**EVALUATION OF HAZARDS FROM INDUSTRIAL ACTIVITIES
NEAR NUCLEAR POWER PLANTS,
DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC STUDIES**

**(Evaluation des dangers dus à l'activité industrielle à proximité
des centrales nucléaires. Etudes déterministe et probabiliste)**

A.LANNOY

*Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches,
25, Allée Privée, Carrefour Pleyel, F-93206 Saint-Denis, France*

T. GOBERT

*Electricité de France, Direction de l'Equipement,
Tour EDF-GDF, Cedex No. 8, F-92080 Paris-la-Défense, France*

Among the potential hazards which could be involved by the industrial activity near nuclear power plants, fires and explosions of hazardous materials are of particular concern. Indeed, the thermal radiation due to an adjacent fire could endanger the plant structures integrity. Likewise, an accidental explosion would induce an overpressure wave which could affect the buildings behaviour.

This paper presents the Electricité de France methodology, used to evaluate the accident consequences from :

- industrial facilities : refineries, chemical and petrochemical plants, storage areas, pipelines of gaseous, liquid and liquefied materials,
- transportation routes (roads, railways, inland waterways) with hazardous material traffic (solid explosives, liquid, gaseous or liquefied hydrocarbons).

From real accident statistics analysis, probabilistic methods have been developed (e.g. risks induced by transportation routes) and realistic and representative accident scenarios have been set up. Five sequences have been pointed out :

- formation of a fluid jet at a breach,
- evaporation and formation, eventually, of a liquid sheet,
- atmospheric dispersion and drift of a gaseous cloud,
- fire thermal radiation,
- unconfined explosion of the gaseous cloud.

This paper gives an overview on the methods and the main assumptions used to deal with each sequence.

Those methods, presently applied by Electricité de France, allow a coherent and realistic approach for industrial activity-induced risks at nuclear power plants.

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 incendies et les explosions de produits dangereux retiennent particulièrement l'attention. En effet, un éventuel incendie à proximité pourrait compromettre l'intégrité des structures (rayonnement thermique) ou entraver le bon fonctionnement de systèmes importants pour la sûreté (échauffement de l'air, retombées de fumées). De même, une explosion accidentelle engendrerait une onde de surpression aérienne qui pourrait porter atteinte à la tenue des bâtiments abritant des matériels liés à la sûreté.

Les sources potentielles d'incendies ou d'explosions sont :

- les installations industrielles : raffineries, complexes chimiques et pétrochimiques, zones de stockage, gazoducs et oléoducs de produits liquides ou liquéfiés ;
- les voies de communication (routes, voies ferrées, voies navigables) sur lesquelles s'exerce un trafic de produits dangereux, comme explosifs solides, hydrocarbures liquides, gazeux ou liquéfiés.

Electricité de France (EDF) a depuis plusieurs années entrepris un vaste programme d'études pour élaborer des méthodes d'évaluation de chacun des risques mentionnés ci-dessus.

D'une manière générale, ces risques sont évalués à partir de considérations probabilistes [1]. De ce fait, un important travail d'analyse des statistiques d'accidents a été entrepris. Ces analyses permettent 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.

L'objet de la présente communication est d'exposer le point des travaux engagés par EDF et, plus particulièrement, de présenter 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.

2. ANALYSE STATISTIQUE ET METHODES D'EVALUATION PROBABILISTES

L'analyse des statistiques d'accidents réalisées ou en cours à EDF porte sur chacune des sources potentielles d'incendies ou d'explosions identifiées ci-dessus.

2.1 Voies de Communications

Les informations statistiques utilisées pour élaborer les méthodes d'évaluation proviennent du Ministère de l'Équipement pour le réseau routier, de la Société Nationale des Chemins de Fer Français pour le réseau ferroviaire, et de l'Office National de la Navigation pour le réseau fluvial.

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

$$P_i = P_E \times E \times S \times F_i \times L_i \quad (1)$$

où P_E est la probabilité d'explosion, par véhicule transportant des matières dangereuses et par kilomètre,

E est un facteur lié à la météorologie (direction des vents, conditions de diffusion) et à la topographie, et n'existant que dans le cas de la propagation d'un nuage gazeux,

S est un facteur correcteur dépendant du type de transport ou de la localisation de la voie considérée,

F_i est la fréquence de passage des véhicules du produit i (véhicules.an⁻¹) et s'exprime

par :

$$F_i = T_i \cdot \sum_j \frac{\beta_j}{M_j}$$

T_i étant la masse totale annuelle de produit i transportée (kg),

β_j proportion du trafic transportant le produit i sur la voie considérée dans le type de véhicule j ,

M_j masse de produit transporté dans le type de véhicule j (kg)

L_i est la longueur (km) de voie à considérer $= 2 \sqrt{D_i^2 - D_o^2}$ (voir figure 1)

D_o étant la distance minimale entre la centrale et la voie,

D_i distance au-delà de laquelle les effets d'une explosion n'ont plus de conséquences pour la sûreté ; cette distance dépend d'une part de l'accident-type pris en considération et d'autre part de la résistance des structures aux ondes de surpression.

Les valeurs actuellement estimées des paramètres de la formule (1) sont les suivantes :

	routier	fluvial	ferroviaire
P_E	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$8,5 \cdot 10^{-10}$
K	0,7 autoroute 0,9 réseau ordinaire	1,3 (canal à grand gabarit) 0,3 (à petit gabarit)	1
β_j	1	1	0,44 (train normal) 0,56 (train complet)
M_j	20 t	très variable	60 t (train normal) 1200 t (train complet)

La détermination de la distance D dépend de l'accident-type pris en considération. Dans une première approche, on peut supposer que la totalité de la cargaison d'un 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 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 l'accident type défini. Si une approche plus fine est nécessaire, des études comme celles décrites au paragraphe 3 sont indispensables.

2.2 Installations industrielles fixes

Une précédente communication [2] expose de façon détaillée les principaux enseignements qui ont déjà été tirés des analyses d'accidents réels et qui constituent la base des méthodes présentées au § 3.

Les points qui méritent d'être soulignés sont les suivants :

- les incendies observés peuvent concerner une quantité importante de produits et leur durée est en général de quelques heures,
- 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 épandu 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.

- les explosions survenues, essentiellement des déflagrations, ont un rendement faible par rapport à l'énergie potentiellement contenue dans la masse de produit répandue.

2.3 Gazoducs et oléoducs

Nous n'évoquerons ici que les études relatives aux gazoducs de gaz naturel. Ces études ont été réalisées en collaboration avec le Service Transport de Gaz de France (GDF).

La probabilité annuelle d'un accident sur gazoduc pouvant porter atteinte aux structures de la centrale s'écrit :

$$P = P_F \times P_i \times P_E \times S \times E \times L \quad (2)$$

avec : P_F = probabilité annuelle de fuite (fuite.an⁻¹ - km⁻¹),

P_i = probabilité qu'il y ait inflammation sachant qu'il y a fuite,

P_E = probabilité qu'il y ait explosion quand il y a inflammation du gaz (P_i et P_E sont des probabilités conditionnelles),

E, S et L ont la même définition que précédemment.

Les valeurs actuellement estimées des paramètres de la formule (2) sont les suivantes :

$$P_F = 7,9.10^{-4}$$

$$P_i = 0,062$$

$$P_E = 0,065$$

$$K \quad \text{de } 0,84 \text{ à } 4,39 \text{ selon le diamètre et l'implantation de la canalisation}$$

L'utilisation de la formule (2) nécessite d'évaluer la distance D, c'est-à-dire de définir de façon réaliste le débit et le volume de gaz libéré et l'extension du nuage formé. La démarche suivie est présentée au § 3. Il est toutefois important de noter que les explosions après fuite réellement observées n'ont pas eu de conséquences aussi importantes que celles qui résulteraient de l'accident-type défini (rupture guillotine). De ce fait, affecter à cet accident-type une valeur de probabilité déduite des accidents réellement survenus conduit à une surestimation du risque.

3. METHODES DETERMINISTES D'EVALUATION DES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS

Les analyses des statistiques d'accident peuvent aider à la définition d'accidents-types réalistes, dans toute la mesure du possible, ou conservatoires le cas échéant.

Des estimations grossières ou majorantes des conséquences d'un accident peuvent parfois être suffisantes pour définir si le risque peut ne pas être retenu dans le dimensionnement de la centrale. Dans la mesure où le risque est, en première analyse, à prendre en considération, des estimations plus fines sont souvent indispensables pour définir de manière optimale les protections à adopter.

Ce paragraphe présente les méthodes développées ou en cours de développement à EDF en vue d'effectuer des estimations réalistes des risques et traite successivement des différentes phases mises en évidence au § 2.2, généralisables à tous les types d'accidents. Cette démarche est analogue à celle que propose l'Institut Néerlandais TNO dans [8].

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.

3.1 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. C'est pourquoi, des études sont entreprises pour déterminer des tailles réalistes de brèches.

Dans le cas des gaz liquéfiés sous pression, l'écoulement est en réalité diphasique ; on le suppose, de façon pessimiste, liquide, ce qui majore le débit massique. Deux hypothèses de calcul du débit ont été retenues selon les cas :

- un écoulement isotherme : la pression de la phase gazeuse est constante ; le débit calculé est donc majorant,
- un écoulement adiabatique : la pression et la température de la phase gazeuse varient simultanément ; la valeur calculée du débit est plus proche de la réalité.

Dans le cas d'un gazoduc, l'accident-type retenu est la rupture guillotine de la canalisation. Un modèle de calcul, élaboré par GDF, tenant compte de la configuration du réseau de transport permet un calcul réaliste du débit gazeux. En général, la masse maximale relâchée correspond à la masse contenue entre deux vannes de sectionnement.

3.2 La vaporisation

Deux phénomènes peuvent intervenir :

3.2.1 La vaporisation instantanée (cas des gaz liquéfiés sous pression)

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.

La vaporisation instantanée est d'autant plus forte que la pression initiale du produit est plus importante.

Le taux de vaporisation instantanée peut être calculé pour quelques produits courants à température ambiante (20°C) :

Produit	propane	butane	propylène	chlorure de méthyle	oxyde d'éthyle
Taux de vaporisation instantanée	33 %	9 %	38 %	17 %	5 %

3.2.2 La vaporisation normale (cas du gaz liquéfié sous pression après détente et cas de l'hydrocarbure cryogénique)

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.

L'expérience [3] et le calcul montrent que le débit de vaporisation q en fonction du temps t est de la forme :

$$q = K.A. \frac{T_e - T_o}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

avec : A = surface d'épandage
 Te = température d'ébullition de l'hydrocarbure considéré
 To = température initiale du sol
 K = constante dépendant des propriétés du sol et de l'hydrocarbure considéré.

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,...).

Par exemple, une brèche de 1 m^2 sur un réservoir de propane sous 8 bars, entraîne une vaporisation globale de 32 % environ du contenu du réservoir une minute après l'instant de la rupture, le débit maximal d'évaporation valant environ 250 kg/s et la nappe atteignant un rayon maximal de 240 m, dans le cas de probabilité d'extension illimitée.

3.3 La formation et la dérive d'un nuage explosible

Pour étudier la dérive et la dispersion atmosphérique du nuage ainsi formé, plusieurs types de modèles peuvent être utilisés. Un modèle gaussien, tenant compte d'une surface et d'un débit variables en fonction du temps, a été développé par EDF pour évaluer les isoconcentrations dans le nuage et la masse de gaz comprise entre les limites d'inflammabilité pour chaque classe de stabilité atmosphérique. Différents calculs réalisés montrent que la masse explosible dans le nuage est d'environ 20 % de la masse totale de gaz contenue dans ce nuage [7].

Les résultats expérimentaux obtenus par GDF [3] sont également utilisés pour calculer la distance la plus éloignée du lieu d'accident où la concentration est égale à la limite inférieure d'inflammabilité.

3.4 Le rayonnement thermique

Ce risque résulte essentiellement d'incendies de stockages d'hydrocarbures liquides aux conditions atmosphériques normales : essence, kérosène, gas-oil, pétrole brut, etc....,

Pour évaluer les conséquences du rayonnement thermique, on procède en plusieurs étapes :

- détermination à partir de résultats expérimentaux trouvés dans la littérature de la radiance moyenne des flammes (la valeur adoptée est de 29730 W.m^{-2} , les températures de flammes étant de l'ordre de $1\ 100^\circ\text{C}$ (à la base des flammes) à 450°C (à 15 m d'altitude)),
- évaluation des vitesses de combustion des produits (entre 0,5 mm/mn pour les parties lourdes et 3,4 mm/mn pour les parties les plus volatiles),
- calcul des dimensions du foyer, puis du flux reçu par les structures de la centrale, sachant qu'une partie du flux est absorbé par l'atmosphère ambiante (par exemple, pour une humidité de 6 g/kg d'air sec, environ 30 % du flux initial est absorbé après une traversée de 500 m),
- calcul par un modèle thermique de l'échauffement des structures, en tenant compte de la nature de la paroi et du flux réfléchi. Un exemple des résultats obtenus est donné sur la figure 2, pour une paroi en béton (facteur d'émissivité = 0,93).

Les mesures de protection, qui consistent à prévoir un arrosage des parois exposées au rayonnement, ont également été étudiées. En particulier, on a simulé, par une méthode de Monte-Carlo, une aspersion imparfaite de la paroi.

3.5 L'explosion

3.5.1 Démarche adoptée

Le moyen universellement adopté [2], [4] pour traduire les effets d'une explosion accidentelle est "l'équivalent TNT de cette explosion" : de l'observation des dégâts résultants,

il peut être déduit une "masse de TNT" dont l'explosion aurait engendré les mêmes dommages aux mêmes distances.

Traduire les effets d'une explosion en terme de "masse de TNT équivalente" revient à évaluer le "rendement" de cette explosion. On définit ce rendement comme étant le rapport entre l'énergie de combustion de la masse équivalente de TNT et l'énergie de combustion potentiellement disponible dans la masse de produit impliquée dans l'explosion.

Par exemple, pour la grande majorité des hydrocarbures utilisés couramment (propane, éthylène,) un rendement de 1 équivaldrait à une masse de TNT équivalence 10 fois supérieure à la masse d'hydrocarbure impliquée (équivalent TNT théorique).

Il est important de noter que cette notion "d'équivalent TNT" est scientifiquement inadéquate. En effet, l'observation des dégâts ne permet que rarement de conclure à un rendement unique ou une masse de TNT unique pour décrire les effets de l'explosion réelle. Ceci tendrait à traduire que les lois de génération et de propagation des ondes de surpressions ne sont pas totalement similaires et que des effets de confinement locaux peuvent modifier le régime de combustion du nuage, en accélérant les flammes par exemple.

Toutefois il convient de remarquer que traduire une explosion accidentelle (déflagration lente ou rapide, détonation le cas échéant, locale ou généralisée) en terme de détonation de TNT peut être fait indépendamment du type d'explosion réellement survenu.

En conséquence, pour évaluer les effets d'une explosion éventuelle consécutive à un accident concernant des produits dangereux, EDF a adopté la notion d'équivalent TNT, conformément à la démarche universellement mise en oeuvre pour traduire les conséquences d'un accident réellement survenu.

3.5.2 Principes d'évaluation

- 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 TM 5-1300 [5]. 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 par EDF 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 % (valeur pessimiste justifiée dans [2]): 1 kg d'hydrocarbure relâché est donc équivalent à 1 kg de TNT. Cette valeur est cohérente avec les deux hypothèses suivantes :
- 1'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 % de la masse de produit libérée (voir § 3.3).

En effet, on peut écrire :

$$\begin{aligned}\text{masse équivalente de TNT} &= 1 \times \text{masse totale d'hydrocarbure} \\ &= 5 \times 20 \% \times \text{masse totale d'hydrocarbure}\end{aligned}$$

- c) On suppose que l'allumage se produit une minute après l'instant de la rupture ; la masse du nuage est donc la masse vaporisée après une minute ; ceci se vérifie statistiquement dans 52 % des accidents réels (le délai est inférieur à 5 minutes dans 74 % des accidents).
- d) Statistiquement l'allumage se fait généralement sur le lieu de la rupture ou à proximité immédiate (61 % des cas ; sources d'inflammation nombreuses dans un complexe industriel) ; néanmoins l'allumage sur la périphérie reste relativement fréquent (39 % des cas). Si le point d'allumage ne peut être défini aisément, on suppose que c'est le point du nuage le plus proche du site où la concentration est égale à la limite inférieure d'inflammabilité.
- e) Dans le cas des explosifs solides, les surpressions sont estimées en utilisant l'abaque précédant compte tenu de l'équivalent TNT de l'explosif concerné (à défaut 1), l'origine de l'explosion coïncidant avec le lieu de l'accident.

- f) Dans le cas d'une enceinte de stockage ou d'une citerne vides, initialement remplies d'un hydrocarbure (souvent un hydrocarbure à point d'ébullition élevé : pétrole brut, essence), on suppose que les vapeurs de cet hydrocarbure (généralement les parties les plus légères et les plus volatiles en C_8 (octène)) sont en proportions stoechiométriques avec l'air ; on utilisera la méthodologie précédente, le point d'allumage étant sans ambiguïté confondu avec le lieu du stockage ou de l'accident.

3.5.3 Commentaires

Nous avons reconnu plus haut le caractère inadéquat sur le plan scientifique de l'"équivalent TNT". C'est pourquoi, dans le cadre d'études fines, il conviendrait de considérer le caractère plus physique des phénomènes et de développer des modèles plus appropriés d'explosions gazeuses.

Dans ce sens, EDF, en collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique, l'Université de Poitiers et GDF a engagé des études expérimentales et théoriques [6]. Des mélanges air-hydrocarbures contenus dans des ballons sphériques, hémisphériques ou polyédriques à paroi mince, de volumes variant de $1m^3$ à $215m^3$, allumés au centre de symétrie ont été testés. Ces essais concernent des mélanges air-méthane, air-acétylène, air-éthylène et air-propane (voir exemple figure 3). De plus des essais en laboratoire à petite échelle s'attachent à étudier les phénomènes de déflagration et l'influence de différents paramètres (gradients de concentration, présence d'obstacles...) sur la cinétique de la réaction.

7. CONCLUSION

La méthodologie sommairement décrite ci-dessus, est actuellement appliquée à EDF. Elle permet d'évaluer les 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 repose sur des hypothèses réalistes ou, lorsque le phénomène physique est mal connu, pessimistes. Elle a le mérite d'être générale et cohérente mais elle est encore incomplète.

Elle nécessite donc des études complémentaires, les développements attendus étant :

- une extension des enquêtes statistiques et des évaluations probabilistes (par exemple, ruptures de réservoirs),
- une meilleure approche des phénomènes physiques dans la description du scénario de l'accident, de façon à mieux coïncider avec la réalité, (par exemple, étude de la dispersion atmosphérique des gaz lourds),
- une poursuite des études tant théoriques qu'expérimentales sur le phénomène de l'explosion :
 - . caractérisation des ondes de détonation et étude des effets de sol,
 - . évaluation des surpressions dues aux déflagrations et des possibilités de transition déflagration-détonation,
 - . influence de la turbulence sur la cinétique de l'explosion.

Références

- [1] PROCACCIA H., GOBERT T., "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.
- [2] LANNOY A., GOBERT T. "Analyse d'accidents dans l'industrie pétrolière. Détermination de l'équivalent TNT des hydrocarbures." SMIRT 4, Août 1977, San-Francisco.
- [3] HUMBERT-BASSET R., MONTET A., "Dispersion dans l'atmosphère d'un nuage gazeux formé par épandage de GNL sur le sol". Congrès GNL 3, Washington, 1972.
- [4] STREHLOW R.A., "Unconfined vapor cloud explosions. An overview", 14 ème Symposium on Combustion, Pittsburgh, 1973.
- [5] 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.
- [6] BROSSARD, DUCO, GOBERT, LANNOY, PERROT, "Experimental study of the overpressures generated by the detonation of spherical air-hydrocarbon gaseous mixtures", Conférence présentée à l'ENS/ANS Topical Meeting sur la Sûreté des réacteurs nucléaires, 16-19 Octobre 1978, Bruxelles.
- [7] GRANIER J.P., SAAB A.G., Rapport interne EDF Etudes et Recherches.
- [8] TNO Institute, "Methoden voor het berekenen van de gevolgen van het vrij-komen van gevaarlijke stoffen (vloeistoffen en gassen).