



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

ETUDE DE SCENARIOS DANGEREUX EN STATIONS-SERVICE

Rapport final

Direction des Risques Accidentels

Octobre 2002

PREAMBULE

Le présent document a été établi :

- au vu des données scientifiques et techniques disponibles ayant fait l'objet d'une publication reconnue ou d'un consensus entre experts,
- au vu du cadre légal, réglementaire ou normatif applicable.

Il s'agit de données et informations en vigueur à la date de l'édition du document.

Le présent document comprend des propositions ou recommandations. Il n'a en aucun cas pour objectif de se substituer au pouvoir de décision du ou des gestionnaire(s) du risque ou d'être partie prenante.

SYNTHESE

Le Service de l'Environnement Industriel travaille actuellement à l'élaboration de prescriptions applicables aux installations classées soumises à déclaration au titre de la rubrique 1434. Pour mémoire, cette rubrique vise les installations de remplissage ou de distribution de liquides inflammables.

De plus, il s'avère que de nombreuses demandes de dérogation sont actuellement adressées aux pouvoirs publics par les sociétés exploitant les installations visées à la rubrique 1434 pour réduire des distances minimales de sécurité à appliquer entre les appareils de distribution et les établissements recevant du public.

Dans ce contexte et pour préparer au mieux à la fois les prescriptions de la rubrique 1434 et les réponses aux demandes de dérogation susmentionnées, le SEI sollicite l'appui technique de l'INERIS.

Afin de traiter la prestation pour l'administration demandée par le MEDD, l'INERIS a, en premier lieu, réalisé un recueil de données sur les stations-service en effectuant différentes visites d'installations et en interrogeant le STIIC. Dans un second temps, une analyse de l'accidentologie a permis d'identifier les causes d'accidents. Le recueil de données ainsi que l'accidentologie font apparaître que les risques liés à un incendie peuvent surtout provenir de l'épandage accidentel ou intentionnel de carburant sous forme d'une nappe sur la zone de distribution et sur la zone de dépotage.

A partir de là, l'INERIS a défini cinq scénarios d'accidents du plus plausible (correspondant également au plus minorant) au plus majorant impliquant les phénomènes d'incendie et d'explosion :

- Scénario n°1 : Scénario d'incendie dû à l'épandage accidentel de 120 l d'essence sur la zone de distribution,
- Scénario n°2 : Scénario d'incendie dû à l'épandage volontaire de 960 l d'essence sur la zone de distribution,
- Scénario n°3 : Scénario d'incendie au cours du dépotage d'un camion citerne,
- Scénario n°4 : Scénario d'incendie de files de voitures en attente sur la zone de la station-service,
- Scénario n°5 : Scénario d'explosion au cours du dépotage d'un camion citerne.

L'INERIS a alors évalué les distances d'effets enveloppes en terme d'effets thermiques radiatifs associés aux flux de 5 kW/m² (létalité) et de 3 kW/m² (brûlures irréversibles) pour les scénarios n°1, 2 et 3 ainsi qu'en terme d'effets de surpression associés à l'apparition de la létalité (140 mbar) et des blessures irréversibles (50 mbar) pour le scénario n°5. Le scénario n°4 a été traité de manière qualitative en faisant référence à une étude expérimentale menée par le CTICM sur les feux de voitures en parking aérien.

Il en résulte que les distances d'effets associées aux effets irréversibles et létaux sur une cible située à hauteur d'homme sont respectivement estimées à 13 m et 17 m pour le scénario le plus plausible mais le moins majorant (scénario n°1) et peuvent atteindre jusqu'à 50 m et 115 m pour le scénario le plus majorant (scénario n°5).

Considérant ces résultats, les bénéfices de l'implantation d'un mur coupe-feu 2 h ont été étudiés. Les conclusions montrent que la mise en place à 5 m de la dernière borne de

distribution d'un mur coupe-feu 2 h de 2,5 m de haut permet de réduire pour le scénario n°1 les distances d'effets à 8 m et 12 m soit une réduction de 5 m (par rapport aux distances initiales).

En concertation avec le MEDD, le scénario n°1 a ainsi été retenu comme scénario de référence pour définir les distances minimales de sécurité à intégrer dans le projet d'arrêté. Cependant, les distances d'effets ainsi déterminées ne prennent pas en compte le fait que l'établissement (susceptible d'être touché par le rayonnement) puisse posséder plusieurs étages. Pour prendre en considération cette situation, au lieu de placer la cible à hauteur d'homme, il faudrait la placer à mi-hauteur de flamme où le flux reçu est maximal. Les distances d'effets en seraient alors augmentées même en présence d'un mur coupe-feu.

Concernant l'étude des dangers type, les distances d'effets calculées par l'INERIS sont deux fois supérieures aux distances d'effets présentées dans l'étude des dangers citée.

De ce fait, l'étude des dangers critiquée minimise fortement les distances d'effets thermiques et par la même, les distances de sécurité à respecter.

ETUDE DE SCENARIOS DANGEREUX EN STATIONS-SERVICE

Rapport final

OCTOBRE 2002

S. PATEJ




	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	S. PATEJ	P. ROUX	D. GASTON
Qualité	Ingénieur Unité PHEN Direction Risques Accidentels	Ingénieur Unité EVAL Direction Risques Accidentels	Directeur adjoint Direction Risques Accidentels
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	6
1.1 CONTEXTE	6
1.2 CHRONOLOGIE DES ÉLÉMENTS CONTRACTUELS	6
1.3 CONTENU DE L'ÉTUDE	6
1.4 LIMITATION DE LA RESPONSABILITÉ DE L'INERIS	7
2. RECUEIL DE DONNEES SUR LES STATIONS-SERVICE	9
2.1 TYPOLOGIE DES STATIONS-SERVICE	9
2.2 CONCEPTION DES STATIONS-SERVICE	10
2.2.1 <i>Station-service en milieu ouvert</i>	10
2.2.2 <i>Station-service en milieu confiné</i>	12
3. ANALYSE DE RISQUES	14
4. MODELISATIONS DE L'INERIS	17
4.1 SCÉNARIOS RETENUS PAR L'INERIS	17
4.2 MÉTHODES ET OUTILS	19
4.2.1 <i>Incendie</i>	19
4.2.2 <i>Explosion</i>	21
4.3 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS	24
4.3.1 <i>Incendie</i>	24
4.3.2 <i>Explosion</i>	28
4.4 REMARQUES GÉNÉRALES DE L'INERIS	29
5. MODELISATIONS EFFECTUEES DANS L'ETUDE DES DANGERS TYPE	31
5.1 HYPOTHÈSES DE CALCUL RETENUES DANS L'ÉTUDE DE DANGERS	31
5.2 RAPPEL SYNTHÉTIQUE DES RÉSULTATS PRÉSENTÉS DANS L'ÉTUDE DES DANGERS	32
5.3 REMARQUES DE L'INERIS	32
5.3.1 <i>Choix du scénario retenu dans l'étude des dangers</i>	32
5.3.2 <i>Estimation des effets thermiques du scénario retenu</i>	33
6. CONCLUSION	35

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Le Service de l'Environnement Industriel travaille actuellement à l'élaboration de prescriptions applicables aux installations classées soumises à déclaration au titre de la rubrique 1434. Pour mémoire, cette rubrique vise les installations de remplissage ou de distribution de liquides inflammables.

De plus, il s'avère que de nombreuses demandes de dérogation sont actuellement adressées aux pouvoirs publics par les sociétés exploitant les installations visées à la rubrique 1434 pour réduire des distances minimales de sécurité à appliquer entre les appareils de distribution et les établissements recevant du public.

Dans ce contexte et pour préparer au mieux à la fois les prescriptions de la rubrique 1434 et les réponses aux demandes de dérogation susmentionnées, le SEI a sollicité l'appui technique de l'INERIS. Plus précisément, il a été demandé à l'INERIS de réaliser les tâches suivantes :

- établir la liste des scénarios d'accidents qui peuvent être associés à l'activité des installations visées,
- quantifier les conséquences en terme de distances de sécurité tel que cela est pratiqué dans le cadre des études de danger,
- identifier le scénario le plus pertinent,
- et examiner les cas particuliers permettant de réduire les distances de sécurité notamment la mise en place d'un mur coupe-feu 2 h.

1.2 CHRONOLOGIE DES ELEMENTS CONTRACTUELS

Pour réaliser ce travail, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable a fait appel à l'INERIS.

La présente étude est réalisée sur la base :

- d'une recherche bibliographique relative aux stations-service,
- de visites de stations-service,
- d'une étude des dangers transmise par la DRIRE Midi-Pyrénées en appui à une demande de dérogation,

A noter que ce travail a déjà fait l'objet de deux présentations, l'une en date du 18 juin 2002 lors du groupe de travail sectoriel sur les stations-service (présence de représentants du MEDD et des DRIRE) et l'autre en date du 8 juillet 2002 lors d'une réunion de consultation sur le projet d'arrêté (présence de représentants du MEDD et de la profession).

1.3 CONTENU DE L'ETUDE

Cette étude s'est déclinée en quatre étapes comme suit :

Etape 1 : Recueil de données sur les installations concernant leur typologie et leur

conception,

Etape 2 : Analyse des risques encourus : cette analyse aboutit à l'identification de scénarios d'accident couvrant au plus l'ensemble des situations qui peuvent être rencontrées en pratique,

Etape 3 : Calcul des conséquences associées à ces scénarios,

Etape 4 : Analyse de l'efficacité attendue de la mesure compensatoire proposée qui est en l'occurrence un mur coupe-feu 2 h.

La méthodologie développée par l'INERIS pour étudier les scénarios retenus a été appliquée ensuite pour examiner une étude des dangers type.

Le chapitre 5 présente l'examen de l'étude des dangers type issue du dossier de déclaration de l'installation classée pour la protection de l'environnement.

Pour cet examen, la prestation de l'INERIS a essentiellement consisté à :

- Vérifier que l'étude de dangers a identifié de façon pertinente les dangers que l'exploitation des installations (projetées) est de nature à faire courir à son environnement.

Au cours de cette analyse, l'INERIS s'est attaché à valider le scénario retenu dans les documents examinés, en précisant sa limite de représentativité, en évaluant les modélisations qui y ont été utilisées et les distances enveloppes correspondantes.

Pour réaliser ces modélisations, l'INERIS s'est appuyé sur un modèle qu'il a évalué, en précisant ses limites de représentativité.

- Analyser les principes que l'industriel a retenus pour ce qui est des dispositions de prévention et de protection.

Quant à ce point, la prestation de l'INERIS a exclusivement consisté à vérifier le bien fondé des modalités retenues pour équiper les installations, ainsi que le bien fondé des principes de réalisation, à l'exclusion de la vérification de tout calcul d'ingénierie ainsi que de la disponibilité et de la fiabilité des dispositifs de sécurité.

Cette analyse a exclusivement consisté à :

- vérifier que les fonctions que l'analyse a permis de mettre en lumière, vis-à-vis de la sécurité, sont remplies,
- souligner des fonctions complémentaires à remplir.

1.4 LIMITATION DE LA RESPONSABILITE DE L'INERIS

L'INERIS établira son rapport au vu des informations fournies et au vu des connaissances techniques établies au jour de la rédaction du rapport.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si des tiers ont communiqué des informations erronées ou incomplètes.

En sa qualité de prestataire de services, l'INERIS n'est tenu qu'à une obligation de moyens. L'INERIS a également une obligation de conseil qui ne consiste qu'à éclairer le demandeur, sans jamais se substituer à son pouvoir de décision.

Notre rapport mentionnera les références des documents qui ont été transmis à l'INERIS. La responsabilité de l'INERIS ne saurait être engagée pour toute modification ultérieure apportée à ces documents.

De plus, l'INERIS ne sera pas responsable des mauvaises interprétations de son rapport et/ou du non-respect des préconisations qu'il aura pu faire.

2. RECUEIL DE DONNEES SUR LES STATIONS-SERVICE

Pour réaliser ce recueil de données, l'INERIS a effectué la visite de quatre stations-service :

- Station-service d'une aire d'autoroute (station soumise à autorisation),
- Station-service en milieu urbain (station soumise à déclaration),
- Station-service en parking souterrain (station soumise à déclaration),
- Station-service de la grande distribution (station soumise à déclaration).

A noter que la station-service de la grande distribution était sur le point d'être soumise à autorisation en raison de l'implantation de bornes de distribution supplémentaires.

Ce recueil se base donc sur ces visites ainsi que sur une recherche bibliographique relative aux stations-service. Il en ressort une description somme toute synthétique des stations-service.

2.1 TYPOLOGIE DES STATIONS-SERVICE

Les stations-service se différencient de par leur implantation et leur type d'exploitation. En effet, chaque exploitant peut avoir ses propres modes de maintenance ainsi qu'un matériel inhérent à la station-service plus ou moins récent et sophistiqué.

En premier lieu, l'implantation de la station-service est très importante pour étudier le risque engendré par celle-ci sur l'environnement et la population en particulier. Ainsi, deux types de stations-service apparaissent clairement, les stations-service en milieu ouvert et celle en milieu confiné, c'est-à-dire en parking souterrain. En outre, les installations en milieu ouvert peuvent être implantées en zone urbaine telles que les stations-service sur les « trottoirs » en ville ou sans urbanisation aux alentours (ou très peu) comme ce peut être le cas des stations-service d'autoroute ou de grandes surfaces.

Par ailleurs, il est à noter qu'à la différence des stations-service en milieu ouvert, les stations-service en parking souterrain sont chacune régies par un arrêté qui leur est propre et qui est rédigé par le préfet. En ce qui concerne la conception, les éléments qui peuvent différencier ces deux types de stations sont :

- d'une part, les dimensions et la disposition des matériels constituant la station,
- et d'autre part, les dispositifs de sécurité.

En second lieu, concernant le type d'exploitation, les stations-service de grands groupes pétroliers sont exploitées soit par les groupes pétroliers eux-mêmes soit par des indépendants qui peuvent être propriétaires en partie ou en totalité de l'installation.

La seconde grande catégorie de stations-service appartient à la grande distribution.

Dans toutes ces stations-service, la distribution de carburant peut être ou non en libre service avec ou sans surveillance directe ou indirecte (caméra vidéo). Conformément à l'arrêté type 261-10, les différences qui existent entre une installation avec et sans surveillance sont que dans une station sans surveillance (libre service 24 h/24 h), la durée de distribution du carburant doit se limiter à 3 minutes pour un débit de 40 l/min au maximum et que des systèmes d'extinction automatique à poudre doivent être implantés

dans les îlots de distribution. Ces systèmes doivent se déclencher sous l'effet de la chaleur par l'intermédiaire d'un fusible.

2.2 CONCEPTION DES STATIONS-SERVICE

2.2.1 Station-service en milieu ouvert

Afin de décrire une station-service en milieu ouvert, la station d'aire d'autoroute visitée par l'INERIS a été prise comme exemple. La Figure 1 correspond ainsi à une représentation schématique de cette station. A noter que, mis à part l'organisation de l'installation qui peut changer, les éléments composant une station restent toujours les mêmes.

Ainsi, une station-service est constituée de trois zones principales, la zone de distribution la zone de dépotage et la zone de boutique et de caisse. Toutes ces zones sont situées en surface. La zone de distribution correspond à une zone de roulage où les usagers viennent s'approvisionner en carburant et est composée de différentes bornes de distribution permettant le service de carburant en simultané. La zone de dépotage, quant à elle, permet d'effectuer le remplissage des cuves de carburant par camion citerne. Dans certains cas, cette zone de dépotage peut se retrouver confondue à la zone de distribution, c'est-à-dire que le dépotage de camions citerne se fait au même endroit que le remplissage du réservoir de l'utilisateur (par exemple, stations-service en milieu urbain).

Ces deux zones sont soumises à une certaine pente et sont équipées de caniveaux récupérant tous les effluents (eaux de pluie et hydrocarbures en particulier). Les caniveaux sont reliés directement à un décanteur/séparateur d'hydrocarbure enterré et muni ou non d'une cuvette de rétention. Lorsque des effluents arrivent jusqu'au décanteur/séparateur, les hydrocarbures et les matières en suspension sont séparées des eaux collectées, celles-ci repartant dans le réseau prévu à cet effet. Les hydrocarbures et autres matières sont conservées dans un réservoir de capacité limitée (au maximum, 720 l) qui doit être vidangé régulièrement. Si celui-ci venait à être plein, un obturateur d'afflux s'actionnerait automatiquement bloquant tous les effluents. Ceux-ci se déverseraient alors dans la cuvette de rétention si elle existe ou resteraient dans les tuyauteries et en surface au niveau de la zone de distribution et de dépotage si l'afflux est trop important.

Les cuves contenant le carburant sont, comme le décanteur, enterrées et reliées par des canalisations d'une part, aux postes de dépotage et d'autre part, aux différentes bornes de distribution. Ces cuves peuvent être de capacités variables et soit d'un seul tenant, soit séparées en deux (par exemple, deux sous-réservoirs de 40 m³ et 20 m³ constituant une cuve au total de 60 m³). Chaque cuve (ou sous-réservoir) possède une évacuation sous forme d'évents situés à l'air libre et en partie haute. Chaque évent est propre à un seul et même type de carburant. Par ailleurs, la plupart des cuves et des canalisations contenant le carburant sont maintenant équipées d'enveloppe double peau avec présence d'un produit anti-gel entre les deux enveloppes. Ce système permet de vérifier par mesure de la quantité d'anti-gel, s'il y a présence ou non d'une fuite (corrosion, glissement de terrain,...) et d'intervenir sans risque de pollution des sols par les hydrocarbures.

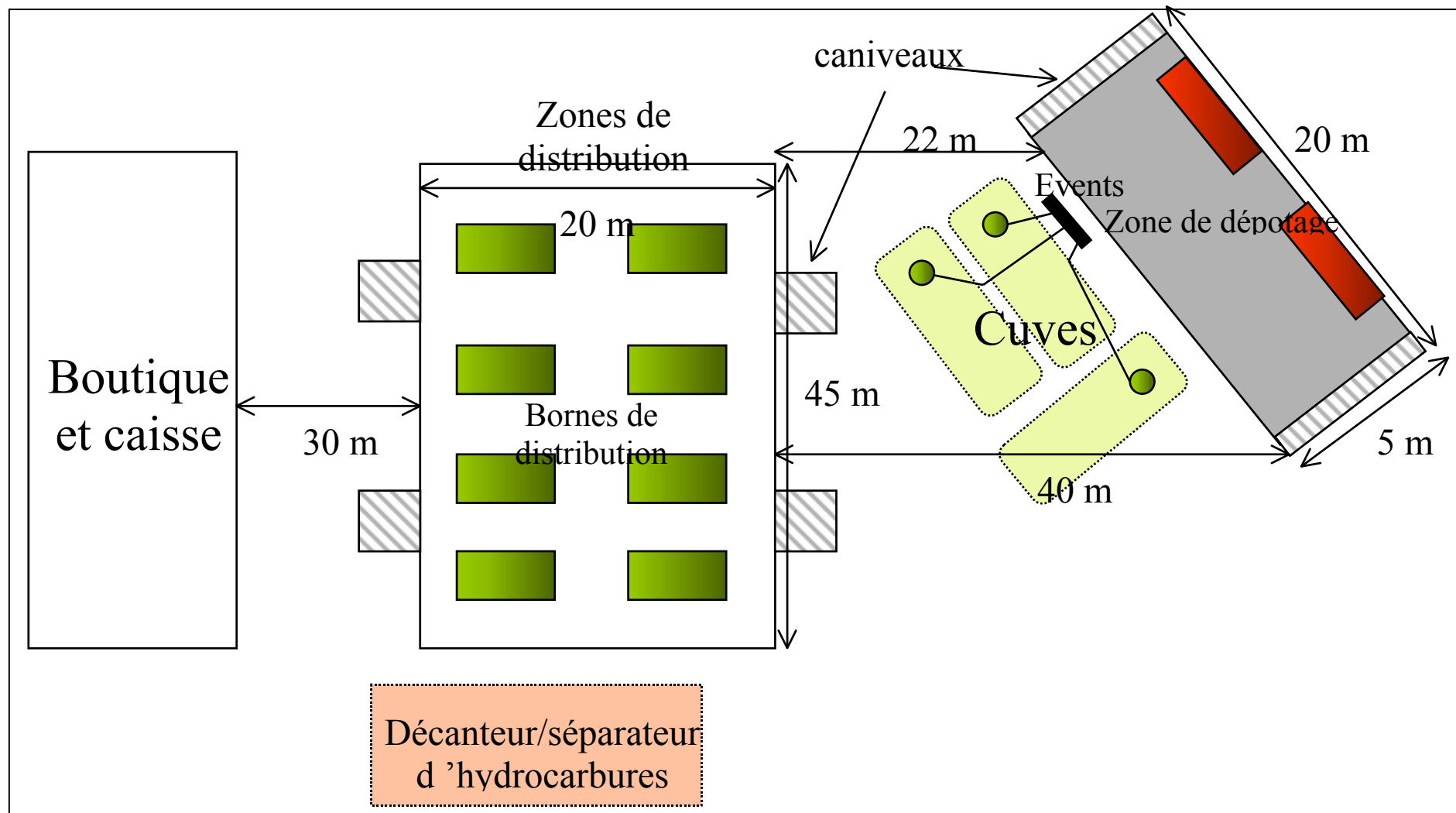


Figure 1 : Configuration générale d'une station-service (station-service d'aire d'autoroute).

De plus, afin de mesurer la quantité de carburant présent dans chaque cuve, un jaugeage par pige s'effectue ponctuellement au niveau des trous d'homme situés au-dessus des cuves. Pour une mesure en continu, des jauges électroniques existent.

Concernant la distribution de carburant, les bornes sont équipées soit de pompes à aspiration situées dans la borne, soit de pompes à refoulement immergées dans les cuves. Les bornes avec pompe à refoulement sont obligatoirement munies à leur base de clapets de sécurité qui sont sensés se fermer en cas d'arrachement de l'appareil de distribution. Les pompes à aspiration fonctionnent seulement par actionnement du pistolet de distribution. En cas d'accident, ce système est plus fiable que celui avec pompe à immersion (voir accidentologie). Par exemple, pour la société TOTAL, 48 stations-service sur plus de 4000 environ sont encore équipées d'un système à pompe à refoulement.

Enfin, dans une station classique, les systèmes de prévention et de protection contre l'incendie sont les suivants :

- arrêt de la distribution par système manuel dit « arrêt coup de poing »,
- extincteurs portables à poudre,
- produits absorbants (sable ou autres).

2.2.2 Station-service en milieu confiné

La description faite ci-après concerne la station-service en sous-sol visitée par l'INERIS. A noter que, pour une autre station en milieu confiné, la configuration et l'organisation pourraient être différentes.

Tout d'abord, les cuves simple peau situées au niveau -3 d'une capacité de 10 m³ sont contenues dans des fosses stratifiées et floquées avec un revêtement coupe-feu 2 h. Les canalisations d'amenée de carburant sont, quant à elles, à double enveloppe mais sans présence de fluide dans l'espace annulaire car les canalisations descendent vers les cuves. C'est aussi pourquoi la détection de vapeurs se fait au niveau des trous d'homme des cuves (vapeurs d'hydrocarbures plus lourdes que l'air). Le remplissage des cuves est effectué par dépotage de camion citerne au niveau de la voie publique (niveau 0). Il n'existe aucune zone spécifique dédiée au dépotage et donc au stationnement du camion.

Les canalisations de carburant qui sont floquées par un revêtement coupe-feu 2h remontent vers les appareils de distribution situées au niveau -1. Le système de pompe de distribution est mixte c'est-à-dire pour les cuves peu éloignées de la zone de distribution, le système est à aspiration, par contre, pour les cuves situées au niveau -3, il est à immersion.

Concernant les systèmes de sécurité, au niveau des îlots, existent des détecteurs de gaz en partie basse et des actionneurs d'extracteurs fonctionnant tels que :

- lorsque la concentration de gaz atteint 20 % de la LIE, les extracteurs se mettent en marche à faible débit,
- lorsque la concentration de gaz atteint entre 20 et 40 % de la LIE, les extracteurs se mettent en marche à fort débit,
- lorsque la concentration de gaz atteint plus de 40 % de la LIE, une coupure automatique de la distribution se produit.

Au-dessus des appareils de distribution, sont installés des éclairages de sécurité vis-à-vis d'une atmosphère explosible et des sprinklers à poudre et à eau. Lorsqu'un fusible présent au niveau des îlots atteint 70 °C, la distribution de carburant se coupe et les systèmes

d'extinction automatiques se déclenchent dans l'ordre suivant :

- dans un premier temps, le sprinkler à poudre,
- dans un second temps, au bout d'une minute, le sprinkler à eau.

Dans l'arrière boutique, différentes mesures et alarmes peuvent également être visualisées telles que :

- jaugeage électronique du niveau de remplissage des cuves,
- mesure de la LIE faite au niveau des fosses et des regards,
- alarme concernant le remplissage du séparateur d'hydrocarbures,
- alarme provenant du dépotage en cas de problème (appel du camionneur par appareil téléphonique autonome et anti-déflagrant).

Lors des inspections, il peut être demandé des essais de déclenchement de sprinklers au niveau des cartouches de CO₂ ou des essais avec aspersion de poudre par les têtes de sprinklers. Certains inspecteurs rapportent que dans certains cas, les têtes de sprinklers ne se sont pas déclenchées et que la poudre n'a donc pas été éjectée. En effet, il peut arriver qu'un bouchon de poudre se forme et bloque tout le système d'éjection.

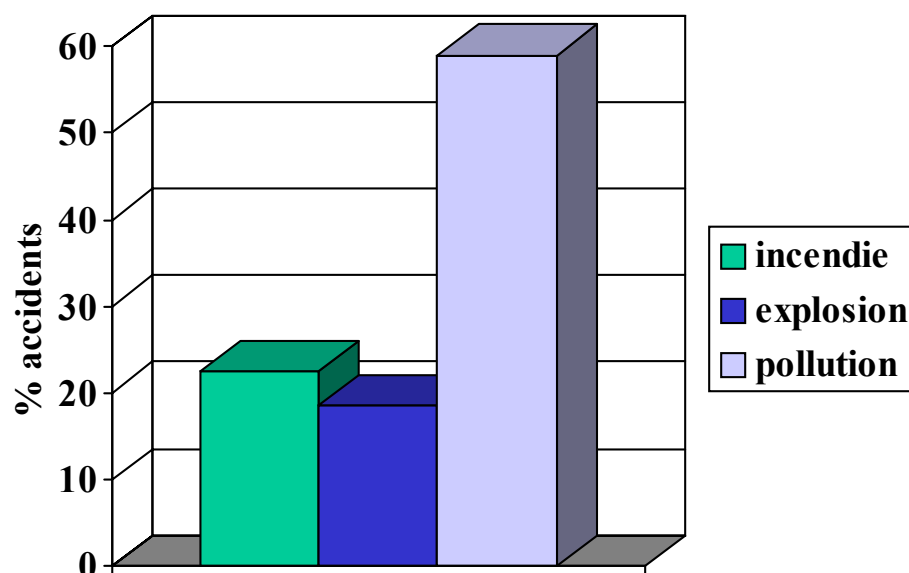
3. ANALYSE DE RISQUES

Afin d'avoir un aperçu des différents types d'accidents plausibles se produisant au sein des stations-service, l'INERIS a fait une brève synthèse des accidents survenant en station-service au niveau international.

Cette synthèse repose sur une interrogation de la base de données ARIA du BARPI (MEDD/SEI). Le résultat de la requête est joint dans son intégralité, en annexe I du présent rapport. Le BARPI recense 57 cas d'accidents ayant eu lieu en stations-service depuis 1978 (état des données en avril 2002).

L'INERIS a également pris connaissance d'un article paru dans la revue Face Au Risque (n° 319, Janv. 1996, p.54) intitulé « Les accidents dans les stations-service » et visible en annexe II.

Les accidents se produisant dans les stations-service conduisent le plus souvent à des pollutions de sol ou de sous-sol et de façon moins fréquente, à des explosions et des incendies. Le graphique ci-dessous illustre cette information.



Le phénomène de pollution des sols et sous-sols se décline en deux catégories :

- pollution chronique se produisant sur une longue période et étant due le plus souvent à la corrosion des cuves enterrées,
- pollution accidentelle due au déversement d'hydrocarbure lors du remplissage des stockages de la station ou de la distribution de carburant.

Les phénomènes d'explosion et d'incendie sont moins fréquents que la pollution mais peuvent cependant entraîner des dégâts matériels importants et même humains. En général, l'explosion succède à l'incendie. Quant au bilan humain, il fait état de morts et de blessés graves dans respectivement 2,3 % et 9,5 % des cas répertoriés (cf article Face Au Risque en annexe II).

Dans la présente étude, l'INERIS se focalisera exclusivement sur les accidents qui ont induit ou auraient pu induire des phénomènes d'explosions ou d'incendies.

Dans la base ARIA, il est ainsi fait état de dix sinistres lourds de conséquences autant d'un point de vue dégâts matériels que bilan humain. Huit se sont produits en France dont celui de Marseille en 1992 (destruction en partie d'un immeuble) et celui de Marly-le-Roi en 1990 (destructions de la station, d'un camion citerne et de deux voitures). Les deux autres ont eu lieu à l'étranger soit en Corée (destruction de 12 voitures et 55 blessés en 1998) et en Chine (destruction d'un camion citerne et d'un immeuble, 5 morts et 2 blessés en 2000).

Les accidents se sont aussi bien produits sur les zones de dépotage, sur les zones de distribution, dans les cuves de stockage durant leur maintenance que dans les cabines de caisse des stations.

Dans ces cabines, des remontées de gaz inflammables par les gaines électrique ont été à l'origine de formation d'atmosphères explosibles qui se sont enflammées en raison d'étincelles électriques (allumage d'un radiateur électrique, ...). Lors de l'explosion du nuage inflammable, le caissier (ou la caissière) a subi des brûlures du 2^e degré aux mains et au visage (La Guerinière, 1993 et Montmirail, 1997).

Concernant toujours l'explosion de vapeurs d'essence, lors des opérations de maintenance des cuves de stockage, se sont produits des accidents dus à l'imprudence des ouvriers (non vérification des explosimètres). Cette maintenance consiste en général au dégazage (Laval, 1989) et au nettoyage des cuves (Etats-Unis, 2000) ou encore à la pose de revêtement en fibre de verre (Etats-Unis, 1997).

Sur les zones de dépotage, les accidents ont eu lieu exclusivement lors du remplissage des cuves par les camions citerne soit par imprudence, soit par défaillance du matériel tel que :

- surremplissage (Paris, 1992),
- accident de camion (Riom, 2001),
- flexible arraché (Créteil, 1988),
- rupture d'une bride (Alençon, 1993)
- rupture de la vanne de la citerne (Clamecy, 1999),
- défaillance de la vanne de sécurité du camion (Puteaux, 2001),

Lors de ces accidents, des explosions et des incendies ont pu survenir et il en résulte souvent qu'une très grande quantité de carburant se répand sur le sol et se consume (exemple, Marly-le-Roy, 1990 avec une quantité brûlée de 15 m³).

Sur les zones de distribution, les accidents se sont produits par acte d'imprudence. Ces actes d'imprudence peuvent se caractériser par différents événements tels que :

- Percussion des pompes de distribution par des véhicules (accident d'Eckartswiller, 2000 : fausse manœuvre, endommagement d'une pompe. Les dispositifs de sécurité n'ont pas fonctionné ce qui a entraîné un déversement de 4300 l d'essence sur le sol),
- Vidange volontaire du réservoir sur le sol (Grezieu-la-Varenne, 1998),
- Remplissage de jerricanes (Boissy-Saint-Léger, 2000),

- Remplissage de réservoir (source d'inflammation présumée : cigarette ou téléphone portable ?) (Etats-Unis, 2000),
- Arrachement du flexible à cause du pistolet qui était resté dans le réservoir (Avrille, 2001).

Par ailleurs, il est à noter que des actes de malveillance ont également été à l'origine d'accidents en stations-service. Les incendies issus de ces actes se sont toujours limités à la boutique de la station-service sans se propager au reste de l'installation (Nantes, 1997 et Alfortville, 2000).

Enfin, même si les bases de données n'en font pas référence, il est important de noter que des incidents peuvent se produire lors des phases de remplissage des réservoirs de véhicules. De tels incidents qui peuvent conduire au plus à des brûlures pour l'utilisateur procédant au remplissage du réservoir de son véhicule, sont principalement dus à la formation d'une atmosphère explosible au niveau du bouchon de remplissage et à une inflammation de cette atmosphère par une décharge d'origine électrostatique (mauvaise continuité électrique entre le pistolet et le tuyau, différence de potentiel entre le pistolet et le véhicule, ...)

Au vu de cette synthèse de l'accidentologie, il ressort très nettement que les accidents peuvent se produire soit par défaillance du matériel et des moyens de protection, soit par acte de malveillance soit par imprudence des usagers et des employés. Certains de ces accidents font intervenir des phénomènes d'incendie et d'explosion de nuage inflammable.

Les scénarios d'accidents à retenir pourraient donc consister à considérer des fuites accidentelles ou intentionnelles d'essence se produisant sur les zones de distribution et de dépotage.

4. MODELISATIONS DE L'INERIS

Le présent paragraphe a pour objet de définir des scénarios d'accidents susceptibles de se produire et conduisant à calculer des distances d'effets enveloppes dans l'environnement du site, compte tenu notamment des dispositifs ou dispositions de sécurité dont la mise en œuvre est effective ou pourrait être envisagée.

Il faut rappeler ici que l'objet de la présente étude est notamment de définir des scénarios conduisant à calculer des distances d'effets enveloppes dans l'environnement, indépendamment de leur probabilité d'occurrence.

La méthode retenue consiste, pour une installation ou un système :

- à rechercher les divers types d'accidents pouvant se produire,
- à retenir, pour chaque type d'accident, le scénario qui permet de décrire une enveloppe des circonstances potentiellement accidentelles,
- à évaluer les conséquences qui leur seraient associées.

La démarche prend en compte, le cas échéant, les diverses parades qui peuvent être développées ainsi que les défaillances secondaires qui peuvent survenir. Elle permet d'envisager les dangers potentiels et d'évaluer la pertinence des mesures de sécurité mises en œuvre ou envisagées.

Ainsi, dans le cadre de la présente étude, la démarche de l'INERIS a consisté exclusivement à :

- considérer une station-service type dont la configuration est décrite en Figure 1 du paragraphe 2.2,
- considérer, dans ces conditions, les scénarios susceptibles de conduire à calculer des distances d'effets enveloppes après caractérisation des hypothèses retenues pour les modélisations,
- considérer les avantages attendus de l'implantation de murs coupe-feu 2 h.

4.1 SCENARIOS RETENUS PAR L'INERIS

Compte tenu des considérations développées au chapitre 3, l'INERIS retient les cinq scénarios suivants dénommés du scénario n°1 au scénario n°5.

Le scénario n°1 correspond au scénario d'accident le plus plausible et les suivants correspondent aux scénarios les plus majorants dont la probabilité d'occurrence est faible.

Scénario n°1 : Scénario d'incendie sur la zone de distribution mettant en jeu 120 l de carburant

Modélisation des effets thermiques

Pour ce scénario, l'INERIS a considéré l'épandage accidentel ou intentionnel de 120 l de carburant sur la zone de distribution. Une telle quantité correspond à une distribution de

carburant au débit maximum de pompe en libre service (40 l/min) et ce durant trois minutes (durée maximale autorisée pour une station-service sans surveillance). Une nappe circulaire d'essence se forme autour de la borne de distribution et s'enflamme, soit intentionnellement, soit accidentellement sous l'action d'une source d'inflammation (étincelle, point chaud,...). La nappe se consume sur la totalité de sa surface, en postulant un non-fonctionnement des installations d'extinction automatique à poudre qui protègent la station-service fonctionnant sans surveillance. L'INERIS s'est ainsi attaché à caractériser les distances correspondant aux seuils de flux thermiques rayonnés reçus de 3 kW/m² (blessures irréversibles) et 5 kW/m² (effets létaux).

Scénario n°2 : Scénario d'incendie sur la zone de distribution suite à un acte de malveillance (épandage de 960 l de carburant) :

Modélisation des effets thermiques

Pour ce scénario, l'INERIS a considéré un acte de malveillance impliquant l'épandage sur le sol de 960 l de carburant correspondant à une distribution simultanée de huit pompes de distribution (mêmes conditions de fonctionnement que pour le scénario n°1). Huit pompes représentent une moyenne du nombre de pompes rencontré en station-service sans surveillance fonctionnant 24 h/24 h. La nappe d'essence de forme circulaire ou rectangulaire est soumise à un incendie affectant la totalité de sa surface, en postulant un non-fonctionnement des installations d'extinction automatique à poudre qui protègent l'ensemble des bornes de distribution. Pour le cas du feu rectangulaire, celui-ci sera borné par la largeur de la zone de distribution qui est de 20 m en raison de la présence de caniveaux. Il faut tout de même admettre que pour un tel scénario, il n'est pas aisé de donner une forme réaliste à la nappe. C'est d'ailleurs pour cette raison que ce scénario sera traité en premier lieu, avec une nappe circulaire et en second lieu, avec une nappe rectangulaire.

L'INERIS s'est ainsi attaché à caractériser les distances correspondant aux seuils de flux thermiques rayonnés reçus de 3 et 5 kW/m².

Scénario n°3 : Scénario d'incendie au cours du dépotage d'un camion:

Modélisation des effets thermiques

Pour ce scénario, l'INERIS a considéré qu'il se produisait une fuite de carburant au moment du dépotage d'un camion (flexible arraché, rupture de la vanne de la citerne,...voir accidentologie). L'Institut a admis qu'il se répandait sur le sol 1000 l d'essence et que la nappe d'épaisseur 1 cm couvrait entièrement la zone de dépotage de 20 x 5 m². La nappe s'enflamme assez rapidement et l'incendie est considéré affecter la totalité de la surface de la zone de dépotage, en postulant un non-fonctionnement des système de protection qui pourraient être présents sur cette zone. La surface de feu est bornée par les caniveaux présents sur la zone de dépotage (Figure 1).

L'INERIS s'est ainsi attaché à caractériser les distances correspondant aux seuils de flux thermiques rayonnés reçus de 3 et 5 kW/m².

Scénario n°4 : Scénario d'incendie de files de voitures en attente sur la zone de la station-service:

L'INERIS a retenu ce scénario à la demande du MEDD. Il a été traité de manière qualitative en s'aidant d'une étude expérimentale réalisée par le CTICM sur le site du CNPP (Vernon) concernant les feux de voitures en parking aérien. L'INERIS a considéré

plusieurs files de voitures émanant des différentes bornes de distribution. Une fuite accidentelle d'essence se produit sur la zone de distribution (surremplissage par exemple) et le carburant issu de cette fuite s'enflamme. L'objectif de ce scénario est de savoir si a priori dans ces conditions, il peut y avoir ou non propagation du feu aux véhicules stationnés sur la zone de distribution et à ceux présents dans les files d'attente.

Scénario n°5 : Scénario d'explosion au cours du dépotage d'un camion:

Modélisation des effets de surpression

Pour ce scénario, l'INERIS a considéré comme pour le scénario n°3, une fuite lors du dépotage d'un camion avec un débit de fuite correspondant au débit de dépotage de 60 m³/h. La fuite entraîne la formation d'un nuage inflammable, qui peut s'enflammer et exploser en présence d'une source d'inflammation suffisamment énergétique.

L'INERIS s'est ainsi attaché à caractériser les distances correspondant aux seuils d'effets de surpression létaux (140 mbar) et irréversibles (50 mbar).

Remarque : Il est à souligner que seul le scénario n°5 implique le phénomène d'explosion et que tous les autres scénarios (n°1 à n°4) correspondent à des scénarios d'incendies. Pourtant, au vu de l'analyse de risques faite au chapitre 3, d'autres scénarios d'explosion pourraient être étudiés tels que les scénarios d'explosion en cuves et au sein des caisses de paiement. Cependant, ces scénarios ne font pas l'objet d'une étude dans le présent rapport.

4.2 METHODES ET OUTILS

4.2.1 Incendie

Pour mémoire, rappelons que dans les études des dangers, deux seuils critiques engendrant des effets néfastes sur l'homme sont retenus pour un temps d'exposition minimal de l'ordre de la minute :

- Flux de 5 kW/m² engendre l'apparition d'effets létaux pour la population,
- Flux de 3 kW/m² engendre l'apparition d'effets irréversibles (brûlures significatives) pour la population.

Afin d'estimer ces distances d'effets thermiques liées au rayonnement des incendies considérés, l'INERIS a utilisé le logiciel FNAP (logiciel développé en interne à l'INERIS).

Les principes mis en œuvre dans ce modèle sont présentés en Annexe III.

L'INERIS souligne que considérer uniquement les effets associés au rayonnement de la flamme se justifie dès lors que la cible est éloignée du foyer de l'incendie. Le rayonnement thermique est en effet le mode de transfert de la chaleur privilégié à partir d'une certaine distance du foyer. En revanche, il est à noter que les résultats donnés en terme d'effets thermiques radiatifs sont généralement peu pertinents dans l'environnement immédiat de la flamme, pour lequel les effets liés au mode de transfert convectif ne peuvent être négligés.

Dans une approche majorante, l'INERIS a considéré que l'incendie s'établissait sur la totalité de la surface au sol des nappes de carburant considérées en admettant qu'aucun des systèmes d'extinction automatique à poudre qui pourrait être mis en place sur les zones de

distribution, ne se déclenche.

Par ailleurs, l'Institut a retenu un débit massique de combustion constant pour l'essence de 55 g/m²s (donnée expérimentale obtenue par Babrauskas (1983), voir annexe III). En revanche, la puissance surfacique rayonnée par la flamme appelée également pouvoir émissif de la flamme a tendance à varier avec le diamètre de la nappe lorsque celui-ci est inférieur à 50 m (Figure 2). Dans la présente étude, le pouvoir émissif ne sera donc pas constant et évoluera suivant le cas traité de 50 à 100 kW/m².

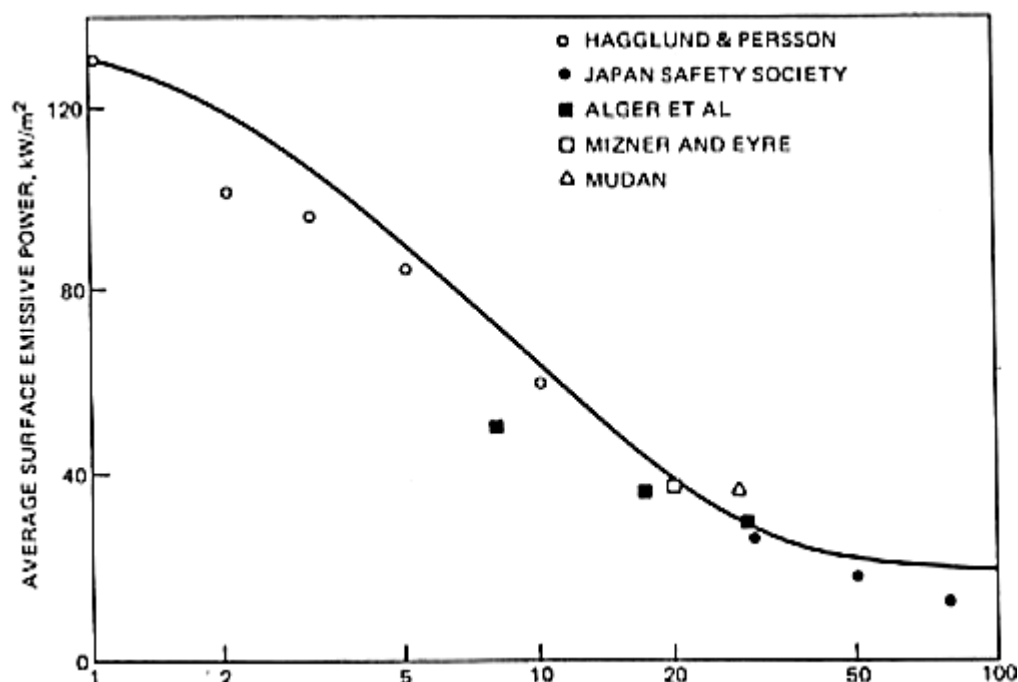


Figure 2 : Pouvoir émissif moyen fonction du diamètre de nappe pour des feux d'essence, de kérosène et de JP-4 (SFPE Handbook, 1995).

D'autre part, la hauteur de flamme est en général déterminée dans le logiciel par des corrélations empiriques (Annexe III). Pour les feux se développant sur la zone de distribution, ces corrélations donnent des hauteurs de flamme qui excèdent la hauteur du auvent qui abrite les postes de distribution et qui est en général d'approximativement 5 m. L'INERIS a alors estimé que les flammes pouvaient tout à fait contourner cet auvent.

Enfin, l'atténuation atmosphérique du rayonnement due à l'humidité relative de l'air est établie par la corrélation de Brustowski & Sommer (Annexe III) en prenant une humidité relative de 70% pour une température ambiante de 20 °C.

Le cas échéant, l'INERIS a tenu compte de la présence d'un mur coupe feu, comme écran au rayonnement sur toute sa hauteur.

Par ailleurs, les distances d'effets associées à la létalité et à l'apparition d'effets irréversibles sont calculées pour une cible placée entre 1 m et 2 m du sol ce qui correspond à la hauteur d'un homme. Toutefois, dans certains cas, les distances d'effets ont également été calculées pour une cible située à mi-hauteur de flamme (mention spéciale dans les tableaux de résultats) afin de tenir compte des étages des établissements qui pourraient devenir des cibles potentielles (ERP à plusieurs étages). En effet, c'est à mi-hauteur de la flamme que le flux rayonné est le plus intense ainsi la partie haute d'un établissement

pourra être confrontée à des flux de chaleur plus importants que la partie basse.

A noter également qu'en prenant un débit de combustion surfacique de 55 g/m²s, une nappe d'épaisseur 1 cm se consumerait durant un peu plus de 2 minutes. Etant donné que les seuils d'effets létaux de 5 kW/m² et irréversibles de 3 kW/m² sont valables pour une durée d'exposition supérieure ou égale à la minute, la nappe peut donc être ramenée à une épaisseur de 0,5 cm pour obtenir un scénario de feu encore plus majorant (dimensions plus grandes) ne durant qu'une minute.

Le tableau ci-après résume toutes les hypothèses prises par l'INERIS pour chacun des trois scénarios (scénario n°1 à 3) nécessitant des calculs de distances d'effets thermiques.

Désignation	Dimensions au sol de l'incendie	Epaisseur de la nappe (cm)	Débit de combustion (g/m ² s)	Pouvoir émissif (kW/m ²)	Hauteur de flamme (m)
Scénario n° 1	D = 4 m	1	55	100	8
	D = 5,5 m	0,5		90	10
Scénario n° 2	D = 11 m	1		60	17
	D = 15 m	0,5		50	22
	L x l = 20 x 9,5 m ²	0,5		55	20
Scénario n° 3	L x l = 20 x 5 m ²	1		70	10

Tableau 1 : Hypothèses retenues par l'INERIS pour les modélisations des effets thermiques de chaque scénario.

Remarque : Selon les résultats expérimentaux obtenus au CEA-CESTA sur les nappes d'hydrocarbures épandues au sol (sur piste d'envol), l'épaisseur de telles nappes peut atteindre au maximum 1 cm. C'est pourquoi, cette valeur a été considérée comme l'épaisseur maximale de nappe dans la présente étude.

4.2.2 Explosion

L'évaluation des effets d'un UVCE passe dans un premier temps par la modélisation de la dispersion du nuage inflammable formé consécutivement à l'évaporation de la nappe. Ce calcul permet notamment de déterminer des paramètres importants comme la distance à la LIE et la masse inflammable mise en jeu.

Dans un deuxième temps, les effets de surpression liés à l'explosion de cette masse inflammable sont évalués à l'aide de la méthode multi-énergie.

4.2.2.1 Modalités de calcul de la dispersion atmosphérique

Les calculs de dispersion atmosphérique ont été effectués par l'INERIS à l'aide du logiciel PHAST version 4.2 présenté en Annexe IV. Les versions 3.0 et 4.2. de ce logiciel ont fait l'objet d'une évaluation par l'INERIS, pour le compte du S.E.I. (Service de l'Environnement Industriel).

Dans tous les cas, les calculs ont été effectués sous les hypothèses d'une humidité relative de 70 % et pour une valeur classique du paramètre de rugosité (soit une valeur de 0,1 pour le logiciel PHAST 4.2.).

Pour ce qui concerne les conditions météorologiques, on rappelle qu'elles sont décrites par de nombreux paramètres, dont notamment ceux qui sont liés, d'une part, à la turbulence atmosphérique, et, d'autre part, à la vitesse du vent. La turbulence atmosphérique est due à la fois à des turbulences d'origine mécanique, engendrées par la rugosité du sol, et à des turbulences d'origine thermique, liées à la stratification verticale de la température de l'atmosphère.

Il est donc important de caractériser la stabilité atmosphérique qui est liée au gradient vertical de densité de l'air, lui-même lié au gradient vertical de température. La variation de température adiabatique verticale est comprise entre $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ et $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ en fonction du taux d'humidité de l'air.

De façon simplifiée, lorsque le gradient vertical de température est inférieur à celui d'une atmosphère adiabatique, l'atmosphère est dite instable. Si le gradient correspond à celui de l'adiabatique, l'atmosphère est dite neutre. Enfin, si le gradient thermique est positif (donc supérieur à celui de l'adiabatique), l'atmosphère est dite stable, autrement dit peu favorable à une diffusion verticale du polluant.

C'est ainsi que PASQUILL propose une classification comportant six classes de stabilité, notées de A à F, couvrant les cas des atmosphères très instables à instables (A et B) jusqu'aux cas des atmosphères stables à très stables (E et F), en passant par les cas d'atmosphères neutres (C et D).

Pour ses calculs, l'INERIS a retenu deux ensembles de conditions météorologiques, repérées par les trios (D,5,20) et (F,3,15) où la première lettre correspond à la classe de stabilité atmosphérique de PASQUILL, le chiffre en seconde position à la vitesse du vent en mètre par seconde, et le troisième à la température ambiante en degré Celsius.

Les conditions (D,5,20) correspondent à une atmosphère neutre associée à une vitesse de vent mettant en évidence les effets de l'advection. Les conditions (F,3,15) conjuguent une stabilité très forte et le vent le plus important que l'on puisse lui associer.

En pratique, il convient toutefois de souligner que, surtout si l'on s'intéresse à de fortes concentrations -comme c'est le cas par exemple de l'ordre du pour-cent volumique pour des L.I.E.-, les caractéristiques géométriques des zones où elles sont atteintes varient d'autant moins avec les conditions météorologiques que l'énergie cinétique du terme source est importante. Aussi, dans le tableau 5, ont été reportées les grandeurs majorantes calculées pour les deux conditions météorologiques retenues.

La distance maximale pour laquelle le nuage formé est inflammable, ou distance à la LIE, est également évaluée par des modèles de dispersion en champ libre. Ainsi, la distance à la LIE calculée est à interpréter comme un périmètre au delà duquel, dans les conditions météorologiques considérées, le nuage ne présente plus de caractère explosible car la concentration en gaz inflammable est inférieure à la LIE. A l'intérieur de ce périmètre, le nuage explosible peut se trouver au centre, ou au contraire, en périphérie, selon la direction du vent et le temps d'inflammation. Si l'inflammation a lieu suffisamment tôt, le nuage explosible se trouve approximativement centré sur le point de fuite. En revanche, si l'inflammation est plus tardive, le nuage a pu dériver jusqu'à atteindre la concentration limite de la LIE.

4.2.2.2 Calcul des effets de surpression

Pour modéliser les effets de surpression dus à des explosions, l'INERIS a retenu la méthode dite « multi-énergie ».

Pour appliquer cette méthode, il convient de faire l'inventaire des zones susceptibles de contenir une atmosphère explosive et d'associer à chacune d'elle un indice de violence d'explosion, choisi sur une échelle allant de 1 à 10, représentatif de la surpression maximale engendrée par une éventuelle explosion.

On rappelle que l'on peut distinguer deux régimes d'explosion :

- la déflagration, caractérisée par la création d'une onde de surpression se développant en avant d'un front de flamme qui se propage à une vitesse subsonique,
- la détonation, caractérisée par un front de flamme lié à l'onde de choc, l'ensemble se propageant à des vitesses supersoniques.

Une détonation n'est susceptible d'être observée que si l'inflammation de l'atmosphère explosible est suffisamment énergétique et si la vitesse de flamme d'une explosion, ayant débuté dans le régime de la déflagration, augmente suffisamment (du fait de l'encombrement et du confinement notamment) pour transiter vers le régime de la détonation.

Dans la nomenclature de la méthode « multi-énergie », les indices de violence d'explosion allant de 1 à 9 correspondent à des déflagrations d'autant plus rapides que la valeur de l'indice est élevée. L'indice 10 correspond, quant à lui, à une détonation.

Le choix de cet indice dépend notamment :

- du niveau de confinement ou d'encombrement de la zone considérée,
- du niveau de turbulence au sein de l'atmosphère explosive,
- de la puissance de la source d'inflammation,
- de la géométrie de la zone,
- de la réactivité du produit concerné.

Il convient encore de noter ici que l'application de la méthode suppose l'explosion d'une charge gazeuse hémisphérique en supposant une vitesse de flamme constante.

Or, en pratique, les vitesses de combustion -et par voie de conséquence les surpressions engendrées- varient au sein du nuage en fonction notamment des conditions locales de turbulence et de concentration.

En d'autres termes, lors d'une déflagration, il est possible d'observer des vitesses de combustion locales relativement importantes mais qui ne concernent pas la totalité du nuage explosible formé. C'est ainsi qu'il est vraisemblable qu'une partie non négligeable du nuage ne donne pas matière à une déflagration violente. Il faut noter que ce dernier raisonnement n'est, en toute rigueur, pas valable dans le cas d'une transition vers un régime de détonation.

Pour tenir au mieux compte de la réalité, la démarche choisie se décompose *in fine* comme suit :

- 1) Calcul de dispersion avec le logiciel PHAST, détermination de la distance à la LIE et de la masse inflammable à l'aide de modèles de dispersion en champ libre ;
- 2) Détermination de l'indice d'encombrement sur l'échelle multi-énergie.
- 3) Evaluation des distances d'effet aux seuils de surpression.

4.3 RESULTATS DES MODELISATIONS

4.3.1 Incendie

Les tableaux 2, 3 et 4 ci-après présentent les distances d'effets thermiques associées respectivement au scénario n°1, scénario n°2 et scénario n°3.

Les distances ont été déterminées à partir de la borne de distribution pour les scénarios n°1 et 2 et à partir du mur de flamme pour le scénario n°3. Pour les incendies de surfaces au sol rectangulaires, les distances sont calculées sur la médiatrice de la largeur et de la longueur du feu. L'INERIS rappelle que le fait de se placer sur la médiatrice pour les feux à surfaces rectangulaires revient à calculer les distances maximales enveloppes correspondant aux flux radiatifs critiques.

De plus, l'INERIS a également estimé les distances d'effets lorsqu'un mur coupe-feu 2 h (MCF 2h) est implanté entre le feu de nappe et l'établissement qui pourrait être agressé thermiquement à distance par l'incendie. Deux hauteurs de mur coupe-feu sont testées : 2 m et 2,5 m de haut. Pour les scénarios n°1 et 2, le mur est positionné soit à 5 m soit à 10 m de la borne de distribution la plus proche de l'établissement sensé être touché. Pour le scénario n°3, il est implanté à 5 m du mur de flammes.

4.3.1.1 Scénario n°1 : Scénario d'incendie sur la zone de distribution mettant en jeu 120 l de carburant

Configuration avec ou sans MCF	Epaisseur de nappe	Distance à la létalité (5 kW/m ²)	Distance aux effets irréversibles (3 kW/m ²)
Sans MCF	1 cm	13 m	17 m
		14 m ¹	17,5 m ¹
	0,5 cm	16,5 m	21 m
MCF de 2 m de haut à 5 m de la borne	1 cm	10,5 m	14 m
MCF de 2,5 m de haut à 5 m de la borne	1 cm	8 m 13 m ¹	12 m 16 m ¹
	0,5 cm	13,5 m	17,5 m
MCF de 2,5 m de haut à 10 m de la borne	1 cm	Non atteint 14 m ¹	Non atteint 17 m ¹

Tableau 2 : Distances d'effets thermiques radiatifs associées au scénario n°1.

Remarques de l'INERIS concernant le scénario n°1 :

- 1) Sans mur coupe-feu et pour une nappe d'1 cm d'épaisseur, que la cible soit située à hauteur d'homme ou à mi-hauteur de la flamme, les distances d'effets ne varient pas de façon flagrante (1 m au maximum).
- 2) Si un mur coupe-feu de 2 m de haut est placé à 5 m de la borne de distribution, les distances d'effets peuvent être diminuées d'à peu près 3 m et elles peuvent être réduites de 2 m supplémentaires si la hauteur du mur passe de 2 m à 2,5 m. D'autre part, le fait de placer la cible à mi-hauteur de la flamme augmente les distances d'effets de 4 à 5 m et rend presque inutile la construction d'un mur coupe-feu puisque celui-ci, dans ce cas-là, ne joue quasiment pas son rôle d'écran (distances approximativement similaires à celles sans MCF).
- 3) Il est également à noter que si le mur coupe-feu était distant de 10 m et non de 5 m de la borne de distribution, pour une cible située à hauteur d'homme, les seuils critiques ne seraient pas atteints. En revanche, pour une cible située à 4 m de haut, les distances d'effets restent approximativement les mêmes que celles trouvées sans mur coupe-feu. Finalement, si l'établissement visé possède plusieurs étages, la construction d'un mur coupe-feu de 2,5 m de haut, quelle que soit sa position, n'apporte aucun intérêt en soi.
- 4) D'autre part, lorsque l'épaisseur de la nappe est réduite à 0,5 cm, les distances d'effets ainsi déterminées sont plus grandes de 3 à 4 m sans mur coupe-feu et d'à peu près 5 m avec un mur coupe-feu par rapport à un feu de nappe d'1 cm d'épaisseur. Considérer une nappe de 0,5 cm d'épaisseur est donc plus majorant en soulignant toutefois que le feu ne durerait qu'une minute.

¹ cible située à mi-hauteur de la flamme soit à 4 m du sol

4.3.1.2 Scénario n°2 : Scénario d'incendie sur la zone de distribution suite à un acte de malveillance (épandage de 960 l de carburant)

Configuration avec ou sans MCF	Epaisseur de nappe	Distance à la létalité (5 kW/m ²)	Distance aux effets irréversibles (3 kW/m ²)
Sans MCF	1 cm	24 m	31 m
	0,5 cm	26 m 35 m (longueur) ²	35 m 45 m (longueur) ²
MCF de 2,5 m de haut à 5 m de la borne	1 cm	22,5 m	30 m
	0,5 cm	24,5 m 32 m (longueur) ²	34 m 42 m (longueur) ²

Tableau 3 : Distances d'effets thermiques radiatifs associées au scénario n°2.

Remarques de l'INERIS concernant le scénario n°2 :

- 5) Sans mur coupe-feu, pour une nappe d'épaisseur 1 cm, les distances d'effets sont près de deux fois plus importantes que celles du scénario n°1 qui correspond au scénario d'incendie le plus plausible mais aussi le moins majorant.
- 6) La nappe n'a été considérée comme rectangulaire que pour une épaisseur de liquide de 0,5 cm car pour une épaisseur de 1 cm, cette forme de nappe ne paraissait pas cohérente avec la configuration de station-service choisie (Figure 1) ainsi qu'avec le choix du scénario. On peut d'ailleurs constater que le scénario considérant une nappe rectangulaire est plus majorant que celui considérant une nappe circulaire car le mur de flammes rayonne sur une longueur de 20 m alors que la nappe circulaire ne possède qu'un diamètre de 15 m.
- 7) En ce qui concerne les distances d'effets avec présence d'un mur coupe-feu, celles-ci ne sont pas réduites autant que pour le scénario n°1. En effet, la flamme est trop haute pour qu'un mur coupe-feu de 2,5 m de haut soit réellement utile et fasse efficacement barrière au rayonnement reçu par une cible située seulement à hauteur d'homme.

² Distance sur la médiatrice de la longueur d'un feu à surface rectangulaire

4.3.1.3 Scénario n°3 : Scénarios d'incendie au cours du dépotage d'un camion

Configuration avec ou sans MCF	Calcul sur la médiatrice de la longueur ou de la largeur	Distance à la létalité (5 kW/m ²)	Distance aux effets irréversibles (3 kW/m ²)
Sans MCF	longueur	25 m	33 m
	largeur	13 m	17 m
MCF de 2,5 m de haut à 5 m du mur de flammes	longueur	20,5 m 23 m ³	28 m 30 m ³
	largeur	Non atteint 12,5 m ³	13 m 16 m ³

Tableau 4 : Distances d'effets thermiques radiatifs associées au scénario n°3.

Remarques de l'INERIS concernant le scénario n°3 :

- 8) Sans mur coupe-feu, les distances d'effets thermiques sont similaires que la cible soit située à hauteur d'homme ou à mi-hauteur de la flamme.
- 9) Le fait d'implanter un mur coupe-feu de 2,5 m de haut à 5 m de la nappe permet de réduire d'au plus 5 m les distances d'effets sur la médiatrice de la longueur du feu pour une cible située à hauteur d'homme. En revanche, son effet reste minime pour une cible située à mi-hauteur de flamme comme on a déjà pu le constater pour le scénario n°1.

4.3.1.4 Scénario n°4 : Scénario d'incendie de files de voitures en attente sur la zone de la station-service

L'INERIS a utilisé une étude expérimentale du CTICM (site du CNPP à Vernon) sur les incendies de voitures en parking aérien afin de traiter ce scénario d'incendie de files de voitures.

L'étude du CTICM consistait entre autres à observer au bout de combien de temps, trois voitures garées les unes à côté des autres s'enflammaient sachant que le feu était initié par un bac d'heptane situé sous la voiture centrale (voir Face au Risque n° 368/ déc. 2000, p. 21). Il résulte de cette étude qu'au bout de 4 minutes, le réservoir d'essence du véhicule central cède ce qui induit la propagation du feu aux deux autres véhicules. Un autre essai avait également fait ressortir que la propagation du feu à d'autres véhicules par rayonnement à distance ne se produirait qu'après 30 minutes.

Afin de transposer les résultats de cette étude au scénario n°4, on pourrait estimer qu'en raison d'une fuite accidentelle d'essence sur l'aire de distribution, un incendie se déclare sur cette aire se propageant très rapidement aux véhicules situés sur celle-ci. Il peut être alors supposé que les différents réservoirs de voiture cèdent formant ainsi un feu de nappe se limitant (au maximum) aux caniveaux qui entourent cette zone. Par conséquent, tous les

³ cible située à mi-hauteur de flamme soit à 5 m du sol

véhicules stationnés sur la zone de distribution se retrouveraient certainement pris dans les flammes. En revanche, les voitures en attente situées en dehors de la zone de distribution ne risqueraient a priori de s'enflammer que par rayonnement à distance des flammes (sans prendre en compte le vent qui pourraient coucher les flammes vers les véhicules). Selon l'étude du CTICM, les véhicules recevant un rayonnement à distance ne s'enflammeraient qu'au bout de 30 minutes ce qui a priori permettrait aux automobilistes de réagir.

4.3.2 Explosion

Les tableaux 5 et 6 ci-après présentent respectivement les résultats de modélisation de la dispersion et de l'explosion du nuage inflammable concernant le scénario n° 5.

Dans le Tableau 5, sont présentées les masses inflammables et les distances à la LIE calculées pour les deux différentes conditions météorologiques neutre D(5,20) et très stable F(3,15). Dans les deux cas, il a ainsi été considéré que le nuage inflammable se déplaçait vers la zone de distribution. Si on se réfère aux dimensions de la station-service schématisée sur la Figure 1 et aux distances à la LIE contenues dans le Tableau 5, le nuage inflammable toucherait alors la zone de distribution où une source d'énergie (point chaud, étincelle électrique,...) peut conduire à l'inflammation du nuage de gaz.

Conditions météorologiques	Distances à la LIE	Masses inflammables
D(5,20)	30 m	20 kg
F(3,15)	42 m	25 kg

Tableau 5 : Résultats de la modélisation en dispersion du scénario n°5.

Afin de déterminer les distances d'effets de surpression induits par l'explosion du nuage inflammable, un indice de violence de l'explosion doit être défini, en fonction de l'encombrement de la zone visée mais également de la réactivité du mélange inflammable. Etant donné que la zone de distribution est peu encombrée et que le mélange gazeux est constitué d'hydrocarbures, l'indice sur l'échelle multi-énergie a été choisi égal à 6, ce qui correspond à une surpression maximale possible de 1 bar.

Conditions météorologiques	Distances à la létalité (140 mbar)	Distances aux effets irréversibles (50 mbar)
D(5,20)	45 m	110 m
F(3,15)	50 m	115 m

Tableau 6 : Distances d'effets de surpression associées au scénario n°5.

Le Tableau 6 expose les distances d'effets de surpression associées à la létalité et aux blessures irréversibles qui correspondent respectivement aux seuils de surpression de 140 mbar et 50 mbar. Toujours en se référant à la Figure 1 et en considérant une station-service d'autoroute par exemple, il y aurait des risques pour les personnes présentes dans la

boutique mais aussi dans toutes les installations situées aux alentours telles que les restaurants. Pour une station-service de la grande distribution ou de ville, les effets de suppression sur la population pourraient être encore plus dévastateurs en raison de la proximité des habitations et des Etablissements Recevant du Public de différentes catégories. En ville, le confinement plus important pourrait conduire à des niveaux de suppression localement plus élevés. Rappelons également que les stations-service en zone urbaine possèdent généralement leur zone de dépotage au niveau de la zone distribution, pour les installations en milieu ouvert et au niveau de la voirie, pour les installations en souterrain. Il n'existe pas dans ces cas-là de zone bien définie et destinée à part entière pour le dépotage des camions.

4.4 REMARQUES GENERALES DE L'INERIS

Les résultats présentés précédemment appellent les remarques suivantes de la part de l'INERIS :

- Tout d'abord, il est à souligner que les résultats présentés ci-avant sont à considérer dans le cadre d'un incendie pleinement développé sur la surface totale de la nappe. L'INERIS conçoit toutefois que les hypothèses retenues pour effectuer les calculs peuvent apparaître comme majorantes et à cet égard, il convient notamment de retenir que :
 - le débit surfacique de combustion est issu de la littérature et a été obtenu à l'aide d'expériences menées sur des feux de nappe en bac. A notre connaissance, très peu d'expériences ont été effectuées avec des feux de nappe épandue directement sur le sol (expériences sur le kérosène effectuées au CEA-CESTA en 1997),
 - les moyens d'extinction automatique à poudre ou manuelle (extincteurs) qui sont présents sur les stations-service avec ou sans surveillance n'ont pas été pris en compte dans la modélisation,
 - seuls les murs considérés comme coupe feu sont pris en compte dans les calculs et assimilés comme obstacles au rayonnement.
- Les distances d'effets associées à la létalité et aux blessures irréversibles correspondent respectivement à 13 m et 17 m pour le scénario n°1 d'incendie, scénario le plus plausible et peuvent atteindre jusqu'à 50 m et 115 m pour le scénario n°5 d'explosion, scénario le plus majorant.
- Le fait d'implanter un mur coupe feu ne peut être utile que dans le cas d'un incendie. Pour le scénario n°1, un mur coupe-feu de 2,5 m de haut et situé à 5 m de la borne de distribution permet de diminuer les distances de 5 m si l'on considère une cible à hauteur d'homme et une nappe d'1 cm d'épaisseur.
 L'efficacité d'un mur de cette hauteur là est réduite lorsque :
 - la nappe est d'une épaisseur de 0,5 cm,
 - la hauteur de flamme atteint plus de 10 m (feu de grandes dimensions),
 - la cible est située à mi-hauteur de flamme.

- Par conséquent, l'utilité du mur coupe-feu dépend de la hauteur de la cible sensée recevoir le flux thermique. Si l'établissement susceptible d'être touché par le rayonnement à distance de l'incendie possède plusieurs étages, l'intérêt du mur coupe-feu de 2,5 m de haut sera réellement minime.

5. MODELISATIONS EFFECTUEES DANS L'ETUDE DES DANGERS TYPE

Dans le présent chapitre, l'INERIS analyse le scénario présenté dans l'étude des dangers transmise à la DRIRE Midi-Pyrénées en appui à une demande de dérogation.

L'étude des dangers a considéré un unique scénario enveloppe qui serait représentatif d'un incident survenant sur un appareil de distribution. Celui-ci correspond au scénario n°1 décrit par l'INERIS dans le chapitre 4.

Selon l'étude des dangers, un accident plus grave n'a pas été retenu au niveau de l'appareil de distribution car la pompe est une pompe à aspiration située dans la borne qui est elle-même munie d'un clapet anti-retour. Par conséquent, en cas d'arrachement de la borne, le rejet liquide au sol serait minime et loin d'atteindre une quantité de 120 l.

Le but de la modélisation est de déterminer le flux thermique reçu par une cible associé à une distance avec ou sans mur coupe feu d'une hauteur de 2 m.

5.1 HYPOTHESES DE CALCUL RETENUES DANS L'ETUDE DE DANGERS

La modélisation du scénario d'incendie à traiter s'articule en différentes étapes :

- Détermination du débit de combustion surfacique,
- Calcul de la géométrie de la flamme,
- Détermination du pouvoir émissif surfacique émis par la flamme,
- Détermination des seuils critiques associés aux effets thermiques,
- Calcul des flux thermiques reçus par une cible humaine et associés aux distances d'effets.

Il a été estimé que le système automatique d'extinction ne fonctionne pas lors de l'incendie et que le feu s'établit sur la totalité de la nappe.

Le logiciel utilisé pour la modélisation est le logiciel PHAST Version 4.2 de Technica.

L'étude des dangers a estimé que la nappe évoluait de façon circulaire autour de la borne de distribution et atteignait en final un diamètre de 4 m pour une épaisseur de 1 cm.

La valeur du débit de combustion surfacique est issue du SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (1995) et est égale à 0,048 kg/m² s. Quant au pouvoir émissif de la flamme, il a été pris égal à 30 kW/m² ce qui correspondrait à une valeur généralement retenue pour la combustion de l'essence. Cette valeur est également reprise dans le rapport intitulé « Analyse des explosions air-hydrocarbures en milieu libre » (EDF – Bulletin de la DER, 1984).

Par la suite, la hauteur de flamme a été calculée à l'aide de la corrélation de Thomas (corrélation également utilisée par l'INERIS, voir l'annexe III). Une hauteur de 7 m a été obtenue mais l'étude des dangers a décidé de limiter cette hauteur de flamme à la hauteur du auvent qui correspond à 4,5 m.

5.2 RAPPEL SYNTHETIQUE DES RESULTATS PRESENTES DANS L'ETUDE DES DANGERS

Les distances ont été déterminées pour les seuils critiques de 3 et 5 kW/m² induisant respectivement des blessures irréversibles et des effets létaux pour trois hauteurs de cible : cible à hauteur d'homme (soit 2 m de haut), à 4,5 m du sol et au niveau du sol. Le Tableau 7 présente les valeurs de ces distances définies à partir de la borne de distribution et sans présence de mur coupe-feu. Rappelons que sans mur coupe-feu, les résultats obtenus pour une cible située au sol sont identiques à ceux obtenus pour une cible située au niveau de l'extrémité de la flamme (soit à 4,5 m du sol).

Hauteur de la cible	Distance à la létalité (5 kW/m ²)	Distance aux effets irréversibles (3 kW/m ²)
Au sol ou à 4,5 m du sol	5 m	6,5 m
2 m du sol	6 m	7,5 m

Tableau 7 : Distances d'effets thermiques radiatifs associées au scénario de l'étude des dangers.

Ensuite, la présence d'un mur coupe-feu de 2 m de haut situé à différentes distances de la borne de distribution soit à 5, 10 et 15 m a été testée. Pour une cible située au niveau du sol, le mur coupe-feu de 2 m de haut quelle que soit sa position permettrait d'arrêter la majeure partie du rayonnement reçue par cette cible. Ainsi, les seuils critiques de 3 et 5 kW/m² ne seraient pas atteints de l'autre côté du mur. Deux autres tableaux ont été présentés dans l'étude des dangers concernant les résultats avec des cibles placées à hauteur d'homme et au niveau de l'extrémité de la flamme. Par contre, ces tableaux se sont avérés totalement inexploitable pour déterminer les distances d'effets correspondant aux seuils critiques de 3 et 5 kW/m². En effet, les résultats sont présentés sous la forme de valeurs de flux radiatif atteints à des distances initialement choisies égales à 5, 10, 15 et 20 m ce qui ne permet pas en soi de définir les distances associées aux seuils critiques.

5.3 REMARQUES DE L'INERIS

Concernant les modélisations développées dans l'étude des dangers, il convient de formuler les remarques suivantes tenant compte de l'analyse de risques et des modélisations effectuées par l'INERIS :

5.3.1 Choix du scénario retenu dans l'étude des dangers

10) Le scénario d'incendie pris par l'étude des dangers peut être effectivement considéré comme le scénario enveloppe représentatif d'un incident survenant sur une seule borne de distribution à condition que le système de distribution soit muni d'une pompe à aspiration. C'est a priori le cas dans la station-service ayant demandé une dérogation. Si la distribution du carburant se faisait par une pompe à refoulement située au niveau de la cuve, un véhicule venant percuter la borne et provoquer son arrachement partielle (non fonctionnement du clapet de sécurité) peut engendrer une

fuite de carburant plus importante (accident d'Eckartswiller, 2000) que la quantité de 120 l d'essence retenue pour le scénario de l'étude des dangers.

11) D'autre part, l'acte de malveillance envisagé dans le scénario de l'étude des dangers pourrait très bien impliquer plusieurs pompes (scénario n°2 de l'INERIS) au lieu de se cantonner à une seule pompe. Comme le scénario n°2 de l'INERIS a pu le montrer, la quantité d'essence ainsi répandue sur le sol pourrait être de l'ordre de 1000 l. Le scénario d'arrachement de la borne et celui impliquant un acte de malveillance sur plusieurs pompes sont, tous deux, des scénarios nettement plus majorants que le scénario retenu dans l'étude des dangers.

12) Dans une approche prudente, l'éventualité de ces deux scénarios enveloppe ne peut être exclue même s'ils sont fortement majorants puisqu'ils impliquent le non fonctionnement total des systèmes de sécurité et de protection présents sur la station. Lors de la modélisation de l'INERIS, les différents scénarios ont été traités de la même façon et non suivant leur probabilité d'occurrence.

13) Les modélisations relatives aux effets thermiques du scénario d'incendie sont présentées dans l'étude des dangers du dossier de déclaration de l'ICPE. Les remarques que l'INERIS est amenées à formuler au paragraphe 5.3.2 se rapportent aux éléments présentés dans cette étude.

5.3.2 Estimation des effets thermiques du scénario retenu

14) Tout d'abord, il est à noter que la vitesse de combustion de 0,048 kg/m²s prise dans l'étude des dangers correspondrait plutôt à la vitesse de combustion du benzine qu'à celle de l'essence qui est de 0,055 kg/m²s (valeur prise par l'INERIS). Ces informations sont issues du SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (tableau en p.3.2 de cette référence bibliographique), référence d'ailleurs utilisée par l'étude des dangers. Toutefois, cette différence ne peut pas induire des écarts importants dans le calcul des distances.

15) L'étude des dangers a choisi de limiter la hauteur de flamme à la hauteur du auvent qui est de 4,5 m. La zone de distribution n'est pas un milieu confiné et les flamme peuvent tout à fait passer sur les côtés de ce auvent. Ainsi, le fait de réduire la hauteur de flamme a induit une diminution des distances d'effets thermiques.

16) Concernant le pouvoir émissif de la flamme, il a été admis que celui-ci devait être égal à 30 kW/m² au regard d'un rapport édité par EDF. Mais, ce rapport faisait état d'essais (appelés communément « essais Proserpine ») réalisés par le CEA-CESTA sur des feux de nappe de pétrole brut de 2 000 m². D'une part, le pétrole brut produit beaucoup plus de suies que l'essence, ainsi la combustion de ce produit engendre un rayonnement vers l'extérieur beaucoup moins intense. D'autre part, le pouvoir émissif d'un feu de très grande taille est nettement inférieur à celui d'un feu de quelques mètres de diamètre. La Figure 2 du chapitre 4 représentant le pouvoir émissif moyen en fonction du diamètre de la nappe donne une valeur du pouvoir émissif de la flamme de 100 kW/m² pour un diamètre de feu de 4 m (valeur prise par l'INERIS). Cette valeur représente plus de trois fois celle prise dans l'étude des

dangers. Le fait de prendre 30 kW/m^2 a fortement minoré le calcul des distances d'effets thermiques.

17) C'est pourquoi, en considérant une cible à hauteur d'homme, les distances d'effets déterminées par l'INERIS sont deux fois plus importantes que celles trouvées dans l'étude des dangers critiquée.

6. CONCLUSION

Afin de traiter la prestation pour l'administration demandée par le MEDD, l'INERIS a, en premier lieu, réalisé un recueil de données sur les stations-service en effectuant différentes visites d'installations et en interrogeant le STIIC. Dans un second temps, une analyse de l'accidentologie a permis d'identifier les causes d'accidents. Le recueil de données ainsi que l'accidentologie font apparaître que les risques liés à un incendie peuvent surtout provenir de l'épandage accidentel ou intentionnel de carburant sous forme d'une nappe sur la zone de distribution et sur la zone de dépotage.

A partir de là, l'INERIS a défini cinq scénarios d'accidents du plus plausible (correspondant également au plus minorant) au plus majorant impliquant les phénomènes d'incendie et d'explosion :

- Scénario n°1 : Scénario d'incendie dû à l'épandage accidentel de 120 l d'essence sur la zone de distribution,
- Scénario n°2 : Scénario d'incendie dû à l'épandage volontaire de 960 l d'essence sur la zone de distribution,
- Scénario n°3 : Scénario d'incendie au cours du dépotage d'un camion citerne,
- Scénario n°4 : Scénario d'incendie de files de voitures en attente sur la zone de la station-service,
- Scénario n°5 : Scénario d'explosion au cours du dépotage d'un camion citerne.

L'INERIS a alors évalué les distances d'effets enveloppes en termes d'effets thermiques radiatifs associées aux flux de 5 kW/m² (létalité) et de 3 kW/m² (brûlures irréversibles) pour les scénarios n°1, 2 et 3 ainsi qu'en termes d'effets de surpression associées à l'apparition de la létalité (140 mbar) et des blessures irréversibles (50 mbar) pour le scénario n°5. Le scénario n°4 a été traité de manière qualitative en faisant référence à une étude expérimentale menée par le CTICM sur les feux de voitures en parking aérien.

Il en résulte que les distances d'effets associées aux effets irréversibles et létaux sur une cible située à hauteur d'homme sont respectivement estimées à 13 m et 17 m pour le scénario le plus plausible mais le moins majorant (scénario n°1) et peuvent atteindre jusqu'à 50 m et 115 m pour le scénario le plus majorant (scénario n°5).

Considérant ces résultats, les bénéfices de l'implantation d'un mur coupe-feu 2 h ont été étudiés. Les conclusions montrent que la mise en place à 5 m de la dernière borne de distribution d'un mur coupe-feu 2 h de 2,5 m de haut permet de réduire pour le scénario n°1 les distances d'effets à 8 m et 12 m soit une réduction de 5 m (par rapport aux distances initiales).

En concertation avec le MEDD, le scénario n°1 a ainsi été retenu comme scénario de référence pour définir les distances minimales de sécurité à intégrer dans le projet d'arrêté. Cependant, les distances d'effets ainsi déterminées ne prennent pas en compte le fait que l'établissement (susceptible d'être touché par le rayonnement) puisse posséder plusieurs étages. Pour prendre en considération cette situation, au lieu de placer la cible à hauteur d'homme, il faudrait la placer à mi-hauteur de flamme où le flux reçu est maximal. Les distances d'effets en seraient alors augmentées même en présence d'un mur coupe-feu.

Concernant l'étude des dangers type, les distances d'effets calculées par l'INERIS sont deux fois supérieures aux distances d'effets présentées dans l'étude des dangers citée.

De ce fait, l'étude des dangers critiquée minimise fortement les distances d'effets thermiques et par la même, les distances de sécurité à respecter.

INDEX – GLOSSAIRE

CEA-CESTA : Commissariat à l'Energie Atomique – Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques d'Aquitaine

CNPP : Centre National de Prévention et de Protection

CTICM : Centre Technique Industriel de la Construction Métallique

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

ICPE : Installation Classée Pour l'Environnement

MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

MCF : Mur Coupe Feu

SEI : Service de l'Environnement Industriel

UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion

LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
I	Accidentologie relative aux stations-service	10
II	Article de Face Au Risque intitulé « Les accidents dans les stations-services » (FAR n°319/Janvier 1996)	2
III	Logiciel FNAP	12
IV	Présentation du logiciel PHAST	9

ANNEXE I :

ACCIDENTOLOGIE RELATIVE AUX STATIONS-SERVICE

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION DE LA PREVENTION ET DES RISQUES
SEI / BARPI

Accidents survenus dans les stations-services

Base de données ARIA - Etat au 28/05/2002

(ED5719)

La base de données ARIA, exploitée par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, recense essentiellement les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, élevages,... et du transport de matières dangereuses. Le recensement des événements accidentels réalisé dans ARIA ne peut être considéré comme exhaustif. Lorsque des statistiques sont fournies, elles portent sur un échantillon de référence composé des accidents pris en compte dans ARIA et survenus en France dans la période du 1er janvier 1992 au 31 décembre 2000.

Annexes : page 1 sur 38

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé que de manière intégrale.

N° 10026 - 18/12/1978- PAYS BAS - NIJMEGEN

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, une petite fuite se produit sur les lignes de transfert reliant une cuve de stockage à un camion-citerne de GPL en cours de livraison (début à 8h20). La fuite s'enflamme sur un point chaud du moteur du camion. Le chauffeur et le pompiste tentent en vain d'éteindre le feu alimenté puis déclenchent l'alarme (8h24) et prennent la fuite. L'autoroute et la voie ferrée sont coupées. Les pompiers se postent au niveau des premières habitations (# 500m). La citerne BLEVE (8h45). Une boule de feu d'environ 40m de diamètre s'élève jusqu'à 25 m de haut (radiancé estimée à 180 kW/m2 d'après les constats de dommages thermiques aux branches d'arbres). La calotte de fond de la citerne est projetée à 50m et des brise-flots internes à 125m.

N° 6222 - 4/10/1982- 69 - TAPONAS

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une fuite, due à une corrosion électrolytique, se produit sur une canalisation de distribution d'hydrocarbures de la station-service. 24 651 l de supercarburant s'écoulent dans le fossé. La station n'est pas équipée d'un bac de rétention retenant les hydrocarbures contenus dans les eaux de ruissellement. Une pollution de la nappe phréatique est constatée. Deux piézomètres sont mis en place pour surveiller la teneur en hydrocarbures des eaux de la nappe phréatique.

N° 691 - 11/5/1988- 94 - CRETEIL

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite de la défaillance du frein de stationnement d'un camion-citerne, un flexible de dépotage est arraché lors de la livraison de super-carburant dans une station-service. 300 l de carburant se déversent sur la chaussée. Les pompiers répandent du sable et de la sciure. Une partie du carburant rejoint les égouts sans conséquence sur le réseau d'assainissement et sur le milieu naturel.

N° 4853 - 2/4/1991- 75 - PARIS- 8E__ARRONDISSEMENT

50.5 - Commerce de détail de carburants

Des émanations de vapeurs d'hydrocarbures sont découvertes dans les caves de l'immeuble voisin d'un garage / station-service. La teneur en hydrocarbures mesurée est de 25% de la LIE à proximité du mur mitoyen, 10% dans le reste de la cave. L'installation a été réprouvée en 1987. L'alerte est donnée par la gardienne de l'immeuble. L'origine est liée à une fuite par porosité sur une pièce en fonte d'un volucompteur : Des traces de suintement sont visibles à l'extérieur à la base de l'appareil.

N° 3458 - 11/3/1992- 62 - BAPAUME

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un affaissement de terrain provoque la rupture d'une canalisation dans une station-service ; 2 000 l d'essence sans plomb se déversent dans le sous-sol (6 600 l de gazole, 12 000 l de super et 2 000 l d'essence sans plomb restent dans les cuves). Une déviation est mise en place et les pompiers épandent de la mousse carbonique pour éviter tout risque d'explosion. Par mesure de sécurité, l'alimentation en eau potable de la ville est branchée sur un autre réseau.

N° 3489 - 25/3/1992- 13 - MARSEILLE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un incendie suivi d'explosions se déclare dans une station-service. Le feu se propage jusqu'au 4ème étage de l'immeuble dont le toit s'effondre. Le siège d'une maison d'édition est en partie détruit. Les habitants de l'immeuble et des immeubles voisins sont évacués. De nombreux appartements sont ravagés. Trois blessés dont un pompier sont à déplorer.

N° 3751 - 16/7/1992- 35 - TAILLIS

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une fuite découverte le 28/6/91 sur une canalisation enterrée d'une station-service provoque une contamination des sols et des eaux souterraines par hydrocarbures. Malgré une première campagne de dépollution de 8 mois en 1991-92, la remontée du niveau de la nappe phréatique entraîne des poches d'hydrocarbures anciennes qui avaient échappé au traitement. La concentration en hydrocarbure atteint 0,5 g/l dans un puits situé à 50 m de la station. Les pompiers mettent en place durant 1h30 un hydroventilateur pour évacuer du puits l'air chargé d'essence.

N° 3979 - 19/10/1992- 75 - PARIS

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une erreur humaine lors du dépotage d'un camion-citerne dans une station-service entraîne le surremplissage d'un compartiment de réservoir déjà plein. Cet accident révèle l'absence anormale de limiteur de remplissage. L'essence déborde dans une fosse située en sous-sol et s'infiltrent. Les employés du garage sont évacués et la rue est condamnée. Le produit est pompé par une société spécialisée.

N° 4789 - 3/9/1993- 61 - ALENCON

50.5 - Commerce de détail de carburants

Lors de l'approvisionnement d'une station service, 5000 l d'essence s'écoulent dans le réseau d'eau pluviale. L'accident est dû au déplacement, par le chauffeur, du camion en cours de dépotage et à la rupture d'une bride. La pollution est partiellement contenue dans le réseau encombré de gravats. L'hydrocarbure est pompé et un barrage flottant est installé sur la SARTHE. La circulation ferroviaire sur la ligne CAEN-ALENCON est interrompue pendant la durée de l'intervention.

N° 4981 - 29/11/1993- 85 - La GUERINIERE

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Une explosion et un incendie se produisent dans la station-service d'un supermarché lors du dépotage d'un camion de supercarburant. La caissière de la station initie l'explosion en manœuvrant un interrupteur électrique dans sa cabine. Le nuage inflammable provient d'un orifice de jaugeage par pige laissé ouvert. Les gaz accumulés ont pénétré par un fourreau d'arrivée de câbles électriques non bouché communiquant directement dans la cabine. L'incendie fait 2 blessés : la caissière brûlée aux mains et au visage, ainsi qu'un client à proximité de la cabine. L'installation, récente (1987 / 1990), n'est pas conforme à la réglementation : absence de tampon hermétique de la jauge, localisation du dépôt de gaz, etc.

N° 4203 - 9/2/1994- 71 - CHAROLLES

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Un chauffeur décharge dans les cuves d'une station-service la citerne de son camion contenant 7 000 l de super sans plomb, 9 000 l de super et 14 000 l de gazole. Deux des cuves sont ouvertes et les vapeurs d'hydrocarbures canalisées par une gaine électrique se répandent dans la cabine où une caissière vient de s'installer. Ces gaz ne sont pas évacués car les ventilations sont colmatées par des cartons. En éteignant le chauffage, la caissière produit une étincelle qui enflamme le mélange air/vapeur. Elle est brûlée aux mains et au visage. Le chauffeur maîtrise l'incendie qui fait suite à l'explosion à l'aide d'un extincteur.

N° 6153 - 20/10/1994- 51 - VALMY

50.5 - Commerce de détail de carburants

Lors d'un contrôle des stocks de la station-service, un manque de 9 m³ de gasoil laisse supposer l'existence d'une fuite sur les installations de distribution. La fuite, due à l'action de la corrosion, est détectée sur la canalisation reliant les pompes et le réservoir. Une société spécialisée met en place 10 piézomètres pour localiser la zone polluée. Le captage d'eau potable d'Orbeval n'est pas affecté par la pollution. Deux puits de dépollution sont forés pour rabattre la nappe phréatique, éviter la diffusion du contaminant et pomper le gasoil surnageant. Près de 800 l de carburant sont récupérés.

N° 9256 - 17/2/1995- 54 - LOISY

50.5 - Commerce de détail de carburants

Lors du dépotage d'un camion dans une station-service, 5 000 l de gazole se déversent sur le sol à la suite de la rupture d'une canalisation, entre l'embout de dépotage et la cuve de stockage ; 3 000 l sont repompés pour être retraités par une entreprise spécialisée. La nappe alluviale risque d'être polluée par migration dans les terres de 2 m³ de gazole. Des analyses sont effectuées régulièrement sur 7 piézomètres et 3 puits de fixation. L'exploitant est mis en demeure d'évacuer immédiatement en décharge 5 bacs entreposés sur le site depuis le 18/02. Un pompage est mis en place sur un puits de fixation pour rabattre la nappe, récupérer éventuellement des hydrocarbures et empêcher la migration de la pollution.

N° 6843 - 30/3/1995- 78 - ROSNY-SUR-SEINE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Sur l'autoroute A13, au cours du remplissage des cuves dans une station-service, le livreur se trompe d'orifice en plaçant le flexible de transfert ; 35 m³ de super-carburant sans plomb se déversent sous la cuve. La nappe phréatique est atteinte. Un plan de sauvetage pour tenter de sauver la nappe phréatique est mis en place. A la suite des travaux de dépollution, 27 m³ de carburant sont récupérés dans les 2 mois suivants.

N° 6963 - 9/5/1995- 26 - PORTES-LES-VALENCE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un incendie se déclare dans une station service sur l'autoroute A7 après qu'un véhicule ait percuté puis arraché 2 pompes à essence. Agé et probablement victime d'un malaise, le conducteur meurt carbonisé dans sa voiture qui prend feu immédiatement. Le pompiste arrête les pompes de la station par action sur un coup de poing et tous les véhicules situés sous le même auvent sont évacués. Les pompes sont équipées de clapets anti-arrachement et aucune explosion ne se produit. Les produits d'extinction (poudre et mousse) sont récupérés par une entreprise spécialisée qui procède au nettoyage du réseau de collecte des eaux usées (séparateurs d'hydrocarbures et conduites).

N° 7044 - 4/8/1995- 67 - PFAFFENHOFFEN

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une importante fuite d'essence se produit sur une citerne enterrée dans une station-service. Devant le risque d'explosion des vapeurs, les secours évacuent 15 personnes. Les pompiers répandent sur le sol une épaisse nappe de mousse pour éviter les émissions de vapeurs. Une entreprise spécialisée pompe les 7 000 l d'essence restant dans la citerne défectueuse et traite à l'aide de produits absorbants le sous-sol imprégné de 3 000 l de carburant.

N° 7764 - 18/9/1995- 51 - REIMS

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, en l'absence du gérant et à la suite d'une erreur de programmation, un chauffeur-livreur introduit 7 000 l de gazole dans un réservoir ne pouvant contenir que 3 000 l d'hydrocarbures. Le limiteur de remplissage est défaillant et le livreur ne se rend compte de sa méprise que lorsque la fosse contenant la cuve déborde. Plus de 3 000 l de gazole sont refoulés hors du réservoir, quelques dizaines de l se répandent hors de la fosse.

N° 7758 - 24/11/1995- 61 - SAINT-GEORGES-DES-GROSEILLERS

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite d'odeurs dans une usine agroalimentaire et du constat de perte de 10 m³ de carburant, une cuve simple paroi en fosse de 15m³ d'essence d'une station-service se révèle fuyarde. La nappe est polluée et les fabrications de l'usine voisine utilisant la même nappe sont contaminées. Les locaux doivent être ventilés pour éviter des atmosphères explosives. Les cuves sont déterrées. L'une montre une fuite au niveau d'une soudure. Des dispositifs de rabattement de nappe sont mis en place sur les puits voisins. Les sols sont pollués (30 mg/kg MS). Les opérations de dépollution (tranchée drainante de 55 m de long et 6 m de profondeur, décantation, stripping) sont estimées à 715 kF. L'assurance intervient à concurrence de 1MF.

N° 7985 - 4/1/1996- 49 - ANGERS

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Pour éviter des ruptures de stock dans une station-service, une cuve de 100 m³ est adjointe aux 2 cuves déjà existantes. Lors d'une visite de maintenance, une société privée note qu'un tuyau de la cuve qui débouche sur un trou d'homme n'a pas été bouché. Durant un mois, des dizaines de litres de carburant se sont écoulés dans le sable entourant la cuve. Des travaux de dépollution sont entrepris et dureront jusqu'au mois de juin.

N° 7986 - 4/1/1996- 79 - BRESSUIRE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans la cave d'une habitation, le sol est découvert imprégné d'essence. Le 03/01/96 le phénomène s'aggrave: du carburant apparaît sur le trottoir; 24 sondages de 2 à 4 m de profondeur, des mesures d'explosimétrie et une épreuve des cuves et des canalisations d'une station-service située à quelques dizaines de m en amont montrent qu'une fuite sur un tuyau d'alimentation des volucompteurs est à l'origine de cette pollution. Un périmètre de sécurité est mis en place. Les secours ventilent la cave, 6 personnes doivent être relogées momentanément. Un procès verbal est dressé et l'exploitant est mis en demeure de dépolluer les sols.

N° 12572 - 1/6/1996- 54 - DOMGERMAIN

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, faisant suite à un épisode comparable 2 mois auparavant et malgré les travaux déjà réalisés, une nouvelle fuite de 2 000 l de gasoil se déverse dans un fossé longeant une autoroute. L'accident a pour origine la rupture d'un manchon. Une partie du gasoil est pompée et des travaux complémentaires sont réalisés (jour de cette pollution non connu).

N° 12573 - 5/9/1996- 54 - DOMGERMAIN

50.5 - Commerce de détail de carburants

Près d'une station-service, la subdivision de l'entretien des autoroutes découvre des hydrocarbures sur 100 m dans un fossé longeant l'autoroute au droit de l'exutoire du réseau d'eau pluviale. Un nettoyage du réseau d'assainissement pluvial et l'évacuation des terres polluées du fossé sont effectués. Une étude est réalisée pour déterminer l'origine exacte de la nuisance et les moyens de dépollution à mettre en oeuvre. Le représentant de la station-service estime que la pollution ne provient pas de la station même mais du local commercial.

N° 10101 - 15/11/1996- 26 - LORIOL-SUR-DROME

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Dans la station-service d'un supermarché, 220 l d'eau de purge d'une cuve d'essence sont rejetés dans le système d'eaux pluviales de l'établissement. Le décanteur déshuileur ne fonctionne pas malgré son nettoyage 3 mois auparavant. Les eaux polluées s'écoulent dans le réseau d'assainissement collectif et font craindre des risques d'explosion. 250 collégiens et 64 pensionnaires d'une maison de retraite sont évacués. Pour ne pas perturber la station d'épuration collective, le flux est dévié directement vers le ruisseau récepteur provoquant une mortalité de poissons. Un procès-verbal est dressé. La présence d'eau serait consécutive à une détérioration des équipements de la cuve au cours de vols de carburant.

N° 12287 - 25/2/1997- 74 - ALLINGES

50.5 - Commerce de détail de carburants

Des hydrocarbures sont détectés par la municipalité en provenance d'une station service. Un arrêté préfectoral de mise en demeure est imposé à l'exploitant pour régulariser son établissement, mettre en conformité ses installations, réaliser une étude pour caractériser l'importance et l'étendue de la pollution des sols et mettre en place un traitement éventuel. La fuite a pour origine la défaillance d'un joint sur le tuyau d'alimentation de la pompe de distribution des carburants. Une très faible pollution des sols est constatée et un décanteur déshuileur est installé pour traiter les eaux collectées.

N° 12076 - 6/3/1997- 44 - SAINT-JULIEN-DE-CONCELLES

50.5 - Commerce de détail de carburants

Durant 4 jours, des habitants de la commune se plaignent d'odeurs d'essence. Une CMIC contrôle une station, mesure des valeurs explosimétriques basses et note un écoulement faible mais continu d'essence dans le réseau des eaux pluviales. Ce réseau est obturé et un périmètre de sécurité est mis en place. Un intervenant extérieur nettoie les égouts. La fuite est à nouveau constatée 5 jours plus tard. Un colorant utilisé pour en déterminer l'origine ne conduit à aucun résultat probant. Des sondages mettent en évidence la présence d'hydrocarbures dans le sol. La station service doit suspendre son activité pour un contrôle complet du site.

N° 12160 - 4/6/1997- 44 - NANTES

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un feu d'origine criminelle se déclare dans le local caisse bureau-épicerie d'une station-service. Les installations de stockage et de distribution de carburants ne sont pas touchées. Les pompiers maîtrisent le sinistre. De fortes odeurs d'essences sont détectées sur les 2 événements d'une citerne de 30 m³. Un intervenant extérieur vérifie les joints de plateaux et de brides et les connexions des canalisations. Les pieds des distributeurs sont sablés, ainsi que les cheminées après un dégazage définitif. La police retrouve l'un des auteurs de l'attentat, souffrant de brûlures, à l'hôpital. Le feu a été initié par 5 cocktails molotov.

N° 11502 - 5/8/1997- 43 - Le PUY-EN-VELAY

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station service, le gérant met en service une cuve d'appoint de 5000 l de gasoil utilisée seulement en période de grande consommation et s'aperçoit qu'elle est vide ; 4500 l d'hydrocarbures se sont infiltrés dans le sol. La cuve s'est percée à l'emplacement où vient buter la jauge manuelle. C'est la forte odeur de gasoil, constatée par les habitants, qui a permis de déceler un écoulement d'hydrocarbures dans le DOLAIZON. Des barrages flottants sont mis en place pour contenir la pollution. Sur proposition de l'Inspection des installations classées, le Préfet prescrit la dépollution du sol et suspend le fonctionnement de la station jusqu'à la réalisation des épreuves réglementaires des réservoirs enterrés.

N° 11814 - 17/9/1997- 09 - PAMIERIS

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite de travaux de nettoyage des caniveaux et des séparateurs d'hydrocarbures d'une station-service, le canal de Pamiers est pollué par des hydrocarbures. Les autorités demandent à l'exploitant de revoir les procédures de nettoyage et leur périodicité et de fournir un plan exact du réseau d'effluents (pluvial, eaux usées, aire de lavage, aire de distribution).

N° 12091 - 4/12/1997- 51 - MONTMIRAIL

50.5 - Commerce de détail de carburants

Au cours du dépotage d'un camion-citerne de gasoil et d'essence dans les cuves d'une station-service, les vapeurs de carburant se propagent vers la cabine de caisse via les fourreaux électriques et explosent au contact d'un radiateur électrique. La cabine est détruite. La ventilation du local était obturée. Un début d'incendie est éteint à l'aide d'un extincteur. Le caissier est brûlé au 2e degré. Un client est légèrement blessé par un éclat de verre. L'entreprise obture toutes les lumières des gaines et améliore la ventilation de la nouvelle cabine. Le retour d'expérience est diffusé à l'ensemble des stations-service du groupe.

N° 12367 - 12/12/1997- ETATS UNIS - UPLAND

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, deux ouvriers posent un revêtement à base de fibres de verre dans un réservoir enterré de carburant pour une mise en conformité avec les lois fédérales. Une explosion survient. Les vapeurs d'essence résiduelles sont vraisemblablement à l'origine du sinistre. Un ouvrier se trouvant à l'intérieur du réservoir est tué et le deuxième est brûlé au 2e et 3e degré sur 65 % du corps.

N° 12266 - 30/12/1997- 73 - COGNIN

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, à la suite d'une défaillance du contacteur d'arrêt de la pompe, 30 m³ d'essence se déversent sur le sol. Les mesures montrent que la concentration en vapeurs d'hydrocarbures excède la valeur limite d'explosivité. Des travaux de nettoyage sont effectués. Une étude est réalisée pour rechercher les causes et évaluer les effets de ce sinistre.

N° 12776 - 10/4/1998- 69 - GREZIEU-LA-VARENNE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans la station-service d'un centre commercial, un automobiliste faisant le plein de carburant se trompe de pompe de distribution. Après s'être rendu compte de son erreur, il vidange volontairement son réservoir à l'aide d'un tuyau. Le carburant se déverse dans une bouche d'évacuation des eaux communiquant avec celles du magasin. L'auteur des faits est verbalisé.

N° 12936 - 27/5/1998- 03 - CUSSET

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, environ 200 l d'essence sans plomb provenant d'une cuve enterrée de 3 000 l s'infiltrent dans le sol. La cuve est vidangée. Les occupants des deux logements situés au-dessus de la station-service sont évacués pour la nuit et les locaux ventilés. La station-service reste fermée jusqu'à nouvel ordre. Une inspection est en cours.

N° 13090 - 19/6/1998- 22 - FREHEL

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite d'un flash, de l'huile de vidange très chaude prend feu dans une station-service. L'incendie se propage à un véhicule se trouvant sur le pont élévateur, gagne la cage d'escalier puis le reste du bâtiment. Les pompiers maîtrisent le sinistre avant qu'il ne se propage à un dépôt abritant des pneus et des caravanes.

N° 13226 - 26/6/1998- 69 - DRACE

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite de travaux sur les tuyauteries de distribution, une cuve de gasoil d'une station-service devient fuyarde. En 2 jours, 24 m³ de carburant sont perdus. Le réseau d'eaux pluviales est pollué. En raison de l'existence de captages d'eau potable à 2 km en aval, le suivi de la pollution et des travaux de dépollution sont prescrits en procédure d'urgence. La surveillance de la nappe est demandée pour une période de 5 ans.

N° 14616 - 9/9/1998- 53 - LAVAL

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Dans la station service d'un supermarché, des émanations d'hydrocarbures incommode une employée à l'intérieur de la cabine. Celle-ci est hospitalisée une demi-journée. Les vapeurs auraient circulé dans les gaines de transport des câbles électriques. La station est fermée une journée. Les gaines sont étanchées, les bouches d'intersection des câbles sont remplies de sable et la cabine est isolée.

N° 14177 - 12/9/1998- COREE DU SUD - PUCHON

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une explosion survient dans une station d'essence d'une capacité de stockage de 70 t. L'explosion détruit une douzaine de voitures, brise des fenêtres et blesse 55 personnes (23 pompiers et 6 personnes sont dans un état critique). Du matériel défectueux ou une négligence dans les procédures de sécurité serait à l'origine de l'explosion.

N° 14414 - 24/11/1998- 57 - METZ

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Dans une station-service d'un supermarché, à la suite de la rupture d'une citerne, une fuite de 20 m³ d'essence se produit et se répand dans diverses canalisations. Des émanations sont ressenties pendant plusieurs jours par les habitants du voisinage. Une entreprise spécialisée sonde le sol afin de mesurer l'étendue de la pollution. Les pompiers font des contrôles avec des explosimètres dans les appartements et injectent des dizaines de m³ d'eau dans les conduites. La citerne fuyarde est déterrée et les sols pollués sont traités soit par enlèvement vers une décharge, soit par aération.

N° 15228 - 16/2/1999- 58 - CLAMECY

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Une fuite d'essence se produit lors du remplissage d'une cuve de la station-service d'un supermarché. Pour réduire la durée du ravitaillement, le livreur déplace son véhicule pour le raccorder à une autre cuve située à 10 m, mais en appréciant mal la distance (nuit, mauvaises conditions météorologiques) provoque une forte traction sur le flexible et la rupture franche de la vanne de la citerne. Il commande la fermeture du clapet de fond, mais 1 000 l d'hydrocarbure se sont répandus dans les points bas, regards et canalisations du parking du magasin. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité et épandent des produits absorbants. Le lendemain une société spécialisée nettoie le site. Aucune pollution n'est constatée. L'opération effectuée après la fermeture du magasin a évité l'aggravation de l'accident. L'administration constate la non conformité des aménagements de l'installation avec la réglementation (aires de dépotage, prévention des écoulements). Une consigne de sécurité devra être établie.

N° 15710 - 20/6/1999- 93 - NOISY-LE-SEC

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service sur l'autoroute A3, un véhicule de tourisme percute les glissières de sécurité internes à la station protégeant le dépôt de GPL, endommage le grillage de protection et touche les canalisations de liaison entre le dépôt et le distributeur. Une vanne à vis, située sur le retour de la régulation de pression équipée d'un clapet anti-retour, se fissure, sous le choc, au niveau du siège du clapet ; une fuite de gaz se produit. Les pompiers ferment les vannes et une société extérieure colmate la fuite. La station est fermée au public durant l'intervention. La cuve de GPL est vidée et dégazée. Les réparations, le remplacement des canalisations, les contrôles d'étanchéité, le remplacement du grillage et l'extension des glissières de sécurité, ainsi que la fourniture d'une attestation de conformité demandées par l'inspection interviennent dans la semaine qui suit. La canalisation n'avait pas d'autre clapet anti-retour que celui existant sur la vanne.

N° 17263 - 11/2/2000- CHINE - ZHANGSHU

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un camion-citerne livrant du carburant dans une station-service explose et provoque l'effondrement d'un bâtiment de 3 étages. Cinq membres de la famille du propriétaire de la station-service et le chauffeur du camion sont tués et 2 autres personnes sont blessées. Les pompiers maîtrisent l'incendie en 50 min. L'origine et les circonstances exactes du sinistre ne sont pas connues.

N° 17447 - 23/3/2000- 42 - RENAISON

50.2 - Entretien et réparation de véhicules automobiles

Dans l'incendie qui détruit un garage de réparations automobile jouxtant une petite station-service, des bouteilles de gaz entreposées explosent. Le bâtiment s'effondre partiellement. Un pompier est légèrement blessé à la cheville lors de l'intervention. Les habitants d'un immeuble voisin, détruit par l'incendie, ont été évacués et 8 personnes sont au chômage technique.

N° 19342 - 29/7/2000- 16 - GOND-PONTOUVRE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un incendie détruit une station-service. Les bouteilles de gaz situées dans le foyer de l'incendie explosent. Les cuves contenant plusieurs dizaines de milliers de litres de carburant et le réservoir de GPL sont épargnés. Une soixantaine de pompiers parvient à maîtriser l'incendie. Selon des témoins, les flammes atteignent plusieurs mètres de hauteur au plus fort du sinistre. Il n'y a pas de blessé, l'accident intervenant au moment du déjeuner, 1 h environ après la fermeture. L'incendie aurait démarré dans les locaux annexes. Les dispositifs de secours (extinction auto autour des cuves) ont bien fonctionné mais n'ont pas été très efficaces vu l'ampleur du sinistre. Les cuves de stockage des hydrocarbures étaient enterrées sous une couverture de sable de 2 m. Une légère pollution aux hydrocarbures (entraînés par l'eau d'extinction de l'incendie) est constatée sur le VIVILLE. Selon l'exploitant, à priori, il ne sera pas possible de récupérer les installations.

N° 19208 - 21/9/2000- 94 - ALFORTVILLE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un incendie se déclare dans la boutique d'une station-service qui est partiellement détruite. Les équipements tels que les stockages, les canalisations, les volucompteurs ne sont pas touchés. En revanche, l'armoire électrique située dans la boutique ainsi que les détecteurs de fuite des double-enveloppes sont détruits. Des travaux de remise en état sont réalisés. Selon les premiers éléments de l'enquête, l'incendie n'est pas d'origine électrique mais serait vraisemblablement dû à un acte de malveillance. Une régularisation de la situation administrative de l'installation est par ailleurs effectuée.

N° 19010 - 24/10/2000- 54 - NANCY

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service en bordure d'autoroute, un camping-car explose lors du remplissage de son réservoir de GPL : une fuite se produit entre le bouchon et le réservoir sur une durite, ce qui provoque un écoulement sur le sol. Les vapeurs de GPL ainsi formées s'enflamment et conduisent à l'explosion du réservoir (BLEVE). Une femme et un enfant, restés à l'intérieur du camping-car, sont légèrement brûlés au visage. Les dégâts matériels au niveau de la station-service sont limités.

N° 19073 - 29/10/2000- 94 - BOISSY-SAINT-LEGER

50.5 - Commerce de détail de carburants

Des jerricanes d'essence prennent feu au moment de leur remplissage par un client. L'incendie se propage à 2 pompes de la station-service. Les dispositifs de sécurité ont a priori empêché l'extension de l'incendie aux stockages, la capacité de la station étant de 100 m³ d'essence et 10 m³ de GPL, le plein venant d'être fait. La route nationale est bloquée. Les pompiers prennent beaucoup de précautions du fait de la présence de bouteilles de gaz dans le camion du client (camion de vente de pizzas). Par ailleurs, le véhicule fonctionnait également au GPL. Le propriétaire du véhicule est blessé aux mains. Un cordon de sécurité est mis en place. Un hôtel et un restaurant proches (50 personnes) sont évacués. 2 h après l'alerte, les pompiers se rendent maîtres du sinistre. La cause précise de l'accident est recherchée.

N° 19293 - 23/11/2000- 67 - ECKARTSWILLER

50.5 - Commerce de détail de carburants

A la suite d'une fausse manoeuvre (frein à main mal serré), une voiture endommage une pompe à essence. Le choc est peu violent et le clapet de sécurité, situé à l'embase de la pompe n'est pas sollicité. La fuite apparaît au niveau du joint torique du coude assurant la liaison entre les tuyauteries enterrées et la pompe d'un débit nominal de 8 à 10 m³/h ; 4 300 l environ de super 95 se déversent sur le sol. Un employé de la station actionne l'arrêt d'urgence, sans résultat et ouvre le carénage de l'appareil pour manipuler le clapet de pied. Voyant que la pompe fonctionne encore (autre fuite?), il intervient finalement au niveau du tableau électrique pour la mise hors service générale. Le défaut d'un relais aurait perturbé le fonctionnement de l'arrêt d'urgence. Les secours recouvrent de mousse les gaines ou conduites touchées. Une société spécialisée récupère l'essence et autres boues dans la cuvette de rétention et la zone de distribution (8 t de matière). Le préfet prend un arrêté d'urgence.

N° 18686 - 28/11/2000- ETATS UNIS - ONTARIO

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une station service lors d'une opération de nettoyage des cuves. L'explosion s'est produite après la vidange d'une cuve de 40 m³. La station service est fermée.

N° 19337 - 29/11/2000- ETATS UNIS - CHARLESTON

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un homme grièvement brûlé est hospitalisé après un flash lors du remplissage du réservoir de sa voiture, à une station-service. Une enquête est effectuée pour déterminer les causes de cet accident et en particulier la raison qui a conduit à l'ignition des vapeurs d'essence. Parmi les causes évoquées par les pompiers locaux, figurent la présence de cigarette ou l'utilisation de téléphone portable à proximité immédiate des installations.

N° 19349 - 1/12/2000- 67 - ECKARTSWILLER

50.5 - Commerce de détail de carburants

Une fuite d'essence de 16 000 l se produit sur une canalisation allant de la citerne à la pompe d'une station-service. Une partie se déverse dans un fossé et une autre dans un puits à la hauteur de la station. Les pompiers procèdent aux opérations de pompage dans un bassin de décantation et un contrôle d'explosimétrie est effectué. La station, qui avait déjà connu un incident 8 jours plus tôt, venait juste de réouvrir. A la suite de la découverte de cette fuite, la station est aussitôt fermée et il est procédé à de nouvelles investigations. Un arrêté du 1er décembre soumet la réouverture de la station au respect de plusieurs conditions : remise d'un rapport d'accident avec la détermination des mesures à prendre pour éviter que de tels incidents ne se reproduisent, mise en œuvre des mesures, dépôt d'une nouvelle déclaration auprès du Préfet. Manifestement, une fuite perdurait sur une canalisation souterraine. Seule une petite partie du carburant (super sans plomb) a pu être pompée.

N° 20451 - 9/3/2001- 83 - TOULON

50.5 - Commerce de détail de carburants

Un incendie se déclare sur une voiture en réparation dans une station service. Un employé effectue une vidange du moteur lorsque les premières flammes sortent du capot. La voiture s'embrase et le sinistre se répand vite à deux autres voitures puis au magasin de la station. L'employé a juste le temps de s'enfuir. Les pompiers maîtrisent le feu après plus d'une heure d'intervention.

N° 20744 - 18/5/2001- 94 - SAINT-MAUR-DES-FOSSÉS

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station service, une fuite de 2 631 l de carburant SP 98 se produit à partir d'un réservoir de 15 m³, compartimenté (10 m³ de super et 5 de super sans Pb 98) et installé en fosse maçonnée (1978). Une vérification des installations effectuée par une société spécialisée a permis de mettre en évidence un défaut d'étanchéité sur la virole supérieure d'un autre réservoir également compartimenté (15 + 5 m³ de super 98). Les deux réservoirs ont été neutralisés (partiellement à l'eau et partiellement au sable). Un diagnostic environnemental a été réalisé fin mai par une société spécialisée. A partir des résultats qu'il fournira, un projet de dépollution sera proposé à l'inspection.

N° 20580 - 21/5/2001- 69 - COMMUNAY

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station service d'autoroute, une fuite est décelée par les exploitants après comparaisons des volumes stockés et distribués. Elle est estimée à 6500 l de gazole. Cependant, aucune trace visible de cette fuite n'est décelée sur le sol et au niveau des exutoires de la station. La rupture d'une soudure d'un coude de raccordement du collecteur d'alimentation au pied du volucompteur serait à l'origine de cette fuite. L'exploitation de la station est arrêtée en intégralité y compris les pompes de transfert des carburants des cuves de stockage vers les installations de distribution. Les collecteurs sont eux aussi condamnés. Un arrêté préfectoral d'urgence, pris sur proposition de l'inspection des I.C., demande à l'exploitant : de délimiter la zone polluée, d'estimer, à l'aide de piézomètres, le degré de contamination des sols et des eaux souterraines et de déterminer les causes exactes de l'accident, sous 7 j. L'absence de danger sera démontrée avant toute remise en service des installations. Les terrains sont perméables à cet endroit et les risques de pollution sont élevés.

N° 20449 - 5/6/2001- 63 - RIOM

60.2 - Transports urbains et routiers

Au droit d'une station service située en ville, un poids-lourd transportant 20 000 l d'essence (super/super sans plomb) percute une maison. Les habitations proches sont évacuées. Un périmètre de sécurité est mis en place. Aucun blessé n'est à déplorer. La citerne du camion est dépotée.

N° 21236 - 10/9/2001- 92 - PUTEAUX

50.5 - Commerce de détail de carburants

Lors d'une livraison dans une station service, un écoulement de gazole de 1150 l se produit à la suite d'un problème technique sur la vanne de sécurité du camion livreur : la bille de la vanne se serait désolidarisée, provoquant la fuite des hydrocarbures. Le chauffeur et les services de secours de la station essaient d'éviter l'épandage du produit : mise en place de petits barrages avec le contenu des bacs à sable, réutilisation des bacs vides pour récupérer le gazole. 300 l sont ainsi collectés. L'inspection demande à l'exploitant de fournir une déclaration d'accident.

N° 21534 - 2/10/2001- 49 - AVRILLE

52.1 - Commerce de détail en magasin non spécialisé

Dans une station-service de supermarché, vers 20h, un automobiliste part en laissant le pistolet du distributeur dans le réservoir de son véhicule. Le distributeur de carburant est arraché et bascule sur le sol. Les pompiers, appelés sur site, mettent en place un périmètre de sécurité. Il semble que l'incident ait généré un faible écoulement de carburant qui a été drainé par le réseau de récupération des eaux polluées qui ceinture la zone de distribution.

N° 21500 - 5/12/2001- 42 - SAINT-ETIENNE

50.5 - Commerce de détail de carburants

Dans une station-service, un employé d'une société de maintenance d'installations au gaz de pétrole liquéfié (GPL) est grièvement brûlé par une explosion survenue à l'intérieur de sa fourgonnette. En allumant une cigarette, il a provoqué l'explosion du gaz contenu dans l'habitacle. L'effet de souffle a déformé les portières du véhicule mais les installations de la station service sont intactes.

ANNEXE II :

**ARTICLE DE FACE AU RISQUE INTITULE « LES ACCIDENTS
DANS LES STATIONS-SERVICES » (FAR N°319/JANVIER 1996)**

B A R P I

**RETOUR
D'EXPERIENCE**

LES ACCIDENTS DANS LES STATIONS-SERVICES

Les stations-services, lieux de stockage et de manipulation de produits dangereux, peuvent être à l'origine d'accidents ou de pollution graves. Leur très large répartition sur le territoire national, près de 19 000 points de distribution, et le service de proximité qu'elles représentent contribuent à rendre familière et banale cette activité et, par là même, à atténuer sensiblement notre perception des risques qu'elles représentent. Or, quelques éléments d'appréciation quantifiés méritent d'être mis en avant pour tempérer une impression trop optimiste : des morts ou des blessés graves sont à déplorer dans respectivement 2,3 % et 9,5 % des cas répertoriés, une contamination des sols ou une pollution des eaux restent des atteintes à l'environnement fréquentes (respectivement 37 % et 20 %).

Accidents types

L'examen détaillé d'une centaine d'accidents survenus en France permet de définir quelques accidents type survenant dans les stations-services. Le plus banal est indiscutablement la fuite liée à la corrosion d'une partie enterrée des installations, réservoir ou canalisation qui, en absence de double paroi ou de cuve de rétention et en l'absence de dispositif de surveillance ou de détection entraîne une pollution des sols et des eaux souterraines. Il faut souligner que ces pertes, qui atteignent fréquemment plusieurs dizaines de mètres cubes, peuvent passer inaperçues durant des années. Viennent ensuite tous les déversement accidentels liés aux opérations de transvasement : remplissage des stockages de la station. Là encore, l'absence de limiteurs de remplissage, le mau-

Pollutions graduelles, provoquées par la corrosion des installations, ou accidentelles lors des opérations de transvasement sont les plus courantes. Explosions et incendies sont moins fréquents mais présentent, bien évidemment, des bilans humains plus lourds.



Nombreuses et familières les stations-services ont intégré le paysage urbain... non sans risques.

vais état des flexibles de transferts... sont les illustrations d'une prise de conscience des risques très insuffisante.

Enfin, des explosions et incendies aux conséquences graves peuvent se produire lorsque la conception des installations ou les conditions de leur entretien ignorent le potentiel explosif que représentent des vapeurs de composés inflammables, notamment lorsqu'elles sont confinées.

Quelques cas

Laval (53), le 8 août 1989 — Une explosion se produit sur une citerne d'essence enterrée au moment où des ouvriers procèdent à son dégazage et à son nettoyage. Bilan : deux morts et un brûlé.

Paris (75), le 6 janvier 1990 — Un

incendie se déclare dans le tunnel du métro suite au suintement d'un mélange de carburants par un chemin de câble. La station-service en cause ne comporte ni dispositif de contrôle de fuite sur les réservoirs enterrés, ni limiteur de remplissage. Par ailleurs, l'étanchéité des canalisations de distribution n'est pas contrôlée régulièrement. Cet incendie entraîne un arrêt de la circulation du métro pendant six heures.

Pélican (13), le 19 février 1990 — Une fuite se produit durant dix à quinze jours sur une pompe à essence sans plomb. Environ 10 000 litres se répandent dans le sol et polluent la nappe phréatique.

Marly-le-Roi (78), le 11 juillet 1990 — Une fuite de carburant se produit au moment du remplissage d'une

citerne. Des explosions, puis un incendie se produisent. Trois blessés, dont un très gravement sont à déplorer. La quantité de carburant brûlée est estimée à 15 000 litres. La station-service est totalement détruite, ainsi que le camion de livraison et deux véhicules clients.

Quimper (29), le 4 octobre 1990 — Pendant plusieurs mois, du carburant s'est écoulé d'une station-service polluant la nappe phréatique et une fontaine. Des installations de forage sont mises en oeuvre pour récupérer le carburant.

Villiers-le-Bel (95), le 6 décembre 1990 — Une pollution accidentelle survenue au cours du dépotage d'un camion-citerne dans une station-service entraîne l'épandage de 20 000 litres de fuel dans les égouts. La pollution s'étend sur 5 km.

Villemombe (93), le 1^{er} mars 1991 — Suite à des débordements successifs lors du remplissage des réservoirs enterrés d'une station-service, des infiltrations répétées d'essence dans le sol entraînent des émanations dans le sous-sol d'un pavillon.

Angers (49), le 10 janvier 1992 — Dans une station-service, une canalisation est perforée accidentellement. 1 000 l de gasoil se répandent dans Le Maine. Les travaux de colmatage effectués à cette occasion permettent de découvrir une pollution importante. Le terrain sablonneux est imprégné de supercarburant sur 4 000 m². L'origine de cette pollution chronique remonterait à vingt ans.

Paris (75), le 7 février 1992 — Lors du remplissage du réservoir d'un véhicule dans une station-service, le des-

sertissage d'un pistolet provoque une fuite d'essence. Une partie des hydrocarbures répandus au sol s'écoule par un drain d'eau pluviale dans un local technique situé sous la station-service. Un vagabond, installé dans ce local, provoque l'inflammation de l'essence avec un appareil électrique, branché à l'insu du gérant de la station. Il est grièvement brûlé et hospitalisé.

Marseille (13), le 25 mars 1992 — Un incendie, suivi d'explosions, se déclare dans une station-service. Le feu se propage jusqu'au quatrième étage de l'immeuble dont le toit s'effondre. Les habitants de l'immeuble et des bâtiments voisins sont évacués. De nombreux appartements sont ravagés. Trois blessés dont un pompier sont à déplorer.

Paris (75), le 19 octobre 1992 — Une erreur humaine lors du dépotage d'un camion-citerne dans une station-service entraîne le sur-remplissage d'un compartiment de réservoir déjà plein. Cet accident révèle l'absence de limiteur de remplissage. L'essence déborde dans une fosse située en sous-sol, puis se répand sur le sol et s'infiltre. Les employés du garage sont évacués et la rue condamnée.

Séverac-le-Château (12), le 23 janvier 1993 — Dans une station-service, une fuite de gas-oil, évaluée à 5 000 litres, se produit sur une cuve. Les hydrocarbures se déversent dans les égouts, puis dans l'Aveyron. La rivière est polluée sur 7 km.

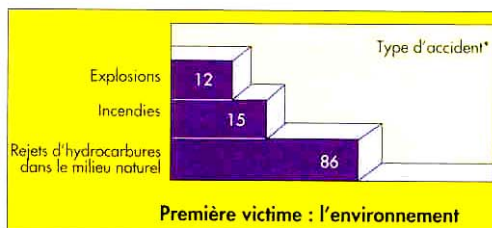
Sommedieu (55), le 30 juin 1993 — Une fuite de 15 m³ de gasoil

se produit dans une station-service à la suite de la détérioration d'une canalisation sur un réservoir enterré. L'accident a pour origine des travaux de terrassement effectués à proximité. Le réseau d'eau potable de la commune est pollué par les hydrocarbures et les 900 habitants sont ravitaillés par les pompiers.

Alençon (61), le 3 septembre 1993 — Lors de l'approvisionnement d'une station-service, 5 000 litres d'essence s'écoulent dans le réseau d'eau pluviale. L'accident est dû au déplacement, par le chauffeur, du camion en cours de dépotage et à la rupture d'une bride. La pollution est partiellement contenue dans le réseau encombré de gravats.

La Guérinière (85), le 29 novembre 1993 — Lors du dépotage d'un camion de supercarburant, une explosion suivie d'un incendie se produisent dans la station-service d'un supermarché. La caissière de la station a initié l'explosion en manoeuvrant un interrupteur électrique dans sa cabine. Le nuage inflammable provient d'un orifice de jaugeage par pige laissé ouvert. Les gaz accumulés ont pénétré par un fourreau d'arrivée de câbles électriques non bouché communiquant directement avec la cabine. L'incendie fait deux blessés : la caissière brûlée aux mains et au visage et un client à proximité de la cabine.

Pont-Audemer (27), le 7 février 1994 — La perforation de la virole d'une citerne fixe de carburant dans une station-service provoque la fuite de 18 000 litres d'hydrocarbures. La perforation est située à la verticale du



point de jaugeage. La jauge ne dispose d'aucun taquet d'arrêt. Cette perforation est due à un martèlement répété de la virole au cours des opérations de jaugeage successives.

Charolles (71), le 9 février 1994 — Un chauffeur décharge dans les cuves d'une station-service la citerne de son camion contenant 17 000 l de carburant. Deux des cuves de la station sont ouvertes et les vapeurs d'hydrocarbures canalisées par une gaine électrique se répandent dans la cabine où une caissière vient de s'installer. En éteignant le chauffage, il se produit une étincelle qui enflamme le mélange air/vapeurs. Elle est brûlée aux mains et au visage.

Valmy (51), le 9 novembre 1994 — Dans une station-service, une fuite de gasoil se produit sur une canalisation reliant les pompes au réservoir. Environ 9 000 l d'hydrocarbures s'infiltrent dans le sol provoquant une pollution de la nappe phréatique. Dix puits sont creusés pour localiser la zone polluée et permettre son traitement par pompage.

Rosny-sur-Seine (78), le 30 mars 1995 — Sur l'autoroute A13, au cours du remplissage des cuves dans une station-service, le livreur se trompe d'orifice en plaçant le flexible de transfert et 35 m³ de super-carburant sans plomb se déversent sous la cuve. La nappe phréatique est atteinte. A la suite des travaux de dépollution, 27 m³ de carburant sont récupérés dans les deux mois suivants.

Portes-lès-Valence (26), le 9 mai 1995 — Un incendie se déclare dans une station-service sur l'autoroute A7 après qu'un véhicule ait percuté, puis arraché deux pompes à essence. Âgé et probablement victime d'un malaise, le conducteur meurt carbonisé dans sa voiture qui prend feu immédiatement. Le pompiste arrête les pompes de la station par action sur un coup de poing. Les pompes sont équipées de clapets antiroulement et aucune explosion ne se produit. ■

José Mansot
Directeur du Barpi

Le Barpi

Attaché à la Direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR), au sein du ministère de l'Environnement, le Barpi (Bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles) assure trois missions prioritaires :

- centraliser et analyser les données relatives aux accidents dans les installations classées pour la protection de l'environnement ;

- constituer un pôle de compétences capable d'aider à la définition de la politique générale en matière de prévention des risques technologiques et d'apporter un appui à l'Inspection locale dans l'instruction d'accidents importants ;
- assurer la diffusion des enseignements tirés de l'analyse des accidents survenus en France ou à l'étranger.

Contact : 72.61.52.09.

ANNEXE III :
LOGICIEL FNAP

LE LOGICIEL FNAP

Présentation du logiciel FNAP

Le logiciel FNAP a été développé par l'INERIS pour son usage interne afin d'estimer les effets thermiques radiatifs associés aux feux de nappe.

Cet outil de modélisation s'appuie sur le principe de la flamme solide décrit schématiquement ci-dessous.

Le modèle de la flamme solide considère la flamme comme un solide opaque de forme régulière dont les surfaces rayonnent uniformément. Il repose sur les hypothèses suivantes :

- le volume visible de la flamme émet des radiations thermiques vers la cible alors que la partie non visible n'en émet pas,
- la flamme est assimilée à un volume géométrique simple (cylindre, parallélépipède, cône..). La base de ce volume correspond alors à la base du feu et sa hauteur à la hauteur pour laquelle la flamme est visible 50 % du temps.

Le flux de radiation thermique envoyé sur un élément extérieur à la flamme est alors calculé grâce à l'équation suivante :

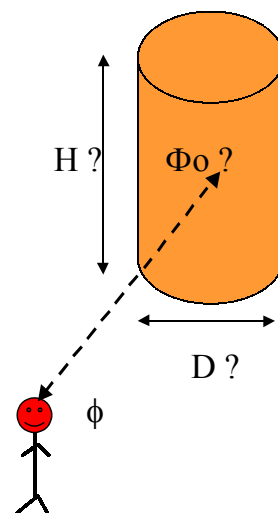
$$\phi = \phi_0 F \tau \quad (1)$$

avec Φ : énergie surfacique reçue par un élément par unité de temps (W/m²)

F : facteur de vue entre l'élément extérieur et la flamme.

τ : transmittance dans l'air

Φ_0 : pouvoir émissif de la flamme (W/m²)



L'application du modèle de la flamme solide nécessite la définition d'un certain nombre de paramètres, nécessaires pour estimer la densité de flux thermique radiatif reçu par une cible à partir du rayonnement émis par la flamme.

La définition de ces paramètres peut être répartie en deux grandes étapes selon qu'il s'agit :

- de caractériser le comportement de la flamme. Il convient alors de déterminer, à partir du modèle de flamme inclus dans FNAP :
 - la géométrie de la flamme, à savoir :
 - l'aire de la base des flammes (soit le diamètre de la nappe),
 - la hauteur de la flamme,
 - éventuellement les effets associés à l'action du vent,
 - sa puissance surfacique rayonnée soit son pouvoir émissif.
- d'estimer, grâce au modèle de transfert thermique, la décroissance du flux thermique radiatif en fonction de la distance par le biais du calcul :
 - du facteur de forme traduisant l'angle solide sous lequel la cible perçoit la flamme,
 - du coefficient d'atténuation atmosphérique traduisant l'absorption par l'air ambiant d'une partie du flux thermique radiatif émis par la flamme.

Afin de caractériser le comportement de la flamme (géométrie et pouvoir émissif), le modèle de flamme s'appuie sur des corrélations établies essentiellement à partir de feux d'hydrocarbures et de produits cellulosiques, de diamètre restreint. Son utilisation dans le cas de combustibles de nature différente ou pour des surfaces de flamme au sol importantes doit donc être faite de manière prudente.

A l'inverse, l'utilisation du modèle de transfert thermique est justifiée dès lors qu'il s'agit d'estimer l'impact radiatif d'une flamme pérenne, de géométrie constante dans l'espace et dans le temps.

Ainsi, pour peu que les caractéristiques de la flamme puissent être déterminées directement, le logiciel FNAP peut être utilisé pour évaluer uniquement la décroissance du flux rayonné par la flamme en fonction de l'éloignement de la cible. Ce point justifie entre autres son utilisation dans le cas des feux de matières solides en entrepôt.

Géométrie de la flamme

Notion de diamètre équivalent

La plupart des corrélations visant à estimer les caractéristiques de la flamme et plus particulièrement sa hauteur font intervenir la notion de diamètre équivalent et assimilent ainsi la surface de la nappe de combustible à un disque. Ce paramètre n'est a priori utile que pour l'emploi de ces corrélations.

Dans le cas d'une nappe se développant dans une cuvette de rétention circulaire, le diamètre équivalent peut être assimilé au diamètre de la cuvette pour peu que les conditions suivantes soient respectées :

- la quantité de liquide rejetée est suffisante pour remplir la cuvette,
- la cuvette de rétention est capable de retenir la majeure partie du liquide et ainsi limiter les risques de débordement, par effets de vague par exemple,
- la tenue mécanique de la cuvette de rétention est assurée durant toute la durée du rejet et de l'incendie.

Dans le cas de la ruine totale d'un réservoir, la taille de la flaque augmente régulièrement jusqu'à atteindre un diamètre maximal, fonction notamment des caractéristiques de la substance, du terrain et des conditions ambiantes. Le diamètre de la flaque décroît ensuite au fur et à mesure de la combustion. Ce type d'accident survient lors de la rupture rapide d'un réservoir, laissant échapper la totalité de son contenu liquide en un temps très court. Dans une approche prudente, il est conseillé de prendre le diamètre maximal d'étalement comme diamètre équivalent du feu.

Pour un feu de cuvette rectangulaire, le diamètre équivalent, Deq , est généralement estimé par la formule suivante :

$$Deq = 4 \times \frac{\text{Surface de la cuvette}}{\text{Périmètre de la cuvette}}$$

Le diamètre équivalent, calculé par de cette manière, peut toutefois ne pas être représentatif des caractéristiques du feu, dans le cas d'une cuvette de forme allongée, c'est-à-dire dont le rapport entre la longueur et la largeur est supérieur à 2.

Pour une telle configuration, il est souvent plus pertinent de retenir la plus petite des dimensions caractéristiques afin d'estimer le diamètre équivalent du feu.

Hauteur de flamme

La hauteur de flamme associée à un feu de nappe peut être estimée grâce à des corrélations établies à partir d'essais ou de données disponibles dans la littérature. En grande majorité, ces dernières font intervenir le débit masse surfacique de combustion ($\text{kg/m}^2\text{s}$) qui représente la quantité de combustible (kg) participant à l'incendie par unité de surface au sol (m^2) et de temps (s).

Débit masse surfacique de combustion

De manière schématique, le débit masse surfacique de combustion ou taux de combustion noté m'' ($\text{kg/m}^2\text{s}$), traduit la cadence de consommation du combustible.

Le débit masse surfacique de combustion peut ainsi être assimilé à la vitesse de combustion ou vitesse de régression linéaire de la nappe⁴, v (m/s), qui est définie comme la vitesse de diminution de l'épaisseur d'une nappe soumise à un incendie. La formule suivante relie ces deux grandeurs physiques :

$$m'' = \rho \times v \quad (2)$$

Où m'' : débit masse surfacique de combustion ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

ρ : masse volumique du combustible (kg/m^3)

v : vitesse de régression de la nappe (m/s)

⁴ La notion de vitesse de régression linéaire est plus particulièrement utilisée dans l'industrie pétrolière.

Afin d'estimer la valeur du débit masse surfacique de combustion, le logiciel FNAP offre la possibilité d'utiliser la corrélation proposée par Babrauskas [4].

$$m'' = m''_{\infty} \left(1 - \exp^{-k \cdot \beta \cdot D} \right) \quad (3)$$

Où m''_{∞} = débit masse surfacique pour une nappe de taille infinie (kg/m²s)

$k\beta$ = coefficient d'extinction de la nappe (/m)

Le tableau suivant, proposé par Babrauskas, présente une série de valeurs pour divers produits.

Nature du combustible	Densité (kg/m ³)	Δh_v (kJ/kg)	Δh_c (MJ/kg)	m_{∞}'' (kg/m ² .s)	$k\beta$ (m ⁻¹)	k (m ⁻¹)	T _f (K)	X _f ^(c) (-)
Gaz liquéfiables								
H ₂ liquide	70	442	120,0	0,017 (±0,001)	6,1 (±0,4)	-	1600	0,25
Gaz naturel liquéfié (fréquemment CH ₄)	415	619	50,0	0,078 (±0,018)	1,1 (±0,8)	0,5	1500	0,16-0,23
Gaz de pétrole liquéfié (fréquemment C ₃ H ₈)	585	426	46,0	0,099 (±0,009)	1,4 (±0,5)	0,4	-	0,26
Alcools								
Méthanol (CH ₃ OH)	796	1195	20,0	0,017 ???	a	-	1500	0,17-0,20
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	794	891	26,8	0,015 ???	a	0,4	1490	0,20
Combustibles organiques classiques								
Butane (C ₄ H ₁₀)	573	362	45,7	0,078 (±0,003)	2,7 (±0,3)	-	-	0,27-0,30
Benzène (C ₆ H ₆)	874	484	40,1	0,085 (±0,002)	2,7 (±0,3)	4,0	1460	0,14-0,38
Hexane (C ₆ H ₁₄)	650	433	44,7	0,074 (±0,005)	1,9 (±0,4)	-	1300	0,20-0,40
Heptane (C ₇ H ₁₆)	675	448	44,6	0,101 (±0,009)	1,1 (±0,3)	-	-	
Xylènes (C ₈ H ₁₀)	870	543	40,8	0,090 (±0,007)	1,4 (±0,3)	-	-	
Acétone (C ₃ H ₈ O)	791	668	25,8	0,041 (±0,003)	1,9 (±0,3)	0,8	-	
Dioxane (C ₄ H ₈ O ₂)	1035	552	26,2	0,018 ^b	5,4 ^b	-	-	
Diéthyl éther (C ₄ H ₁₀ O)	714	382	34,2	0,085 (±0,018)	0,7 (±0,3)	-	-	
Hydrocarbures								
Ether de pétrole	740	-	44,7	0,048 (±0,002)	3,6 (±0,4)	-	-	
Essence	740	330	43,7	0,055 (±0,002)	2,1 (±0,3)	2,0	1450	0,18
Kérosène	820	670	43,2		3,5 (±0,8)	2,6	1480	0,35
JP-4	760	-	43,5	0,051 (±0,002)	3,6 (±0,1)	-	1250	
JP-5	810	700	43,0	0,054 (±0,002)	1,6 (±0,3)	0,5	1250	
Huile pour transformateur	760	-	46,4	0,039 ^b	0,7 ^b	-	1500	
Fioul lourd	940-1000	-	39,7	0,035 (±0,003)	1,7 (±0,6)	-	-	
Brut	830-880	-	42,5-42,7	0,022-0,045	2,8 (±0,4)	-	-	0,18
Solides								
Polyméthylméthacrylate (C ₅ H ₈ O ₂) _n	1184	1611	24,9	0,020 (±0,002)	3,3 (±0,8)	1,3	1260	0,40
Polyoxyméthylène (CH ₂ O) _n	1425	2430	15,7			-	1200	0,15
Polypropylène (C ₃ H ₆) _n	905	2030	43,2			1,8	1200	0,40
Polystyrène (C ₈ H ₈) _n	1050	1720	39,7			5,3	1200	0,44

(a) – Valeur indépendante du diamètre pour un régime turbulent. Attention, Formule non adaptée aux **alcools**

(b) – Seulement deux données disponibles.

(c) – Pour des diamètres d'environ 1 m. Valeurs à minorer dans les cas de petits ou très grands **diamètres**.

*Tableau 8 : Paramètres permettant d'estimer le débit masse surfacique de combustion
(données de Babrauskas [4])*

Corrélations pour déterminer la hauteur de flamme

La hauteur de flamme associée à un feu de nappe est difficile à déterminer visuellement puisque la zone de flamme possède généralement un fort caractère intermittent. Dans la suite de ce document, la hauteur de flamme moyenne est définie comme la hauteur pour laquelle la flamme est visible 50 % du temps de l'incendie.

Afin d'estimer cette hauteur de flamme, le logiciel propose trois corrélations :

- la corrélation de Thomas,
- la corrélation de Moorhouse,
- la corrélation d'Heskestad.

*** Corrélation de Thomas [9]**

La corrélation de Thomas a été établie à partir de l'étude de feux de bûchers de bois en milieu confiné. Cette corrélation semble adaptée dans le cas de feux d'un diamètre inférieur ou égal à 20 m. Elle convient particulièrement aux feux d'hydrocarbures dont le rapport H/D reste compris entre 3 et 10.

$$H = 42 \times D \times \left(\frac{m''}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,61} \quad (4)$$

avec m'' : débit masse surfacique de combustion (kg/m².s)

ρ_a : masse volumique de l'air à température ambiante (kg/m³).

g : accélération gravitationnelle (= 9,81 m/s²)

*** Corrélation de Moorhouse [10]**

La corrélation de Moorhouse a été établie, à partir d'essais réalisés, en l'absence de vent, sur des grands feux de gaz naturel liquéfié, dont le rapport H/D reste compris entre 1 et 3 :

$$H = 6,2 \times D \times \left(\frac{m''}{\rho_0 \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,254} \quad (5)$$

* Corrélation d'Heskestad [12]

La corrélation d'Heskestad a été établie à partir de nombreuses données disponibles dans la littérature. Elle possède un domaine de validité relativement large que ce soit en terme de produit ou de type de feu. Sa mise en œuvre peut toutefois se révéler difficile puisqu'elle nécessite la connaissance de nombreux paramètres d'entrée relatifs au combustible et au milieu ambiant.

La hauteur de flamme peut alors être estimée de la façon suivante :

$$H = (-1,02 + 15,6.N^{1/5}) \times D \quad (6)$$

$$\text{avec : } N = \frac{C_{p0} \cdot T_0}{g \cdot \Delta H_c} \left(\frac{\eta_{comb} \cdot m'}{\rho_0} \right)^2 \cdot \frac{r_s^3}{D^5}$$

$$\text{et } r_s = 137,87 \cdot \frac{x + y/4 + z/2}{12 \cdot x + y + 16 \cdot z}$$

avec C_{p0} : capacité calorifique du combustible liquide (J/kg.K)

T_0 : température du combustible (K)

r_s : rapport stœchiométrique air/combustible

m' : débit de combustion (kg/s) ($m' = m'' \times$ Surface de combustible au sol)

Cette relation est valable pour des valeurs de N comprises entre 10^{-5} et 10^{+5} , pour un hydrocarbure liquide de formule brute $C_xH_yO_z$. Le rendement η_{comb} tient compte du fait qu'une partie du produit ne participe pas à la combustion. D'après des mesures réalisées par Tewarson, cité par Drysdale [13], ce rendement peut varier entre 0,35 et 0,99, avec une valeur moyenne de 0,7.

En revanche, Bagster et Pitblado [1] donnent une valeur plus élevée comprise entre 0,90 et 0,95. Il semble donc que le rendement ne peut pas être connu de façon précise, et que seul un ordre de grandeur est utilisable.

Enfin, le logiciel FNAP rappelle les résultats donnés par Hofman [11] ; pour des feux de grand diamètre, le rapport hauteur de flamme sur diamètre de la nappe est supposé tendre vers 1,7.

Pouvoir émissif de la flamme

Le pouvoir émissif de la flamme (kW/m²) représente la puissance thermique rayonnée (kW) par unité de surface de la flamme (m²).

D'un point de vue théorique, tout corps opaque porté à une température T , émet de la chaleur sous la forme d'ondes électromagnétiques. La puissance ainsi rayonnée est donnée par la loi de Stefan – Boltzman pour un corps noir, c'est-à-dire un corps absorbant à la température T toutes les radiations quelle que soit leur longueur d'onde ou leur direction.

$$M = \sigma T^4$$

où σ : constante de Stefan-Boltzman ($5,67.10^{-8}$ W/m².°K⁴)

T : température absolue (°K)

Il convient de rappeler ici qu'une flamme peut être assimilée à un volume de gaz (CO₂, H₂O, O₂ ...), de combustible non brûlé et de suies portées à haute température. Chacun de ces composants contribue au pouvoir émissif de la flamme et l'analogie avec un corps noir uniforme n'est donc pas immédiate. Le pouvoir émissif est alors défini grâce à la formule suivante :

$$\phi_0 = \varepsilon \sigma (T_f^4 - T_a^4)$$

Avec T_f : température de flamme (K)

T_a : température de l'ambiance (K)

ε : émissivité de la flamme

L'émissivité de la flamme est un nombre sans dimension, inférieur ou égal à 1, qui traduit l'aptitude de la flamme à se comporter comme un corps noir. Ce paramètre prend ainsi en compte la contribution au rayonnement de la flamme des suies et des gaz composant la flamme.

La formule ci-dessus est peu applicable en pratique pour les raisons suivantes :

la température de la flamme est généralement difficile à déterminer, si ce n'est à l'aide de modèles thermo-chimiques performants,

la détermination de l'émissivité suppose la connaissance de la composition de la flamme (suies, dioxyde de carbone, vapeur d'eau...),

les fumées issues de la combustion peuvent jouer un rôle d'écran, absorbant une partie du rayonnement de la flamme vers l'extérieur. Dans certains cas, ces fumées peuvent recouvrir la quasi-totalité de la flamme.

De manière plus simple, le logiciel FNAP propose d'utiliser la corrélation de Mudan Croce [8] établie à partir d'essais sur des grands feux d'hydrocarbures générant beaucoup de suies :

$$\phi_0 = \phi_{\max} \times e^{(-SD)} + \phi_{\text{fumées}} \times (1 - e^{(-SD)})$$

où Φ_{\max} : pouvoir émissif maximum des parties lumineuses de la flamme (140 kW/m²),
 $\Phi_{\text{fumées}}$: pouvoir émissif des fumées (20 kW/m²),
 S : coefficient expérimental égal à 0,12 m⁻¹.

Les valeurs numériques données ci-dessus ne sont a priori valables que **pour des feux générant beaucoup de suies** (hydrocarbures lourds, GPL...). L'emploi de la corrélation de Mudan Croce doit donc être réservée à des combustibles présentant des propriétés similaires. A ce titre, elle paraît peu adaptée au cas des alcools par exemple.

En complément, FNAP rappelle les résultats de l'opération Proserpine [18] menée sur un feu de pétrole brut de Parentis d'une surface de 2000 m². Le CEA/CESTA propose de retenir à la suite de ces essais, un pouvoir émissif de 30 kW/m². Cette valeur est relativement cohérente avec les résultats de Mudan Croce.

Par ailleurs, le pouvoir émissif peut être estimé par une approche énergétique, comme une fraction de la puissance totale libérée par la combustion.

$$\phi_0 = \frac{\eta_r \cdot \Phi_{\text{comb}}}{S_f} = \frac{\eta_r \cdot m \cdot \Delta H_c}{S_f}$$

Où η_r : fraction radiative

S_f : surface de flammes (m²).

Le rayonnement étant un phénomène isotrope, la surface de flamme correspond à la somme de l'enveloppe verticale de la flamme et de deux fois l'aire de la nappe. Dans le cas d'une nappe circulaire par exemple :

$$S_f = \pi D^2 / 2 + \pi D H_{\text{flamme}}$$

ϕ_{comb} : puissance thermique libérée par la combustion (kW)

$m = m'' \times S_{\text{nappe}}$ = débit masse de combustion (kg/s).

La surface de la nappe doit correspondre à la surface réelle de combustible au sol et non à la surface du disque correspondant au diamètre équivalent.

ΔH_c = chaleur massique de combustion (kJ/kg)

La détermination de la puissance thermique libérée par la combustion, ϕ_{comb} , suppose que toute la masse de combustible participe à l'incendie et donc un rendement de combustion unitaire.

La fraction radiative, η_r , tient compte à la fois de la part de chaleur transférée par conduction et convection ainsi que de l'émissivité et de l'écran au rayonnement que peuvent constituer les fumées. Il s'agit d'un paramètre difficile à estimer et ce d'autant plus qu'il est fonction notamment du type de combustible et du diamètre de nappe considéré.

Pour des feux de diamètre important (> 20 m), des valeurs autour de 10 % pour la fraction de chaleur rayonnée par la flamme paraissent plausibles. Ceci n'exclut bien entendu pas que, pour des feux de taille moindre, la fraction radiative soit plus importante (autour de 40 à 50 % par exemple).

Il convient de s'assurer que les valeurs retenues pour la hauteur de flamme et le pouvoir émissif de la flamme correspondent à une valeur « vraisemblable » de la fraction radiative, (de l'ordre de 10 % pour des feux de diamètre important).

Facteur de forme

Le **facteur de forme** entre deux surfaces S_1 et S_2 traduit la fraction de l'énergie émise par S_1 qui est interceptée par S_2 . Ce facteur, purement géométrique, ne dépend que de la disposition relative des deux surfaces et correspond à l'angle solide sous lequel la cible voit les flammes.

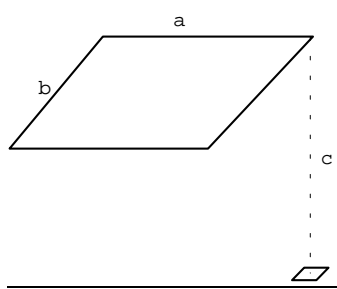
Plusieurs auteurs ont publié des expressions analytiques pour rendre compte de situations géométriques variées. Trois configurations, données par Sparrow et Cess [22], ont été retenues pour la mise au point du logiciel FNAP :

plan de flammes rayonnant vers une cible, de surface élémentaire, parallèle à ce plan (configuration n°1);

plan de flammes rayonnant vers une cible, de surface élémentaire, perpendiculaire à ce plan (configuration n°2);

cylindre de flammes droit rayonnant vers une cible, de surface élémentaire, parallèle à l'axe de ce cylindre et normale à sa base (configuration n°3).

Configuration n°1 : Cible élémentaire parallèle à une surface plane

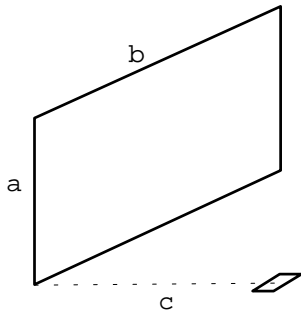


$$X=a/c$$

$$Y=b/c$$

$$F = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{Arctg} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \operatorname{Arctg} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right]$$

Configuration n°2 : Cible élémentaire perpendiculaire à une surface plane

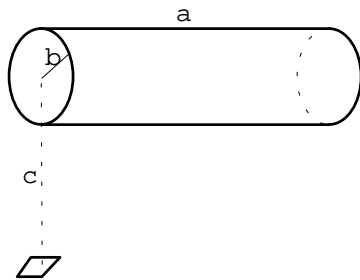


$$X=a/b \quad Y=c/b$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

$$F = \frac{1}{2\pi} \left(\text{Arctg} \frac{1}{Y} - A \cdot Y \cdot \text{Arctg} A \right)$$

Configuration n°3 : Cible élémentaire selon l'axe d'un cylindre



$$X=a/b \quad Y=c/b$$

$$A = (1 + Y)^2 + X^2$$

$$B = (1 - Y)^2 + X^2$$

$$F = \frac{1}{\pi \cdot Y} \text{Arctg} \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 - 1}} \right) + \frac{X}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2Y)}{Y \sqrt{A \cdot B}} \text{Arctg} \left[\sqrt{\frac{A \cdot (Y - 1)}{B \cdot (Y + 1)}} \right] - \frac{1}{Y} \text{Arctg} \left[\sqrt{\frac{(Y - 1)}{(Y + 1)}} \right] \right\}$$

Transmissivité de l'air

Le rayonnement émis par la flamme est progressivement absorbé lors de son trajet dans l'atmosphère, essentiellement par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone de l'air ambiant. Le coefficient d'atténuation atmosphérique est ainsi défini comme la fraction de la puissance rayonnée par la flamme absorbée par l'atmosphère.

Le logiciel FNAP permet dans un premier temps de négliger ce phénomène d'atténuation.

Une telle hypothèse apparaît cependant particulièrement majorante au regard notamment de la démarche adoptée pour la détermination des caractéristiques de la flamme. Par ailleurs, le retour d'expérience tiré de l'analyse d'accidents fait part de puissances de rayonnement souvent plus réduites que celles affichées lors des modélisations (approche des services de secours à des distances souvent faibles, peu d'effets observables sur l'environnement proche, végétation par exemple, etc). En conséquence, il est conseillé de tenir compte de l'absorption d'une partie du rayonnement par l'air ambiant.

Afin de déterminer ce facteur d'atténuation, noté τ , le logiciel FNAP propose d'utiliser au choix :

la formule de Brustowski et Sommer [21] :

$$\tau = 0,79 \cdot \left(\frac{100}{x} \right)^{1/16} \cdot \left(\frac{30,5}{r} \right)^{1/16} \quad (7)$$

Avec x (m): distance de la cible à la source,

r (%): taux d'humidité relative de l'air.

la formule de Lannoy [2] :

$$\tau = 0,33 + 0,67 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-4} \cdot x \cdot w} \quad (8)$$

Avec x (m) : distance de la cible à la source,

w (g/kg d'air sec) : humidité absolue de l'atmosphère ambiante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bagster & Pitblado, "Thermal hazards in the process industry" *Chemical Engineering Progress*, 1989.
2. Lannoy, "Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre - Etudes déterministe et probabiliste", *EDF-Bull. de la dir. des ét. et rech. -Série A*, 1984.
3. Burgess & Zabetakis, "Fire and explosion hazards associated with LNG", *US Bureau of Mines, RI 6099*, 1962
4. Babrauskas, "Estimating large pool fire burning rates", *Fire technology* 19, 1983.
5. Blinov & Khudianov, "Certain laws governing diffusive burning of liquids", *Academii Nank, SSR Doklady*, 1957.
6. Hottel, "Certain laws governing diffusive burning of liquids", *Fire research abstract review* 1, 1951.
7. Mudan, "Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires", *Prog Energy comb. SCI, Vol 10*, 1984.
8. Mudan & Croce, "Fire hazards calculations for large open hydrocarbon fires", *SFPE handbook of fire protection engineering*, 1986.
9. Thomas, "The size of flames from natural fires", *9th international symposium on combustion*, 1963.
10. Moorhouse, "Scaling criteria for pool fires derived from large-scale experiments", *I. Chem.Sym.*, 1982.
11. Hofmann; "Modeling of fire for risk assessment in petrochemical industries", *Heavy gas and risk assessment Symposium, Francfort*, 1982.
12. Heskestad, "Engineering relations for fire plumes", *Fire Safety Journal* 7, 1984.
13. Drysdale, "An introduction to fire dynamics", *John Wiley & sons, New York*, 1985.
14. Brötz & Schönbucher, "Der konvektive Stofftransport als geschwindigkeitsbestimmender Schritt in Tankflammen und seine Analogie zur Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre", *Bericht Bunsengesellschaft Phys. Chem.* 82, 1978.
15. Atallah & Allan, "Safe separation distances from liquid fuel fires", *Fire technology* 7, 1971.
16. Raj & Kalelkar, "Assessment models in support of the hazard assessment Handbook (CG-446-3)", *Chap. 9, Technical report prepared for the U.S. Coast Guards, NTIS publication #AD776617, January*, 1974.
17. Koseki, "Combustion properties of large liquid pool fires", *Fire technology*, August, 1989.
18. Commissariat à l'énergie Atomique, "Opération Proserpine", *GESIP - Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques*, 1977.

19. Mizner & Eyre, "Large scale LNG and LPG pool fire", *Inst. Chem. Eng. Symp. Series 71*, 1982.
20. Hagglund & Persson, "The heat radiation from petroleum fires", *FOA rapport, Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm*, 1976.
21. American Petroleum Institute, "Guide for pressure, relieving and depressing systems", *API Recommended Practice 521, Appendix A*, 1973.
22. Sparrow & Cess, "Radiation heat transfer, augmented edition", *McGraw-Hill Book Company, New york*, 1978.
23. Koseki, "Scale Dependency of Radiation and Smoke Emission from Large Pool Fires", *Second Symposium on Scale Modelling (Inter.) pp87-96*, 1997
24. Tewarson, "Generation of heat and fire products", *Long Range Research Program, Flammability and Extinguishability Porject FE-B, Factory Mutual; May 1995*
25. GESIP, "Taux expérimentaux d'extinction de feux d'alcool éthylique", *Rapport n°99/04, Edition 24/07/2000*
26. TNO, « *Methods for the calculation physical effects* » Part. 2 Chap. 6 CPR 14E, 3rd édition, 1997

ANNEXE IV :

PRESENTATION DU LOGICIEL PHAST

LE LOGICIEL PHAST

Le logiciel PHAST, utilisé pour les modélisations de la présente étude, a fait l'objet d'une évaluation [1].

1. PROCEDURE D'EVALUATION

Il existe sur le marché des logiciels qui se proposent d'évaluer les conséquences de la mise à l'atmosphère accidentelle de produits toxiques ou inflammables.

En tant que tels, ils servent ou peuvent être utilisés lors de l'établissement des études de dangers.

Dans le cadre du projet "Evaluation des logiciels", l'INERIS réalise pour le Service de l'Environnement Industriel du Ministère de l'Environnement un travail d'évaluation des différentes fonctionnalités qu'offrent des versions données de certains de ces logiciels.

Il convient en premier lieu de souligner que l'INERIS tient à réaliser ces travaux d'analyse en adoptant exclusivement le point de vue de l'utilisateur du logiciel.

1.1. Positionnement du logiciel

L'INERIS analyse une version donnée d'un logiciel donné. En conséquence, les considérations que l'Institut est amené à développer ne concernent bien évidemment que le produit évalué.

Le produit analysé se compose de trois parties indissociables :

- le manuel de théorie,
- le manuel de l'utilisateur,
- le software lui-même.

Chacune de ces parties remplit une fonction bien définie :

- le manuel de théorie doit permettre de définir clairement les fonctionnalités que le logiciel offre à l'utilisateur,
- le manuel de l'utilisateur doit guider ce dernier lors de l'introduction des données nécessaires au calcul et expliquer les résultats obtenus en spécifiant la signification de toutes les mentions obtenues à l'écran ou sur papier,
- le software enfin est le support physique qui permet de lancer le logiciel et d'obtenir les résultats à l'écran ou sur papier.

Avant toute autre considération, il apparaît donc nécessaire que le manuel de théorie **positionne clairement le logiciel** en décrivant brièvement la contexte d'emploi que les concepteurs ont dévolu au logiciel et en annonçant clairement les phénomènes modélisés ainsi que les principales limitations à l'usage du produit.

C'est ainsi, notamment, que l'on pourra d'emblée définir quels scénarios, parmi ceux rapportés dans le guide de Maîtrise de l'Urbanisation [4], le logiciel est à même de modéliser.

1.2. Evaluation

La phase d'évaluation comporte trois parties indissociables, compte tenu des parties qui composent le produit.

1.2.1. Evaluation du manuel théorie

Les points abordés correspondent notamment aux questions suivantes :

- . Le manuel existe-t-il spécifiquement pour la version analysée du logiciel analysé ?
- . Quelle est sa date de rédaction ? Son nombre de pages ?
- . Est ce que toutes les fonctionnalités du logiciel sont exhaustivement définies ?
- . Est ce que toutes les combinaisons possibles de ces fonctionnalités sont décrites ? Si des fonctionnalités viennent à s'exclure l'une l'autre, est-ce spécifié ?
- . Est ce que, pour chacune de ces fonctionnalités, les domaines d'application et les limitations sont clairement définies ? Ces limitations se traduisent-elles effectivement par des plages de valeurs à accorder à certains paramètres ?
- . Est ce que les modélisations entreprises sont décrites avec un niveau de détail suffisant? Est ce que, notamment, les références bibliographiques sont rapportées dans le manuel ?

1.2.2. Evaluation du manuel de l'utilisateur

Le manuel de l'utilisateur devant remplir la fonction de guide, son analyse conduit aux questions :

- . L'architecture du logiciel est-elle clairement définie ? Les différentes fonctionnalités sont-t-elles mentionnées en un schéma synthétique de l'ensemble ?

- . Ce schéma correspond-il strictement au déroulement des différents menus successifs ? Toutes les combinaisons possibles, à tous les niveaux sont-elles effectivement répertoriées ?
- . Les données et les résultats sont-ils, le cas échéant, stockés dans des fichiers accessibles et repérés de façon claire dans la documentation ?
- . Est ce que, pour chaque fonctionnalité, les paramètres à introduire sont tous décrits (unités, plage de valeurs ...)? Des exemples pertinents sont-ils donnés, notamment lorsqu'il existe des difficultés d'interprétation ? Reste-t-il, à l'examen, des zones d'ombre pas ou peu définies ?
- . Lorsque certains choix lui sont offerts, l'utilisateur est-il averti des **valeurs retenues par défaut** dans les modélisations ?
- . Est ce que des explications sont données relativement à **toutes** les sorties que l'on peut obtenir à l'écran ou sur papier ? Ces explications incluent-elles des considérations physiques, des grilles de lecture ? Le manuel comporte-t-il des exemples exhaustifs et suffisamment illustrés de cas pertinents ? Reste-t-il, à l'examen, des caractéristiques des sorties qui n'auraient pas été définies, moyennant par exemple des combinaisons de fonctionnalités qui n'auraient pas été envisagées ?

1.2.3. Evaluation du software proprement dit

L'analyse de cette évaluation est à concevoir à plusieurs titres : matériel, commodité d'emploi et résultats obtenus.

1.2.3.1. Matériel

Pendant l'évaluation, l'INERIS note l'ensemble des matériels nécessaires à l'emploi du logiciel et décrit les modalités d'implantation et d'utilisation ainsi, éventuellement, que les difficultés rencontrées lors de ces dernières.

1.2.3.2. Commodité d'emploi

Sous ce vocable sont regroupées en premier lieu des considérations relatives à la convivialité de l'exploitation :

- . Quelle est la facilité d'introduction d'un cas à étudier ? Est-il possible, par exemple, lors d'une étude paramétrique, d'engendrer des cas voisins en faisant uniquement varier le paramètre considéré, sans avoir à réintroduire chaque fois toutes les données ? Est-il possible de "stocker" des fichiers correspondant à des études déjà réalisées ? Sous quelle forme ?
- . Quelle est la traçabilité des sorties ? Est-ce que, par exemple, tous les listings sont repérés par des chaînes de caractères permettant leur identification ? Est-il possible de ne faire imprimer que certaines parties des résultats ? Est-il possible d'avoir un résumé complet des hypothèses faites et des valeurs des paramètres introduits ? Le cas échéant, est-il possible de disposer des valeurs de tous les paramètres implicites ou fixés par défaut ? ...

En second lieu est examinée la qualité des outils d'analyse offerts à l'utilisateur. A cette étape de la phase d'évaluation, il ne s'agit pas d'analyser les résultats obtenus, mais de faire l'inventaire des outils disponibles et de leur adéquations formelle aux besoins de l'utilisateur.

- . Quelle est la liste exhaustive des outils dont l'utilisateur dispose ?
- . Lui est-il par exemple possible de visualiser le nuage toxique par diverses coupes ? Le cas échéant lui est-il possible de connaître l'historique des concentrations en un point ? Lui est-il possible, en tout point, d'accéder à la dose reçue, à la charge toxique

$$\int C^n(t).dt ?$$

Est-il possible pour un corps chimique donné de considérer plusieurs valeurs de "n" ?....

- . Le cas échéant est-il possible en tout point de l'espace de connaître le flux thermique reçu ?

1.2.3.3 Tests de cohérence physique

Il s'agit d'analyser la cohérence des résultats obtenus lors des variations des paramètres introduits.

Pour ce faire, sont envisagés un ensemble de cas choisis de façon à permettre d'illustrer l'évolution des résultats lorsque les paramètres à introduire prennent des valeurs différentes.

Ces tests portent sur le terme source et sur la dispersion qui lui est associée.

Quant au terme source sont notamment abordés :

- . en monophasique gazeux, les conditions de criticité,
- . en fuite liquide ou gazeuse, la prise en compte des pertes de charges,
- . le flash adiabatique,
- . la formation d'aérosols par arrachement mécanique,
- . la recondensation possible lors d'une détente brusque,
- . la problématique d'une nappe liquide au sol (rayon d'extension, évaporation depuis la nappe,
- . écoulement diphasique,

Quant à la dispersion, sont notamment abordés :

- . la prise en compte des paramètres orographiques (stabilité atmosphérique, humidité, rugosité du sol, température ambiante, vitesse du vent, hauteur de la couche d'inversion ...),
- . la prise en compte des différents types de rejets (instantanés ou continus, au sol ou en altitude, horizontal ou vertical ...),
- . l'influence des conditions de rejets (vitesse, température ...),
- . la prise en compte des caractéristiques physiques du produit et notamment de la problématique gaz lourd, gaz neutre, gaz léger,
- . la problématique des rejets diphasiques.

2. AVIS GÉNÉRAL SUR LE LOGICIEL PHAST

2.1. Introduction

L'INERIS a évalué l'aptitude du logiciel PHAST, version 3.0 à traiter des conséquences de la mise à l'atmosphère de produits inflammables et/ou toxiques. Les principales conclusions de ce travail d'évaluation sont consignées dans la référence [1].

Dans le cadre de cet exposé, il ne s'agit pas de reprendre l'intégralité des conclusions de [1] mais plutôt d'apporter des précisions quant à l'aptitude du logiciel à calculer la formation d'un nuage

2.2. Calculs de la formation d'un nuage

Les termes sources à l'origine de la formation d'un nuage inflammable peuvent être très divers. Dans le cas des ruptures accidentelles de canalisations ou de capacités de stockage, on distingue plusieurs phénomènes en amont de la dispersion atmosphérique proprement dite du produit inflammable rejeté. En général, le terme source s'apparente à l'un des cas suivants :

1. la fuite de gaz, émis avec une faible énergie cinétique,
2. la fuite de gaz, émis avec une énergie cinétique importante,
3. la fuite de liquide à vitesse de rejet faible et sans flash adiabatique qui conduit à la formation au sol d'une flaque qui, en se vaporisant, engendre un panache inflammable,
4. la fuite de liquide à vitesse de rejet importante qui se fractionne en fines gouttelettes et engendre un jet diphasique ou la fuite qui s'accompagne d'un flash adiabatique,
5. et enfin, la fuite diphasique dès la section de rejet.

S'agissant du cas 1, la dispersion atmosphérique dépend de la densité du gaz rejeté. Dans le cas d'un gaz lourd ou léger, les effets de densité jouent un rôle prépondérant durant les premiers instants de la dispersion. Lorsque la dilution est suffisante, la densité devient uniforme, la dispersion est alors "dynamiquement passive" ce qui revient à dire qu'elle est uniquement fonction du couple vitesse de vent-stabilité atmosphérique. Bien sûr, dans le cas d'un gaz de densité proche de celle de l'air, la dispersion est passive dès le point de rejet.

S'agissant du cas 2, dans le champ proche du point de rejet (d'une dizaine à une centaine de mètres) la turbulence de l'écoulement atmosphérique ne joue qu'un rôle secondaire dans la dispersion du gaz émis. La dilution de ce dernier par l'air ambiant est principalement tributaire des caractéristiques du jet gazeux (diamètre de fuite, vitesse de rejet, ...). Au-delà du champ proche, les vitesses caractéristiques du jet diminuent pour finalement devenir comparables à celles du vent. En l'absence d'effets de densité, la dispersion devient alors dynamiquement "passive" et essentiellement fonction des conditions météorologiques : vitesses de vent-stabilité de l'atmosphère.

Pour traiter les cas 1 et 2 à l'aide d'un code numérique, il est donc nécessaire d'être à même de modéliser :

- les effets dus au champ de pesanteur,
- ceux dus à la turbulence de l'écoulement atmosphérique,
- et enfin ceux propres à la problématique du jet.

Dans la version 4.1 ou 3.0 de PHAST, les calculs de dispersion atmosphérique peuvent être effectués avec quatre types de modèles correspondant à autant de problématiques différentes. On trouve :

- le modèle "initial turbulent mixing" qui est employé lorsque c'est la turbulence propre au rejet qui préside à la dispersion,
- le modèle "hybrida behavior" qui est employé lorsque la dispersion dépend à la fois de la turbulence du rejet et des effets de densité,
- le modèle "dense cloud dispersion" qui, comme son nom l'indique, est employé pour les calculs de dispersion des gaz lourds,
- et enfin, un modèle classique de dispersion gaussienne lorsque le polluant émis est dynamiquement neutre.

Ces modèles sont de type intégral, c'est-à-dire qu'ils permettent de résoudre les équations de conservation sur la base d'hypothèses simplificatrices. Ils peuvent être utilisés successivement dans l'ordre où ils sont présentés ci-dessus. Le cas échéant, certains peuvent ne pas avoir d'objet. L'enchaînement des modèles dépend de critères de transition basés, entre autres, sur la densité du nuage.

La modélisation proposée par PHAST est donc assez fine, prenant en compte les différents régimes de dispersion qui précèdent la phase de dispersion passive. Ce point revêt une importance particulière dans le cas des rejets de gaz inflammables. En effet, dans ce cas on s'intéresse essentiellement aux lieux où la concentration peut être supérieure à la L.I.E.. En pratique, il s'avère que lorsque le gaz est émis avec une énergie cinétique non négligeable (cas des jets par exemple), la dilution jusqu'à des concentrations inférieures à la L.I.E. s'opère bien avant la phase de dispersion passive.

Le cas 3 se raccorde en fait au cas 1 puisque dans le cas d'une évaporation de flaque on admet généralement que le gaz est émis sans énergie cinétique, uniformément en chaque point de sa superficie.

Pour les cas 4 et 5, aux contraintes évoquées pour traiter les cas 1 et 2 il faut ajouter la prise en compte des effets induits par la présence d'une phase liquide en suspension. La fraction de polluant transportée en phase liquide s'évapore durant la dispersion et consomme une chaleur latente non négligeable. Ainsi, à plusieurs dizaines de mètres du lieu de rejet les nuages ou panaches diphasiques peuvent se trouver à très basse température malgré l'apport énergétique permanent de l'environnement. En conséquence, la masse volumique du mélange air-polluant peut être relativement importante ce qui induit un "effet gaz lourd".

Un module de PHAST est dédié au calcul de la fraction de produit qui reste en suspension (aérosol). De l'analyse présentée dans [1], il ressort que les résultats obtenus à l'aide de ce module sont cohérents et a priori conservatifs. Par ailleurs, les modèles de dispersion atmosphérique précédemment présentés tiennent compte de la présence éventuelle d'une phase condensée pour le calcul des caractéristiques d'un nuage ou d'un panache.

PHAST est donc généralement bien adapté aux contraintes à satisfaire pour traiter les cas 1 à 5. De l'analyse complète présentée dans [1], il ressort toutefois que le logiciel fournit des résultats majorants dans le cas des rejets de gaz de masse volumique inférieure à celle de l'air. Par ailleurs les limitations suivantes sont aussi à prendre en compte :

- le terrain doit être plat, de rugosité uniforme et non-encombré d'obstacles (*),
- pour obtenir des résultats plausibles la vitesse du vent doit être au moins égale à 1 m/s,
- les conditions météorologiques doivent être invariables tout le temps de l'émission et de la dispersion,
- et enfin la source d'émission doit être fixe dans l'espace.

Parmi ces limitations, la première d'entre elles [repérée par (*)] est sans aucun doute la plus contraignante. En pratique, si les terrains sont parfois plats, il est par contre très rare qu'ils ne soit pas encombrés. Dans le cas des unités pétrochimiques par exemple, la densité et la taille des obstacles peuvent être très importantes du fait des différents équipements employés pour les stockages et les procédés. Or, il ressort des essais à grandes échelles ([2] et [3]) qu'en présence d'obstacles le volume explosible (et donc la masse explosible) obtenu est généralement supérieur à celui que l'on mesure lorsque la dispersion s'opère en champ libre.

En conclusion, l'INERIS émet un préjugé favorable sur l'aptitude du logiciel PHAST (dans la version 3.0 ou 4.1) à calculer la formation d'un nuage et la masse explosible si la dispersion a lieu dans un espace libre. Si la dispersion est susceptible de se produire dans une unité industrielle typique où l'encombrement est tel qu'il ne peut être négligé, il convient alors de considérer les résultats fournis par PHAST comme un ordre de grandeur. Ce dernier peut ensuite éventuellement être majoré pour obtenir des résultats plus conservatifs au sens de la sécurité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Y. MOUILLEAU, G. MAVROTHALASSITIS, B. CHHUON. "Evaluation de l'aptitude du logiciel PHAST version 3.0 à traiter des conséquences de mise à l'atmosphère de produits inflammables et/ou toxiques".
Rapport INERIS : EXP-YMo-GMv-BCh/DG Z1/ 78 1310, 1991

- [2] R.L. Van ZELE, R. DIENER. "On the road of HF mitigation"
Hyd. Proc. Juin 90 pp 92-98, Juillet 90 pp 77-80.

- [3] M.E. DAVIES, S. SINGH. "The phase II trials : a data set on the effect of obstructions".
Journal of hazardous Mat. 11, 1985, pp 301 323.

- [4] Maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels à haut risque.
Guide Octobre 1990.
Secrétariat d'état auprès du Premier Ministre chargé de l'Environnement et de la Prévention des Risques Technologiques et Naturels Majeurs - DEPPR - Service de l'Environnement Industriel.

