'assainissement	Surface mouillée (m <sup>2</sup> )	Long. mouillée (m)	Surface zone A (m <sup>2</sup> )	Long. zone A (m)
Monts (Chambéry)	0,7	1	Avaloir tradit. à grille 75x30 cm <sup>2</sup> tous les 50 m	1 480	> 200	1 080	> 200
Châtillon (A 40)	0,6	1,8	Avaloir à grille 30x30 cm <sup>2</sup> tous les 11m	385	105	140	80
Saint Germain de Joux (A 40)	1,8	3	Avaloir à grille 13x50 cm <sup>2</sup> tous les 11m	405	120	155	95
Grand Mare (Rouen)	3,5	2,5	Caniveaux à fente horizontale et siphons	535	90	120	40
Cornil (RN 89 - Corrèze)	3,2	2,5	Caniveaux à fente verticale et siphons	300	35	0	0
Siaix (RN 90 - Savoie)	1,5	2,5	Caniveaux à fente verticale et siphons	335	40	0	0

**Tableau 1 - Résultats du déversement brutal de 10 m<sup>3</sup>**

Le tableau 1 présente les caractéristiques des tunnels testés, ainsi qu'à titre d'exemple, les principaux résultats obtenus avec le relâchement brutal de 10 m<sup>3</sup>. La figure 3 montre l'étendue des zones mouillées dans ce cas. Les écoulements continus et les relâchements brutaux de 5 m<sup>3</sup> ont conduit à des situations comparables, mais avec bien sûr des surfaces et longueurs mouillées plus faibles.

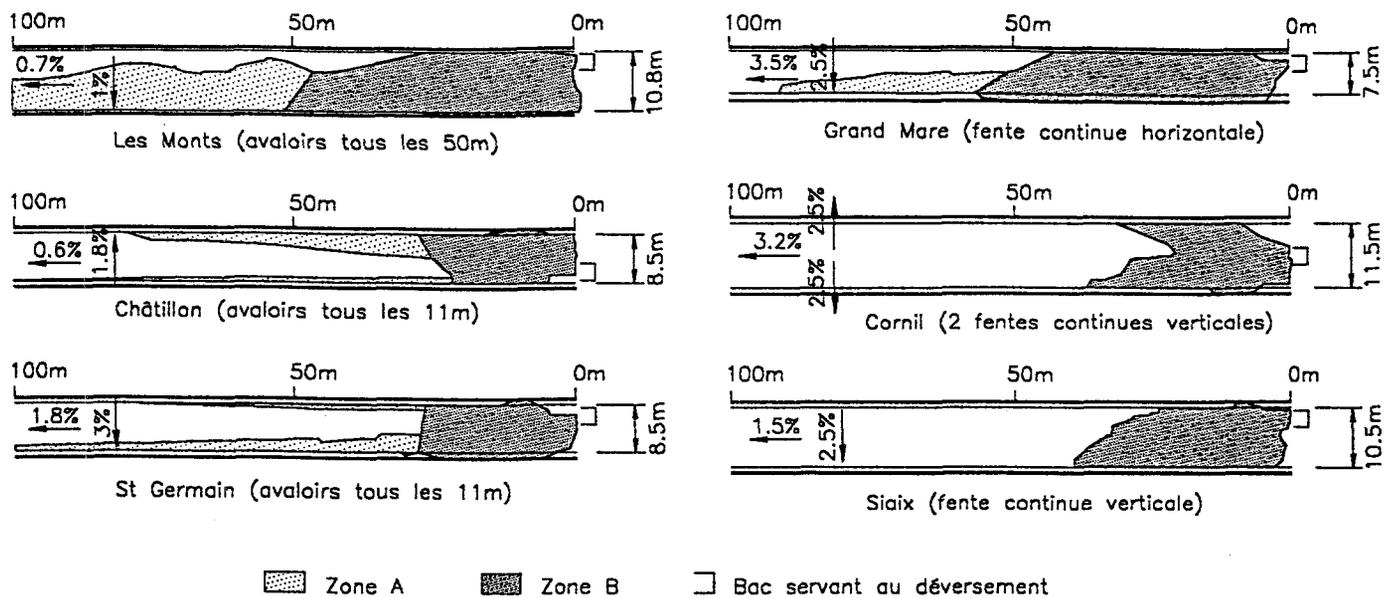
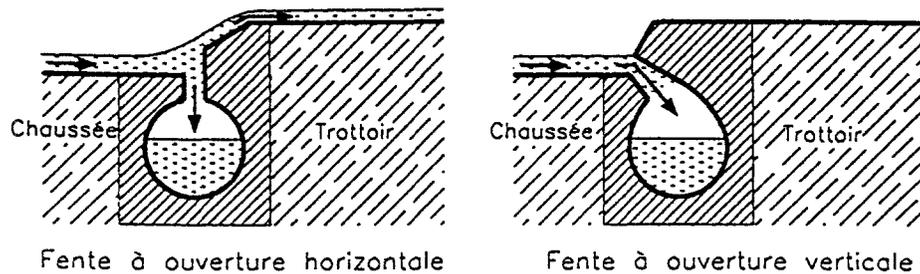


Figure 3 - Zones mouillées A et B pour un déversement brutal de  $10 \text{ m}^3$

### 3.3 - Principales conclusions

Dans tous les cas, il apparaît que le système traditionnel, de plus mal entretenu, du tunnel des Monts est particulièrement peu efficace. La surface mouillée dépasse  $1\,000 \text{ m}^2$ , même pour un écoulement continu de  $35 \text{ l/s}$  !

La comparaison des zones A montre que les dispositifs les plus performants sont les caniveaux à fente continue. Sur les deux types de fente testés (figure 4), celles dont l'ouverture est dans un plan vertical se comportent le mieux : la zone A est inexistante dans les tunnels de Cornil et du Siaix, même pour le relâchement brutal de  $10 \text{ m}^3$ . Cette disposition permet en effet de récupérer directement la dynamique de l'écoulement pour évacuer le liquide. Dans le tunnel de la Grand Mare, où l'ouverture de la fente est dans un plan horizontal, le liquide n'est capté que sous l'action de la gravité et est donc moins bien intercepté.



**Figure 4 - Configurations possibles de caniveaux à fente continue**

Dans ce dernier tunnel, le caniveau fendu est également handicapé par un diamètre intérieur de 200 mm qui s'avère insuffisant et provoque un refoulement pour les relâchements massifs. Le diamètre de 400 mm existant dans les deux autres tunnels donne satisfaction. Les siphons y ont également montré un comportement hydraulique correct : dans le tunnel du Siaix, le volume de 10 m<sup>3</sup> a été évacué à travers le regard en 50 s, ce qui correspond à un débit moyen de 200 l/s.

La moindre performance des systèmes avec avaloirs rapprochés des tunnels de Châtillon et de Saint Germain de Joux s'explique par le principe des avaloirs et leur dimensionnement qui ne permettent qu'une absorption imparfaite. En outre la présence de petits caniveaux ouverts de 30 cm de large et 3 cm de profondeur le long de chaque trottoir (y compris en haut de dévers) entraîne la formation de "langues" liquides très longues des deux côtés de la chaussée.

### 3.4 - Autres constatations

Hormis le cas du tunnel des Monts, il faut moins de 2 minutes pour que toute l'eau évacue la chaussée après la fin du déversement continu ou brutal. Toutefois dans le tunnel de la Grand Mare, où la chaussée est revêtue d'enrobés bitumineux drainants, du liquide continue de s'écouler sous la couche de roulement pendant plus de 15 minutes. On peut s'interroger sur les risques entraînés par une présence ainsi prolongée de matières dangereuses dans le tunnel.

Il faut enfin signaler les problèmes d'écoulement qui ont été constatés dans certains réseaux d'assainissement et ont entraîné des refoulements de liquide sur la chaussée, potentiellement dangereux. Ceux-ci étaient dus soit à un rétrécissement de la section hydraulique en entrée de regard, soit à la présence de détritrus suite à un entretien insuffisant. Il est clair que de telles situations doivent absolument être évitées.

## 4 - ESSAIS D'INCENDIE ET D'EXPLOSION

Les systèmes comportant des caniveaux à fente ayant ainsi prouvé leur bon fonctionnement sur le plan hydraulique, il a paru indispensable de les tester vis à vis des risques d'incendie et d'explosion.

Le principe de base de ces essais était non seulement de vérifier l'efficacité de l'installation pour éteindre et évacuer un liquide enflammé, mais aussi de caractériser les mécanismes qui entrent en jeu dans les situations de dysfonctionnement. Ceci explique que de nombreux essais aient été consacrés à de tels cas, bien qu'ils ne soient qu'exceptionnels.

### 4.1 - Méthodologie

#### 4.1.1 - L'installation expérimentale

Pour des raisons de sécurité, les essais ne pouvaient être réalisés en souterrain. Il a été choisi le site à ciel ouvert de l'INERIS de Montlavoie à Verneuil en Halatte.

En l'absence de similitudes permettant une étude à échelle réduite, un tronçon caractéristique d'un système de drainage a été reconstitué en vraie grandeur. Il comprend deux siphons séparés par 48 m de caniveau à fente communiquant avec un collecteur qui traverse l'installation de part en part (figure 5). Les regards et leurs siphons sont identiques à ceux du tunnel du Siaix. Les volumes internes sont numérotés de 1 à 4, dans le sens de parcours du liquide.

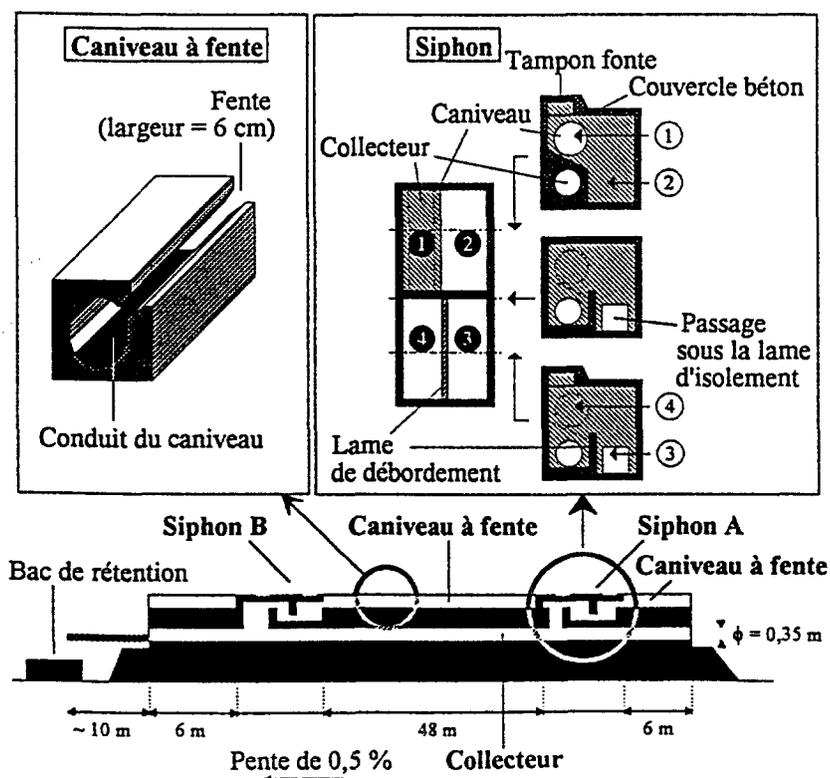


Figure 5 - Schématisation du système expérimental

Une seconde installation, composée seulement de deux tronçons de caniveau accolés (6 m), permet de caractériser des phénomènes plus stationnaires. Le système est obturé aux deux extrémités de façon à tester la combustion correspondant à divers niveaux de remplissage.

#### **4.1.2 - Principes des mesures**

L'installation est lourdement instrumentée de thermocouples, de détecteurs de flammes, de capteurs de pression, d'explosimètres, etc. Ces instruments sont répartis dans les zones sensibles en fonction des phénoménologies pressenties.

L'ensemble des données est rapatrié vers une centrale d'acquisition. Celle-ci fonctionne en autonomie complète, le personnel devant se trouver, au cours de la plupart des essais, à l'extérieur d'un périmètre de sécurité.

Les observations visuelles sont renforcées par quatre caméras vidéo braquées sur les points sensibles de l'installation.

#### **4.1.3 - Principes des déversements**

Le produit retenu pour ces essais est de l'essence sans plomb parce que ce liquide est un des plus dangereux parmi ceux qui sont représentatifs du risque lié au transport de liquides inflammables en tunnel.

Pour des raisons de sécurité, et pour mieux caractériser les phénomènes, les déversements mettant en cause de l'essence enflammée n'ont pas utilisé des débits aussi importants que les essais hydrauliques. Tous les tests ont été effectués avec des débits de l'ordre de 3 l/s.

#### **4.1.4 - Aperçu des campagnes expérimentales**

Deux campagnes expérimentales ont été réalisées à un an d'intervalle.

Dans une première approche (en 1993), on a cherché à caractériser les comportements propres à chaque partie du réseau de drainage. Il est apparu que les échanges qui se produisent aux limites de chaque élément sont déterminants pour la phénoménologie générale. La seconde campagne (en 1994) s'est donc intéressée à des comportements plus globaux.

Au total, vingt-cinq essais ont été effectués. Ce chiffre ne tient pas compte de quelques tests préliminaires réalisés sans mise à feu.

### **4.2 - Les phénomènes de base mis en évidence**

#### **4.2.1 - L'incendie**

Le feu qui se développe dans un système de drainage se trouve soumis à des contraintes liées au confinement du milieu. Ce dernier limite les quantités d'oxygène disponibles pour les mécanismes de combustion et il freine l'évacuation des gaz brûlés. Ces conditions peuvent conduire à l'auto-extinction.

Le maintien de la combustion demande un mouvement suffisant des gaz. Le moteur de ce système est constitué par les contraintes d'Archimède principalement développées au niveau du foyer. Dans la suite de l'exposé, ce processus d'alimentation en air frais sera appelé "respiration".

#### **4.2.2 - L'explosion**

Les analyses de risque montrent que l'essence peut parvenir dans le système de drainage sans être enflammée. Des vapeurs sont donc susceptibles de s'y développer. Le confinement du milieu parvient généralement à les maintenir à des teneurs élevées.

Le risque d'explosion est fonction des concentrations de vapeurs d'essence à l'instant de l'inflammation. Pour l'essence sans plomb mise en oeuvre au cours des essais, l'atmosphère est rendue explosible par des teneurs d'hydrocarbures comprises entre 1,4 et 7,6 %.

### **4.3 - Comportement de l'installation vis à vis de l'incendie**

Il a été mis en évidence le fait que les phénomènes se produisant dans divers points de l'installation sont indissociables dans une phénoménologie globale. Il est cependant possible de décrire la réaction propre à chaque élément du système vis à vis de l'incendie.

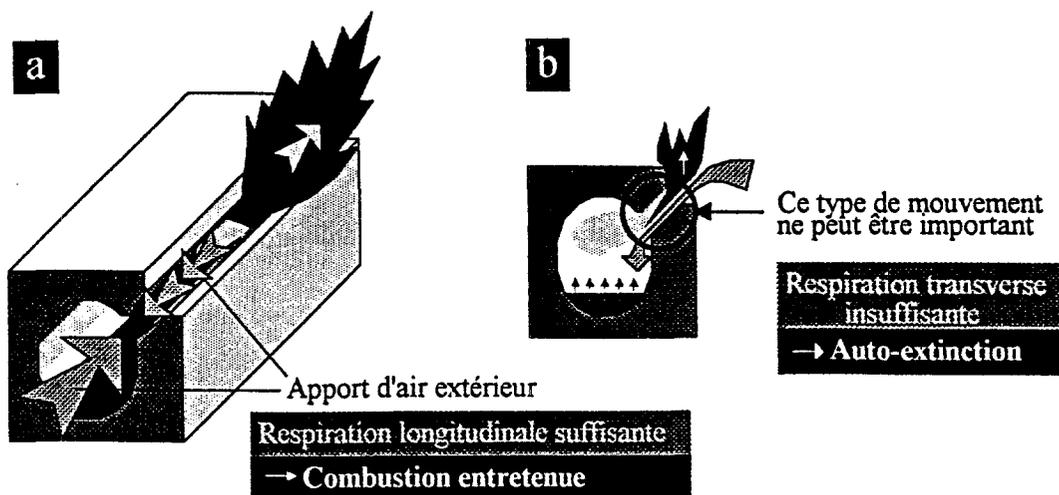
Tous les mécanismes qui sont décrits ici ont été mis en lumière par l'observation et l'analyse des enregistrements effectués pendant les expériences.

#### **4.3.1 - Caniveau**

En situation de fonctionnement normal, le caniveau est le seul élément du système de drainage dont le volume soit directement en contact avec l'atmosphère du tunnel. L'ensemble des essais montre qu'un feu d'essence y est peu violent et relativement peu fumigène. Dans un tunnel, l'opacité générée sera ainsi inférieure à celle que l'on attend d'un tel événement. Il s'agit donc d'une situation plutôt favorable.

Diverses observations montrent que deux modes de respiration sont en compétition:

- un mode transverse dans lequel les flux d'air frais et de gaz brûlés doivent se croiser dans l'épaisseur de la fente (6 cm);
- un mode longitudinal qui suppose l'absence de combustion dans une zone voisine de la flamme (figure 6).



**Figure 6 - Mécanismes de combustion ou d'auto-extinction dans le caniveau à fente**

Un certain nombre de tests dans lesquels le mouvement de respiration longitudinale est bloqué (faible longueur de caniveau, ou flamme occupant toute la longueur de la fente) aboutissent à l'auto-extinction. Ils tendent à démontrer que le mode de respiration transverse est très fragile.

Ces essais correspondent généralement à des protocoles expérimentaux très particuliers. Les autres tests montrent que la combustion entretenue reste l'hypothèse la plus probable. En d'autres termes, l'auto-extinction du feu en caniveau, bien que possible, n'apparaît pas comme étant un phénomène probable dans un scénario réaliste.

#### **4.3.2 - Siphon**

##### *a) Rôle coupe-feu du siphon*

En présence d'une garde hydraulique, même constituée d'essence, le rôle coupe-feu du siphon est assuré. Les essais montrent que la flamme ne parvient jamais à atteindre le compartiment aval.

##### *b) Mode de respiration en fonctionnement normal*

Les tests qui mettent en cause un feu de siphon montrent que le processus de combustion s'y maintient à la première condition que le mode de respiration longitudinal soit déjà établi dans le caniveau (figure 7). La seconde condition suppose le croisement des flux d'air frais et de gaz brûlés par l'orifice d'entrée. Ce mouvement peut être facilement perturbé et plusieurs cas d'auto-extinction ont été observés. Dans le cas général où elle se maintient, la combustion est lente.

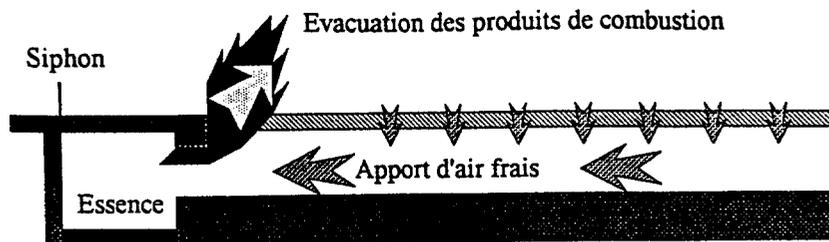


Figure 7 - Schématisation des flux entre le caniveau et le siphon

### c) Situations de dysfonctionnement

La garde hydraulique sépare le siphon, et plus généralement le système de drainage, en deux volumes distincts au regard de la phase gazeuse. Dès que ce rôle séparateur est altéré, le système entre dans un régime de dysfonctionnement. Plusieurs situations plausibles ont été testées :

- Si la garde est constituée d'essence, son niveau décroît lorsque la combustion se maintient dans le compartiment amont 1-2. Dans un essai où cette garde est devenue insuffisante pour conserver son rôle séparateur, il a été observé que l'atmosphère explosible qui s'était développée dans le compartiment aval 3-4 a été aspirée puis brûlée par la flamme, sans aucun phénomène à caractère explosif. Ce test a été réalisé dans le siphon B, où la perte de charge dans le collecteur est faible (figure 5).
- Pour des essais comparables effectués dans le siphon A, la perte de charge du collecteur était plus importante, et il a été démontré que la flamme a pu se propager à contre-flux depuis le compartiment amont 1-2 vers le compartiment aval 3-4 en empruntant l'espace libre sous la lame. Dans le cas le plus pénalisant, une explosion a été initialisée dans le volume 4. Dans les autres cas, ce compartiment a été le siège d'un flash bien marqué.
- S'il est placé en situation de double dysfonctionnement (pas de garde hydraulique et couvercle ouvert côté aval 3-4), le siphon ne joue plus son rôle coupe-feu vis à vis d'une fuite enflammée. En revanche, si la garde hydraulique est absente, mais que le compartiment aval reste étanche, l'absence de flamme durable dans la partie aval de l'installation est garantie, et ce, bien qu'une inflammation ait été détectée dans les premiers instants au cours des essais. La compétition entre la rapidité de l'auto-extinction et la montée du liquide qui arrive dans la cuvette de rétention doit pouvoir expliquer que, avant le débordement, la flamme n'ait plus trouvé les conditions nécessaires à son existence et se soit éteinte. Dans le cas contraire, le démarrage d'un feu de collecteur ne paraît pas irréaliste. Le rôle coupe-feu du siphon se trouve alors limité au maintien de conditions impropres à la combustion dans le compartiment aval.

### d) Sédimentation des vapeurs d'essence

Après un déversement, la sédimentation des vapeurs peut entraîner une variation rapide des conditions d'explosibilité dans un même volume et modifier totalement l'appréciation du danger pour un même type d'expérience. Plusieurs essais montrent que ce mouvement gravitationnel est relativement rapide dans le siphon, bien qu'il

paraissent nécessaire de le relier à la volatilité des carburants qui est susceptible de varier en fonction de la fabrication (celle-ci dépend de la période de l'année).

#### e) Effets de l'explosion

Dans les cas les plus violents d'explosion, les dalles de béton recouvrant les siphons sont légèrement déplacées sous l'effet des surpressions. Les couvercles métalliques sont projetés et une courte flamme apparaît. Dans les autres situations, seuls les couvercles métalliques sont éjectés. Lorsque le phénomène se limite à un flash, celui-ci s'accompagne généralement d'un faible sursaut des couvercles qui retombent dans leur logement (bruit métallique). L'étanchéité du siphon est alors maintenue.

### 4.3.3 - Collecteur

#### a) L'incendie

La configuration expérimentale retenue pour le collecteur est sans doute particulière puisque, du fait de sa faible longueur, ce conduit ne peut être considéré comme représentatif d'une installation réelle (en particulier les pertes de charge aérauliques sont sous-estimées).

En l'absence de vapeurs inflammables préalables dans le collecteur, le feu ne peut s'y maintenir que sous la forme d'un front de flamme qui suit la progression d'un filet d'essence. En arrière de ce front, l'extinction est imposée par la concentration des produits de combustion (figure 8).

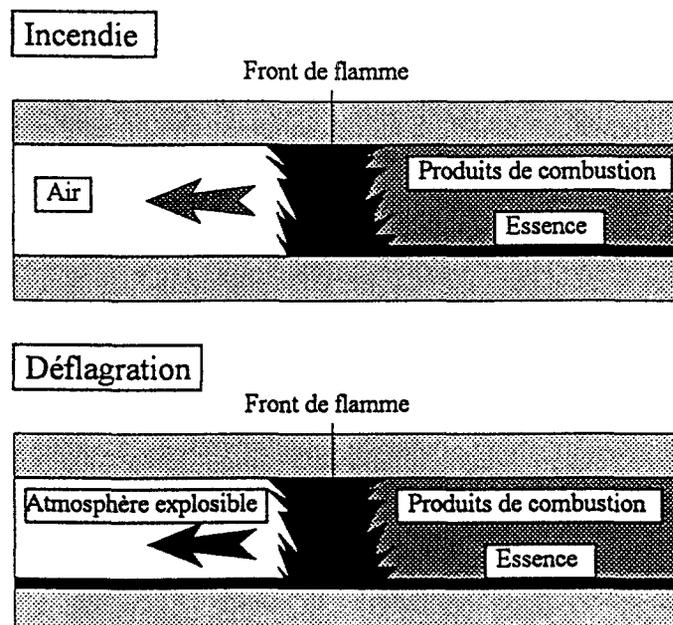


Figure 8 - Processus de combustion dans le collecteur

La vitesse de ce déplacement est conditionnée par celle du filet d'essence en fond de collecteur. L'existence de la flamme dépend donc de la compétition qui existe entre cette vitesse, la section du collecteur et la production des gaz brûlés. Le déséquilibre de ces paramètres peut conduire à l'auto-extinction.

La surface intérieure du collecteur, constituée dans l'installation expérimentale par un tuyau de PVC, s'est déformée à l'occasion d'un feu temporairement stationnaire. Le résultat de cet incident est l'obturation complète du conduit et la mise hors service difficilement remédiable de l'ensemble du système de drainage. Il est clair qu'il faut éviter ce type de matériau, même en coffrage perdu.

#### *b) L'explosion*

Ce phénomène se traduit par une déflagration qui parcourt le collecteur. Il suppose l'établissement préalable de conditions explosibles comme celles générées par la présence avant l'allumage d'un filet d'essence au fond du collecteur. Les vitesses de propagation qui ont été mises en évidence sont plus importantes que dans le cas précédent, et atteignent quelques mètres par seconde (figure 8).

Bien que le régime de l'explosion n'ait jamais dépassé celui de la déflagration, le collecteur constitue un élément dans lequel la vitesse du front de flamme est susceptible de s'accélérer, non pas à l'échelle d'un tronçon de collecteur, mais plutôt à celle d'une installation complète. Ce risque n'est qu'à l'état de suppositions, mais il montre qu'il est souhaitable de briser la continuité de ce conduit sur la longueur totale du réseau.

## 5 - ANALYSE DES RISQUES PRESENTES PAR LE SYSTEME DE RECUEIL

Les résultats expérimentaux précédents ont permis de mener une analyse complète des risques susceptibles d'être présentés par l'installation étudiée, dans tous les scénarios envisageables. Il en ressort qu'un niveau de sécurité très conséquent est apporté en cas de déversement accidentel d'un liquide inflammable :

- Le caniveau à fente verticale permet d'évacuer très rapidement la nappe d'hydrocarbure et réduit ainsi l'incendie potentiel à un feu de caniveau, souvent peu violent et, qui plus est, peu fumigène.
- Très rapidement, au plus après quelques dizaines de mètres, le flux d'hydrocarbure, enflammé ou non, atteint le siphon. En présence d'une garde hydraulique, celui-ci s'avère un organe primordial de sécurité en arrêtant la flamme éventuelle, mais également en isolant le flux de matière de l'environnement du tunnel, l'hydrocarbure continuant son cheminement dans le collecteur. Dans certains cas un feu peu violent, caractérisé par une vitesse de combustion lente, peut s'installer en partie amont du siphon. Ses effets sont faibles pendant plusieurs heures et l'extinction à la mousse est aisée.

L'étude des risques a également porté sur les situations de dysfonctionnement du système, tels que des couvercles de siphon partiellement détériorés, ou encore l'absence de garde hydraulique. La plupart du temps, les effets sont limités quant à leur gravité. Le scénario le plus sévère se produit en cas de présence d'hydrocarbure et des vapeurs inflammables associées dans le collecteur. L'amorçage et la propagation d'une explosion dans cette partie de l'installation peuvent conduire à des projections de couvercles et des sorties de flammes. Ces effets concerneront alors l'environnement immédiat des siphons, et leur gravité dépendra de la longueur de collecteur affectée par le développement de l'explosion.

De tels dysfonctionnements doivent être évités par une surveillance et une maintenance adaptées afin de ne pas entamer le potentiel sécurité apporté par le système.

## 6 - CONCLUSION

Les résultats expérimentaux résumés ci-avant sont étroitement liés à la géométrie particulière du système testé, et leur extrapolation à d'autres configurations nécessite beaucoup de précautions.

Des réflexions restent à mener pour en tirer le meilleur parti et pour optimiser les systèmes d'assainissement. Parmi les points à examiner, on peut citer le dimensionnement des siphons afin de réduire leur encombrement (près de 2 m<sup>3</sup> actuellement) sans altérer leurs qualités, leur agencement dans le but de "casser" le cheminement d'une éventuelle explosion en collecteur, le diamètre intérieur minimal à donner aux caniveaux fendus, la conception de fentes à ouverture verticale compatibles avec des bordures basses de trottoir, etc.

Ce travail, en cours, débouchera sur des directives applicables aux tunnels français. Il est dès maintenant évident que celles-ci conduiront à généraliser les caniveaux fendus et les siphons à tous les ouvrages d'une certaine longueur autorisés aux transports de matières dangereuses. Une attention particulière devra être portée à la maintenance de ces systèmes dont le rôle est essentiel en cas d'accident grave.