

FR 8201119

**ELECTRICITE DE FRANCE**

DIRECTION DES ETUDES ET RECHERCHES

MARS 1981

Service Ensembles de Production

EDF-CONF--81E117698

CS

DEPARTEMENT FONCTIONNEMENT DES CENTRALES  
Division Fiabilité et Fonctionnement  
25, Allée Privée - Carrefour Pleyel  
93206 SAINT-DENIS CEDEX 1

E.L.	LN
DIVISION	INTECHNIQUE
TOUR	CEDEX N° 8
9208	LENSE
TELE	44.44
ENTRÉE	3 AVR 1981

LANNAY A., GOBERT T., GRANIER J.P.\*

Evaluation des dangers dus à l'activité industrielle à proximité des centrales nucléaires

Etude d'accidents-types

Communication présentée au 6ème SMIRT  
PARIS - AOUT 1981

HE/219/81/14  
E-SE/SN/8]-06  
E-32-01/n-5-

10 pages  
16 références bibliographiques  
1 figure

\* Ingénieur au Département "Sûreté Nucléaire" du SEPTEN Direction EQUIPEMENT  
\* Ingénieur au Département "E.A.A." de la Direction des ETUDES & RECHERCHES

Résumé :

La conception et le dimensionnement des structures de centrales nucléaires nécessitent l'évaluation des risques dus à l'activité industrielle. Parmi ces risques, ceux dus au stockage ou au transport de produits dangereux méritent une attention particulière. Ils se traduisent notamment par l'explosion de nuages inflammables de gaz. De tels nuages peuvent dériver avant inflammation et lorsqu'ils sont allumés, l'onde de pression résultante peut causer de dégâts sérieux, même à distance.

Une méthodologie à la fois déterministe et probabiliste permettant de quantifier ce risque, a donc été développée. Elle repose en partie sur une analyse des statistiques d'accidents réellement survenus.

Dans un premier temps, on rappelle brièvement le modèle probabiliste.

Dans un second temps, on expose les accidents-types retenus et on précise, pour trois cas usuels (stockage sous pression, wagon-citerne et ensemble routier) les caractéristiques principales de la rupture.

Dans un troisième temps, la communication présente les modèles déterministes qui ont été élaborés pour calculer les conséquences d'un tel accident : débit à la brèche, évaporation, dérive et dispersion atmosphérique du nuage formé, explosion de ce nuage. Actuellement l'ordre de surpression est quantifiée à partir d'une équivalence TNT du mélange explosible.

- Confidentiel
- Diff. restreinte
- Diff. EDF
- Diff. générale
- Non soumis

Quelques valeurs sont données à titre d'exemple pour trois hydrocarbures couramment utilisés (butane, propane, propylène).

## 1. INTRODUCTION

L'analyse de la sûreté des centrales nucléaires fait une place particulière à l'évaluation des dangers qui pourraient résulter de l'activité industrielle dans l'environnement des sites. Parmi ces dangers potentiels, les explosions de produits dangereux retiennent particulièrement l'attention. En effet, une explosion accidentelle pourrait engendrer une onde de surpression aérienne qui pourrait porter atteinte à la tenue des bâtiments abritant les matériels liés à la sûreté.

ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) a depuis plusieurs années entrepris un vaste programme d'études pour élaborer des méthodes d'évaluation de ce risque ([1] et [2]).

D'une manière générale, ce risque est évalué à partir de considérations probabilistes. De ce fait, un important travail d'analyse des statistiques d'accidents a été entrepris. Ces analyses permettant de tirer deux types principaux d'enseignements :

- estimations de probabilités d'accident dont les conséquences pourraient porter atteinte à la sûreté d'une centrale nucléaire,

- enseignements sur les modes probables de déroulement des accidents, permettant de définir des "scénarios d'accidents" et des "accidents-types" réalistes et représentatifs.

La présente communication expose la démarche suivie pour l'analyse et l'évaluation des risques engendrés par l'activité industrielle et par la présence de voies de communication à proximité des sites nucléaires.

La communication comprend trois parties : un rappel de la modélisation probabiliste, la définition de l'accident-type à prendre en compte, la présentation des modèles déterministes utilisés, en prenant comme exemples, trois cas usuels (stockage sous pression, wagon-citerne et ensemble routier) et trois hydrocarbures couramment utilisés (propane, butane, propylène).

## 2. METHODES D'EVALUATION PROBABILISTES ([2] et [3])

La relation la plus générale exprimant la probabilité annuelle  $P_i$  ( $\text{an}^{-1}$ ) d'un accident pouvant porter atteinte à l'intégrité des structures d'une centrale, pour un produit  $i$  et pour un mode de transport donné, est :

$$P_i = P_a \cdot P_k \cdot F_i \cdot \left( \sum_S P_S \left( \sum_{SV} P_{SV} \cdot E_i \cdot L_i \right) \right)$$

où  $P_a$  est la probabilité de l'événement dimensionnant, ici l'explosion accidentelle, par véhicule transportant des matières dangereuses et par kilomètre,

$P_k$  étant un facteur de pondération lié au type de transport, à la localisation de la voie de communication, à la nature du produit dangereux  $i$ , etc...

$F_i$  la fréquence de passage annuelle des véhicules transportant le produit  $i$  (véhicules. $\text{an}^{-1}$ ),

$P_S$  la probabilité d'apparition du scénario  $S$ ,

$P_{SV}$  la probabilité d'apparition d'une situation météorologique du site définie par la stabilité de l'atmosphère et la vitesse du vent,

$E_i$  un facteur lié à la météorologie (direction et fréquence des vents, conditions de diffusion) n'existant que dans le cas de propagation de nuages gazeux,

$L_i$  la longueur (km) de voie à considérer :  $L_i = 2 \sqrt{D_i^2 - D_0^2}$ ,

$D_0$  la distance minimale entre la centrale et la voie,

$D_i$  la distance de sécurité, distance au-delà de laquelle les effets de l'explosion n'ont plus de conséquences pour la sûreté ; cette distance dépend d'une part de l'accident-type pris en considération, d'autre part de la résistance des structures aux ondes de surpression ; elle prend également en compte une extension éventuelle du nuage gazeux.

Les valeurs actuellement utilisées, estimées à partir des statistiques d'accidents du Ministère des Transports pour le transport routier et de la Société Nationale des Chemins de Fer Français pour le réseau ferroviaire, sont les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_a = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ explosion.cami.on dangereux}^{-1} \cdot \text{km}^{-1} \\ P_a = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ explosion grave . train dangereux}^{-1} \cdot \text{km}^{-1} \end{array} \right.$$

L'utilisation de cette formule probabiliste nécessite d'évaluer la distance  $D_1$ . Dans une première approche on peut supposer que la totalité de la cargaison du véhicule participe à l'explosion ou est répandue instantanément. Cette approche globale présente l'avantage d'être relativement simple d'emploi mais conduit à surestimer notablement les risques. En effet le couple fréquence estimée/accident-type n'est pas homogène, les accidents réellement observés étant en général d'importance bien moindre que le cas type défini. Une approche plus fine est donc en général nécessaire, elle nécessite la définition d'un accident-type réaliste.

### 3. DEFINITION DE L'ACCIDENT-TYPE

Il s'avère donc indispensable de définir un accident-type, cohérent avec les accidents réellement survenus. Cette approche est effectuée sur la base d'analyses statistiques (analyse de fichiers d'accidents) ou mécaniques (dans le cas d'événements rares, par exemple).

Deux facteurs interviennent dans cette définition :

- la taille de la brèche, de laquelle dépend le débit d'épandage,
- la possibilité (ou non) de dérive du nuage formé avant inflammation, de laquelle dépend la distance de sécurité  $D_1$ .

#### 3.1 Les brèches réalistes

Dans le cas des transports routier et ferroviaire examinés dans cette communication, des brèches réalistes ont pu être définies :

- transport routier :

Nature de la brèche	Taille de la brèche	Fréquence d'apparition
Perforation - fissuration - fuite aux organes apparents	0,005 m <sup>2</sup>	0,64
Fuite au trou d'homme	0,130 m <sup>2</sup>	0,23
Citerne éventrée	rupture totale et instantanée	0,13

- transport ferroviaire

Nature de la brèche	Taille de la brèche	Fréquence d'apparition
Poinçonnage au trou d'homme	0,200 m <sup>2</sup>	0,25
Rupture des organes de vidange	0,012 m <sup>2</sup>	0,75

#### 3.2 La dérive d'un nuage gazeux

Ces différentes brèches correspondent à des masses explosibles différentes. S'il y a dérive, on considère en général que l'inflammation du nuage se produit sur le bord du nuage le plus proche du site où la concentration est égale à la limite inférieure d'inflammabilité.

S'il n'y a pas dérive, le centre de l'explosion est évidemment confondu avec le lieu de l'accident.

Le délai d'inflammation du nuage est pris égal à 60 s, ce qui se vérifie statistiquement dans 69 % des explosions réellement survenues ([2] et [5]).

Le tableau suivant donne les valeurs de la probabilité de formation et de dérive d'un nuage gazeux actuellement considérées :

	Fréquence d'apparition	
	Transport routier	Transport ferroviaire
Accident sans dérive	0,67	0,50
Accident avec dérive	0,33	0,50

### 3.3 Les accidents-types

Les tableaux précédents permettent alors de définir 6 accidents-types pour le transport routier et 4 accidents-types pour le transport ferroviaire, avec leur fréquence d'apparition respective ( $P_g$ ).

Ainsi pour le transport routier :

Accident-type	Fréquence d'apparition $P_g$
Brèche - - sans dérive	0,09
Brèche - - avec dérive	0,04
Brèche 0,130 m <sup>2</sup> - sans dérive	0,15
Brèche 0,130 m <sup>2</sup> - avec dérive	0,06
Brèche 0,005 m <sup>2</sup> - sans dérive	0,43
Brèche 0,005 m <sup>2</sup> - avec dérive	0,21

### 3.4 Les stockages sous pression

Aucune étude statistique sur les défaillances de stockages de gaz liquéfiés sous pression n'est, à notre connaissance, disponible. Le problème a donc été abordé de façon qualitative. On considère que l'accident réaliste enveloppe est la rupture de la tuyauterie située en partie inférieure du réservoir avec simultanément non fermeture du clapet de sécurité. La taille réaliste de brèche correspond donc au diamètre interne de cette tuyauterie de soutirage.

## 4. LES METHODES DETERMINISTES D'EVALUATION DES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS ([2], [6] et [7])

Les scénarios d'accidents mettant en cause des produits gazeux ou des produits liquéfiés sous pression ou à basse température peuvent se décomposer schématiquement de la façon suivante :

- occurrence d'une brèche et formation d'un jet fluide,
- évaporation du produit répandu et formation le cas échéant d'une nappe liquide sur le sol ou sur l'eau,
- dérive et dispersion atmosphérique du nuage gazeux ainsi formé,
- explosion de ce nuage gazeux au contact des sources d'allumage généralement présentes dans un complexe industriel.

Ce paragraphe présente les méthodes développées par EDF pour effectuer des estimations réalistes des risques et traite successivement des 4 phases précédentes. Cette démarche est analogue à celle que propose l'Institut Néerlandais TNO dans (6).

Il convient tout d'abord de noter que l'évaluation rigoureuse de ces événements qui mettent en jeu des phénomènes physiques très complexes (écoulements diphasiques, cinétique chimique, turbulence, diffusion atmosphérique) est difficile, voire illusoire, d'où la nécessité de définir des hypothèses réalistes ou, si impossible, pessimistes.

#### 4.1 La libération accidentelle

Il est nécessaire de calculer le débit d'épandage en fonction du temps.

Ce débit dépend de la nature du produit concerné, des conditions de transport ou de stockage (géométrie du récipient, pression et température) et des caractéristiques de la brèche (emplacement, surface), les deux paramètres prépondérants étant la pression du réservoir et la surface de la brèche.

Les hypothèses suivantes sont utilisées :

- l'écoulement est adiabatique : la pression et la température de la phase gazeuse varient simultanément,

- le liquide et la vapeur sont en équilibre thermodynamique.

On est alors conduit à un système d'équations liant les paramètres thermohydrauliques qui se résout par une méthode de relaxation.

#### 4.2 La vaporisation

Deux phénomènes peuvent intervenir :

##### 4.2.1 La vaporisation instantanée dans le jet

Le gaz liquéfié est transporté ou stocké sous pression à température ambiante. En cas de rupture, il y a détente de la pression interne du réservoir à la pression atmosphérique, donc refroidissement du liquide. On suppose que la détente est isentropique, sans échange de chaleur avec l'extérieur. Ceci permet de calculer le pourcentage en masse de gaz évaporé instantanément par la formule :

$$1 - e^{-c(\theta_{ob} - \theta_a)/L}$$

##### 4.2.2 La vaporisation normale

Le liquide à une température généralement basse se répand sur le sol.

La quantité de produit évaporé dépend de l'apport thermique du sol, de l'air et du soleil. C'est l'apport thermique par le sol, qui constitue la source essentielle de chaleur provoquant l'ébullition. Cette dernière sera plus intense sur les bords de la nappe qu'au centre de la nappe, le sol étant plus chaud à la périphérie de la nappe. L'échange entre liquide et sol sera d'autant plus fort que la température d'ébullition du produit concerné sera plus basse, et que la surface de la nappe sera plus grande.

La résolution de l'équation de la chaleur donne, pour un temps  $t$  suffisamment grand, la valeur du débit d'évaporation à partir du sol :

$$Q(t) = \frac{\pi (\theta_o - \theta_{ob})}{L \sqrt{\pi a t}} \cdot A$$

La surface  $A$  est un paramètre prépondérant qu'il convient de définir de façon réaliste, en prenant en compte l'existence de cuvettes de rétention, la configuration du terrain et les considérations physiques d'écoulement (rugosité, vitesse de progression,...). La modélisation suppose une extension circulaire.

De la même façon, EDF a développé un modèle d'évaporation à partir des apports thermiques de l'eau (cas des épandages suite à des accidents sur transports fluviaux ou maritimes

de gaz liquéfiés).

#### 4.3 Quelques résultats

Pour chaque accident-type précédemment défini, on peut alors effectuer le calcul des grandeurs physiques importantes nécessaires à l'évaluation de la diffusion du nuage et de son explosion : débit à la brèche, débit de vaporisation instantanée, débit total de vaporisation, pourcentage vaporisé, rayon de la nappe liquide sur le sol.

Un exemple de calcul est donné dans le tableau suivant pour l'accident-type du wagon-citerne de propane (brèche 0,2 m<sup>2</sup>) :

Instant	Pression interne	Débit à la brèche	Débit vaporisation instantanée	Débit total de vaporisation	Rayon nappe	X total vaporisé	Observations
s	bar	kg.s <sup>-1</sup>	kg.s <sup>-1</sup>	kg.s <sup>-1</sup>	m	-	-
0	8,2	3 176	1 065	1 065	0	0	
5	7,9	3 106	1 021	1 116	13,4	0,117	
10	7,4	3 006	959	1 098	18,9	0,235	
15,4	6,5	2 801	826	1 007	23,2	0,356	fin écoulement liquide
20	2,9	101	101	207	23,0	0,381	(fin écoulement gazeux
23,1	1,7	61	61	157	22,8	0,393	
30	1	0	0	78	22,6	0,406	
60	1	0	0	48	21,8	0,444	instant d'allumage

Le tableau suivant donne pour chaque accident-type précédemment défini et pour 3 produits liquéfiés la masse totale vaporisée contenue dans le nuage et le pourcentage total vaporisé à 60 s :

Temps 60 s	Wagon-citerne		Ensemble routier de transport		
	brèche				
Produit	0,200 m <sup>2</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	-	0,130 m <sup>2</sup>	0,005 m <sup>2</sup>
Butane	8 303 (0,153)	493 (0,013)	4 219 (0,172)	3 931 (0,158)	281 (0,011)
Propane	21 036 (0,444)	4 469 (0,094)	10 265 (0,460)	9 893 (0,446)	1 931 (0,087)
Propène	21 528 (0,453)	5 316 (0,112)	10 523 (0,468)	10 213 (0,456)	2 244 (0,100)

Ces calculs correspondent à une rugosité de sol égale à 3 cm et aux caractéristiques d'un sol moyen ( $K = 0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$ ,  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ), la température initiale étant de 20°C.

#### 4.4 La dérive du nuage explosible (18)

Le problème est traité comme celui d'un polluant passif émis à partir d'une source de surface variable avec débit variable dans le temps. Le modèle utilisé est un modèle de dispersion gaussien du type "modèle à bouffées".

L'émission considérée est décomposée en une série de N bouffées émises à des instants  $t_i$  et contenant une masse  $M_i$  de gaz.

$$\text{On a : } M_i = Q_i (t_{i+1} - t_i).$$

A un instant  $t$ , la concentration en un point de coordonnées (x, y, z) est la somme des contributions des différentes bouffées émises depuis l'instant initial.

Les écarts-types  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  de dispersion longitudinale, latérale et verticale sont fonction de la distance du centre de la bouffée considérée à la source :  $u \times (t - t_1)$  ( $u$  désignant la vitesse moyenne du vent).

$$\text{On prend : } \sigma_x = \sigma_y = \sqrt{\sigma_{y0}^2 + \sigma_{yp}^2} ; \sigma_z = \sqrt{\sigma_{z0}^2 + \sigma_{zp}^2}$$

$\sigma_{y0}$  et  $\sigma_{z0}$  caractérisant les dimensions initiales horizontale et verticale de la bouffée considérée :

$$- \sigma_{y0} \text{ est relié au rayon de la nappe par la relation : } \sigma_{y0} = Ri/2,15$$

-  $\sigma_{z0}$  est déterminé de manière que la concentration soit égale à 100 % au centre de la bouffée au moment où elle est émise.

$\sigma_x$  et  $\sigma_z$  sont les écarts-types proposées par PASQUILL-GIFFORD ([16]) ; ces écarts-types dépendent de la distance à la source et de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère pour lequel PASQUILL-GIFFORD ont défini 6 classes.

Le modèle élaboré permet de déterminer le contour de la partie inflammable du nuage et la masse de gaz dans les limites d'inflammabilité.

## 5. L'EXPLOSION ACCIDENTELLE

L'approche théorique dans ce domaine se heurte à de grandes difficultés.

En effet, les connaissances actuelles en matière de déflagration de nuages de gaz ne permettent pas de développer une modélisation suffisamment conservatoire pour les calculs de sûreté.

Par ailleurs, prendre en considération la détonation idéale du nuage manque de réalisme et conduirait à un surdimensionnement important et injustifié des installations nucléaires.

Electricité de France a donc été amené à définir une démarche basée sur l'analyse des accidents réellement survenus.

### 5.1 Le bilan actuel des études de déflagration

L'analyse des explosions accidentelles réelles montre que le régime d'explosion le plus probable s'apparente à la déflagration.

L'Université de Poitiers, sur la base d'expériences sur de petites charges combustibles à l'intérieur de bulles de savon ([10], [11], [12]) a mis au point une modélisation de la déflagration. A l'heure actuelle, deux modélisations sont disponibles, la première permettant l'évaluation des effets dus à une déflagration à vitesse constante et la seconde calculant les effets d'une déflagration à vitesse variable.

Cependant, de récents rapports ([12] et [13]) montrent que ces modélisations ne peuvent actuellement convenir à un calcul de sûreté.

En effet, même si l'on suppose connue la vitesse maximale de déflagration, la surpression calculée par un modèle de déflagration à vitesse constante ne sera pas la surpression maximale, conservatoire au sens de la sécurité, car les effets d'accélération ne sont pas pris en compte. L'utilisation d'un modèle de déflagration à vitesse variable ne peut actuellement être envisagée pour un calcul de sûreté car elle nécessite la connaissance exacte et précise de l'histoire de la flamme, ce qui n'est actuellement pas accessible. De plus, cette modélisation à vitesse variable doit encore être confortée expérimentalement.

### 5.2 La détonation en milieu libre

Dans le cadre général d'études sur les nuages de gaz, Electricité de France, en collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique, l'Université de Poitiers et Gaz de France, a engagé des études expérimentales sur les détonations idéales d'hydrocarbures en milieu non confiné ([14] et [15]). Des mélanges air-hydrocarbure contenus dans des ballons sphériques, hémisphériques ou polyédriques à paroi mince, de volumes variant de 1 m<sup>3</sup> à 500 m<sup>3</sup>, allumés au centre de symétrie ont été testés. Ces essais de détonation concernent des mélanges air-méthane, air-acétylène, air-éthylène et air-propane. Ces essais permettent d'aboutir à une modélisation qui pourrait être utilisée pour prévenir de façon majoritaire les

conséquences d'une explosion accidentelle supposée être une détonation.

L'utilisation d'une telle modélisation n'est cependant pas réaliste car :

- la détonation en espace libre est hautement improbable,
- l'expérimentation a été effectuée sur des mélanges idéaux, pour lesquels la détonation était assurée (concentration optimale, énergie d'inflammation suffisante, etc....).

En conséquence, prendre en considération dans une analyse de sûreté une telle modélisation conduirait à un surdimensionnement injustifié des structures à protéger.

### 5.3 La démarche d'Electricité de France

La démarche adoptée par Electricité de France pour traduire et prévoir les effets d'une explosion accidentelle a déjà été exposée dans [1] et [2]. Elle est basée sur l'équivalence TNT de cette explosion, déduite de l'analyse des explosions accidentelles réellement survenues.

Cette analyse a permis de déterminer la valeur de rendement total d'explosion, conservée au sens de la sûreté, et d'estimer la confiance qui peut être attribuée à cette valeur. Sur la base de 77 points de dommages issus de 21 accidents réellement survenus, on peut dégager les enseignements suivants :

- le rendement moyen de l'explosion est de l'ordre de 4 Z,
- compte tenu des imprécisions et sources d'erreur, l'incertitude sur ce rendement est inférieure à un facteur 3,
- la valeur de  $10 \pm$  correspond à un niveau de confiance de 90 Z.

En conclusion, Electricité de France a retenu les principes suivants :

a) Quel que soit le régime d'explosion qui pourrait être observé, on considère que l'explosion est assimilable à une détonation de TNT, l'estimation des caractéristiques de l'onde de choc à front raide est effectuée à partir d'abaques établis pour le TNT. L'abaque choisi provient du rapport TH 5-1300(19). Il donne les relations surpression, durée de phase positive et impulsion en fonction de la distance réduite (distance réelle/racine cubique de la masse explosant). Cet abaque a été extrapolé à l'aide de polynômes des moindres carrés vers les valeurs des basses surpressions.

b) On considère que le rendement total d'explosion est de 10 Z : 1 kg d'hydrocarbure relâché est donc équivalent à 1 kg de TNT. Cette valeur est cohérente avec les deux hypothèses suivantes :

- l'équivalent TNT d'un hydrocarbure est de 5 kg de TNT pour 1 kg d'hydrocarbure,
- la masse maximale d'hydrocarbure risquant l'explosion est estimée à 20 Z de la masse de produit libérée (18).

c) Il est important de noter que cette notion d'équivalence TNT est scientifiquement inadéquate. Il n'y a pas identité entre le régime de propagation d'une onde provoquée par l'explosion du TNT et le régime de propagation d'une onde provoquée par un accident en milieu libre. Néanmoins, la démarche présentée ci-dessus reste la seule démarche opérationnelle compte tenu de l'état actuel des connaissances et des modifications sur les régimes d'explosion des nuages inflammables.

### 6. UN EXEMPLE : LE CALCUL DE LA DISTANCE DE SÉCURITÉ

A titre d'exemple, le tableau qui suit, présente les résultats du calcul de la distance de sécurité D<sub>s</sub> (cf § 2) pour un niveau de surpression maximal admissible pour la tenue des structures à protéger de 50 mbar et pour trois cas usuels :

(Remarque : Dans les exemples présentés dans le tableau ci-après, le nuage est composé d'une ou plusieurs bouffées inflammables détachées d'un panache lié à la source. Les valeurs de l'extension maximale et de la masse explosible prennent compte de manière conservatoire toutes ces bouffées, alors que l'inflammation de l'une n'affecterait pas nécessairement le reste du nuage).



			Camion propane (22 200 kg)	Wagon butane (53 600 kg)	Sphère 1 533 m <sup>3</sup> propane
brèche (m <sup>2</sup> )			0,130	0,200	0,071
masse d'hydrocarbure évaporée à 60 s (kg)			9 893	8 303	39 680
Stabilité à Vitesse 2m/s (à 60 s)	Stabilité à Vitesse 5m/s (à 60 s)	Extension maxi- male du nuage (m)	300	250	210
		Masse explo- sible (kg)	8 530	6 000	32 000
Stabilité à Vitesse 2m/s (à 60 s)	Stabilité à Vitesse 5m/s (à 60 s)	Extension maxi- male du nuage (m)	145	131	80
		Masse explo- sible (kg)	6 650	2 211	25 520
Distance de sécurité (m)	sans dérive	Stabilité D Vitesse 5m/s	873	777	1 357
		Stabilité E Vitesse 2m/s	804	557	1 259
	avec dérive	Stabilité D Vitesse 5m/s	1 173	1 027	1 567
		Stabilité E Vitesse 2m/s	949	688	1 339

### 7. CONCLUSION

La méthodologie sommairement décrite ci-dessus, est actuellement appliquée par Electricité de France. Elle permet d'évaluer les conséquences des agressions externes dues à l'environnement industriel : incendies et explosions, afin d'en tenir compte dans la conception et le dimensionnement des structures des centrales nucléaires.

Cette méthodologie a le mérite d'être d'application générale.

Des développements et des améliorations sont attendus, en particulier :

- dans la modification de la formation du nuage dangereux : étude du jet libre et de l'écoulement en brouillard, de la dispersion atmosphérique des gaz lourds,
- dans la modification de l'explosion : réalisation d'études expérimentales sur les effets des déflagrations à vitesse variable et détermination des conditions de transition détonation-déflagration en milieu libre.

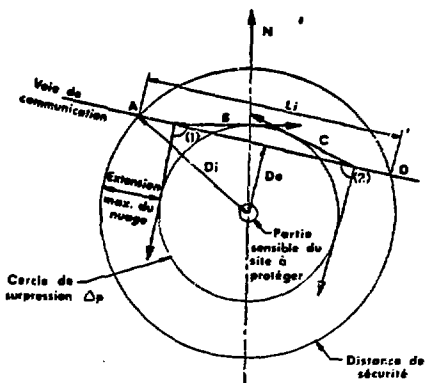
Ces améliorations devraient permettre de diminuer le caractère conservatoire de certaines hypothèses qui ont été introduites dans la présente méthodologie.

### NOMENCLATURE

a	diffusivité thermique du sol	m <sup>2</sup> . s <sup>-1</sup>
A	surface d'épandage	m <sup>2</sup>
C	chaleur spécifique	J . kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup>
K	conductibilité thermique du sol	W . m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup>
L	chaleur latente de vaporisation	J . kg <sup>-1</sup>
Q	débit d'évaporation	kg . s <sup>-1</sup>
t	temps	s
λ	distance réduite	m . kg <sup>-1/3</sup>
θ <sub>0</sub>	température initiale	K
θ <sub>eb</sub>	température d'ébullition sous 1 bar	K

- 10 -  
REFERENCES

- [1] T. GOBERT, A. LAMMOY - Analyse d'accidents dans l'industrie pétrolière - Détermination de l'équivalent TNT des hydrocarbures - SHIRT 4 - Août 1977 - SAN FRANCISCO.
- [2] A. LAMMOY, T. GOBERT - Evaluation of hazards from industrial activities near nuclear power plants - Deterministic and probabilistic studies - Invited paper J 10/1<sup>st</sup> presented at the SHIRT 5 - BERLIN - August 1979 - Nuclear Engineering and Design 57 (1980) 207-214.
- [3] H. PROCCACCIA, T. GOBERT - Probabilistic evaluation of risks associated with aviation, road, railway and river traffic adjacent to nuclear power plants in France. ANS Topical Meeting on the probabilistic analysis of nuclear reactor safety, LOS-ANGELES, May 1978.
- [4] J. ROBERT, Octobre 1980. Rapports internes Commissariat à l'Energie Atomique - Département Stratégie Nucléaire (CEA/DSN).
- [5] A. LAMMOY - Analyse des explosions accidentelles - Evaluation du rendement d'explosion pour la prévision des effets de surpression - Publication à paraître.
- [6] TNO Institute - Methoden voor het berekenen van de gevolgen van het vrij-komen van gevaarlijke stoffen (vloeistoffen en gassen).
- [7] T. GOBERT, A. LAMMOY - Etude réaliste du risque explosion accidentelle à proximité des centrales nucléaires - Communication à paraître.
- [8] J.P. GRANIER, A.G. SAAB - Rapport interne EDF Etudes et Recherches - Juin 1978.
- [9] Departments of the ARMY, The Navy and the Air Force. "Structures to resist the effects of accidental explosions", Technical Manual, TM 5-1300/NAFVAC - P 397/AFM 8-22.
- [10] J.C. LEYER, P. GIRARD, M. BENEAU, C. BARASSE - Flame propagation through unconfined and confined hemispherical stratified gaseous mixtures - 17<sup>th</sup> Symposium on Combustion - LEEDS - Août 1978.
- [11] B. DESHAIES, J.C. LEYER - Flow field induced by unconfined spherical accelerating flames. Publication dans "Combustion and flame".
- [12] J.C. LEYER - Exposé à la Société Française de Thermique - PARIS - Juin 1980.
- [13] A. LAMMOY - Rapport interne EDF Etudes et Recherches - Juillet 1980.
- [14] J. BROSSARD, J. FERROT, M. MANSON - Pressura waves generated by detonating spherical gaseous charges - 1<sup>st</sup> Symposium on Combustion LEEDS - Août 1978.
- [15] J. BROSSARD, J. DOCO, T. GOBERT, A. LAMMOY, J. FERROT - Experimental study of the overpressures generated by the detonation of spherical air-hydrocarbon gaseous mixtures - ENS/ANS Topical Meeting on Nuclear Reactor Safety - October 16-19/1978 - BRUXELLES.
- [16] SLADE - Meteorology and Atomic Energy - US Atomic Energy Commission - Division of Technical Information - 1968.



TRANSPORT DE GAZ LIQUEFIÉS

Secteur BC  
Vent.  $\Delta p$  sur le site ( $E_i \geq 1$ )

Secteur AB  
Seuls les vents provenant du secteur (1)  
peuvent occasionner  $\Delta p$  au site

Secteur CD  
Seuls les vents provenant du secteur (2)  
peuvent occasionner  $\Delta p$  au site ( $E_i \leq 1$ )