



Boîte Postale N° 48

F. 92263 FONTENAY-AUX-ROSES Cedex

Téléphone : (1) 46.54.74.67

**Intégration des événements accidentels
dans les bilans sur les nuisances
industrielles**

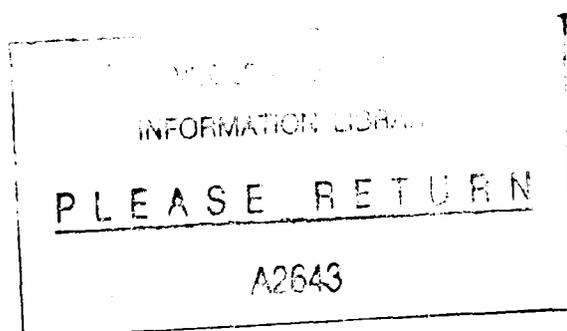
**Philippe HUBERT
Rapport n° 161**

INIS-XA-N--122

Route du Panorama
Boîte Postale n° 48
F 92263 FONTENAY-AUX-ROSES Cedex

**Intégration des événements accidentels
dans les bilans sur les nuisances
industrielles**

Philippe HUBERT
Rapport n° 161



Décembre 1989

Contrat 88/138 pour le CEDHYS

SOMMAIRE

	page
RESUME	
LISTE DES TABLEAUX - ENCADRES - FIGURES	
INTRODUCTION	1
I. TYPES DE RISQUES ACCIDENTELS ET POSSIBILITES D'EVALUATION	2
I.1. Catégorisation des impacts	2
I.2. Les atteintes à l'homme	5
<i>I.2.1. Mortalité et morbidité</i>	<i>5</i>
<i>I.2.2. Catégories de victimes</i>	<i>6</i>
<i>I.2.3. Accidents industriels classiques, effets directs et indirects d'une substance ou d'un phénomène dangereux</i>	<i>6</i>
<i>I.2.4. Les hypersensibilités</i>	<i>8</i>
I.3. Les dommages économiques	9
I.4. Les problèmes de l'eau	12
I.5. Cibles et sources	15
II. IDENTIFICATION DES SOURCES DE DANGER ET DES MECANISMES ACCIDENTELS	17
II.1. Types de sources retenues	18
II.2. Méthodes d'identification des sources	18
<i>II.2.1. Méthode a posteriori : les recueils d'accidents</i>	<i>18</i>
<i>II.2.2. Identification fondée sur les procédures administratives</i>	<i>27</i>
<i>II.2.3. Identifications basées sur des enquêtes</i>	<i>36</i>
II.3. Identification des dangers et mécanismes	42
<i>II.3.1. Analyse des accidents</i>	<i>42</i>
<i>II.3.2. Dangers associés aux produits</i>	<i>42</i>

	page
III. IDENTIFICATION DES CIBLES	54
III.1. Atteintes à l'homme	54
<i>III.1.1. Mécanismes mettant en danger la santé humaine</i>	55
<i>III.1.2. Populations exposées</i>	55
<i>III.1.3. Sensibilité des populations</i>	58
<i>III.1.4. Vulnérabilité des zones</i>	60
<i>III.1.5. Effets domino</i>	62
III.2. Impacts économiques	65
III.3. La pollution accidentelle de l'eau	66
<i>III.3.1. Atteintes directes de la ressource</i>	66
<i>III.3.2. Cibles industrielles</i>	68
<i>III.3.3. Usages agricoles</i>	70
<i>III.3.4. Eau de boisson</i>	72
IV. EVALUATION DU RISQUE	78
IV.1. Impacts sur l'homme	78
<i>IV.1.1. L'évaluation quantitative</i>	78
<i>IV.1.2. L'utilisation des évaluations quantitatives disponibles</i>	86
<i>IV.1.3. Utilisation d'informations partielles</i>	91
IV.2. La question de l'eau	94
CONCLUSION	100

RESUME

Cette étude examine les possibilités d'une analyse systématique du risque accidentel technologique dans une optique d'évaluation et de gestion territoriale (ville, communauté urbaine, région), qui intègre tous les types de risque chroniques et accidentels.

Un des objectifs est donc d'articuler de telles évaluations avec celles qui sont faites pour les pollutions chroniques de l'eau et de l'air. La gestion du risque dans ces domaines se fait en effet selon une approche spatiale depuis longtemps : les deux exemples les plus nets sont les agences de bassin et les réseaux de surveillance et d'alerte pour la pollution de l'air. Parallèlement à ces systèmes de gestion, et souvent pour les besoins de leur fonctionnement, de nombreuses études ont été effectuées sur des communautés urbaines et des régions, tant pour l'air que pour l'eau. L'autre objectif est de tirer parti des analyses faites sur les objets industriels, qui sont, à l'image de la gestion de leurs risques, sectorielles : industrie nucléaire, industrie pétrochimique, transport de matières dangereuses, pipeline etc...

Dans un premier temps, les trois angles d'attaque possibles du risque accidentel sont mis en évidence (santé humaine, économie, et eau), et les possibilités d'évaluation sont décrites; assez avancées et bien synthétisées pour le risque à l'homme, limitées par le manque de données pour l'économie, ralenties par le foisonnement des situations particulières pour la question de l'eau. Ensuite, les méthodes d'identification des sources de danger, puis celles d'identification des cibles sont passées en revue, distinguant chaque fois les trois questions de l'homme, de l'économie et de l'eau.

Enfin les éléments de quantification disponibles pour l'évaluation sont fournis. Sur les rares points quantifiables, on note que les risques sociétaux et individuels seraient plutôt inférieurs à ceux des nuisances chroniques, à condition d'ajouter foi simultanément aux évaluations probabilistes et aux relations dose-effet pour les faibles doses de polluants. Bien sûr, ce résultat ne vaut que si aucun poids n'est accordé à l'aspect "catastrophe" des accidents, qui occasionnent de nombreuses victimes simultanément et ne passent pas, de toute façon, inaperçus, alors que les dommages chroniques restent parfois impossibles à déceler même statistiquement.

LISTE DES TABLEAUX

	page
TABLEAU 1 - Typologie des impact	3
TABLEAU 2 - Coût estimé d'une catastrophe écologique	10
TABLEAU 3 - Grille de classification des cours d'eau	14
TABLEAU 4 - Type de sources de dangers	17
TABLEAU 5 - Distribution des accidents industriels (plus de 50 morts)	19
TABLEAU 6 - Principaux accidents industriels depuis 1974	20-22
TABLEAU 7 - Bilan des principaux accidents industriels en France en 1986	23
TABLEAU 8 - Liste des principaux accidents industriels en France en 1987	24
TABLEAU 9 - Principaux accidents et pollutions accidentelles survenus en France en 1987 et en 1988 : Région Provence Côte d'Azur	25-26
TABLEAU 10 - Nombre d'accidents en Provence Côte d'Azur : accidents et pollutions industrielles	27
TABLEAU 11 - Liste des établissements industriels soumis à la Directive Seveso en Provence Côte d'Azur	29
TABLEAU 12 - Passage des comptages aux flux	40-41
TABLEAU 13 - Concentrations seuils pour l'eau à usage industriel	69
TABLEAU 14 - Concentrations seuils recommandés par la CCE pour l'eau de boisson	73
TABLEAU 15 - Relation entre niveaux réglementaires et polluants potentiels	75-76
TABLEAU 16 - Les pratiques en matière d'autorisation d'exploitation	85
TABLEAU 17 - Coûts et niveaux de prestation	85
TABLEAU 18 - Distance de consultation au Royaume-Uni	93
TABLEAU 19 - Quelques données sur les risques de pollution accidentelle (TMD) à Grenoble	94
TABLEAU 20 - Toxicité et dangers intrinsèques de quelques produits	97
TABLEAU 21 - Potentiel polluant de quelques substances	99

LISTE DES ENCADRES

ENCADRE n° 1 - Exemple de valorisation économique des dommages associés à une pollution accidentelle	11
ENCADRE n° 2 - Type de données sur les dangers des produits diffusés dans les ouvrages spécialisés et les banques de données	43
ENCADRE n° 3 - Construction d'une courbe de Farmer	81
ENCADRE n° 4 - Conséquences de rupture de citernes de transport	92

LISTE DES FIGURES

	page
FIGURE 1 - Dispositions administratives s'appliquant aux installations dangereuses	28
FIGURE 2 - Localisation des établissements soumis à la Directive Seveso dans la région Provence Côte d'Azur	30
FIGURE 3 - Hydrocarbures liquides	31
FIGURE 4 - Hydrocarbures gazeux : gisements, gazoducs, stockages souterrains	32
FIGURE 5 - Distribution de produits chimiques par pipe-line en région Rhône-Alpes	33
FIGURE 6 - Centrales nucléaires et lignes à très haute tension	34
FIGURE 7 - Sources potentielles de danger autour d'un itinéraire urbain	35
FIGURE 8 - Identification des installations sur la base de l'activité principale	38
FIGURE 9 - Evaluation des passages de matières dangereuses	39
FIGURE 10 - Evènements consécutifs à une rupture de citerne à hydrocarbure gazeux	44
FIGURE 11 - Schéma de mécanismes de contamination lors d'un déversement liquide	53
FIGURE 12 - Mécanismes du transport d'hydrocarbure après déversement	53
FIGURE 13 - Structure de la population par zones et catégories socio-professionnelles (Delta du Rhône)	56
FIGURE 14 - Agglomération grenobloise ; répartition spatiale des populations	57
FIGURE 15 - Points à sensibilité accrue autour d'un itinéraire urbain	59
FIGURE 16 - Installations vulnérables autour d'un itinéraire urbain	61
FIGURE 17 - Vulnérabilité d'un captage	67
FIGURE 18 - Identification des zones agricoles vulnérables à une pollution accidentelle	71
FIGURE 19 - Le déroulement d'une évaluation probabiliste	79
FIGURE 20 - Comparaison de deux itinéraires dans le plan probabilité-conséquences	82
FIGURE 21 - Impact spatial : le nombre attendu de décès annuels Lyon Centre	83
FIGURE 22 - Quelques risques sociétaux au Royaume-Uni	88
FIGURE 23 - Exemple de courbes de Farmer pour une zone de stockage d'ammoniac	89
FIGURE 24 - Exemple de contour isorisque pour une zone de stockage d'ammoniac	89
FIGURE 25 - Comparaison des courbes de Farmer relatives à l'étude de Surry selon "NUREG-1150 and Reactor Safety Study"	90

INTRODUCTION

Des synthèses nationales et régionales sur les impacts potentiels sur la population des installations industrielles et agroalimentaires ont été effectuées depuis plusieurs années. Au niveau national, cet effort a consisté d'abord en l'identification d'un certain nombre d'indicateurs de la pollution des eaux et de l'air qui puissent être reconnus comme représentatifs. De là ont été rendues possibles des synthèses par branche et par région [1] [2] avec une identification assez fine des sources. A partir de là aussi, des systèmes de gestion du risque ont pu être établis pour ces nuisances, totalement différents à la fois dans le principe et dans l'application pratique, selon qu'il s'agit de la pollution des eaux, avec le système des Agences de Bassin, ou de pollution de l'air avec la mise en place des réseaux de surveillance et d'alerte. Toutefois, dans tous les cas, ces systèmes de gestion restent incomplets.

Ces éléments et notamment les infrastructures et systèmes de recueil de données mis en place ont permis la réalisation d'études comparatives très poussées au niveau régional, avec des indicateurs toujours synthétiques, mais mieux adaptés à l'estimation des impacts sur les individus, puisqu'établis en termes d'exposition locales dans un maillage de population. Par rapport aux travaux nationaux, un pas important est franchi puisque l'on passe de la mesure d'indicateurs de la qualité de l'air ou de l'eau à celle de l'exposition des individus. Il est même parfois possible d'en déduire des impacts en terme de mortalité, spécialement dans le cas de substances cancérigènes. De telles études, comme celles effectuées dans le cadre du projet "Etude comparative sur la région Sud-Est de la France", permettent, en plus de tels bilans, d'associer aux sources de pollution des effets dans l'espace et sur l'homme et donc de juger de l'efficacité d'actions de protection en fonction non plus seulement de la réduction des sources, mais de la diminution des impacts sur des cibles [3] [4]. En dépit du fait que ces impacts ne sont pas tous agréables (exposition de l'individu, mortalité, coûts...), les tenants et aboutissants des politiques de gestion du risque sont bien mis en valeur. Le doute subsiste cependant sur l'évolution de ces bilans, ou de ces difficultés, lorsqu'on souhaite prendre en compte les aspects accidentels.

On se propose ici de jeter les bases d'une extension de ces comparaisons qui intègre le risque associé aux nuisances accidentelles. L'objectif est donc double puisqu'il faut à la fois décrire des méthodes d'estimation et poser la question de l'incorporation des résultats aux estimations antérieures concernant les risques chroniques.

I. TYPES DE RISQUES ACCIDENTELS ET POSSIBILITES D'EVALUATION

La notion de risque accidentel est multiforme et quelque peu floue. L'objectif de ce chapitre est de donner un premier aperçu de cette notion, et du sens qui lui est attribué dans cette étude. Il s'agit à la fois d'indiquer quels peuvent être les types d'accidents et leurs différentes causes, mais aussi d'indiquer brièvement quel est l'état de l'art dans les différents domaines de l'analyse accidentelle. Il n'était pas en effet possible de proposer des méthodes d'approche qui ne s'appuient pas sur des pratiques. Or force est de reconnaître **l'hétérogénéité de la quantité et de la qualité des travaux disponibles** selon que l'on regarde l'impact potentiel sur la population d'accidents dans des grands sites industriels (centrales nucléaires, raffineries, usines chimiques importantes, grands stockages), l'impact potentiel sur l'écosystème d'un accident de transport, ou encore, malgré des efforts récents, celui d'une rupture de l'alimentation en eau ou d'un réseau de télécommunication.

I.1. Catégorisation des impacts

En première analyse, il est souvent admis que le risque industriel peut se mesurer par le nombre des décès dans la population générale que peut causer la défaillance de procédés ou de structures de stockage ou de transports; événements dont on estime par ailleurs la probabilité. En d'autres termes la mortalité potentiellement associée à l'activité industrielle résumerait l'ensemble des impacts négatifs de celle-ci. De tels chiffres répondent en effet à beaucoup de questions posées, surtout en matière d'acceptabilité et la quasi totalité des études de risque se limitent à cette approche.

Pourtant, il est clair que la mort d'homme n'est pas la seule conséquence de ces accidents. Elle est même, de loin, la plus rare. Une analyse complète se doit d'envisager d'autres impacts que la mortalité et même que la morbidité. Ceux-ci peuvent d'ailleurs être plus proches des préoccupations de telle ou telle partie des responsables ou du public : la fréquence des interventions à réaliser intéresse la Sécurité Civile, l'ampleur des évacuations à ordonner concerne encore celle-ci mais aussi les maires et les préfets, les pollutions de rivière préoccupent les sociétés de pêche, etc... Le nombre et l'hétérogénéité de tous ces

impacts non sanitaires rendraient à eux seuls une étude exhaustive très difficile. Techniquement, l'estimation de certains des indicateurs pertinents peut être aussi délicate que celle de la mortalité, sinon plus. Toutefois la difficulté principale réside dans l'identification des impacts à prendre en compte.

En effet les analyses du risque sont aujourd'hui très peu formalisées et rares sont celles qui ont des besoins de quantification déjà explicites. La mise en valeur des mécanismes par lesquels les accidents influent sur l'environnement socioéconomique, ou encore l'identification des effets escomptés de telle ou telle politique de protection est souvent un préliminaire à une estimation quantitative. Une première typologie des impacts s'impose donc (cf tableau .1).

Tableau 1 - Typologie des impacts

Catégories	Mécanisme du dommage	Structure ou groupes pénalisés
Conséquences humaines (décès, incapacités permanentes, blessures)	Accident du travail	Personnel des installations, chauffeurs de TMD
	Phénomènes catastrophiques Effet domino	Usagers de la route Forces d'intervention Riverains
Conséquences écologiques	Destruction faune et flore Contamination eaux Contamination sols	Disparition d'espèces Cultures inutilisables Chaîne alimentaire polluée
Conséquences économiques	Intervention Destruction	Secours public, sociétés spécialisées Véhicules, équipements routiers, lignes EDF, ... Habitations, commerces, usines, ...
	Evacuation Perte d'activité	Alerte, déplacement, relogement, retour Perturbation réseaux routiers, autres (aérien, fer, téléphone) ; - commerces, production industrielle
	Indemnisation	Cf supra (frais médicaux, remboursements) + compensation (pretium doloris, perte d'aménité)
	Remise en état	Nappes aquifères, sols

Les impacts ont été ici regroupés en 3 grandes catégories ; il est clair qu'un accident provoque en général des dommages dans ces trois catégories à la fois. Une première typologie des victimes a aussi paru nécessaire, car, quel que soit le jugement éthique que l'on peut porter sur ce fait, il faut reconnaître qu'elles ne pèsent pas toutes du même poids dans les décisions. L'identification des structures affectées est une généralisation de celle des groupes humains. En même temps, le repérage des principaux mécanismes a été effectué. Là encore ces mécanismes ne s'excluent pas mutuellement, mais au contraire peuvent s'enchaîner (par exemple : intervention ----> perte d'activité économique -----> indemnisation). On notera aussi que les échelles de temps et d'espace n'ont pas été mentionnées sur ce schéma. Elles jouent un grand rôle. Alors que les dégâts d'une explosion sont instantanés et localisés, la pollution d'une nappe peut se prolonger des années et celle d'une rivière se transporter très loin.

Tant qu'il n'est pas établi qu'une étude vise à la mesure précise d'un impact dans une optique décisionnelle définie, les catégories et classifications présentées ici ne peuvent que rester floues. Un cours d'eau peut ainsi être considéré comme un vecteur pour l'atteinte de l'homme ou comme un objet en soi à protéger. L'étude effectuée ici ne correspond pas à une optique assez restreinte pour trancher de ce type d'alternative, mais les analyses préliminaires sont toutefois nécessaires.

A terme, un objectif privilégié consiste à réaliser une évaluation systématique d'un "coût social" des accidents, agrégeant, après les avoir estimés, puis valorisés, tous ces impacts. Le domaine n'est cependant pas assez avancé pour que ces études puissent être utilisées directement dans un contexte opérationnel. Il reste beaucoup à faire pour comprendre ce que public ou responsables redoutent effectivement de ces accidents et ce qui motive telle ou telle action ou réaction.

Ici, il apparaît que l'évaluation peut se focaliser sur trois points ; l'atteinte à l'homme, les dommages économiques et les problèmes de l'eau. Les divers impacts se retrouvent, mais valorisés différemment selon les angles d'attaque. Les principaux traits en sont exposés ici.

I.2. Les atteintes à l'homme

La question posée ici est de classer les types d'atteinte à l'homme en fonction des mécanismes qui les entraînent pour identifier d'une part les méthodes d'estimation possibles, d'autre part les types de valorisation utilisables.

1.2.1. Mortalité et morbidité

Dès que l'on utilise des statistiques, il apparaît que la mortalité est mieux définie que la morbidité. En matière de sécurité routière ou d'accidents du travail une définition assez précise existe (décès sur 3 jours, blessés graves, légers), mais quand les effets d'une matière dangereuse entrent en jeu et touchent le public, ce n'est plus le cas. Quand il s'agit de modéliser et d'utiliser par exemple des relations expositions-effet, la mortalité est habituellement définie par une "dose létale 50", c'est-à-dire la dose à laquelle 50 % d'une population "normale" décède. Généralement la réponse est très inélastique et à des seuils légèrement supérieurs, la mortalité avoisine 100 % ; il n'en reste pas moins que la notion est différente de celle des statistiques classiques. Quand il s'agit de morbidité, la notion est beaucoup plus floue, allant du malaise passager à l'atteinte chronique ou à l'amputation dans les cas d'explosion.

Dans l'optique de bilan comparatif qui est celle adoptée ici, à cause des informations disponibles, les indicateurs du risque à l'homme ne peuvent se baser que sur la mortalité. En règle générale, on pourra supposer que la morbidité est proportionnelle à la mortalité. Il faut pourtant savoir qu'il existe des biais en fonction des produits. Ainsi, on remarquera que dans le cas du transport de matières dangereuses aux Etats-Unis, la lessive de soude, est la première cause de morbidité mais seulement la huit ou neuvième cause de mortalité, tandis que le contraire s'observe pour les GPL (gaz de pétrole liquéfiés). Un autre inconvénient de cette approche est que les besoins en matière d'évacuation et de traitement des blessés ne peuvent être directement déduits de l'estimation de la mortalité. Si l'optique retenue avait par exemple consisté en la préparation de l'intervention, la mortalité n'aurait pas été un indicateur adéquat.

1.2.2. Catégories de victimes

L'examen des statistiques montre que les premières victimes de la matière sont d'habitude les personnels affectés aux installations dangereuses. Viennent ensuite, surtout quand on prend en compte les blessés, les forces d'intervention et, pour les transports, les usagers de la route. Les moins fréquemment touchés sont les riverains, résidents, travaillant ou se livrant sur place à d'autres occupations (loisirs et achats). Ainsi, force est de constater que les préoccupations usuellement exprimées recoupent peu cette hiérarchie.

Cependant, ces statistiques comprennent beaucoup d'accidents peu importants et, dès qu'il y a accident majeur (Los Alfaques, Bhopal...), c'est effectivement au sein du public que se compte le plus de victimes. Pour évaluer les impacts de ces grands accidents potentiels qui ne peuvent s'observer ni au niveau régional ni même au niveau européen, il est nécessaire de recourir à des modélisations et celles-ci distinguent mal les catégories de victimes. On utilise généralement une densité de population, éventuellement divisée en champ lointain (plus d'une centaine de mètres de l'accident) où l'on utilise la densité générale, et champ proche où l'on fait des hypothèses de comportement aboutissant à une densité dérivée de la densité générale).

1.2.3. Accidents industriels classiques, effets directs et indirects d'une substance ou d'un phénomène dangereux

Il faut distinguer trois mécanismes d'atteinte de l'homme ; l'accident de travail ordinaire, ou s'il s'agit de transport, l'accident routier lui-même, la mise en jeu de la matière (libération de gaz toxiques, explosion, etc...), et les effets indirects. Dans les transports, la première cause de mortalité est en général l'accident routier : 30 morts par an contre 1 ou 2 décès dus à la matière dans les accidents routiers impliquant des transports de matières dangereuses.

En ce qui concerne les accidents du travail (1200 décès par an), les chutes ou autres événements non spécifiques de l'activité concernée font annuellement plus de victimes que les substances ou procédés dangereux. Faute de statistiques, les décès dus aux dangers spécifiques de l'activité sont à l'origine des principaux efforts de quantification théorique. Dans les études sur les risques, l'estimation n'est donc pas statistique mais probabiliste. C'est à dire que des modèles de défaillance sont construits, dont les

données proviennent soit de calculs déterministes, soit des statistiques élémentaires tirées des fichiers d'accidents. Des phénomènes comme les situations météorologiques y sont probabilisés. Ces estimations prennent en compte également des résultats épidémiologiques et expérimentaux, et les analyses comportent ainsi une grande part théorique. C'est à ce type d'estimation d'impact qu'ont été consacrés nombre de travaux [5] [6].

Enfin, les effets indirects peuvent être associés à l'impact des accidents sur des structures, généralement industrielles, dont la défaillance peut, à son tour, entraîner des effets sur le public. On parle souvent "d'effet domino" à ce sujet. Un cas classique est celui de réservoirs de stockage d'essence se rompant sous l'effet d'une surpression consécutive à l'explosion d'un nuage de gaz. En réalité, beaucoup d'autres scénarios sont possibles : gaz corrosif détruisant un système de contrôle commande ou nuage toxique tuant les opérateurs d'un procédé dangereux ou nappe d'essence en feu détruisant une sphère de stockage. En fait, il est impossible de donner une liste exhaustive de ces phénomènes.

Le sujet est fréquemment traité dans les études de sûreté des installations dangereuses, où l'accident sur une unité voisine ou une voie de circulation proche est considéré comme une des "agressions externes" à prendre en compte pour le dimensionnement des installations, du moins si la probabilité en est inacceptable. Les accidents sur l'autoroute A480 ont ainsi été analysés dans le dossier de sûreté des installations nucléaires du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, ainsi d'ailleurs que ceux associés aux pipelines et au chemin de fer. Toutefois, l'identification n'est pas systématique et les études de danger ou de sûreté quantifiant les conséquences restent une minorité. De surcroît, les installations industrielles dangereuses ne sont pas les seules à pouvoir interagir. Il faut aussi considérer les pipelines, la distribution du gaz ou, en d'autres endroits, des possibilités de rupture de digues de barrages ou de retenues diverses. **A part le cas de sites complexes au sein desquels toutes les interactions ont été étudiées, les approches possibles pour ces effets dominos restent surtout qualitatives.** Elles reposent sur le recensement et le report sur des cartes des éléments pouvant interagir.

Un autre type d'effet indirect est attaché à la contamination des eaux de boisson, de baignade, ou des aliments, après transfert par le sol, par la nappe aquifère ou les cours d'eau. Il paraît possible de le négliger car les délais permettent généralement de prendre des contre-mesures et, **même si un déversement conduit à un impact écologique et**

économique, il est raisonnable d'estimer que les effets sur la santé seront évités.

1.2.4. Les hypersensibilités

Face à des agressions, la réponse des individus est variable, en fonction de deux facteurs : le premier tient à la variabilité propre à l'espèce humaine, dont tous les individus n'offrent pas la même résistance. Certains groupes sont particulièrement sensibles. Des particularités biologiques, comme certaines maladies chroniques (asthme, diabète, hémophilie), voire certaines particularités génétiques causent certaines hypersensibilités. Lorsqu'on étudie une région, mieux vaut commencer par cerner les sous-populations mieux repérables, en identifiant enfants, personnes âgées ou malades, seuls "groupes à risque" dont il existe des concentrations bien identifiables dans une analyse spatiale (écoles, crèches, hôpitaux, hospices...)

Le deuxième facteur tient à ce que l'individu n'est pratiquement jamais exposé sans aucune protection face au risque. Les vêtements peuvent protéger de l'irradiation thermique, protection non négligeable dans les incendies, les habitations protègent également de la chaleur, mais aussi du souffle, de certains missiles et aussi elles isolent un peu de l'air ambiant quand celui-ci est contaminé. Là encore ces effets sont importants. Le dramatique bilan de l'accident de Los Alfaques (éclatement et incendie d'un véhicule-citerne transportant un gaz comprimé inflammable, avec plus de 200 morts) est attribuable à l'absence totale de protection des victimes, en plein air et en maillot de bain pour la plupart. Ces écrans ne constituent pas, à vrai dire, uniquement une protection. Ils peuvent au contraire être des facteurs aggravants (cf bris de vitre, effondrement d'immeubles...)

L'estimation qui peut se faire ici est semblable à celle qui concerne les effets dominos. Les structures sensibles peuvent être placées sur la carte. La définition de la sensibilité a reposé sur des jugements assez intuitifs dont certains demandent peut-être confirmation mais, là encore, la nouveauté de la question oblige à s'appuyer sur des hypothèses fortes.

I.3. Les dommages économiques

Une assez grande partie des dommages économiques découle de l'arrêt de la production ou de la destruction de l'outil de travail. Les mécanismes n'impliquent pas nécessairement la réalisation de phénomènes dangereux (cf. évacuation), ils ne sont pas non plus spécifiques.

D'autres conséquences sont propres à la mise en jeu de la matière dangereuse. Il s'agit essentiellement de la remise en état de sites naturels ou de l'enlèvement de terre contaminée. Il ne s'agit pas de réparer des destructions, mais de restaurer une ressource naturelle. Celle-ci étant difficilement valorisable, l'indemnisation est difficile, et de plus la décision sur le niveau d'intervention est délicate. Quand, pour des raisons d'opinion publique, de rareté de la ressource (une ville comme Lyon est presque entièrement alimentée par une nappe aquifère unique), ou d'urgence (risque d'extension de la contamination), une action est à entreprendre, elle est généralement de grande ampleur et très coûteuse. A ce sujet, on peut évoquer les 14 millions de dollars associés à l'accident de Livingstone en Louisiane (Trichloréthylène, 1982). Il est vrai qu'une évacuation (3 000 personnes en 15 jours) s'est ajoutée à l'enlèvement de la terre.

Malgré tout, le plus souvent l'existence de matières dangereuses ne change pas qualitativement les impacts économiques, elle influe surtout sur l'ampleur des conséquences. De surcroît, la seule possibilité d'un phénomène dangereux, même lorsqu'elle n'entre pas en jeu, est lourde de conséquences. L'évacuation et des interruptions de trafic aérien, ferroviaire ou routier peuvent être rendues nécessaires, de même que la coupure du courant électrique et du gaz. Il s'agit là de précautions classiques, mais dont l'impact est loin d'être négligeable. Le récent incendie d'entrepôt de Nantes (1986) a aussi montré comment le réseau téléphonique pouvait être saturé, même en l'absence de dommage matériel. La seule logistique de l'évacuation est importante et coûteuse, mais le bilan s'alourdit si l'on ajoute les pertes d'activité, commerciales ou industrielles, induites par celle-ci et par la perturbation des réseaux.

L'utilisation des montants d'indemnisations pour mesurer les dégâts est peu aisée en pratique, et contestable sur le fond. Les indemnisations peuvent couvrir directement les frais (coût des soins, des réparations,...), mais s'y ajoutent des compensations de type *pretium doloris* ou perte d'aménité. En revanche, tout n'est pas indemnisable, et le processus implique que la chose soit jugée. Les montants définitifs des indemnisations ne sont connus que plusieurs années après, souvent incomplètement et, de plus, ils ne sont

pas directement liés au coût de l'accident.

Une distinction intéressante est à faire entre des accidents où la matière ne jouerait réellement aucun rôle, ceux où elle est présente en tant que menace, ceux où elle intervient réellement mais sans conséquence humaine grâce par exemple à l'évacuation, et enfin ceux où le bilan humain est lourd. Si l'on se focalise sur les victimes humaines, seuls les derniers accidents sont à retenir, mais lorsque l'on effectue le bilan économique des accidents, tous ces types sont à considérer. De surcroît, sans être des tragédies, les accidents sans victime peuvent avoir des conséquences économiques considérables. Ce fut le cas à Toronto en 1981, où un accident ferroviaire a conduit à évacuer 250 000 personnes (coût : environ 25 millions de \$).

En dépit de l'importance de ces impacts, il existe très peu d'estimations antérieures sur lesquelles cette étude pourrait s'appuyer. Très peu d'enquêtes ont été jusqu'à analyser en profondeur l'ensemble des implications économiques des accidents. Il est par ailleurs difficile de chiffrer le coût de l'intervention, qui n'appartient pas à l'économie de marché, ou des pertes d'activités, quoiqu'une jurisprudence commence à se mettre en place, notamment pour la pêche sportive. On trouvera ici deux exemples de valorisation économique l'un réalisé sur un cas réel de pollution de l'eau (cf encadré 1) et l'autre sur un cas fictif de lâcher de nuage toxique (cf tableau 2).

**TABLEAU 2 - COUT ESTIME D'UNE CATASTROPHE ECOLOGIQUE
(gaz toxique) [7]**

Types de dépenses	Montants estimés
Indemnités	
250 morts	50 MF
125 handicapés à 80 pour cent	125 MF
500 handicapés à 50 pour cent	225 MF
625 handicapés à 20 pour cent	80 MF
	} 80%
Soins hospitaliers et frais médicaux d'urgence pour 10000 personnes	10 MF
Soins hospitaliers spéciaux (moyen terme)	20 MF
Suivi médical des victimes après l'accident (long terme)	20 MF
Evacuation de 30000 personnes (5 jours)	
Salaires perdus	20 MF
Hébergement des évacués	20 MF
Divers	30 MF
Total	600 MF
	ou environ 60 M\$

Note: Les chiffres des indemnités sont basés sur les moyennes utilisées pour les accidents de transport routier en France (1982).

Encadré n°1 - Exemple de valorisation économique des dommages associés à une pollution accidentelle [8]

DOMMAGES

Pollution de la Loire

La pollution accidentelle de la Loire et de ses affluents

Suspension de l'alimentation en eau

Un accident de fabrication survenu le 8 juin 1988 dans l'usine Protex à Auzouer-en-Touraine a été suivi d'une forte explosion et d'un violent incendie. Ce sinistre a nécessité l'intervention des services spécialisés (pompiers civils et militaires notamment) qui sont parvenus à éviter l'incendie et l'explosion de stockages de produits très dangereux.

En l'absence de dispositifs de rétention appropriés, les eaux polluées par les containers atteints et par les importants déchets stockés sur le site ont gravement contaminé la Brenne, la Cisse et même la Loire. La gravité de cette pollution a motivé la suspension de l'alimentation en eau potable pendant une huitaine de jours dans plusieurs communes et notamment la ville de Tours (155 000 personnes touchées).

Cette interruption a nécessité la mise en place de moyens d'approvisionnement en eau des populations et a entraîné la cessation ou la réduction de nombreuses activités économiques (commerces, agriculture, industries,...).

La pollution a par ailleurs entraîné d'importants dommages écologiques : mortalité de 15 à 20 tonnes de poissons et autres animaux aquatiques sur 45 km environ de cours d'eau (Brenne et Cisse). Les poissons ont dû être enfouis.

Les risques de contamination différée apparaissent cependant faibles compte-tenu des caractéristiques des sédiments des rivières atteintes.

Une commission d'évaluation a été instituée le 17 juin 1988 par le secrétaire d'État chargé de l'Environnement pour procéder à l'évaluation de l'ensemble des dommages et des dépenses découlant du sinistre et à la détermination des mesures susceptibles de remédier aux effets de la pollution. La commission a en outre été chargée de faire toute suggestion en matière de recherches destinées à améliorer l'évaluation de tels incidents et à en prévenir les effets.

La commission a évalué à 49 millions de francs le montant total des pertes et dépenses occasionnées par cet accident. Ce chiffre peut être utilement comparé au coût des travaux et mesures, évalué à 3,8 millions de francs, qui auraient permis d'éviter celui-ci.

Le tableau ci-après précise les principaux postes de dommages.

en millions de francs (chiffres arrondis)

Dépenses et coûts directs	15,5
chômage partiel du personnel Protex payé par les Assedic et accident de travail	1,4
administrations publiques (État, collectivités locales)	10,4
secteur privé et divers (chambre de commerce, distributeurs d'eau...)	3,7
Manque à gagner, préjudices directs	22,0
pêcheurs (perte de jouissance)	3,2
secteur privé (particuliers, chambre de commerce, chambre de métiers, chambre d'agriculture)	15,2
dommage écologique (pertes de poissons,...)	1,4
collectivités locales	1,3
pertes nettes des salariés de Protex	0,9
Mesures de restauration	11,5
écosystèmes	1,4
image de marque	9,3
divers	0,8
Total	49,0

Sources : Commission d'évaluation « Protex ». Société Candiz, MM. Tenière-Buchot et Metzler, (évaluation, octobre 1988, rapport provisoire)

I.4. Les problèmes de l'eau

Le risque de pollution des eaux est un risque attesté. Au contraire des catastrophes faisant de nombreuses victimes, le danger de pollution accidentelle n'est pas une menace latente mais il est souvent observé et il oblige à mettre en oeuvre régulièrement des moyens techniques assez lourds. Quoique la question se pose en des termes radicalement différents de ceux d'un accident meurtrier il ne faut pas s'étonner que la pollution accidentelle des eaux soit au premier plan des préoccupations de beaucoup des acteurs du système de maîtrise du risque.

Néanmoins l'estimation quantitative est pour l'instant plus difficile dans ce domaine que dans celui de la mortalité car la question a été peu abordée jusqu'ici. Elle l'a été à propos de points précis, comme la protection des captages de Lyon (cf [9] [10]), mais jamais globalement. Même dans ce dernier cas, les auteurs ont été obligés de commencer par un travail méthodologique assez général. En effet il n'existe ni de classification de produits en fonction de leur potentiel polluant, ni classification des qualités de l'eau qui soit à la fois basée sur des critères quantitatifs précis et qui prenne en compte tous les usages. En effet pour l'eau, on ne peut mentionner que les grilles de qualification de cours d'eau de la DDE, de la DDA ou de l'ONU. Quant aux classifications des produits, elles sont basées, on le rappelle, sur les dangers directs et immédiats d'une défaillance du système de stockage (cf Directive Seveso ou Règlement des Transports de Matières Dangereuses).

De toutes façons, il n'existe pas de solutions simples dans la mesure où c'est le couple produit/usage qui est seul pertinent. On a donc recherché ici à mieux identifier les usages de l'eau et à estimer les qualités nécessaires, spécialement en relation avec les polluants industriels ou transportés. Dans un second temps les informations sur la toxicité des produits devront être rassemblées. Ceci permet d'une part de définir ce que peut être un "produit polluant" car la toxicité n'est pas le seul paramètre, et de dresser une typologie des matières susceptibles d'être impliquées dans les accidents. Ce travail préliminaire a pour but de permettre une estimation du risque autour de l'itinéraire qui vise à identifier les cibles potentielles d'une pollution et à mesurer les ordres de grandeur des zones atteintes pour certains produits représentatifs.

Les usages de l'eau

On considère ici à la fois les eaux de surface, lacs et cours d'eau et les eaux souterraines. En général, on peut identifier pour l'eau les usages suivants, dont tous ne sont pas pertinents en un point donné (cf par exemple [11]) :

- Boissons et usages domestiques : Bien que des usages domestiques comme le lavage ou l'arrosage n'exigent pas la même qualité d'eau et que quelques pour cent de la consommation quotidienne (200 l par personne), soient ingérés, l'unicité du circuit de distribution implique que la qualité soit celle des eaux de boisson. A quelques exceptions près, les habitations et logements collectifs sont alimentés par des réseaux. Les rares installations puisant leur eau de boisson dans des nappes ou cours d'eau sont des cibles d'autant plus sensibles qu'elles sont méconnues.

- Industrie et industries agro-alimentaire : L'eau sert essentiellement au refroidissement dans l'industrie classique. Quelques procédés utilisent une eau dont la composition doit être contrôlée. L'industrie agro-alimentaire a bien sûr des besoins importants en eau potable.

- Transport et évacuation : Les cours d'eau sont des voies de communication, mais aussi des vecteurs de transport directement utilisés, rarement par des produits de valeur (flottage), énormément pour l'évacuation des déchets domestiques et industriels. Paradoxalement une pollution accidentelle peut empêcher ce dernier usage si l'on souhaite respecter certaines normes.

- Agriculture : Les usages sont multiples et bien connus. Abreuvement, arrosage et irrigation sont les usages où l'eau n'est pas la matière première. Les réseaux et modes d'alimentation des cultures ne sont pas toujours bien recensés. A l'échelle d'une exploitation, il faut interroger l'exploitant pour savoir s'il utilise son ancien puits, puise dans la rivière, etc... L'eau est aussi la matière première pour les élevages de poissons, coquillages et algues, usages mieux recensés.

- Loisirs : On distingue les loisirs où le contact est direct avec l'eau, comme la baignade ou la pêche, avec la possibilité d'ingérer les produits, de ceux où le contact n'est qu'accidentel (jardinage, voile et canotage, promenade).

- Energie : Il s'agit de la production d'électricité à partir des barrages et chutes.

- Vie aquatique sans qu'il s'agisse d'un usage direct pour l'homme, il est admis que l'eau doit conserver son rôle de support de la faune et de la flore.

En cas de déversement d'un produit toxique dans un cours d'eau, certains usages ne seront généralement pas affectés, comme la batellerie ou la production d'électricité ou le refroidissement des procédés industriels (ils pourraient cependant l'être si le produit est corrosif). Sinon tous les usages sont sensibles, à des degrés divers, aux pollutions accidentelles. La classification des cours d'eau proposée par les autorités communautaires reflète assez bien la hiérarchie des sensibilités des divers usages (cf Tableau 3).

TABLEAU 3 - GRILLE DE CLASSIFICATION DES COURS D'EAU

GRILLE DE QUALITE MULTI-USAGES

Classe 1A :	elle caractérise les eaux exemptes de pollution
Classe 1B :	d'une qualité légèrement moindre, ces eaux peuvent néanmoins satisfaire tous les usages.
Classe 2 :	la qualité est passable : suffisante pour l'irrigation, les usages industriels, la production d'eau potable après un traitement poussé. L'abreuvement des animaux est généralement toléré. Le poisson y vit normalement mais sa reproduction peut être aléatoire. Les loisirs liés à l'eau y sont possibles lorsqu'ils ne nécessitent que des contacts exceptionnels avec elle.
Classe 3 :	la qualité est médiocre : juste apte à l'irrigation, au refroidissement et à la navigation. La vie piscicole peut subsister dans ces eaux, mais cela est aléatoire en période de faibles débits ou de fortes températures par exemple.
Hors classe :	eaux dépassant la valeur maximale tolérée en classe 3 pour un ou plusieurs paramètres. Elles sont considérées comme inaptées à la plupart des usages et peuvent constituer une menace pour la santé publique et l'environnement.

Les DDA et DDE ont d'ailleurs adopté des grilles similaires pour classer les cours d'eau français. L'usage le plus sensible est en principe l'eau de boisson, dans la mesure où l'on accorde plus de poids à la santé de l'homme qu'à celle des espèces aquatiques. Toutefois, les possibilités de traitement de l'eau permettent d'utiliser des ressources relativement polluées et dans lesquelles la vie des espèces est déjà altérée. La question de la pollution chronique a été largement traitée dans le cadre de l'étude sur le quart Sud Est de la France, et, par ailleurs, des analyses globales ont été et sont faites sur l'état de l'eau. D'une certaine façon, ces travaux sont assez difficilement réutilisables pour la pollution accidentelle. Non seulement les modèles physiques diffèrent, mais aussi les polluants critiques ne sont plus les mêmes lorsque l'on raisonne à court terme, c'est-à-dire à l'échelle de temps de l'accident. En revanche, la connaissance ainsi acquise, sur le milieu permet d'envisager d'emblée un travail approfondi.

I.5. Cibles et sources

L'identification du risque associé aux accidents sur une région suppose une **double analyse : celle des sources possibles d'accidents, mais aussi celle des cibles**. Ceci est particulièrement vrai à propos des accidents impliquant des polluants aquatiques dans la mesure où la vulnérabilité du champ proche est souvent mal connue a priori, et où des transferts à longue distance ont lieu le long des cours d'eau, requérant donc l'identification des usages critiques de l'eau en aval d'un accident. Dans les cas d'accident à potentiel catastrophique sur le plan humain, la densité de population est d'un accès généralement aisé, mais des difficultés peuvent être rencontrées pour établir les zones sensibles où s'établissent des concentrations de populations plus ou moins bien protégées, ou particulièrement vulnérables. **La démarche habituelle de l'analyse du risque accidentel consiste à partir d'une installation dangereuse et à examiner la vulnérabilité du voisinage**. L'archétype en est l'analyse de l'explosion d'un nuage de propane ou de cyclohexane (cf Flixborough) ou encore une fuite d'ammoniac. Pourtant, l'approche consistant à partir de la source est peu efficace lorsque une distance de sécurité n'est pas immédiatement repérable, c'est-à-dire lorsque le concept de zone de vigilance est inapplicable : l'exemple le plus typique est celui de la pollution des eaux qui s'opère sur des trajets très grands, dont les impacts sont importants ou nuls suivant l'usage de l'eau (études de protection des captage [10]) et dont l'effet sera donc plus fonction des installations affectées que de la distance à la source.

Il faut remarquer, qu'à l'inverse de celle de l'analyse du risque accidentel, **l'étude des pollutions et des nuisances chroniques se fonde le plus souvent sur l'examen de ce qui se passe sur les cibles**. Surveillance de la qualité de l'eau sur les lieux de consommation, de la qualité de l'air dans les villes sont en effet les points de départ usuels des analyses. Une des difficultés est justement, et c'est ce à quoi ont été consacrés une partie des efforts de l'étude réalisée sur le Delta du Rhône, de rechercher quelles sont les contributions à la pollution des diverses sources d'émissions dans une zone [12]. En conséquence, les études réalisées dans cette optique sont d'un apport important dans l'approche proposée, car elles peuvent servir à identifier ou à qualifier les cibles potentielles des accidents. Il faut donc envisager une analyse du risque qui ne se cantonne pas dans cette alternative (étude de la source ou de la cible), mais qui prenne en compte ces deux angles d'attaque sans cesser de les relier.

II. IDENTIFICATION DES SOURCES DE DANGER ET DES MECANISMES ACCIDENTELS

II.1. Types de sources retenues

L'étude régionale ou locale du risque porte en principe sur les risques d'origine industrielle. Néanmoins il est nécessaire de replacer ceux-ci par rapport aux autres sources de danger et de préciser les contours de cette notion (cf tableau 4). Les risques naturels résultent assez clairement du contexte de l'étude. Dans le Sud du pays, il s'agit essentiellement des pluies violentes, des incendies et des séismes, particulièrement importants dans le Sud-Est par rapport au reste de la France. Les crues (en dehors des pluies précédemment évoquées) sont un problème plus important au Nord. A Lyon on peut citer le cas particulier des effondrements de terrain (les Balmes). Ces points sont traités notamment dans les "plans d'exposition aux risques" consultables dans les préfectures.

TABLEAU 4 - TYPES DE SOURCES DE DANGERS

<i>Phénomènes naturels :</i>	<i>crues</i> <i>pluies torrentielles</i> <i>incendies</i> <i>avalanches</i> <i>tempêtes</i> <i>séismes</i>
<i>Infrastructure :</i>	<i>barrages</i>
<i>Industrie :</i>	<i>stockage</i> <i>production</i> <i>transport de matières dangereuses</i> <i>pipe-lines</i>
<i>Tertiaire et urbains :</i>	<i>stockages de produits dangereux</i> <i>réseaux (eau, gaz, électricité)</i>

La logique veut que les conditions naturelles extrêmes soient prises en compte sinon dans le dimensionnement des installations industrielles, du moins dans l'analyse des causes de défaillance potentielle : pour des installations très dangereuses, c'est le cas, par exemple, pour les centrales nucléaires. Mais en général, les phénomènes comme les conditions climatiques extrêmes sont plutôt mal pris en compte dans l'analyse de la fiabilité des installations industrielles. Les ruptures de barrage, dont la possibilité est réelle dans la région, n'entrent pas non plus dans le cadre de l'analyse. L'aspect technologique de ce risque est indéniable, mais les modes de gestion le rapprochent plutôt des risques naturels.

Le risque industriel au sens strict n'est pas limité aux seules installations de production ou stockage. Le transport des matières dangereuses est incontestablement assimilable. Il intéresse ici tous les modes : mer, voie navigable, route, fer et pipe-lines. La vallée du Rhône offre une concentration unique en France, de ces trafics. Une dernière catégorie de sources de danger pose un problème délicat : il s'agit de tout ce qui est lié au secteur tertiaire ou au fonctionnement des ensembles urbains. Le mode de gestion n'est pas ici celui du risque industriel ni d'ailleurs celui des risques naturels ; les approches sont encore en fait assez peu formalisées.

Néanmoins la similitude entre les types de conséquences pousse à assimiler ces risques aux risques industriels. Les stockages de GPL chez les particuliers, les réseaux de distribution de gaz de ville sont ainsi retenus.

II.2. Méthodes d'identification des sources

II.2.1. Méthode a posteriori : les recueils d'accidents

Les statistiques existantes ne peuvent tenir lieu de méthode d'estimation quantitative : les événements répertoriés ne correspondent pas à un relevé systématique des accidents et, de plus, le nombre d'événements accidentels catastrophiques est insuffisant pour pouvoir être significatif. En revanche, ces relevés servent néanmoins à identifier et caractériser les grands types de catastrophes (cf tableau 5). Des statistiques internationales sur les grandes catastrophes ressortent essentiellement les explosions, les incendies et les émissions de gaz

toxiques. On note aussi que parmi ces événements, beaucoup sont causés par des objets industriels banals (explosion d'une citerne routière à Los Alfaques).

TABLEAU 5 - DISTRIBUTION DES ACCIDENTS INDUSTRIELS (plus de 50 morts)

	Installations terrestres	Transport terrestre	Activités offshore	Transport maritime	Total
<i>Pétrole et gaz</i>					
1934-1969 OCDE	1	0	—	0	1
Autres	0	0	—	0	0
1970-1984 OCDE	1	0	3	2	6
Autres	5	1	1	0	7
<i>Produits chimiques</i>					
1934-1969 OCDE	4	0	—	1	5
Autres	2	0	—	1	3
1970-1984 OCDE	0	1	—	0	1
Autres	1	0	—	0	1
<i>Total</i>	14	2	4	4	24
dont OCDE	6	1	3	3	13

Certains avancent qu'une progression s'effectue dans le sens de l'aggravation des conséquences en terme de nombre d'évacués et de victimes (morts et handicapés). Les événements les plus dramatiques sont en effet parmi les plus récents (cf tabl 5 et 6). On constate le même phénomène pour les catastrophes naturelles, constat qui s'explique par la concentration accrue des populations exposées.

TABLEAU 6a - PRINCIPAUX ACCIDENTS INDUSTRIELS DEPUIS
1974 [13]

ACCIDENTS INDUSTRIELS GRAVES, MONDE, 1974-1987

Date	Pays et lieu	Origine de l'accident	Produits concernés	Nombre de morts	Nombre de blessés	Nombre d'évacués
1974						
01.06	Royaume-Uni, Flixborough	Explosion	Cyclohexane	28	89	3 000
19.07	Etats-Unis, Decatur	Accident transport rail	Isobutane	7	152	0
06.08	Etats-Unis, Wenatchee	Explosion (transport rail)	Monoéthyle-ammonium	2	113	0
21.09	Etats-Unis, Houston	Explosion (transport rail)	Butadiène	1	235	0
1975						
30.04	Etats-Unis, Eagle Pass*	Explosion (transport route)	GPL	17	34	0
16.06	Allemagne, Heimstetten	Feu entrepôt engrais	Oxyde d'azote	0	0	10 000
07.11	Pays-Bas, Beek	Explosion	Propylène	14	104	0
14.12	Etats-Unis, Niagara Falls	Explosion wagon dans usine	Chlore	4	176	0
1976						
03	Etats-Unis, Deer Park	Accident transport route	Ammoniac	5	200	0
11.05	Etats-Unis, Houston	Accident transport route	Ammoniac	6	172	0
10.07	Italie, Seveso	Fuite	Dioxine	0	193	730
10.12	Etats-Unis, Baton Rouge	Explosion dans usine	Chlore	0	0	10 000
-	Etats-Unis, Los Angeles	Incendie	Chlore	0	72	2 000
1977						
08.02	Royaume-Uni, Glasgow	Incendie lors remplissage	Propane	0	1	2 000
30.09	Etats-Unis, Philadelphie	Chloration	Chlore	0	200	1 000
-	Corée du Sud, Iri	Explosion de train	Explosifs	56	..	0
-	Mexique	Fuite usine	Ammoniac	2	102	0
1978						
03	France, Bretagne*	Echouage pétrolier "Amoco Cadix"	Brut	0	0	0
26.02	Etats-Unis, Youngstown	Fuite (transport rail)	Chlore	8	114	3 500
11.07	Espagne, Los Alfaques	Accident de route	Propylène	216	200	0
15.07	Mexique, Xilatopec	Explosion (transport route)	butane	100	200	0
26.07	Etats-Unis, Oxford	Accident transport route	Chlore	0	99	0
03.08	Italie, Manfredonia	Usine engrais	Ammoniac	0	0	10 000
25.08	Allemagne, Regensburg	Feu dans entrepôt engrais	Oxyde d'azote	0	40	2 000
2.11	Mexique, Huimanguille	Explosion conduite de gaz	Gaz	58	..	0
-	Etats-Unis, Baltimore	Fuite usine chimique	Trioxide de soufre	0	100	0
1979						
01.01	Grèce, Crète	Feu et explosion de navire	Explosifs	6	140	0
08.01	Irlande, Bantry Bay	Explosion pétrolier	Pétrole	50	0	0
14.03	Etats-Unis, Crystal City	Incendie d'entrepôt	Herbicide, pesticide	0	0	6 000
28.03	Etats-Unis, Three Mile Island	Défaillance de réacteur	Nucléaire	0	0	200 000
8.04	Etats-Unis, Crestview	Déraill. explosion	Ammoniac + chlore	0	14	4 500
03.06	Mexique, Golfe*	Eruption plate-forme IXTOC	Pétrole	0	0	0
10.11	Canada, Mississauga	Déraill. explosion	Chlore + Propane	0	8	220 000
15.11	Turquie, Istanbul	Collision pétrolier	Pétrole	55	0	0
-	Chine, Bohai	Naufrage plate-forme pétrolière	-	72	0	0
-	Etats-Unis, Memphis	Incendie d'entrepôt	Parathion	0	150	2 000
-	URSS, Novosibirsk	Accident dans usine	Produits chimiques	300

TABLEAU 6b - PRINCIPAUX ACCIDENTS INDUSTRIELS DEPUIS 1974
[13]

Date	Pays et lieu	Origine de l'accident	Produits concernés	Nbre de morts	Nbre de blessés	Nombre d'évacués
1980						
21.01	Royaume-Uni, Barking	Incendie	Chlorate de sodium	0	9	4 000
17.03	France, Bretagne*	Rupture pétrolier "Tanio"	Brut	0	0	0
3.04	Etats-Unis, Somerville	Collision rail	Trichlor. de phosph.	0	343	23 000
3.05	Inde, Mandir Asod	Explosion usine	Explosifs	50	..	0
5.06	Malaisie, Port Kelang	Explosion/feu	Ammoniac/oxyacétylène	3	200	3 000
6.06	Etats-Unis, Garland	Déraillement	Styrène	0	5	8 000
26.07	Etats-Unis, Muldraugh	Déraillement	Chlorure vinyle	0	4	6 500
27.07	Etats-Unis, Newark	Feu wagon	Oxyde éthylène	0	0	4 000
16.11	Thaïlande, Bangkok	Explosion armements	Explosifs	54	..	0
-	Royaume Uni, Barking	Incendie dans usine	Cyanure de sodium	0	12	3 500
-	Norvège, A. Kielland	Naufrage plate-forme pétrolière	Pétrole	123	0	0
-	Etats-Unis, Alaska	Incendie plate-forme pétrolière	Pétrole	51	0	0
-	Canada, Ocean Ranger	Naufrage plate-forme pétrolière	Pétrole	84	0	0
-	Etats-Unis, Fort Knox	Fuite wagon	Chlorure vinyle	0	..	3 000
08.09	Royaume-Uni, St.Helens	Raffinerie-fuite	Trichlorethyl	0	110	0
.11	Royaume-Uni, Harrow	Fuite	Propane	0	0	2 100
1981						
19.05	Puerto Rico, San Juan	Rupture vanne usine	Chlore	0	200	2 000
1.06	Etats-Unis, Geismar	Usine	Chlore	0	140	---
31.07	Etats-Unis, Moab	Stockage	-	0	0	2 000
1.08	Mexique, Montanas	Déraillement	Chlore	28	1 000	5 000
25.08	Etats-Unis, San Francisco	Pipeline	Essence	0	0	50 000
5.10	Etats-Unis, Marysville	Déraillement	-	0	0	4 000
21.10	Mexico, Santa Clara	Usine	-	0	0	3 000
31.10	Etats-Unis, Hamburg	Déraillement	-	0	0	4 000
5.11	Etats-Unis, Castaic	Usine	Propylène	0	100	---
1982						
28.09	Etats-Unis, Livingston	Déraillement et feu	Chlorure vinyle	0	0	3 000
19.12	Vénézuéla, Tacoa	Explosion de réservoir	Hydrocarbure	145	1 000	40 000
22.12	Etats-Unis, Vernon	Usine	Acrylate de méthyle	0	355	---
-	Etats-Unis, Taft	Explosion	Acroléine	0	0	17 000
-	Etats-Unis, Fitchburg	Explosion dans usine	Chlorure vinyle	0	9	3 000
1983						
3.04	Etats-Unis, Denver	Accident transport rail	Acide nitrique	0	43	2 000
11.10	Nicaragua, Corinto	Explosion de réservoir	Hydrocarbures	23 000
1984						
22.01	Etats-Unis, Sauget	Usine	Oxychlorure de phosph.	0	125	---
25.02	Brésil, Cubatao	Explosion de pipeline	Essence	508(?)	..	---
10.05	Etats-Unis, Peabody	Usine	Benzène	1	125	---
6.10	Etats-Unis, Linden	Usine	Malathion	0	161	---
15.11	Etats-Unis, Middleport	Usine	Isocyanate de méthyle	0	110	---
19.11	Mexique, St. J. Ixhuatepec	Explosion de réservoir	GPL	452	4 248	31 000
2.12	Inde, Bhopal	Fuite usine	Isocyanate de méthyle	2 500	50 000	200 000
31.12	Etats-Unis, Little Rock	Fuite wagon	Ox. éthylène	0	---	2 500
-12	Pakistan, Ghari Dhoda	Explosion conduite	Gaz naturel	60	..	0
-	Pérou, Callao	Explosion de pipeline	Tétraéthyle	0	..	3 000
-	Mexique, Matamoros	Usine d'engrais	Ammoniac	0	200	3 000
-	Roumanie	Explosion dans usine	-	100	100	---

TABLEAU 6c - PRINCIPAUX ACCIDENTS INDUSTRIELS DEPUIS 1974
[13]

Date	Pays et lieu	Origine de l'accident	Produits concernés	Nbre de morts	Nbre de blessés	Nombre d'évacué
1985						
01	Inde, Javalpur	Fuite futs	Hydrosulfate de sodium	0	100	0
01	Brésil, Cubatao	Usine engrais	Ammoniac	0	300	5 000
02	Indonésie, Sumatra	Usine alimentation	Ammoniac	0	130	0
11.08	Etats-Unis, Institute	Fuite	Aldicarbe oxime	0	140	---
09	Inde, Tamil Nadu	Transport route	Essence	60	---	0
-	Italie, Naples	Incendie de réservoirs	Essence	4	200	---
1986						
26.04	URSS, Tchernobyl	Explosion dans réacteur	Radioactivité	31	299	135 000
8.08	Etats-Unis, Miamisburg	Déraillement-feu	Phosphore	0	14	30 000
1.11	Suisse, Bâle*	Incendie d'entrepôt	Herbicide	0	0	0
1987						
02.01	Chine, Shangsi	Engrais dans rivière	Carbonate ammon.	0	15 000(?)	0
04.04	Etats-Unis, Minot	Explosion dans entrepôt	Pesticide	0	17	10 000
11.04	Etats-Unis, Pittsburg	Déraillement	Oxychlorure de phosph.	0	0	16 000
14.04	Etats-Unis, Salt Lake City	Usine	Trichloréthylène	1	6	30 000
16.06	Inde, Bhopal	Usine (panique)	Ammoniac	0	0	200 000
12.08	Etats-Unis, Winters	Fuite usine purification	Hydrogène sulphuré	0	0	3 000
19.08	Canada, Sudbury	Fuite usine acide	Trioxyde de soufre	0	194	0
29.10	France, Nantes	Incendie d'entrepôt	Nitrate ammonium	0	24	25 000

Notes :

a) Critères de prise en compte:

- plus de 50 morts ou
- plus de 100 blessés ou
- plus de 2 000 évacués ou
- plus de 50 millions de dollars (1987) de dommages extérieurs au site (accident indiqué par un astérisque).

b) Les accidents de barrage ne sont pas inclus (voir tableau 7), les accidents liés aux explosifs sont inclus mais ne sont pas examinés dans cette étude.

c) Les données pour 1981-87 sont probablement incomplètes. Certains chiffres pourraient ne pas représenter la réalité (discordance entre les diverses sources des renseignements).

Contrairement aux statistiques internationales qui répertorient les grandes catastrophes (dont l'aspect spectaculaire/le nombre de morts génère parfois la notoriété), les statistiques nationales rendent compte du risque accidentel dans une plus grande diversité des sources (cf Tableau 8). Elles mettent en évidence des accidents qui ne sont pas seulement liés à la grande industrie (ex : explosion dans un atelier de traitement des métaux à Foulain). Le nombre de morts dépasse très rarement dix personnes par an (cf Tableau 7). Les accidents du travail provoquent environ 1200 décès par an en France. La mortalité due à l'accident industriel majeur ne peut donc pas être rapportée à ce type d'échelle.

TABLEAU 7 - BILAN DES PRINCIPAUX ACCIDENTS INDUSTRIELS EN FRANCE EN 1986

Pollutions accidentelles de l'eau :

Directe	: 5
Par l'eau de neutralisation	: 2
Par l'eau d'extinction d'incendie	: 2
Rhin (incendie Sandoz, Bâle)	: 1

Pollutions accidentelles de l'air :

Avec blessés, hospitalisés ou évacués	: 6*
(personnes concernées : 200)	
Avec dommages au voisinage	: 2
Autres	: 3
St. Louis (Eâle)	: 1

Explosions (n'ayant pas causé de pollution) :

Avec morts	: 3* (7 morts et 30 blessés)
Avec blessés	: 9* (26 blessés)
Avec dommage au voisinage	: 1*
Autres	: 1

Note : L'astérisque * indique que l'un des accidents est lié au transport terrestre (total : 4 accidents ayant entraîné 2 morts et 14 blessés ou hospitalisés).

Source : "La prévention des risques industriels", Ministère de l'Environnement (DPP-S&I), février 1987.

Les statistiques régionales, plus encore, permettent de repérer ce risque dans sa dispersion : elles mettent en évidence un Risque Accidentel Diffus, qui n'est plus lié aux seules installations ou objets industriels catalogués comme dangereux, mais à l'existence de stocks de produits dangereux disséminés sur le territoire (incendie dans un supermarché à Fréjus, incendies dus à des transformateurs) (cf tabl. 9,10). Ce Risque Accidentel Diffus ne fait plus référence aux seules installations industrielles classées. A cette échelle, le Transport des Matières Dangereuses en particulier représente près de la moitié des événements, et on remarque un grand nombre d'accidents sur des sites non classés, ou dont il est difficile de savoir s'ils sont classés ou non.

TABEAU 8 - LISTE DES PRINCIPAUX ACCIDENTS INDUSTRIELS EN FRANCE EN 1987

Février 06.02.87	73 Pomblières	Métaux spéciaux	Accident dans un atelier fabrication eau de javel, fuite de C_{12}	Un mort, un intoxiqué
06.02.87	59 Beuvry-la-Forêt	S.O.A.	Explosion dans un réacteur dans lequel était fabriqué de l'hydroxyl-cyclohexyl butyrate de méthyl	Destruction de l'atelier, un mort, 2 blessés légers
Avril 20.04.87	55 Vecl	Agriculteur de Brabant-le-Roi	Renversement sur chaussée d'une citerne de desherbants (3 000 l) à proximité d'une station de relevage alimentation Bar-le-Duc	Interruption de l'alimentation en eau potable de 3 000 personnes
20.04.87	38 Creys-Malville	Centrale nucléaire	Fuite de sodium	
23.04.87	77 Meaux	Société parisienne d'entretien	Incendie entrepôts contenant 32 000 t engrais, 20 m ³ carburants, 5 t bombes aérosols (dont insecticides, pesticides, raticides)	Pollution de la Marne, arrêt des pompages d'eau potable
Juin 02.06.87	69 Lyon - Port E. Herriot	Shell	Explosion et incendie de plusieurs cuves d'hydrocarbures	2 morts, 10 blessés
23.06.87	27 Granvilliers	Transport matières dangereuses	Explosion sur la Seine entre deux pétroliers le Vittoria et le Fuyoh Maru, explosion du Vittoria	5 disparus, 1 mort (Vittoria), 2 blessés dont un sérieusement (Fuyoh Maru), légère pollution de la Seine
Août 02.08.87	78 Limay	Alpa	Incendie dans les installations de dépoussiérage, rejet direct dans l'atmosphère.	8 à 10 L/j de poussières rejetées dans l'atmosphère. Pollution importante du voisinage
Octobre 25.10.87	95 Marny-la-Ville	Electrolux	Incendie dans un entrepôt	15 000 m ³ , 270 millions de francs de dégâts
27.10.87	13 Marseille	Établissements Duval	Perçage d'un fût contenant du disulfure diméthylque par un chariot élévateur	16 enfants d'une école voisine et 11 personnes pris de maux de tête et irritations respiratoires et oculaires
29.10.87	44 Nantes	Loiret et Haentjens	Incendie dans un entrepôt d'engrais (850 t de NPK). Menace d'explosion d'un stockage voisin de nitrate d'ammonium (750 t)	Nuage toxique (NO_2 , C_{12} ...). Déclenchement du plan Orsec. 25 000 personnes évacuées. 25 personnes légèrement intoxiquées.
Novembre 02.11.87	52 Foulain	Société Forgeavia	Explosion dans un atelier de traitement des métaux par bains de sel fondus (nitrates, nitrites alcalins)	Bris de vitres dans le voisinage, projection de morceaux de béton à plus de 100 mètres
13.11.87	11 Chalabre	T 2 L Chimie	Incendie et explosion dans les installations de fabrication de résines époxydes	Évacuation d'écoles voisines, ordre de confinement à la population, circulation interrompue, nuage de fumée visible à 20 km, 1 800 m ³ d'entrepôts détruits, 5 millions de francs de dégât.
22.11.87	28 Belhomert	Scierie Da Silva	Éventrement d'une cuve de 400 litres de pentachlorophénol par un chariot-élévateur	Destruction d'une pisciculture à 10 km en aval, pollution de l'Èure
23.11.87	68 Huningue	Sandoz	Explosion d'un réacteur contenant de l'acide chlorosulfonique et de l'orthonitrochlorobenzène	Nuage limité d'acide chlorhydrique (mise en fonction de lances à incendie pour abattre le nuage). Ordre de confinement donné à la population
30.11.87	75 Paris 8 ^e	ChantierGDF	Incendie et explosion d'une conduite de gaz lors de travaux	1 mort, 2 blessés, plusieurs centaines de personnes évacuées, incendie d'un commerce voisin
Décembre 15.12.87	40 Dax	Transport matières dangereuses	Déraillement d'un train, incendie d'un wagon contenant 83 000 l d'hydrocarbures	Interruption de la circulation ferroviaire, évacuation de 200 personnes, 1 pompier légèrement blessé.

**TABLEAU 9 - PRINCIPAUX ACCIDENTS ET POLLUTIONS
ACCIDENTELLES SURVENUS EN FRANCE EN 1987 -
REGION PROVENCE COTE D'AZUR [14]**

Date	Localisation	Origine	Description	Conséquences
FEVRIER				
26/02/87	04 ST AUBAN	ATOCHEN	Ouverture de vannes sur dépôt trichloréthylène - fuite de 150 t.	4 t. dans la DURANCE (20 ppm dans la rivière)
26/02/87	13 LAVERA	AIR LIQUIDE	Fuite d'hydrogène	Explosion dans le laboratoire
MARS				
26/03/87	13 FOS SUR MER	ATOCHEN	Faite canalisation - rejet d'HCl au cours d'une opération de vidange d'un stockage de monochlorure de soufre	Pas d'intoxiqués
30/03/87	13 LA MEDE	RAFFINERIE (E PROVENCE)	Débat d'incendie sur une colonne de l'unité de viscosédation	
AVRIL				
23/04/87	04 LE PORTET	AZF	Dysfonctionnement d'un laveur de fusées ayant entraîné l'émission de particules d'acide sulfurique	Quelques personnes incommodées
23/04/87	04 COMTEZON	SONAB PARET	Incendie usine à balais	Destruction matériel, stock, usine
30/04/87	06 BAR SUR LOUP	MAIE PAPIFONERIE	Incendie de l'entrepôt 2500 m ² et unité de fabrication d'hélices	
30/04/87	03 CUEKS	ST GOBALI EMBALLAGE	Incendie entrepôt bouteilles matières plastiques	
MAI				
02/05/87	03 TOULON - LA VALETTE	GARAGE FORD	Incendie d'un garage concessionnaire - Explosion d'un produit chimique	Destruction totale de garage
09/05/87	13 LAVERA	BP	Dérèglement d'une unité de désaimant de distillation - rejet de 300 m ³ d'eau contenant 1 % d'hydrocarbures	Pollution de littoral sur la commune de MARTIGUES
19/05/87	03 YDONBARI	LA PROVENCAL DE LA FIBRE DE BOIS	Incendie	Destruction de la totalité de l'usine de défilage de bois
JUIN				
16/06/87	03 FREJUS	GRANT CASIRO	Incendie (800 m ² ravagés)	Destruction quasi-totale de bâtiment
28/06/87	13 MARTIGUES	CENTRALE EDF de PORTAUB	Fuite de fuel lourd	Pollution de la mer - Barrages anti-pollution - Pompage de la nappe
30/06/87	06 GILLETTE	USINE CHIMIQUE DE LA MESTA	Explosion d'un réacteur de 3000 l. (cyclohexane et chlorure de méthyle)	Ptes de 20 MF de déchets - Pas de pollution
JUILLET				
04/07/87	05 HONETIER	ENGIN DE CHANTIER	Un engin de chantier a heurté une citerne de propane - fuite de gaz - explosion	Incendie de l'hôtel voisin - 2 blessés légers
JUILLET				
06/07/87	06 PEGOMPS	INDIENNERIE		Pollution de la SIAGNE - une tonne de poissons morts (cause probable : zinc, plomb, arsenic)
12/07/87	04 SERIGNAN	ETS GRAS	Incendie dans un entrepôt	250 MF détruits
20/07/87	13 PLAN DE CAMPAGNE	EXPOSALON	Incendie dans un dépôt de meubles	Plusieurs millions de F de dégâts - 840 m ² détruits
AOUT				
01/08/87	04 ORANGE	MESSAGERIES SEPT EXPRESS	Explosion et incendie dans un parc de semi-remorques - Origine cristalline	3 millions de F de dégâts
03/08/87	13 LA ROSE	GARAGE VOLVO	Incendie	3 millions de F de dégâts
06/08/87	13 MARSEILLE	PORT AUTOMOTE DE MARSEILLE	Fuite d'un fût contenant 200 litres de théralène	Plusieurs personnes intoxiquées
10/08/87	13 NORDAC	SOLAMAT	Explosion d'un réservoir considéré comme vide. Un ouvrier travaillant sur le toit du réservoir avec un chalumeau a été projeté à plusieurs mètres et est décédé.	Un mort
17/08/87	13 AILES	CENTRE LECLERC	Incendie d'un entrepôt	Dégâts importants
26/08/87	06 NICE	ARNAUD THIERRY	Incendie	
SEPTEMBRE				
03/09/87	13 MARSEILLE	ATOCHEN	Explosion dans une trémie d'animation	
18/09/87	13 MARTIGUES - LAVERA	OLEODUC	Fuite importante de l'oléoduc CRO/TOTAL au niveau de l'autoroute FOS/MARSEILLE - 300 m ³ déversés dans le canal	Ravage de fuel de 2 à 3 hectares sur l'étang de BERRE - Pollution circonscrite
26/09/87	04 BARCELONNETTE	STATION SERVICE	Site à un acte de malveillance. 10 000 litres de mazout déversés dans les égouts	Pollution arrêtée à la station d'épuration - légère pollution de l'UBAYE
OCTOBRE				
10/10/87	13 LA CIOTAT	LA CONSTRUCTION NAUTIQUE	Incendie dans un atelier de peintures, plastiques, vernis...	600 m ² d'entrepôts détruits - 2 millions de F de dégâts
27/10/87	13 MARSEILLE	ETS ROYAL	Perçage d'un fût contenant du dissolvant diméthylglycol par un charriot élévateur	16 enfants d'une école voisine et 11 personnes pris de maux de tête et irritations respiratoires et oculaires
NOVEMBRE				
10/11/87	06 SAINT JEANNET	PUN PLASTIQUES	Incendie d'un dépôt de matières plastiques	Plusieurs millions de F de dégâts, 1000 m ² détruits
14/11/87	03 BELLEFONTAINE	MEUBLESERIE	Incendie dans un atelier de vernissage et explosion de bidons de solvants	800 m ² détruits
DECEMBRE				
03/12/87	06 VILLENEUVE LOURET	ELECTRONIQUE GENERALE	Incendie dans un entrepôt de matériels électroniques	1 500 m ² d'ateliers détruits, plusieurs millions de F de dégâts
14/12/87	13 PORT DE BOND	ATOCHEN	Fuite de brasse, usage toxique	Pas de conséquences (pas d'habitations dans la zone)
24/12/87	13 MARTIGUES	INDIENNERIE	Ravage de produits pétroliers sur le canal s'étendant entre le Port Pétrillier et le Port de Nautisme	

TABLEAU 9 (SUITE) - PRINCIPAUX ACCIDENTS ET POLLUTIONS ACCIDENTELLES SURVENUS EN FRANCE EN 1988 - REGION PROVENCE COTE D'AZUR

Date	Localisation	Origine	Description	Conséquences
JANVIER				
05/01/88	13 SALINS DE GIROM	SALINS DU MIDI	Incendie dans un atelier de peinture d'un hangar de réparation du matériel	1 200 m ² partiellement détruits; 3 millions de F de dégâts
09/01/88	13 NILES	STE MEDITERRANEEENNE D'EMBALLAGE	Incendie dans une cartonnerie	28 000 m ² détruits, 2000 tonnes de papiers détruits, plusieurs dizaines de millions de F de dégâts
21/01/88	13 LAYERA	ATOCHEN	Fuite sur une colonne de séparation de HCl par des dichlorométhanes	Fuite localisée peu importante
25/01/88	04 SAINT ABAM	ATOCHEN	Fuite suite à un percage sur colonne de chloé	Rejet de solvants en DURANCE
FEVRIER				
01/02/88	13 BOUC BEL AIR	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Renversement d'un camion citerne sur l'autoroute A 51	Déversement de 4 000 litres de fuel; évacuation des terres contaminées
21/02/88	13 ISTRES	DASSAULT	Incendie et explosion de fûts de produits inflammables	
MARS				
01/03/88	13 PORT DE BOSC	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Accident sur un semi-remorque contenant 65 fûts de 200 litres de produits toxiques	Légers fuites
20/03/88	04 LE PORTET	TOTAL	Déversement accidentel de 400 à 490 m ³ d'hydrocarbures	Pollution de sol, de la nappe phréatique et de RICHIE
26/03/88	13 MARSEILLE	LYCEE JEAN MEUBIS	Fuite sur un transformateur au pyralène	
AVRIL				
10/04/88	06 LE BAR SUR LOUP	HAIE ET FILS	Incendie dans un atelier de cristallisation Menthol	Dégâts de toiture et de matières de fabrication
17/04/88	13 BEPNE	SHELL CHIMIE	Pollution atmosphérique suite à un problème sur un compresseur	Clue de la population avoisinante
18/04/88	13 LAYERA	ATOCHEN	Fuite d'azote de propanol sur un stockage	Conséquences limitées
18/04/88	13 EYRIERES	STE LEAONRE ET VINCENT	Ouverture malveillante de deux cuves de fuel et de tétrahéa; 30 000 litres déversés	Pollution d'un canal d'irrigation sur 7 km
22/04/88	13 MIRAPAS	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Fuite peu importante d'hydrocarbures sur un camion-citerne	Dépotage sur place, conséquences limitées
28/04/88	13 MARSEILLE	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-FER	Renversement d'un fût de produits radioactifs d'un wagon; déversement de fûts	Mise en place d'un périmètre de protection
MAI				
24/05/88	13 LA COTAT	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Un camion-citerne contenant 28 000 litres de gaz oil se retrouve sans frein à l'approche de péage de l'autoroute	Pas de conséquence, le camion évite les installations
MAI				
27/05/88	43 SAINT CYR	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Feu sur une citerne routière transportant 29 000 litres de super et 6 000 litres de gaz oil	Important dispositif d'extinction mis en oeuvre, pas de conséquences
JUIN				
22/06/88	13 AMEC	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-FER	Fuite de brom (bouteille de 10 kg) lors de déchargement de fûts d'un train	12 amputés/infirmes inconnus et hospitalisés, mise en place d'un périmètre de sécurité
30/06/88	06 CURET ROCHEVILLE	DIFFUSION AMS INTERNATIONALE	Feu dans un entrepôt	
JUILLET				
04/07/88	13 BEPNE LAYERA	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-FER	Fuite d'hydrocarbures de la suite d'un navire	Pollution de l'étang de BEPNE, mise en place de barrages, conséquences limitées
11/07/88	03 SAINT CYR SUR MER	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Renversement et explosion d'un camion-citerne transportant de l'essence (30 000 litres)	1 mort (le chauffeur) et un brûlé grave (passager), incendie de la gare-gare
21/07/88	06 NICE	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Déversement accidentel de carburant lors de ravitaillement d'un car-ferry	Pollution de la plage
AOUT				
10/08/88	03 BRIGOLLES	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Renversement d'un camion-citerne contenant 32 000 litres fuel sur la RD 7	Traversement de produit, pas de fuite
19/08/88	03 NIV	USINE	Feu dans une usine	750 m ² d'ateliers détruits
24/08/88	13 MARSEILLE	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Renversement dans un tunnel d'un camion transportant des produits chimiques dangereux	Pas de conséquences, déviement de la circulation, mise en place d'un périmètre de sécurité
SEPTEMBRE				
21/09/88	34 LA PEYRADE	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Incendie sur un camion en stationnement transportant des produits d'entretien (Javel, détergents...)	Pollution de canal de RICHIE par les eaux d'extinction d'incendie contenant des détergents; quelques poissons morts
23/09/88	13 ROGRES	MAISON DE RETRAITE	Incendie sur un transformateur au pyralène, suite à un orage le pyralène n'est pas touché	Evacuation des 87 pensionnaires de la maison de retraite, 2 pompiers sérieusement touchés
27/09/88	13 MARSEILLE	ATOCHEN	Déversement de solvants (toluène et xylène) dans un égout	Emission de vapeurs de solvants dans deux estives voisines, 12 personnes légèrement intoxiquées, intervention de la CHIC, 02 médecins et de 30 pompiers
OCTOBRE				
04/10/88	13 LAYERA	ATOCHEN	Fuite de gaz inflammable lors de travaux de sondage	Explosion, 1 blessé, toit de l'atelier soufflé
OCTOBRE				
05/10/88	03 CABASSE	INDETERMINEE		Pollution de l'ISSELE sur 3 km et de lac de CARCES, mortalité de poissons
05/10/88	13 ROUSSET PEYRER	INDETERMINEE		Pollution de l'arc à la suite de violences plies, mortalité de poissons
04/10/88	13 ROUSSET	INDIE POLAENC AGRICULTIVE	Entraînement de pesticides lors de fortes pluies	Pollution de l'ARC, plusieurs tonnes de poissons morts
17/10/88	04 SAINT ABAM	ATOCHEN	Anomalie de fonctionnement de séchage des colonnes de chloé	Rejet de 18 tonnes de dichlorométhane en DURANCE
26/10/88	13 ROUSSET	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-ROUTE	Fuite de produit Lucifore (acétate d'amyle) sur un camion-citerne sur un parking de l'autoroute A8	Interruption de la circulation, mise en place d'un périmètre de sécurité
NOVEMBRE				
06/11/88	13 PAILLON	PIPELINE	Rupture d'un pipeline par un amphi de chantier, 35 m ³ de gazoil rejetés	5 m ³ de gazoil rejetés dans le canal, mise en place de barrages et récupération de produits
24/11/88	06 LA GRAVE DE PELLE	CIMENT YCAT	Rejet accidentel de fuel lourd suite à la rupture d'une bouche de vidange de l'installation de pompage servant à alimenter le four de l'usine	Pollution de PAILLON, mise en place de barrages flottants
DECEMBRE				
01/12/88	06 CANNES	TRANSPORT MATIERES DANGEREUSES-FER	Fuite sur un wagon-citerne contenant du propane	Pas de conséquences, calmatage de la fuite

TABLEAU 10 - NOMBRE D'ACCIDENTS EN PROVENCE COTE D'AZUR ACCIDENTS ET POLLUTION INDUSTRIELLES [14]

PACA	1988
STATION SERVICE	1
TMD	15
INDUSTRIE CLASSEE	8
INDUSTRIE (?)	3
INDUSTRIE NON CLASSEE	5
PIPE LINE	1
DOMESTIQUE	2
Total	35 (dont 1 avec mort)

II.2.2. Identification fondée sur les procédures administratives

. La législation sur les installations classées

A partir de 1970 a émergé la notion de Risque Majeur, et la catastrophe de Flixborough a joué un rôle de catalyseur. La loi du 19 juillet 1976 soumet l'exploitation de certaines catégories d'installations soit à déclaration, soit à autorisation préalable délivrée par le Commissaire de la République : environ 2000 autorisations nouvelles sont délivrées chaque année. Le décret du 21 décembre 1977 stipule que les exploitants doivent produire une "étude des dangers" ("exposant les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident et justifiant les mesures propres à en réduire la probabilité et les effets").

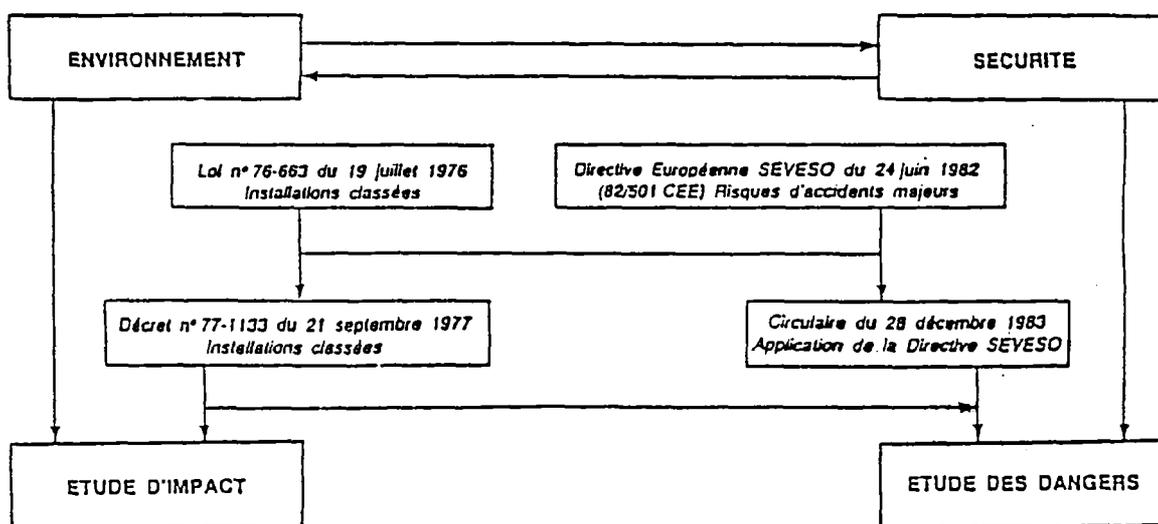
Ce principe de la responsabilité des industriels est réaffirmé par la Directive Européenne Seveso

du 24 juin 1982 qui prévoit que le fabricant est tenu de prendre toutes les mesures qui s'imposent pour prévenir les accidents majeurs et pour en limiter les conséquences pour l'homme et l'environnement. La circulaire du 28.12.83 prévoit de faire appel, dans le cas où les risques sont plus importants, à un expert extérieur indépendant qui procède à une analyse critique de l'étude des dangers et remet ses conclusions à l'industriel et à l'inspection des installations classées : il s'agit d'une "étude de sûreté" [15].

De ces mesures résultent actuellement deux types de classement des installations dangereuses : le classement ordinaire, difficile à publier au niveau national et qui comprend plusieurs milliers d'installations et le classement Directive Seveso (plusieurs centaines dont plus d'une trentaine concentrées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur). De fait, nous disposons, au niveau national, d'un recensement exhaustif des installations classées relevant de la Directive Seveso, et au niveau régional, d'un répertoire également complet des installations classées dangereuses (répertoriées par la DRIR).

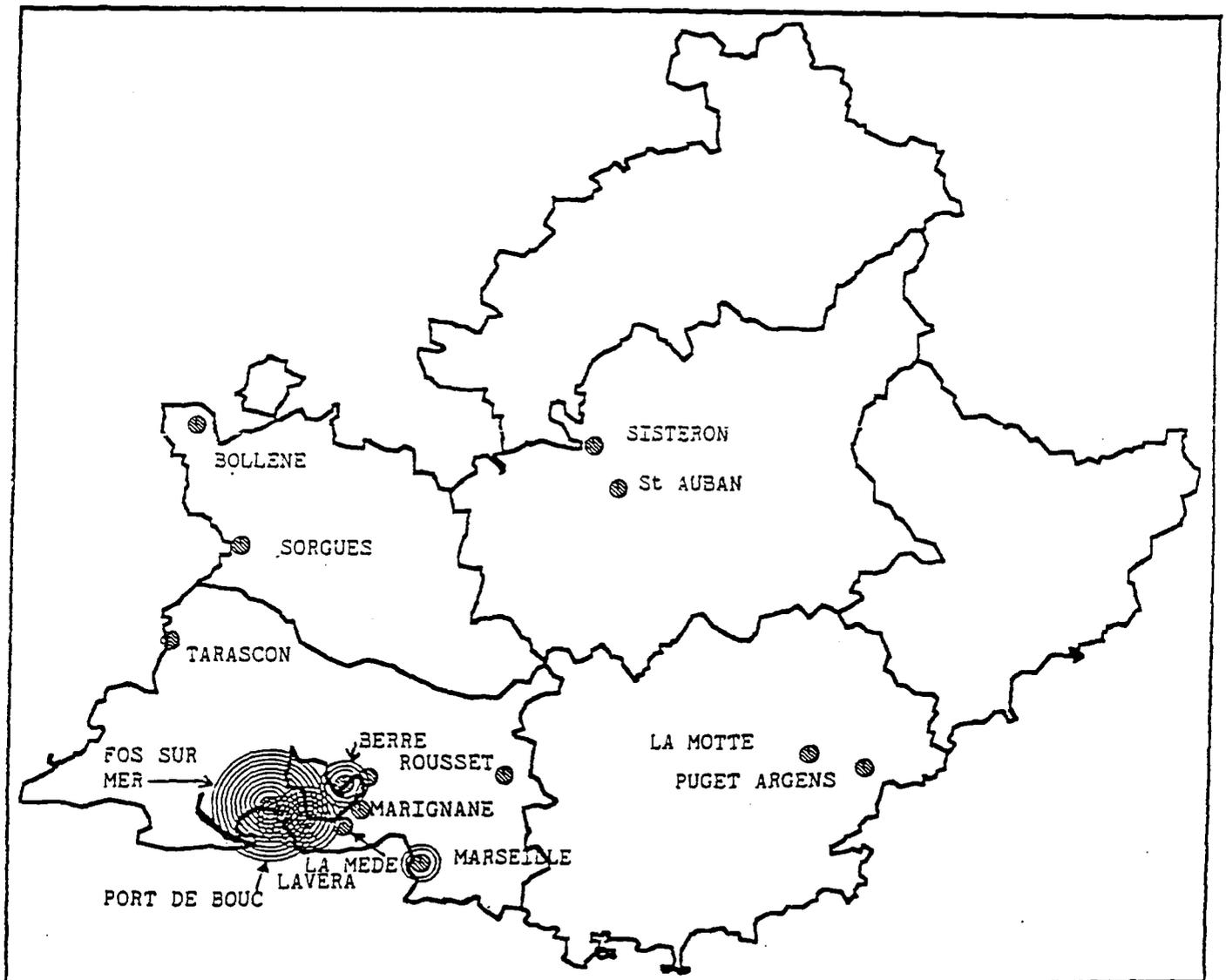
La figure suivante résume l'ensemble de ces dispositions :

FIGURE 1 - DISPOSITIONS ADMINISTRATIVES S'APPLIQUANT AUX INSTALLATIONS DANGEREUSES



A partir de ces dispositions réglementaires, il est donc possible de recenser l'ensemble des établissements visés par ces textes; l'exemple de la Provence Côte d'Azur est fourni ici (cf. Tableau 11 et Figure 2). La concentration autour d'un site se retrouve très fréquemment (cf. couloir de la chimie à Lyon).

FIGURE 2 - ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS SOUMIS A LA DIRECTIVE SEVESO DANS LA REGION PROVENCE - COTE D'AZUR



● Localisation des établissements (un établissement supplémentaire par cercle concentrique)

. Les déclarations de pipe-lines et réseaux

Seuls les pipe-lines acheminant des produits pétroliers sont répertoriés de façon satisfaisante (carburant, gaz, pétrole). La zone la plus exposée au passage des hydrocarbures liquides est la Vallée du Rhône (cf.fig.3). L'effet est moins marqué pour les hydrocarbures gazeux, où la Vallée de la Seine et la région de Lacq sont les plus exposées, mais le quart Sud Est de la France reste une zone à risque (cf.fig.4).

FIGURE 3 - HYDROCARBURES LIQUIDES - GISEMENTS ET OLEODUCS

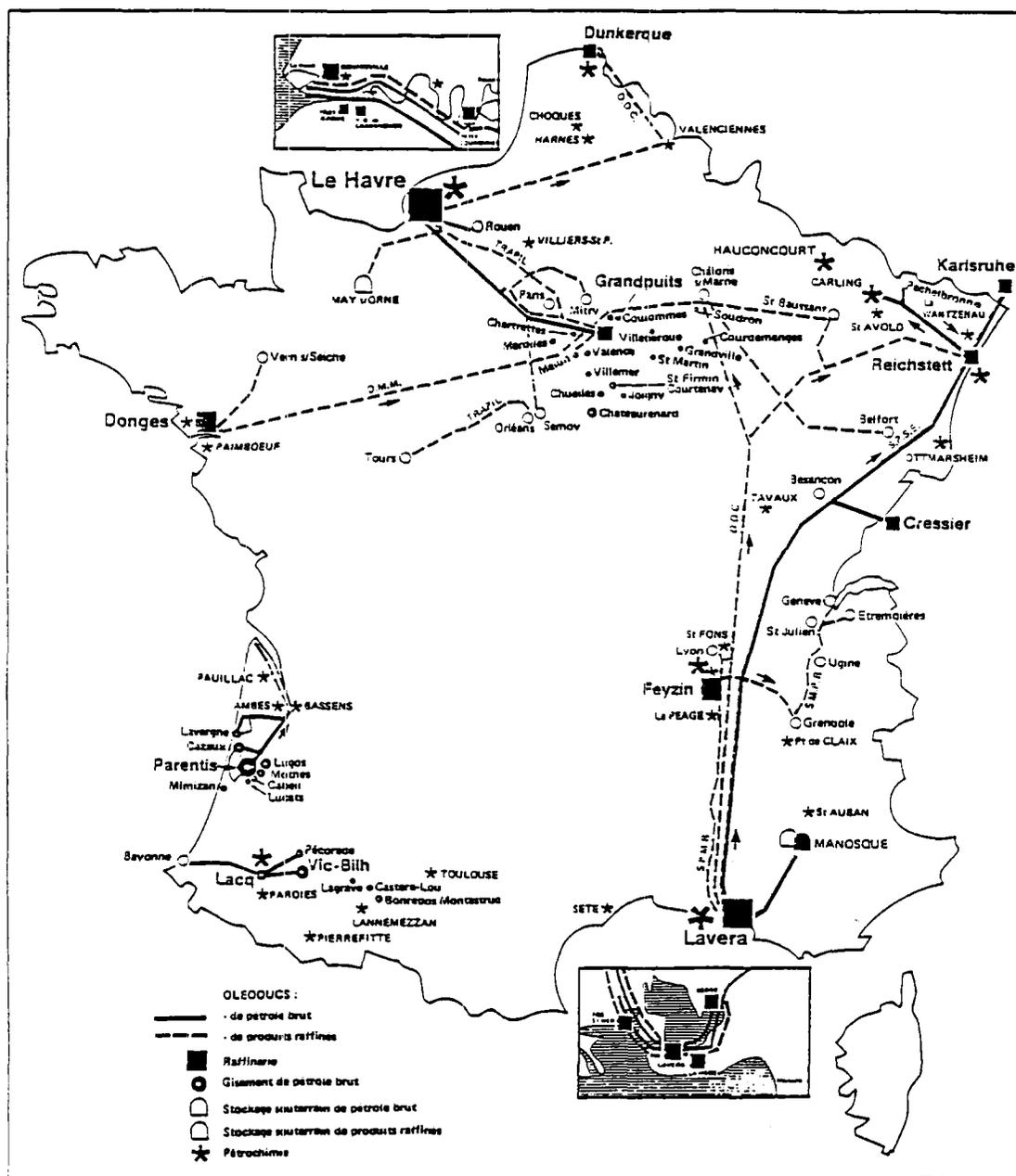
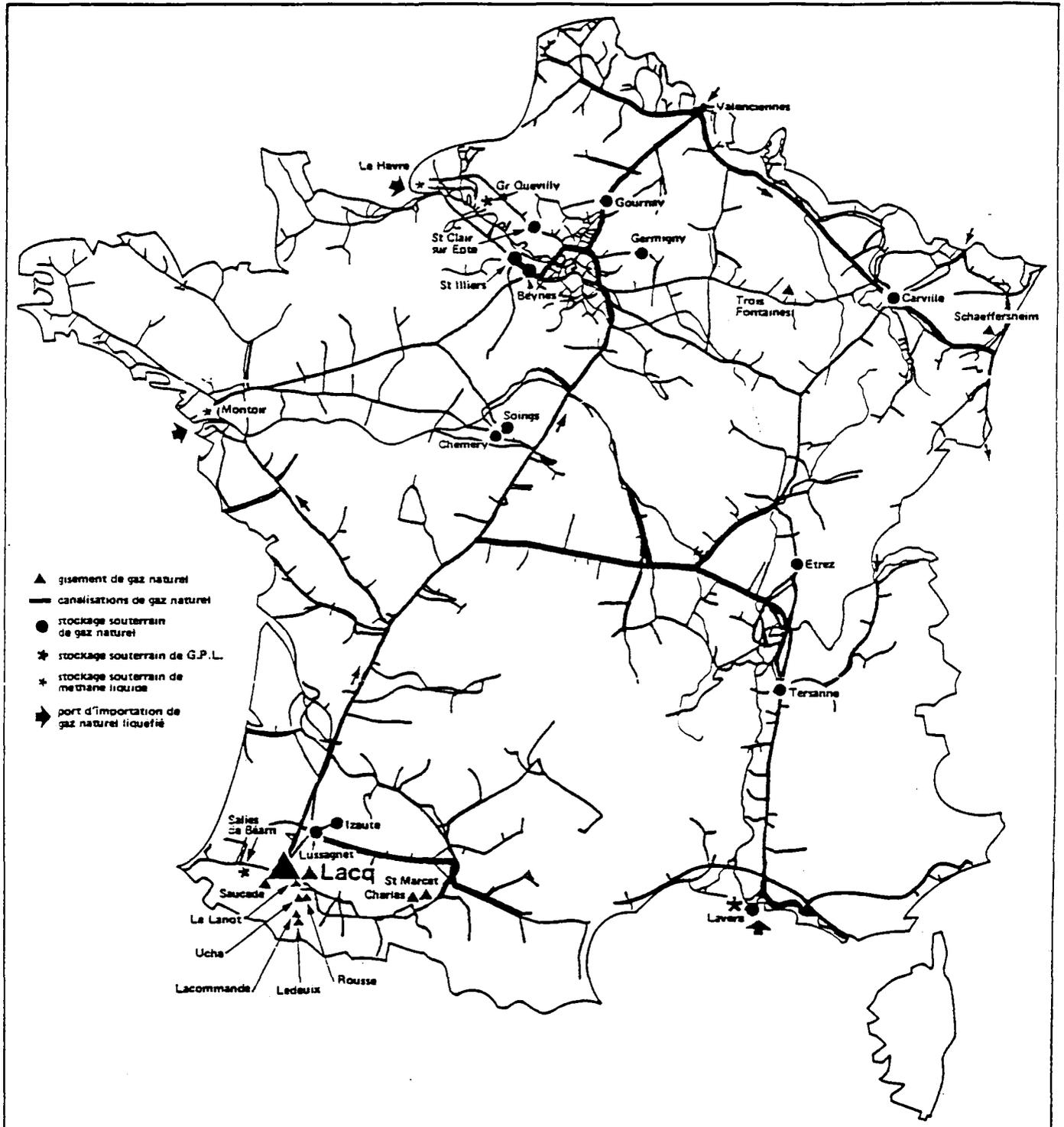
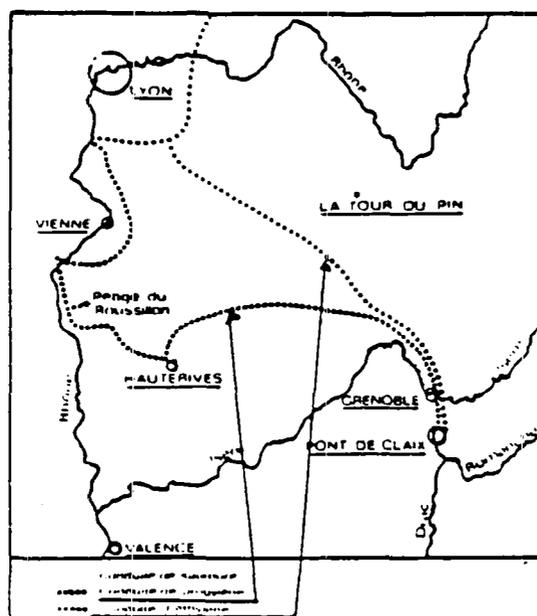


FIGURE 4 - HYDROCARBURES GAZEUX : gisements, gazoducs, stockages souterrains



Les pipe-lines acheminant d'autres types de produits (en particulier chimiques) font également l'objet de déclarations obligatoires, mais celles-ci sont moins bien centralisées par l'Administration (fig 5). Il est plus simple de s'adresser aux professionnels. Bien entendu, des informations centralisées existent aussi sur l'énergie électrique, sa production ou son transport à l'échelle nationale (cf fig 6).

FIGURE 5 - DISTRIBUTION DE PRODUITS CHIMIQUES PAR PIPE LINE EN REGION RHONE ALPES (d'après M.Jouanjan, R.P. Pont de Claix - 1978)



Principales canalisations de transport

1) Ethylène

Feyzin - Saint-Pierre-de-Chandieu	17 km
Saint-Pierre-de-Chandieu - Viriat	95 km
Viriat - Tavaux	73 km
Saint-Pierre-de-Chandieu - Jarrie	93 km
Lavera - Berre - Saint-Auban	124 km
Saint-Auban - Pont-de-Claix	150 km
Carling - Sarraube	24 km

2) Propylène

Feyzin - Pont-de-Claix (desservant Les Roches-de-Condrieu, Péage-de-Roussillon)	150 km
---	--------

3) Ammoniac

Carling - Besch Perl (RFA)	53 km
----------------------------------	-------

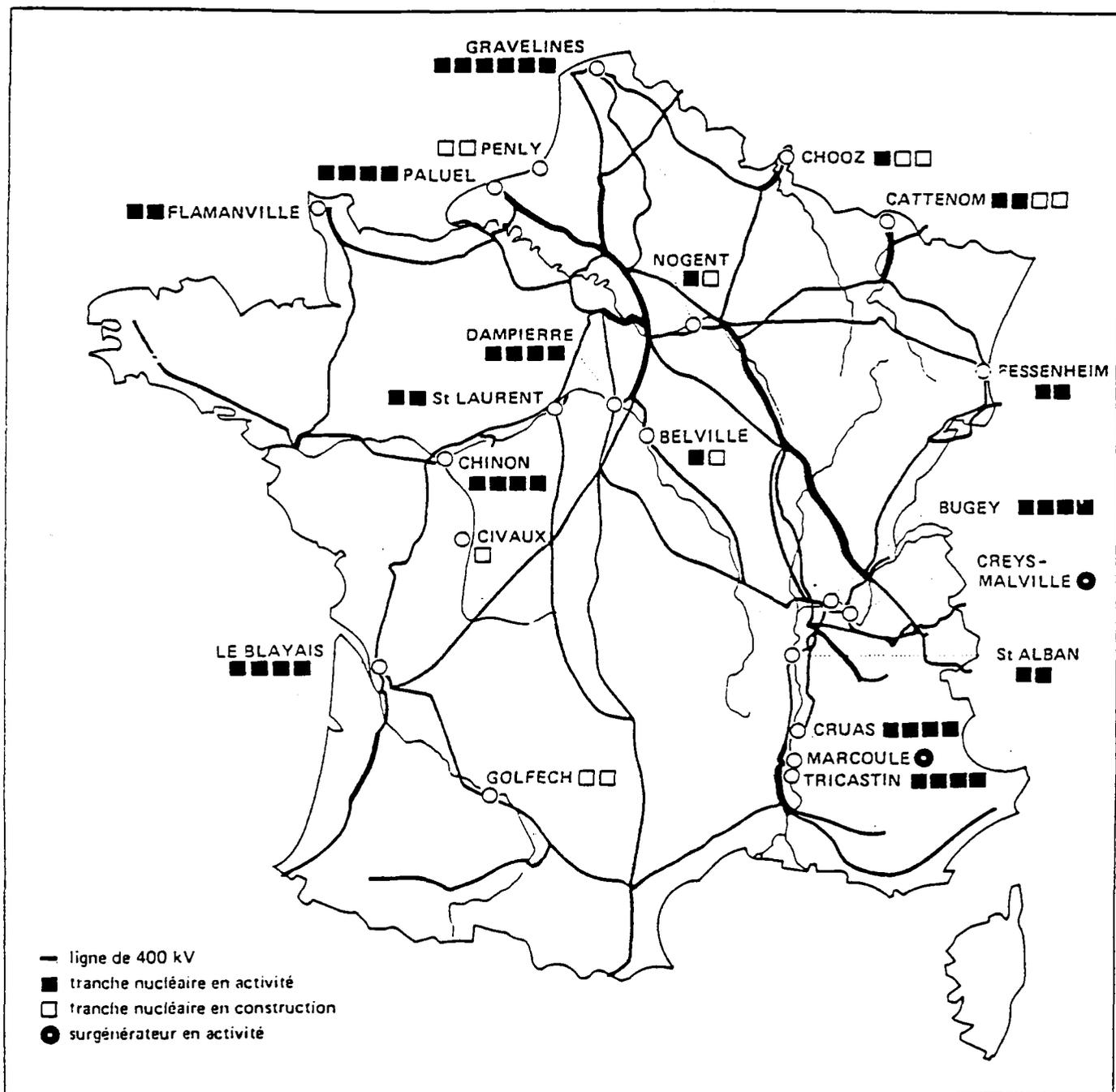
4) Gaz carbonique (usage chimique)

Carling - Besch Perl (RFA)	53 km
----------------------------------	-------

5) Saumure

Hauterive - Pont-de-Claix	85 km
Vauvert - Lavéra	80 km

FIGURE 6 - CENTRALES NUCLEAIRES ET LIGNES A TRES HAUTE TENSION



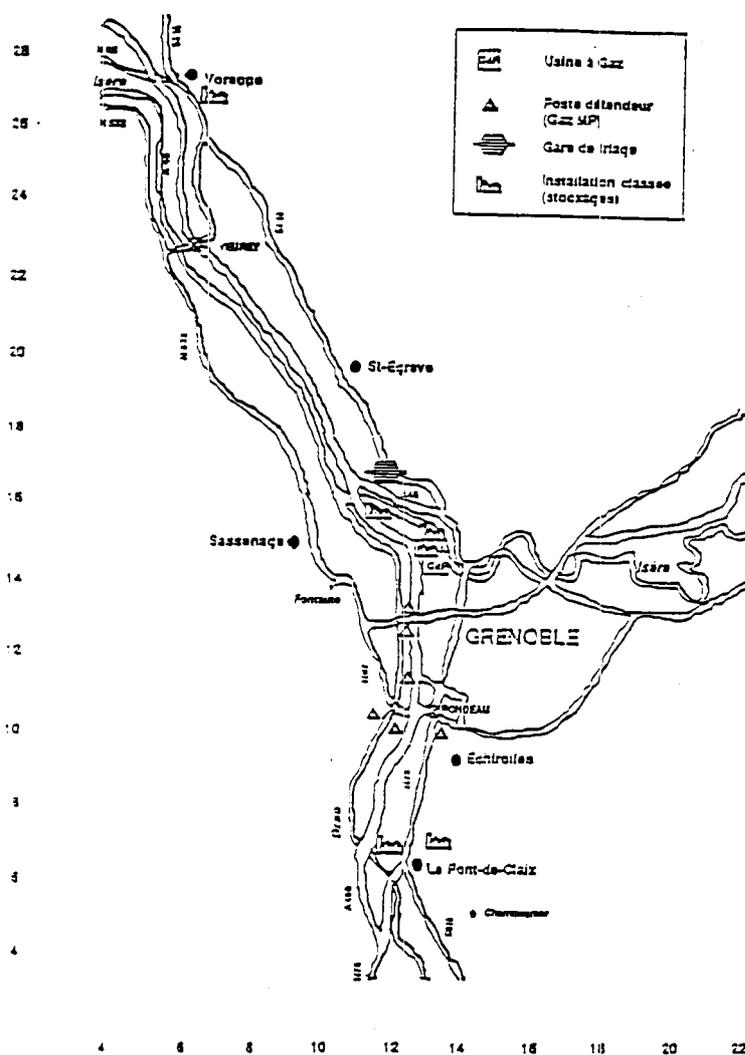
. Les recensements systématiques

Les transformateurs au pylône en font par exemple l'objet, de même que les sources de radiation (p.ex. irradiateurs à usage médical ou alimentaire).

. Les documents d'urbanisme

Les informations collectées par les réseaux nationaux sont identifiables à Paris mais ne rendent pas compte assez précisément des points sensibles. Les documents des municipalités fournissent par défaut des informations non négligeables permettant en partie d'identifier les risques. Le travail à effectuer est alors plus lourd, puisqu'au lieu d'exploiter simplement des listes, il faut confronter des documents qui ont des objectifs divers. A l'échelle d'une communauté urbaine, cette tâche est réalisable. Les travaux du CEPN effectués à Grenoble ont permis un repérage plus précis des sources potentielles de danger (fig7). Il reste que les servitudes ne sont pas conçues pour l'identification des risques et fournissent un matériel incomplet.

FIGURE 7 - SOURCES POTENTIELLES DE DANGER AUTOUR D'UN ITINERAIRE URBAIN (GRENOBLE)



II.2.3. Identifications basées sur des enquêtes

Un certain nombre de sources de risques ne sont pas recensées selon les modes énoncés ci-dessus. Leur recherche peut consister à "suivre" les produits dangereux, en repérant leur origine et leur cheminement : il s'agit d'un travail toujours beaucoup plus long et onéreux que l'approche précédente.

. Le repérage des usines et/ou circuits commerciaux

Du point de vue d'une connaissance précise des établissements industriels, de leur type de production et de leur localisation, indispensable à une première approche de leurs risques potentiels :

- il apparaît tout à fait impossible d'aboutir à une connaissance exhaustive et il n'existe pas d'organismes disposant de sources synthétiques à ce niveau.
- il y a un fort contraste entre l'importance des données et leur accessibilité concernant les grands établissements de la zone Fos/Berre ou du couloir de la chimie Lyonnais et le reste des installations et zones industrielles sur lesquelles il n'existe que des données fragmentaires, impliquant le recoupage de multiples sources quand la seule solution n'est pas bien souvent l'enquête directe auprès des entreprises (avec tous les problèmes que cela pose pour des unités de petite taille).

Du point de vue des interlocuteurs et des sources de données, il faut distinguer :

a) ceux qui peuvent fournir des données macroéconomiques ou générales par branche mais sans réelle possibilité de descendre jusqu'à une connaissance concrète des établissements :

- . INSEE, Observatoire Economique Régional
- . Etablissement Public Régional (en particulier l'équipe d'économistes qui lui est rattaché et qui publie la revue Dire)
- . Les institutions départementales, par exemple le Comité d'Expansion Economique des Bouches du Rhône.

b) La possibilité d'accéder à des données sur les établissements proprement dits qui passe essentiellement par les industriels et leurs organisations professionnelles.

Outre les fichiers nationaux des établissements industriels (fichier SIRENE INSEE, Dictionnaire des Industriels Français, Ministère de l'Industrie, Répertoire Général de la production française, annuaire industriel KOMPASS), la Chambre de Commerce et d'Industrie (celle de Marseille, celle d'Arles, celle de Lyon et la Chambre Régionale dont le siège est à Marseille) publie sur la

base de son fichier consulaire, du fichier INSEE et d'enquêtes auprès de ses membres un "Panorama de l'Industrie Régionale" qui constitue la source la plus complète sur les établissements avec une série de fiches (en 46 fascicules sectoriels) détaillant les caractéristiques (en particulier des types de production) des entreprises les plus importantes (p.ex. 692 établissements analysés pour les Bouches du Rhône en 1980).

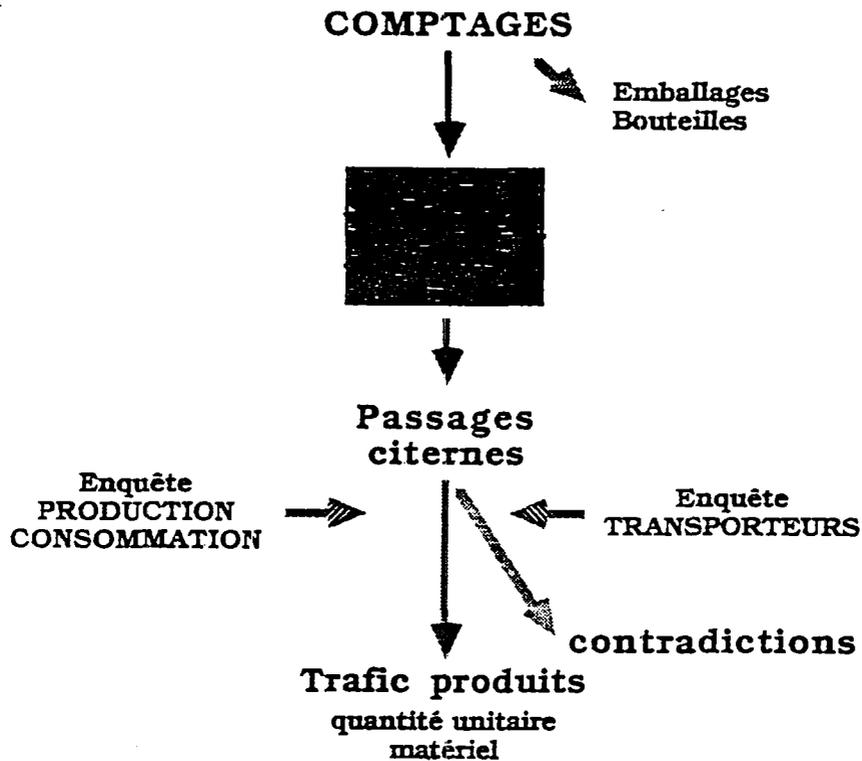
De plus, les syndicats professionnels de branches (en particulier l'Union des Industries Chimiques) constituent également une source de données irremplaçables sur les installations, procédés de fabrication et production.

c) Enfin, un certain nombre de laboratoires universitaires peuvent fournir des monographies plus ou moins détaillées sur certaines branches. En particulier :

- l'Institut Régional du Travail (UER de l'Université d'Aix-Marseille III) qui développe avec les organisations patronales et syndicales une recherche sur les conditions de travail et les nuisances professionnelles.
- Le Centre d'Etudes des Relations Sociales de l'Université d'Aix Marseille II.

Par ailleurs, les travaux de recensement des industries polluantes basés sur les Nomenclatures d'Activité et de Produits sont exploitables par recoupement, sachant que certains risques sont a priori associés à certains types de production (cf fig.8).

FIGURE 9 - EVALUATION DES PASSAGES DE MATIERES DANGEREUSES



. *Pour le Transport des Matières Dangereuses (TMD)*, on effectue des comptages au bord de la route, méthode à laquelle on adjoint une contre-enquête réalisée d'une part auprès des transporteurs (dont il existe environ une vingtaine pour le TMD, mais dont la base située parfois à l'étranger ne peut pas toujours être contactée), et d'autre part à partir des données économiques disponibles sur la zone considérée et des statistiques de consommation (produits pétroliers p.ex.). (cf.figure 9).

Ces enquêtes mettent en lumière des contradictions concernant les volumes de trafic. Dans les travaux du CEPN sur la région de Grenoble, une estimation a été faite à partir de l'ensemble des données et elle illustre les corrections à effectuer pour passer des comptages aux flux estimés (Tableau 12).

TABLEAU 12 - PASSAGE DES COMPTAGES AUX FLUX (Grenoble)

N° de plaque	Produit	Trafic observé				Trafic estimé		
		Sens S→N		Sens N→S		Volumens		
		Nord	Sud	Nord	Sud	sens		
Hydrocarbures liquides								
33	1203	Essence	25	74	41	66	70	2 sens
30	1202	Fuel domestique	9	10	5	8	--	Cfsup
30	1223	Produits pétroliers n.d.a.	1	2	1	1	--	Cfsup
GPL								
23	1965	Butane-propane	6	5	7	2	20	2 sens
23	1077	Propène	0	0	0	1	--	Cfsup
239	1010	Mélanges d'hydrocarbures en C4	1	1	2	2	--	Cfsup
Ammoniac								
268	1005	Ammoniac	0	0	1	1	1	2 sens
Autres liquides inflammables								
33	1114	Benzène	1	3	1	2	3	N→S
33	1993	Alcools, éther,...	0	1	0	0	0,5	?
33	1170	Alcool éthylique	0	2	3	1	3	?
33	1220	Acétate d'isopropyle	0	0	0	0	0	?
33	1245	Méthylisobutylcétone	0	1	0	0	1	?
33	1294	Toluène	7	1	0	0	7	S→N
33	1178	Ether butylique-éthyl	1	0	0	0	1	?
339	1247	Méthacrylate de méthyle	1	0	0	0	1	S→N
339	1917	Acrylate de méthyle	1	0	0	0	1	S→N
338	1221	Isopropylamine	0	1	0	2	2	S→N
33	1090	Acétone	4	7	4	7	7	S→N
33	1206	Heptanes	0	1	0	0	1	N→S
30	1207	Aldéhyde hexylique	0	0	1	0	1	S→N
30	1134	Chlorobenzène	3	4	2	3	4	S→N
30	1148	Diacétone alcool pur	1	1	0	0	1	S→N
30	1993	Acétate acétophénone	2	0	1	1	2	S→N

Gaz liquéfiés

22	1977	Azote liquide réfrigéré	7	11	7	7	7	N->S
286	1050	Chlorure d'hydrogène	0	0	1	1	1	S->N
22	1963	Hélium liquide	0	1	0	0	1	?
23	1049	Hydrogène comprimé	1	1	0	0	1	S->N
22	1951	Argon liquide	1	1	0	0	1	?
22	2187	Dioxyde de carbone	2	0	1	1	2	?
225	1073	Oxygène liquide	1	0	1	1	1	?

Matières combustibles toxiques et corrosives

85	1791	Hypochlorite calcium,...	3	6	8	6	6	S->N
80	1824	Lessive de soude	16	32	2	23	30	S->N
80	1802	Acide perchlorique	0	0	0	1	1	S->N
88	1777	Acide fluorosulfonique	0	0	0	2	2	S->N
80	1830	Acide sulfurique	2	1	3	3	3	?
80	1789	Acide chlorhydrique	0	3	5	2	4	S->N
80	2511	Acide chloro-2 propionique	0	1	1	1	1	S->N
80	1805	Acide phosphorique	1	1	1	1	1	S->N
80	1750	Acide chloro-acétique	0	1	0	0	1	S->N
83	2789	Acide acétique glacial	0	1	0	0	1	S->N
80	2582	Chlorure ferrique	0	0	1	1	1	S->N
80	1810	Oxychlorure de phosphore	0	0	1	0	1	S->N
80	1779	Acide formique	0	0	2	2	2	?
85	2014	Bioxyde d'hydrogène, solution, <60%	1	1	0	0	1	S->N
80	1809	Trichlorure de phosphore	1	2	1	2	2	S->N
80	1709	Toluène-diamine	0	0	1	1	1	?
80	1815	Chlorure de propionyle	0	0	0	1	1	S->N
80	2586	Acide arylsulfonique ou alkyl...	0	1	0	0	1	S->N
80	1749	Trifluorure de chlore	0	0	0	1	1	S->N
885	2032	Acide nitrique	0	0	0	1	1	?
886	1831	Cléum	1	2	1	1	2	?
559	2015	Bioxyde d'hydrogène, solution, >60%	2	8	5	13	12	S->N
50	1495	Chlorate de sodium	0	0	1	1	1	N->S
60	1710	Trichloro-éthylène	4	1	0	0	4	S->N
60	2078	Diisocyanate 2-4 de toluène	1	1	0	1	2	S->N
60	2021	Chloro-2-phénols	0	0	2	2	2	S->N
60	2250	Isocyanate de dichloro 3-4 phényl	1	1	1	1	1	S->N
68	2312	Phénol	4	1	2	1	3	S->N
60	2321	Trichlorobenzène(s)	1	0	0	1	1	S->N
60	2996	Pesticides organo-halogénés	0	0	1	1	1	S->N
60	1591	Dichloro 1-2, benzène	0	1	0	1	1	S->N
663	1098	Alcool allylique	0	1	0	1	1	S->N
68	2748	Chloroformiate d'éthyl	0	0	0	1	1	S->N

. Les stations services sont tenues en principe d'établir une déclaration auprès des municipalités.

. Les risques semi-domestiques sont par définition très difficiles à repérer. Ils recouvrent en partie la notion de Risque Accidentel Diffus : les réserves de chlore des piscines

municipales, les stocks de peintures etc... Sachant qu'il n'existe aucune obligation de déclaration d'existence de tels stocks, ou si de telles déclarations existent, elles sont disséminées dans plusieurs administrations, il est extrêmement difficile de circonscrire l'information autrement qu'en procédant à des enquêtes systématisées et très longues.

II.3. Identification des dangers et mécanismes

II.3.1. Analyse des accidents

Les principales causes des catastrophes sont, comme on l'a vu plus haut les incendies, les explosions, les bouffées toxiques.

Une distinction s'impose au sein de l'analyse du risque, entre les causes des catastrophes qui correspondent à des phénomènes physiques tels que ceux qui viennent d'être cités, et des phénomènes beaucoup plus aléatoires, dépendant d'un environnement donné (relief, déclivité, proximité des éléments vulnérables...) Dans le premier cas, il est envisageable d'effectuer des mesures permettant d'établir des scénarios et des modélisations d'accidents. Dans le second cas, on est en présence de phénomènes relevant moins de la modélisation physique, que statistique ou empirique.

II.3.2. Dangers associés aux produits

L'identification des dangers peut reposer sur des listes à caractère administratif, sur des banques de données, et enfin sur la modélisation. Un assez grand nombre de documents administratifs existent, classifiant les matières dangereuses en fonction de leurs dangers respectifs. La liste la plus complète et la plus utilisée est celle de la Règlementation des Matières Dangereuses : le produit est répertorié selon sa nature toxique, explosive, corrosive, radio-active, comburante.

. Les banques de données sur les produits, par exemple HST DB [16], contiennent toujours une rubrique "Disaster Hazard" permettant de connaître les effets d'un produit au-delà de ses propriétés immédiates (par ex : fumées toxiques dégagées au contact de l'eau). L'ouvrage "SAX" contient ces données simplifiées (cf. Encadré n° 2).

Encadré n° 2 - Types de données sur les dangers des produits diffusés dans les ouvrages spécialisés

Les données ci-jointes sont tirées de l'ouvrage SAX [17], l'interrogation d'une banque de données fournit des résultats similaires. On note le grand nombre de données de toxicité, difficile à interpréter, et un résumé critique sur les principales propriétés, et aussi les dangers en cas d'accident (p.ex. ici on décrit ce qui se passe quand le produit est chauffé).

EFT000

HR: 3

ETHYL ACRYLATE

CAS: 140-88-5

NIOSH: AT 0700000

DOT: 1917

mf: C₃H₅O₂ mw: 100.13

PROP: Colorless liquid, acrid penetrating odor. Bp: 99.8°, fp: < -72°; lei: 1.8%, flash p: 60°F (OC), 43.2°F d: 0.94; @ 20°/4°, vap press, 29.3 mm @ 20°, vap d: 3.45.

SYNS:

ACRYLATE d'ETHYLE (FRENCH)

ACRYLIC ACID ETHYL ESTER

ACRYLSAEUREAETHYLESTER

(GERMAN)

AETHYLACRYLAT (GERMAN)

ETHOXYCARBONYLETHYLENE

ETHYLACRYLAAT (DUTCH)

ETHYLAKRYLAT (CZECH)

ETHYL PROPENOATE

ETHYL-3-PROPENOATE

ETIL ACRILATO (ITALIAN)

ETILACRILATULUI (ROMANIAN)

NCI-C50384

2-PROPENOIC ACID, ETHYL ES-

TER

RCRA WASTE NUMBER U113

TOXICITY DATA:

eye-rat 1204 ppm/14H-I

eye-mky 1204 ppm/15H-I

skn-rot 500 mg open MLD

skn-rot 10 mg/24H MLD

eye-rot 45 mg MLD

eye-rbt 1204 ppm/7H

eye-gpg 1204 ppm/7H

mnt-mus-ivr 225 mg/kg

mna-mus:lym 20 mg/L

cyt-mus:lym 20 mg/L

msc-mus:lym 20 mg/L

cyt-ham:lng 9800 µg/L

inh-hmn TClO:50 ppm:

NOSE,EYE,PUL

ori-rat LD50:800 mg/kg

inh-rat LC50:2180 ppm/4H:

NOSE,EYE,PUL

skn-rat LDLo:1800 mg/kg

ivr-rat LD50:450 mg/kg

ori-mus LD50:1799 mg/kg

inh-mus LCLo:25 mg/m³/2H

ivr-mus LD50:599 mg/kg

ori-rbt LD50:400 mg/kg

inh-rbt LCLo:1204 ppm/7H

inh-gpg LCLo:1204 ppm/7H

CODEN:

JIHTAB 31,317,49

JIHTAB 31,317,49

UCDS** 12/14/71

JIHTAB 31,311,49

UCDS** 12/14/71

JIHTAB 31,317,49

JIHTAB 31,317,49

MUREAV 135,189,84

ENMUDM 8(Suppl

5),4,86

ENMUDM 8(Suppl

5),4,86

ENMUDM 8(Suppl

5),4,86

GMCRDC 27,95,31

34ZLAG -,75,69

BCTKAG 12,405,79

JTEHD6 16,811,35

PJ?PAA 32,223,80

AMPMAR 36,58,75

TOLED5 11,125,82

IGBA5 11,27,62

JDREAF 51,526,72

14CYAT 2,1879,63

JIHTAB 31,317,49

JIHTAB 31,317,49

IARC Cancer Review: Animal Sufficient Evidence IMEMDT 39,31,36; Animal Inadequate Evidence IMEMDT 19,47,79; Human Inadequate Evidence IMEMDT 19,47,79. NTP Carcinogenesis Studies (gavage); Clear Evidence: mouse, rat NTPTR* NTP-TR-259,36. Reported in EPA TSCA Inventory. Community Right To Know List.

OSHA PEL: TWA 25 ppm (skin)

ACGIH TLV: TWA 5 ppm: STEL 15 ppm (skin)

DOT Classification: Flammable Liquid; Label: Flammable Liquid

THR: Poison by ingestion and inhalation. Moderately toxic by skin contact and intraperitoneal routes. A suspected human carcinogen. An experimental carcinogen. Human systemic effects by inhalation: eye, olfactory and pulmonary changes. A skin and eye irritant. Oral administration of 0.42 gram or more per kg of body weight in rabbits resulted in fatal poisoning. Characterized in its terminal stages by dyspnea, cyanosis, and convulsive movements. It caused severe local irritation of the gastro-enteric tract; and toxic degenerative changes of cardiac, hepatic, renal, and splenic tissues were observed. It gave no evidence of cumulative effects. When applied to the intact skin of rabbits, the ethyl ester caused marked local irritation, erythema, edema, thickening, and vascular damage. Animals subjected to a fairly high concentrations of these esters suffered irritation of the mucous membranes of the eyes, nose and mouth as well as lethargy, dyspnea, and convulsive movements. A substance which migrates to food from packaging materials.

A very dangerous fire hazard when exposed to heat or flame; can react vigorously with oxidizing materials. Violent reaction with chlorosulfonic acid. To fight fire, use CO₂, dry chemical or alcohol foam. When heated to decomposition it emits acrid smoke and irritating fumes. See also ESTERS. For further information see Vol. 1, No. 2 of DPIM Report.

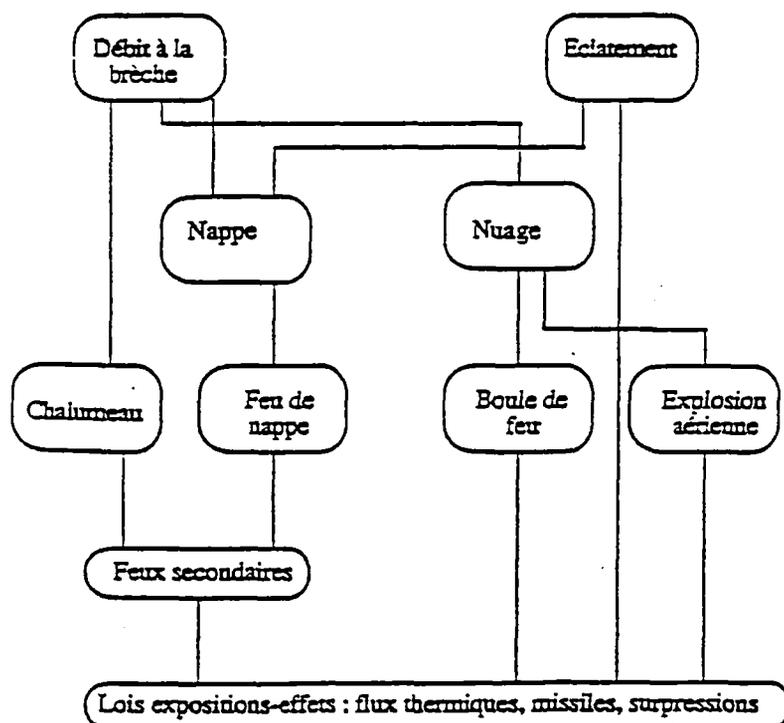
. Les modélisations théoriques

Des évaluations des conséquences d'un accident catastrophique ont été réalisées, constituant des approches-scénarios du problème. Les scénarios associés à des stockages ou à des transports dangereux sont décrits ci dessous ; ils suffisent à caractériser la majorité des accidents industriels.

. Les dangers du GPL

Les gaz de Pétrole liquéfiés, qu'il s'agisse de mélanges issus de la distillation du pétrole, ou de gaz précis comme le butane, le propane ou le propylène présentent des dangers similaires. Le risque associé à leur transport ou à leur stockage a fait l'objet d'études déjà classiques. Ils ont en commun d'être stockés à l'état liquide, à la température ambiante et donc sous pression. Les quantités varient entre quelques tonnes et la centaine de tonnes (sur la route on peut trouver 22 t dans un semi-remorque). Les pressions varient entre 5 et 10 bars (par ex. 8,2 bars pour le propane à 20 ° C, un peu moins de 3 pour le butane) et les citernes ont des épaisseurs de l'ordre du cm. De plus, ces produits ont en commun d'être inflammables. Les dangers sont donc liés aux effets de la surpression et de l'allumage, mais les séquences accidentelles sont nombreuses et la manifestation du danger peut prendre plusieurs formes. L'enchaînement des événements, à la suite de la rupture d'une citerne, peut être complexe et comporte en outre une assez grande part aléatoire (cf. figure 10).

FIGURE 10 - EVENEMENTS CONSECUTIFS A UNE RUPTURE DE CITERNE A HYDROCARBURE GAZEUX



Il peut y avoir un éclatement immédiat de la citerne, soit sous l'effet d'une défaillance mécanique (défaut initial du métal, assez rare ou impact dans l'accident), soit parce que la citerne a été prise dans un feu et que la pression interne a augmenté (relativement plus fréquent). L'éclatement s'accompagne d'une onde de pression, rarement importante, et de la projection de fragments et débris. Ces missiles, pour reprendre la dénomination usuelle, peuvent parcourir des distances de l'ordre du kilomètre. Un rayon d'action de 600 m environ est souvent avancé, avec, bien sûr, une probabilité assez faible d'être touché pour un individu se trouvant dans la zone. Ce phénomène est parfois appelé "BLEVE" (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). On parle aussi de "vaporisation explosive", car, lors de l'éclatement, une partie du liquide est instantanément vaporisée, le volume de la matière étant multiplié par cent. Lorsque l'éclatement a lieu dans un feu, la masse de gaz et d'aérosol s'allume immédiatement et donne naissance à une "boule de feu" qui va s'élever de quelques mètres et brûler quelques secondes, dégageant un flux thermique intense. La fraction du liquide qui n'est pas vaporisée va ensuite s'écouler, enflammée, entraînant d'autres dégâts et allumant des foyers secondaires d'incendie. Il s'agira alors d'un d'un feu de nappe liquide. S'il n'y a pas de feu antérieurement à l'accident, l'éclatement comme la brèche va donner lieu à la formation d'une nappe liquide et d'un nuage de gaz. Ces liquides étant en surchauffe dès qu'ils se retrouvent à la pression atmosphérique, une fraction va être instantanément vaporisée jusqu'à ce que le reste, refroidi, se retrouve dans un état d'équilibre thermodynamique. Cette fraction, le "flash adiabatique", varie entre 10 et 40 % (10 % pour le butane, 30 % pour le propane et le propylène, 39 % pour l'éthane). La masse de gaz dans l'air va ensuite augmenter lentement au fur et à mesure que s'évapore le liquide refroidi. Le nuage de gaz, en même temps se dilue. A l'origine, il ne comprend que très peu d'air, et le mélange est donc trop riche pour brûler en masse. Si un allumage précoce se produit, il brûlera par sa périphérie, donnant naissance à une "boule de feu" comme dans le cas de l'éclatement dans un feu. Si l'allumage est plus tardif, le mélange aura pu être dilué au point que les concentrations soient à l'intérieur des limites d'inflammabilité. La flamme peut alors se propager avec une célérité proche, voire (rarement) supérieure à celle du son et il y a "explosion aérienne". On parle aussi d'UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion). Si le délai d'allumage est plus grand encore, le nuage est suffisamment dilué pour n'être plus inflammable et il ne se passe rien. Alors que les effets thermiques sont prépondérants dans le cas de la boule de feu, les effets de surpression dominent dans le cas de l'explosion aérienne. Là encore, nuage et nappe liquide coexistent, l'allumage de l'un entraîne l'allumage de l'autre.

Dans le cas d'une brèche relativement petite, il va se former un jet de gaz, de liquide ou diphasique. Ce jet alimentera la nappe et le nuage, mais son allumage est toujours possible, donnant lieu à une flamme de type "chalumeau". Eventuellement la chaleur de cette flamme peut fragiliser la citerne et déboucher sur un scénario d'éclatement.

Quoique ces séquences soient nombreuses, et bien qu'elles mettent en jeu de nombreux phénomènes physiques, il reste que les mécanismes dangereux pour l'homme se résument à quatre ou cinq :

- L'éclatement, avec des projections de missiles ;
- La boule de feu, conduisant à des brûlures ;
- L'explosion aérienne, avec des effets de souffle en plus des effets thermiques ;
- L'écoulement de nappe en feu ;
- Le chalumeau.

A l'exception de la boule de feu et de l'explosion aérienne qui s'excluent mutuellement, ces événements peuvent se succéder. Il faut aussi tenir compte du fait qu'en milieu urbain ou routier, l'allumage de feux secondaires peut contribuer à accroître les risques. Ces phénomènes ont les ordres de grandeur suivants : on estime à une cinquantaine de mètres, le rayon mortel associé à une boule de feu et à une centaine celui qui serait lié à une explosion aérienne. Dans une zone d'un rayon environ deux fois supérieur, des décès peuvent aussi survenir chez des individus plus sensibles ou moins protégés. La possibilité d'une dérive du nuage avant explosion amène à considérer des distances de sécurité de 500 m ou plus. Le phénomène le plus fréquent est la boule de feu déjà survenue plusieurs fois en France. Le plus redouté est l'explosion aérienne, mais sa fréquence est environ dix fois plus faible, et les experts restent divisés sur la possibilité que soient mis en jeu les énormes potentiels énergétiques des hydrocarbures (avec un rendement de 10 %, 20 tonnes de propane auraient autant d'effet que 20 tonnes de TNT). Enfin, il faut souligner que la brèche ou même la rupture d'une citerne ne conduit pas nécessairement à la catastrophe. Ce n'est au plus qu'une fois sur dix que des conséquences sont à prévoir.

Les paramètres qui déterminent la gravité de l'accident sont essentiellement le débit à la brèche et les modalités (probabilité et délai) d'allumage. La probabilité a priori que la citerne soit prise dans un feu important est aussi un facteur déterminant, puisque l'explosion pneumatique et la boule de feu deviennent presque certains. Ces paramètres doivent être probabilisés, et certains des phénomènes physiques requièrent une modélisation qui comporte aussi une marge d'incertitude assez importante. Au regard de ces difficultés, on considère également comme négligeables les différences entre les produits. Des écarts entre chaleur de combustion, qui ne dépassent pas 10 ou 20 %, le sont assurément, mais il n'existe pas non plus de modélisation assez précise pour prendre en compte la variation des plages d'inflammabilité. Il est toutefois possible, dans le cas des boules de feu, de tenir compte des écarts entre les fractions vaporisées instantanément.

L'homme est soumis à trois types d'effets : la brûlure sur de larges surfaces du corps, l'atteinte par des projectiles (morceaux de la citerne ou débris d'immeubles ou d'arbres entraînés par une explosion) et enfin l'onde de surpression. La surpression est en fait rarement la cause du décès car, pour tuer un homme (éclatement des poumons), il faut des surpressions de l'ordre de 1 bar alors que les habitations sont totalement détruites vers 0,5 bar.

Les effets sur l'environnement sont en revanche très limités, hormis bien sûr la destruction par le feu d'immeubles, d'installations industrielles ou de forêts. Les risques d'effet domino (interaction avec des risques industriels ou stockages dangereux), spécialement dans des zones comme le Sud de Lyon, peuvent prendre une certaine importance. Les effets de type pollution sont négligeables. Une des caractéristiques des accidents mettant en cause des gaz liquéfiés, est que l'événement dangereux s'étale sur une durée très brève. Toutefois, la phase potentiellement dangereuse peut être assez longue (cas de fuite peu importante ou problème de manipulation suite à l'accident d'une citerne dont l'état est mal connu).

. Les dangers des hydrocarbures liquides

Qualitativement, les dangers associés aux hydrocarbures liquides (kérosène, essence, fuel, ...) sont les mêmes que ceux associés aux GPL. Ces produits, quoique liquides à la température ambiante, sont en effet volatiles et le déversement implique donc la formation d'un nuage de vapeur inflammable. Comme un nuage de gaz, ce nuage peut donner lieu à une boule de feu voire exploser. La reconnaissance de ce dernier danger pour les installations industrielles est relativement récente. Le désastre de Flixborough (cyclohexane, 1974 : 28 morts) en a mis en évidence la possibilité et, depuis, le recensement de ce phénomène dans les accidents industriels a permis de mettre en valeur un certain nombre d'événements. La véritable explosion aérienne reste rare, et il n'en existe pas d'exemple, semble-t-il, avec des transports d'essence par camion. En revanche la boule de feu se produit relativement souvent. Quand un camion citerne s'enflamme, une fois sur deux les témoins décrivent d'ailleurs une "explosion". Des bris de verre attestent aussi la réalité d'une onde de souffle, mais ces effets de surpression sont apparus, jusqu'à présent, comme très limités et ne sont pas compatibles avec l'hypothèse d'une déflagration relativement forte.

Les ordres de grandeur des distances associées à ces phénomènes sont plus faibles que dans le cas du GPL. Le rayon léthal associé à une boule de feu est inférieur de 20 % environ. En fait ce scénario n'est souvent pas pris en compte, dans la mesure où les effets de l'allumage brutal d'une nappe liquide sont à peu près les mêmes, sinon supérieurs (rayon léthal d'une quarantaine de mètres pour cinq tonnes répandues). L'explosion aérienne porte a priori sur des distances

plus petites (une trentaine de mètres), dans la mesure où les masses inflammables dans l'air sont plutôt inférieures.

Certaines études ont aussi considéré la possibilité d'explosion confinée, mettant en jeu les vapeurs qui restent dans une citerne vide non dégazée. En réalité, il n'est pas certain que ces phénomènes physiques bien définis soient les plus redoutables. Ce sont les scénarios avec écoulement et propagation d'incendies qui sont les plus inquiétants. L'essence peut couler vers des bâtiments vulnérables (école, hôpital, ...). Elle peut infiltrer les réseaux d'égouts ou d'évacuation des eaux. C'est ce qui s'est produit à Cannes, en 1981, et l'accident a été suivi d'explosions dans les égouts, suffisantes pour soulever des trottoirs et des véhicules, mais qui n'ont pas détruit les canalisations de gaz. C'était aussi le cas dans le village-rue de Belval, en 1985, où une quinzaine de maisons, heureusement pourvues d'issues côté jardin, ont été détruites. Un cours d'eau voisin a été en feu sur une distance de plus d'un kilomètre. Le rôle joué par la dispersion du liquide et la propagation du sinistre est ainsi plus important que dans le cas des GPL. Il n'est pas possible d'isoler des paramètres directement reliés aux conséquences comme précédemment (taille de la brèche, ...). Les caractéristiques détaillées de l'environnement jouent un rôle majeur. En conséquence, bien que les phénomènes physiques soient en eux-mêmes plus simples (le feu est mieux connu que l'explosion aérienne), la modélisation est plutôt plus complexe que précédemment.

Les atteintes à l'homme sont quasi exclusivement associées au flux thermique des incendies. Les atteintes aux installations voisines et à l'infrastructure sont assez importantes, et nettement plus fréquentes que celles à l'homme, car la phase "agressive" de l'accident dure assez longtemps (plusieurs heures) et les possibilités de fuite sont nombreuses. Les atteintes à l'environnement n'ont pas une ampleur considérable, les produits n'étant toxiques qu'à très forte concentration. Elles ne sont toutefois pas négligeables. La pollution des sols rend généralement les cultures inconsommables, celle des cours d'eau aboutit assez fréquemment à la mortalité des poissons sur quelques kilomètres. Enfin, des nappes aquifères peuvent être rendues inutilisables, au moins pour l'eau de boisson pendant des durées assez longues.

Les accidents mettant en cause les hydrocarbures liquides, bien que fréquents, font l'objet de moins de commentaires que ceux qui impliquent des gaz inflammables. Les conséquences usuelles en sont moins graves, mais la sensibilisation du public et d'une partie des responsables est moins grande. En France, on compte une cinquantaine de relâchements de ces liquides par an, donnant lieu à une vingtaine de pollutions et à environ cinq incendies sérieux. L'incendie fait approximativement une victime par an, généralement le chauffeur de l'ensemble routier. La relativement grande fréquence d'accidents "ordinaires" (1 à 5 morts au maximum) mettant en cause ces produits ne doit pourtant pas masquer le fait que ce type d'événement a un potentiel

catastrophique indéniable. En Inde, en 1985, une citerne routière d'essence a ainsi fait 60 victimes en s'enflammant. Plus récemment en RFA, l'accident de Herborn (7 juillet 1987) a causé la mort de 6 personnes et détruit un pâté de maisons, dont l'une a été soufflée par une explosion, sans que les rôles de l'essence et du gaz fuyant des canalisations soient faciles à départager.

. Les dangers des gaz toxiques

Les gaz toxiques transportés à l'état liquide sous pression sont relativement peu nombreux sur la route, et leur trafic est réduit; en revanche, le trafic ferroviaire est assez important et les stockages assez nombreux. Le chlore et l'ammoniac qui sont effectivement les principaux gaz toxiques transportés en citerne, sont stockés et transportés à des pressions de l'ordre de 6 à 8 bars.

Les événements dangereux sont essentiellement liés à la formation d'une brèche, voire à l'éclatement de la citerne (20 t environ sur route, 50 t sur le rail, et de volume très variable pour le stockage). Ce dernier phénomène peut se produire en cas de feu, et on peut observer alors l'explosion pneumatique de la citerne (observée en France à Auriac, avec des conteneurs d'anhydride sulfureux). Il peut être associé à un choc violent (cf. Houston, en 1977, où un semi-remorque citerne était tombé du haut d'un échangeur). Les relations physiques qui régissent la formation, la dérive et la dispersion du nuage de gaz sont les mêmes que celles qui ont trait aux GPL. La modélisation peut toutefois différer dans la mesure où les ordres de grandeur sont différents. Les limites d'inflammabilité sont de l'ordre du pour cent, alors que les concentrations intéressantes en toxicité peuvent descendre au pour cent mille.

Le principal paramètre qui influe sur la gravité de l'accident est avant tout la taille de la brèche, quoique si celle-ci atteint la taille du trou d'homme, on se retrouve dans une situation analogue à celle de l'éclatement. Cependant les conditions météorologiques jouent aussi un rôle. La vitesse du vent agit sur la distance maximum à laquelle on peut observer des effets, tandis que la plus ou moins grande stabilité de l'atmosphère conduit à des surfaces affectées plus ou moins grandes. Les échelles de temps mises en jeu sont intermédiaires entre celles relatives aux GPL et celles relatives aux carburants liquides, et il est possible, de ce fait, de supposer que les individus ont une possibilité de fuir. L'efficacité du comportement de fuite reste malgré tout contestée, à cause, par exemple, de l'augmentation du débit respiratoire et aussi des erreurs observées dans les comportements de victimes d'accidents.

L'atteinte à l'homme est de loin le risque principal associé à ces accidents. Certains effets sur la faune et la flore sont aussi possibles. Dans le cas de certains produits, d'autres dangers sont toutefois à considérer. Pour l'ammoniac par exemple, l'inflammation ou l'explosion est

possible, bien qu'elle ne semble pas avoir joué de rôle important dans les accidents, mais le produit a aussi des propriétés corrosives. En cas d'atteinte d'installations industrielles ou d'autres équipements comportant des systèmes électroniques, la question de la fiabilité des systèmes se poserait. Pour des installations sensibles, on estime que le risque de défaillance au passage du nuage est négligeable, mais que les systèmes jouant un rôle dans la sûreté devraient être changés.

L'ordre de grandeur des conséquences de ces accidents dépasse largement celui qui est associé aux GPL. Dans le cas du chlore, la surface létale pourrait approcher le kilomètre carré, et des vents assez forts peuvent amener la zone dangereuse à s'allonger sur deux ou trois kilomètres. Pour l'ammoniac, les effets se feraient sentir sur des distances environ 4 fois plus faibles et des surfaces plus de 10 fois moins larges.

L'examen de recueils d'accidents, contrairement aux deux cas précédents, ne permet pas de mettre en évidence des accidents aussi sévères que ceux qui sont théoriquement possibles, du moins dans les transports. De même que les conséquences, la rareté des événements ressort aussi d'ordres de grandeur différents. Au cours des quinze dernières années, l'accident de transport de chlore ayant fait le plus de victimes (28), s'est produit à Montana au Mexique, en 1981, et l'on ne trouve pas trace d'accidents routiers avec victimes. Il en va autrement de l'ammoniac, pour lequel des accidents routiers ont été recensés. Aux Etats-Unis, à Houston en 1977 (5 morts) et en France en 1968, à Liévin (6 morts), les conséquences ont été assez importantes. Dans le monde l'ordre de grandeur de la fréquence d'accidents est de 1 par an.

. Les dangers des liquides toxiques et corrosifs

Il peut paraître curieux de regrouper sous un même rubrique deux types de risque différents. Cependant, des points communs nombreux justifient partiellement ce rapprochement. Les citernes ont des capacités et des conceptions très proches. Les modes de propagation du risque sont les mêmes : contact direct ou étroite proximité, contamination des eaux et des sols. Enfin et surtout, il est rare qu'un produit soit corrosif sans présenter de caractère toxique, la réciproque étant aussi possible. En revanche, dans cette catégorie coexistent des "grands produits" (lessive de soude, acide sulfurique, acide nitrique, eau oxygénée,...) manipulés en grande quantité et assez bien connus des services d'intervention, et des produits assez rarement utilisés. De plus, nombre de produits présentent des dangers multiples, pas toujours bien connus, ni reconnus par les numéros de dangers. Ce sont ces produits qui posent des problèmes sérieux d'identification de la matière et d'appréciation des moyens d'intervention (eau ou non, types de mousses...).

En cas d'épandage, les phénomènes physiques à considérer sont assez simples. Les principaux sont le débit de fuite, l'écoulement du liquide, l'évaporation et la dilution. Ils sont à estimer en fonction d'une gamme très large de dangers et de dommages possibles. Pour l'homme, le décès peut survenir à la suite de la mise en contact direct avec le liquide. C'est le cas des produits corrosifs, mais aussi des substances toxiques par voie cutanée (acrylamide, par exemple). Les étendues mises en jeu n'étant pas considérables, le risque d'accident majeur n'est pas très important. En revanche, le risque de brûlure, et donc de blessures irréversibles, est assez important. C'est ainsi qu'aux Etats-Unis, l'acide sulfurique est la première des matières à occasionner des blessures. L'inhalation de vapeurs peut aussi conduire à des décès dans un délai assez bref. Ceci n'est d'ailleurs pas toujours le cas des liquides toxiques mais s'observe en revanche avec les liquides corrosifs. Par exemple, sur l'échantillon de produits transportés à Lyon, les vapeurs dangereuses sont presque aussi souvent à craindre avec les liquides corrosifs qu'avec ceux qui sont toxiques. La toxicité la plus fréquente est la toxicité à l'ingestion. Pour des produits comme le chlorure de méthylène, l'acrylamide, le bifluorure de sodium et la méthylènedianiline transportés avec des capacités unitaires de l'ordre de la dizaine de tonnes, l'ingestion de quelques dizaines de grammes voire quelques grammes est létale.

Malgré cela, on peut considérer que les vies humaines ne seraient que très improbablement en danger (cf. ingestion de toxiques) et que le dommage d'un grand déversement est avant tout écologique et économique. L'ingestion implique en effet la consommation d'eau de boisson ou d'aliments, alors que l'on dispose du temps nécessaire pour prendre les mesures, ainsi que des moyens d'en contrôler l'efficacité. Bien que les conséquences pour la santé soient ainsi maîtrisables, la pollution des cours d'eau, des nappes aquifères et des cultures peut causer des pertes importantes. Que le produit soit corrosif ou toxique, les poissons survivent rarement. Il faut ensuite détruire des cultures, voire condamner des alimentations en eau de boisson et parfois en eau d'arrosage ou d'irrigation. Les conséquences financières sont alors importantes, d'autant plus que la persistance du produit est longue.

Enfin, les possibilités de dégâts matériels directs aux installations ne sont pas à écarter. La pollution du port de Marseille par de la soude n'a pas été sans conséquence. Les points les plus sensibles sont les systèmes de captage qui peuvent se retrouver soudain en prise sur un réseau dont l'eau est devenue anormalement acide ou basique.

Encore une fois, l'analyse du risque fait intervenir un certain nombre de scénarios. Il s'agit d'appréhender un environnement mal connu, dont la sensibilité est très variable, les secteurs sensibles pas toujours identifiés, non plus que les voies de transfert. Il faut aussi considérer les

scénarios où le feu intervient. Beaucoup de matières ont, en effet, des produits de décomposition ou de combustion bien plus nocifs que le produit initial. Les paramètres prépondérants vont ainsi être : la volatilité pour les toxiques à l'inhalation et la dégradabilité pour les toxiques à l'ingestion. En parallèle, l'environnement joue un rôle majeur, qu'il s'agisse du milieu naturel ou des réseaux (égouts, évacuation des eaux,...). La présence de feu influe considérablement sur l'ordre de grandeur mais aussi sur la nature du danger.

. La pollution des eaux

Ainsi, les accidents avec pollution de l'eau (produits toxiques, ou hydrocarbures), sont difficiles à décrire. Les phénomènes, sans être fondamentalement plus complexes en tant que phénomènes physiques qu'une explosion aérienne ou un feu, font intervenir des paramètres plus nombreux, et leur déroulement dépend fortement des circonstances. Deux étapes sont à distinguer. La première consiste à identifier les modes de déversement et le circuit du polluant avant atteinte d'une cible (cours d'eau, nappe...). Le problème ne tient pas à la modélisation physique des phénomènes, mais à l'identification des voies de pénétration et à l'estimation des probabilités (cf fig 11). Ensuite, la question de la migration dans les sols, du transfert et de la diffusion dans les nappes ou les cours d'eau, nécessite la mise en oeuvre de modèles physiques, et surtout le recueil des données adéquates sur la zone. Une difficulté vient d'ailleurs de l'impossibilité d'utiliser des valeurs de paramètres ayant une portée générale (cf fig12).

FIGURE 11 - SCHEMA DES MECANISMES DE CONTAMINATION LORS D'UN DEVERSEMENT LIQUIDE

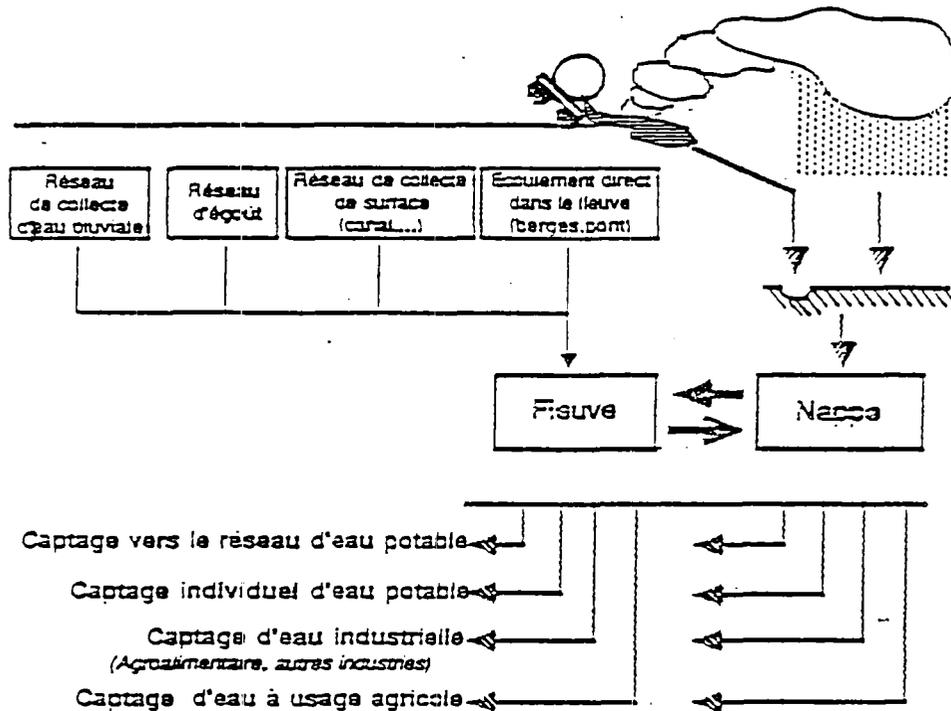
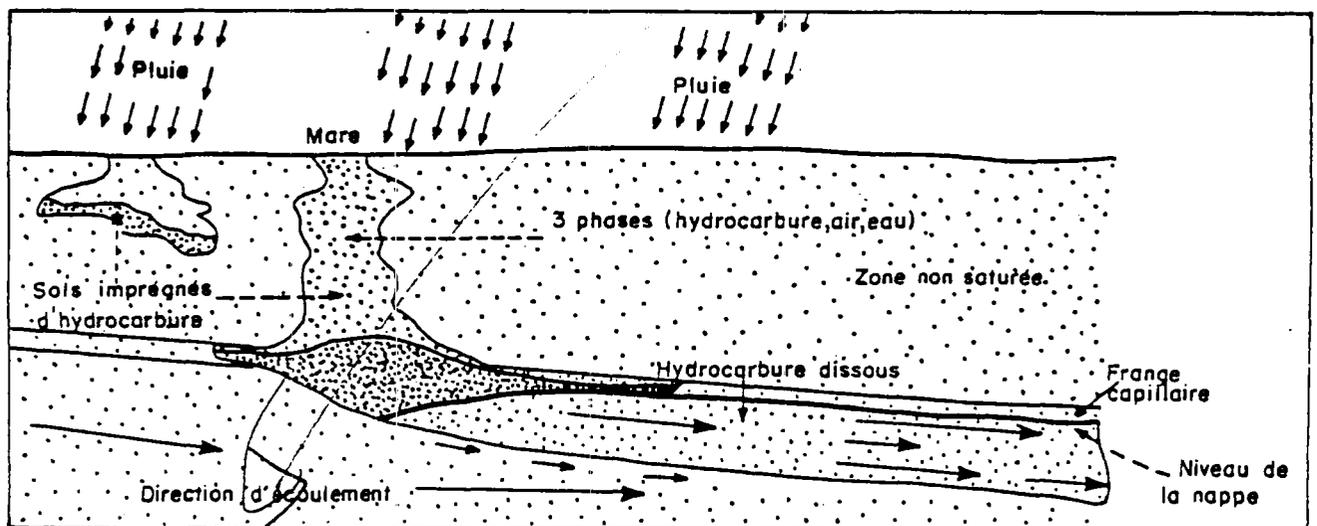


FIGURE 12 - MECANISMES DU TRANSPORT D'HYDROCARBURE APRES DEVERSEMENT



III. IDENTIFICATION DES CIBLES

Dans la plupart des zones à étudier, en particulier dans les grandes communautés urbaines, il est possible de se reposer en partie sur des analyse de type "pollution chronique" qui donnent des informations très précieuses sur la vulnérabilité habituelle des cibles. Cependant, ces observations ne peuvent suffire car les mécanismes particuliers de l'accident (forte intensité et faible durée) peuvent affecter des systèmes (constructions humaines ou écosystèmes) insensibles à des effets chroniques. Le dépassement de certains seuils peut changer le type d'effet (par ex.toxicité aiguë) ou les mécanismes physiques (phénomènes de saturation et de tamponnement qui cessent d'être possible, polluant qui cesse d'être passif). L'analyse de la vulnérabilité des cibles en cas d'accident nous oblige en fait à reconsidérer la classification des produits et des mécanismes. A son tour, l'examen des vulnérabilités et mécanismes d'atteinte des cibles en cas d'accident obligera à reconsidérer les classifications faites sur les sources de danger et les produits dangereux, selon le jeu de va-et-vient invoqué précédemment (chapitre I).

III.1. Atteintes à l'homme

III.1.1. Mécanismes mettant en danger la santé humaine

Traditionnellement on considère que l'homme est menacé dans les accidents soit à cause directement de l'énergie mise en jeu dans les chocs ou les explosions (projection des corps dans une explosion, impact de structures ou de débris) soit à cause de l'effet thermique (brûlures dans les incendies classiques ou lors de "boules de feu"), soit à cause des effets corrosifs, toxiques, ou cancérogènes de substances entrant en contact avec le corps humain. Dans ce dernier cas on distingue les risques en fonction des voies d'exposition : inhalation, ingestion, transcutanée etc... Dans tous les cas, il faut considérer le fait que les individus réagissent différemment (cf. I.2.4.) et un recensement spécifique doit être effectué pour repérer les populations sensibles.

Ces considérations dessinent les grandes lignes de l'identification des "cibles" en ce qui concerne l'atteinte de l'homme ; elles permettent aussi d'éliminer certaines voies d'atteinte que l'on juge peu plausibles. Ainsi qu'il a été signalé, la principale de ces éliminations est celle de la voie orale en ce qui concerne la toxicité associée aux accidents. A part quelques cas isolés, on peut raisonnablement supposer que l'eau de boisson et les aliments ne peuvent être une source de danger important. Le temps de réponse des systèmes de distribution, ou le délai de diffusion

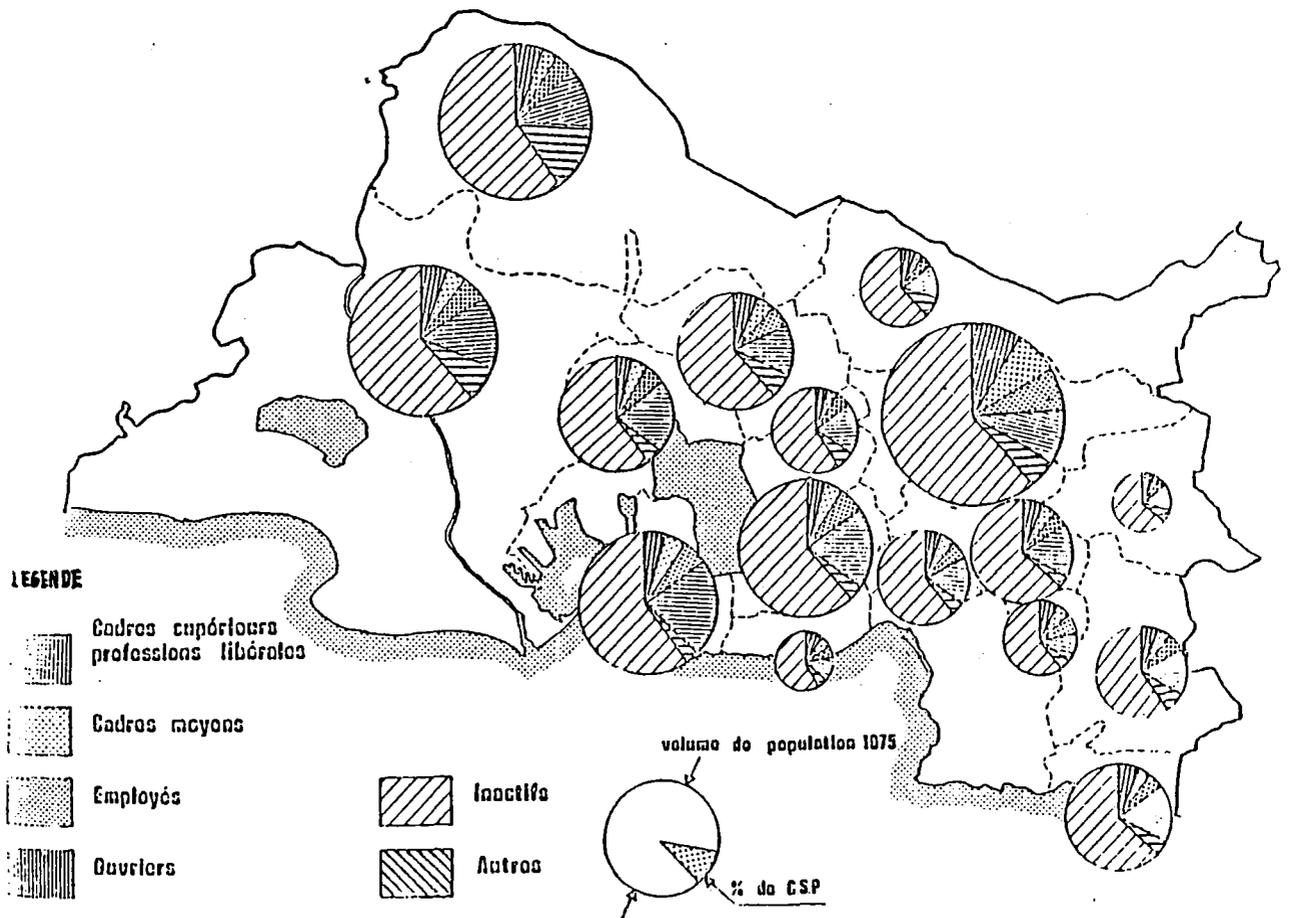
de l'information sur l'accident est en effet très bref au regard du temps de transfert d'un polluant vers l'eau ou les aliments. Par voie de conséquence, les rejets de liquides toxiques et la contamination de l'eau ne sont pas à prendre en compte ici. La question sera posée, mais plutôt sous l'angle économique : perte d'une ressource en eau, à court terme ou même, d'ailleurs, à moyen ou long terme.

III.1.2. Populations exposées

L'objectif est de recenser les populations exposées. Ce recensement, opération en soi facile, pose quelques problèmes : celui de la distinction à faire entre les populations résidentes et les populations de travailleurs. Ceci sous-entend la prise en compte des migrations quotidiennes entre le lieu de travail et le lieu de résidence. Certaines populations posent un problème de recensement en lui-même : par exemple la concentration des usagers de la route (données disponibles : statistiques de la circulation du SETRA au Ministère des Transports).

En France, il est possible d'accéder à un niveau très fin de localisation des populations grâce au recensement national, mais ce niveau n'est à utiliser que dans des études fines de sites. En effet, la question est ici de choisir dans le recueil des données une précision, adaptée aux échelles de phénomènes. Trop de précision, sachant que les personnes se déplacent dans un certain rayon, est illusoire. A grande échelle, les données "par îlot" sont donc peu pertinentes et des plus difficiles à manipuler. On note toutefois que la proportion d'inactifs reste toujours très forte (plus de 50 %), l'hypothèse de zones résidentielles se vidant complètement aux heures de travail est à écarter (cf.figure 13). A partir du fichier existant pour chaque commune, il est possible de développer des "maillages" et de bâtir l'étude à partir de ceux-ci. Par exemple, à l'échelle régionale, dans les travaux de Grand Delta, les données du fichier européen, ("maillage" de 10x10 km, à l'origine développées pour EURATOM/CCE) ont pu être utilisées. Cette échelle est suffisante pour rendre compte de l'hétérogénéité du peuplement puisque les densités s'étalent sur trois à quatre ordres de grandeur dans cette grille. A l'échelle d'une ville, cette approche par mailles a été adoptée également dans des études du risque accidentel [18] [19], où la distinction a pu être réalisée entre employés et résidents ; cette fois-ci, le maillage était de 1 km sur 1 km (cf.figure 14).

FIGURE 13 - STRUCTURE DE LA POPULATION PAR ZONES ET CATEGORIES SOCIO-PROFESSIONNELLES (DELTA DU RHONE) sce INSEE



III.1.3. Sensibilité des populations

Le but est de définir la sensibilité moyenne des populations, grâce à l'identification des populations sensibles regroupées, soit de par leur nature, soit de par leur environnement.

Il convient d'évaluer les protections offertes par les habitations. L'efficacité des protections dépend de la zone d'exposition à cause du type d'habitat et de la température. Ces protections ont été évoquées essentiellement pour les gaz toxiques. Il existe très peu d'études générales [20] [21], alors qu'il est très fréquemment question d'un "facteur de protection". L'essentiel de la protection est lié au coefficient de renouvellement d'air dans les habitations, ateliers, bureaux et hopitaux (respectivement de l'ordre de 1, 4, 5 et 10' renouvellement par heure selon [21]). Il est donc préalablement nécessaire de connaître la nature de l'habitat, et de corrélérer cette analyse aux données disponibles sur les pollutions "indoor" et "outdoor". En dehors des travaux de "Grand Delta", aucun travail spécifique ne peut aujourd'hui servir valablement de source pour cette étude [22].

Le repérage des individus sensibles constitue le second volet d'observation. En dehors de certains regroupements d'individus particulièrement vulnérables (écoles, hôpitaux, hospices), tout regroupement d'individus constitue en soi un facteur de risque : tous les lieux publics, en particulier les centres commerciaux sont donc à considérer. Ces lieux sont par nature des structures fragiles, mais pour lesquelles il existe cependant des dispositions de sécurité. Les documents d'urbanisme des communes fournissent de telles données. Par exemple : il est possible d'identifier, au travers des documents d'urbanisme, les points à sensibilité accrue le long d'un itinéraire où circulent des Matières Dangereuses (cf.figure 15).

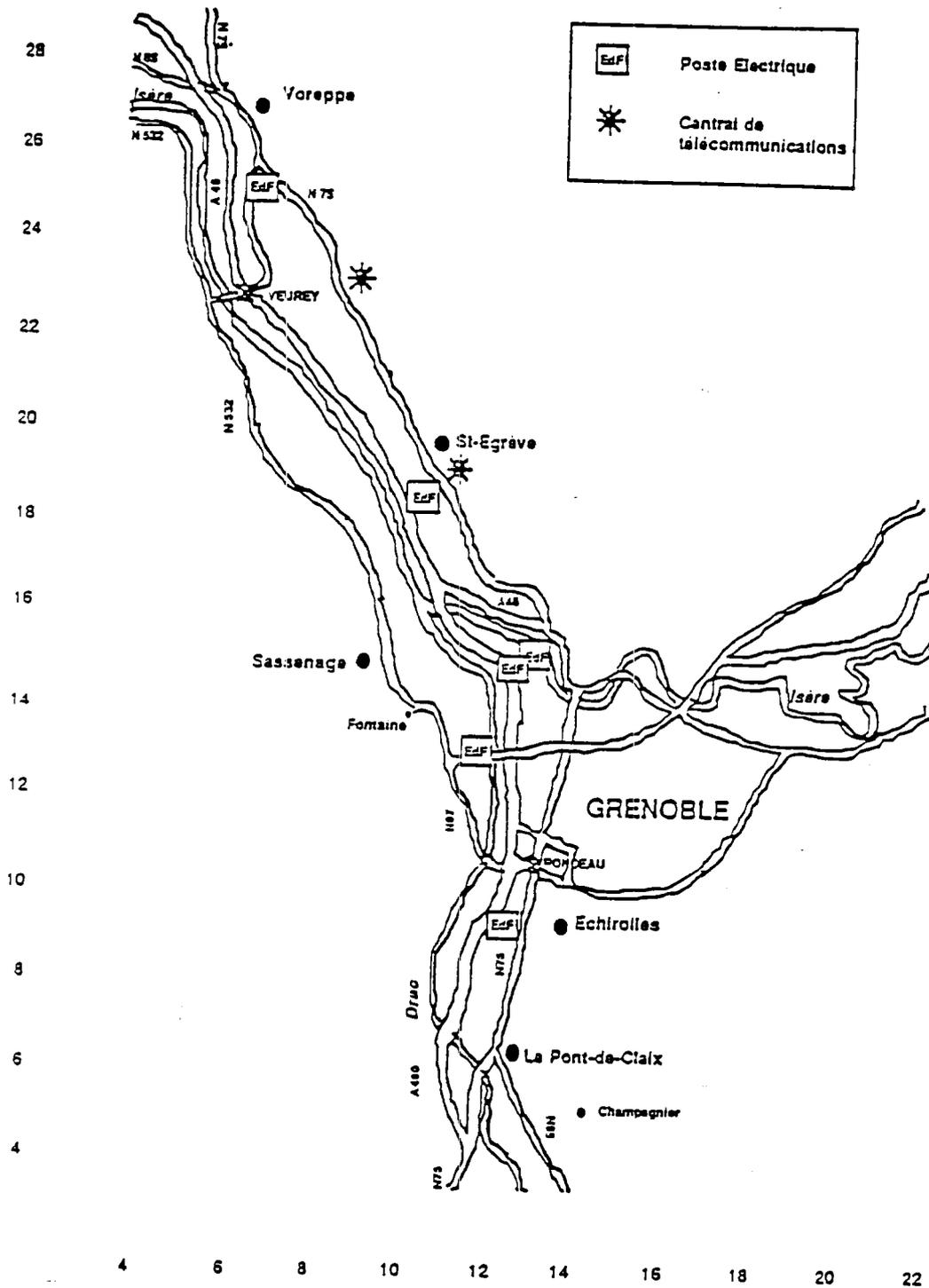
Pour quantifier, des identifications de groupes de populations sont également possible grâce à l'intermédiaire des "inventaires communaux" (issus du recensement), leur utilisation pose quelques problèmes évoqués plus haut . A partir de ceux-ci, on établit des "pourcentages de population par maille".

III.1.4. Vulnérabilité des zones

Le terrain d'observation n'est plus l'individu lui-même ou sa protection immédiate mais l'examen de ce qui peut fragiliser le tissu urbain lequel, en cas de catastrophe, peut contenir un potentiel d'amplification des conséquences.

Il s'agit d'un domaine mal connu; peu d'études existent actuellement sur la vulnérabilité d'un système urbain (la ville de Poitiers est une exception). La liste des éléments à examiner est incomplète, et les conséquences des défaillances sont mal connues. Les sources de données se trouvent essentiellement au niveau de la commune : définition des servitudes et plans des réseaux publics. Par exemple, l'étude à Grenoble n'a pu être que sommaire dans ce domaine : elle est axée sur les réseaux d'électricité et de téléphone public, et ne comprend pas l'analyse de réseaux spéciaux. Parmi les conséquences peu connues dues aux réseaux, on peut dans le cas de l'eau se poser la question de savoir s'il existerait un impact sur la sécurité en cas de perte de l'alimentation (par ex: conséquences sur l'alimentation des bornes d'incendie, refroidissement de centres informatiques, de procédés industriels ...?).

FIGURE 16 - INSTALLATIONS VULNERABLES AUTOUR D'UN ITINERAIRE URBAIN (GRENOBLE)



III.1.5. Effets domino

Les cibles peuvent aussi être les sources de danger elles-mêmes, lorsque leur défaillance peut être causée par un accident extérieur. A cause de cette possibilité d'accidents en chaîne, appelée *effet domino*, les installations industrielles et les autres équipements dangereux sont à considérer à la fois sous les deux angles. S'agissant d'un site industriel, même constitué de plusieurs installations, cet effet est sinon rendu impossible, du moins pris en compte dans la conception de la sécurité des installations. Si la présente étude ne considérait que les installations industrielles classées comme dangereuses et soumises aux prescriptions correspondantes, il n'y aurait pas lieu d'effectuer un développement spécifique.

La question est ici importante à cause de la juxtaposition des sources de dangers relevant de réglementations différentes et gérées par des acteurs économiques ou politiques appartenant à des sphères éloignées. On peut alors citer les possibilités d'interaction entre installations industrielles et transport de matières dangereuses ou réseaux de gaz de ville ou pipe-lines ou barrages hydro-électriques etc...

Il semble que la principale interaction à prendre en compte est celle associée au Transport des Matières Dangereuses. Les données permettant d'identifier les installations ou équipements susceptibles d'être affectés sont les mêmes que pour l'identification des sources : listes nationales d'installations classées et tracés de pipe-lines, ou documents d'urbanisme. Quelques éléments fournis ci-après permettent d'approximer des distances d'interaction. On peut alors utiliser le repérage des installations et équipements susceptibles de donner lieu à impact secondaire (cf l'exemple de Grenoble fig 7 ci-avant).

Toute généralisation en la matière est un peu hâtive, et c'est installation par installation que doivent être estimés les mécanismes d'atteinte. Néanmoins certains points communs sont à souligner.

Le premier mécanisme est l'atteinte du personnel de conduite. Il est commun à toute installation pilotée, car il est très peu fréquent que l'intervention de l'homme ne soit pas nécessaire pour la sécurité. Pour les installations industrielles, le point est parfois abordé dans les études de danger ou de sûreté. C'est toutefois l'exception. Par rapport aux défaillances techniques, la carence du pilotage, cas extrême de la défaillance humaine, est sous-étudiée. Sur les installations proches d'un itinéraire, un tel mécanisme fait très rarement l'objet de scénarios publiés. Hors des

installations du type "installations classées", les données sont moins nombreuses encore. Il faut aussi songer à inclure parmi les cibles les moyens de transport comme le chemin de fer, où l'état d'inconscience ou la mort d'un conducteur ou d'un aiguilleur, par exemple, est lourde de conséquences.

L'estimation des probabilités d'atteinte renvoie ici directement à celle de l'atteinte des individus, ceux-ci étant parfois mieux protégés que la moyenne, parfois moins. Ce sont essentiellement les gaz toxiques qui sont ici en cause, dans la mesure où, avec les autres phénomènes, les structures sont souvent détruites avant que les individus ne soient en péril. Les distances d'interaction peuvent ici dépasser le kilomètre.

La destruction des structures est le deuxième mécanisme d'atteinte. Il est plus souvent pertinent que le précédent, car les structures "dormantes", sphères et réservoirs de stockage ou pipe-lines sont alors susceptibles d'être détruites, de même que les parties correspondant à des procédés en fonctionnement. Les phénomènes principaux sont ici l'explosion aérienne d'un nuage gazeux avec ses effets de surpression, le feu de nappe avec les possibilités de propagation ou d'éclatement des réservoirs, et, enfin, les missiles liés à l'éclatement de citernes, par exemple. Si les probabilités restent difficiles à cerner, certaines distances critiques peuvent être mises en valeur. A 500 m, les débris d'une citerne éclatée peuvent garder une énergie notable. Pour les explosions, on estime que les dégâts aux bâtiments sont très faibles pour un pic de surpression de 20 mbar, valeur qui peut être cependant forte pour des structures légères comme certains réservoirs. Pour un pic de 50 mbar, les dégâts seraient importants et c'est la valeur retenue pour le dimensionnement des réacteurs de puissance d'EDF. Pour 20 mbar, les distances correspondant à la rupture d'une citerne de 20 t (resp. 8 t) peuvent être estimées à environ 1600 m (resp. 1200 m). A 50 mbar, elles sont encore de 630 m et 450 m, valeurs supérieures à celles associées à la mortalité directe, même au seuil 10 %. Si la perte de l'intégrité d'une structure (étanchéité passage de tuyaux, etc) peut commencer à ces valeurs, c'est plutôt vers 200 mbar que la destruction franche s'observe pour des distances qui sont d'environ 200 et 150 m en reprenant les hypothèses précédentes. Ces distances sont estimées à partir du centre de l'explosion ; s'il se produit une dérive, cas moins fréquent mais observé, il faut ajouter une distance qui est fonction de la vitesse du vent. Sauf pour un très important rejet continu (pipeline) 60 secondes semblent un délai maximum pour obtenir l'allumage, quand il a lieu, avant dispersion en milieu urbain ou sur route fréquentée, et une distance supplémentaire de 300 m est déjà très pessimiste. Pour l'incendie par boule de feu et nappe d'hydrocarbure, les distances sont nettement plus faibles, de l'ordre de 25 à 50 m pour les dégâts majeurs dûs à une boule de feu et variables avec les écoulements pour les feux de nappe.

On peut alors définir 3 zones : 0 à 50 m où tous les effets sont possibles, 50 à 200 m où les effets d'une explosion sans dérive seraient importants, 200 à 500 m où ces effets peuvent affecter certaines installations fragiles, ou toutes en cas de dérive, et où, encore, les missiles peuvent tomber en cas d'éclatement. Ces frontières sont, comme souvent dans ces cas là, un peu arbitraires et comportent un jugement de valeur sur la plausibilité des scénarios. La hiérarchie est cependant robuste. Si certains calculs sont majorants (par exemple, rendement d'explosion, de 10 % pour des pics de surpression forts), certains phénomènes sont négligés comme l'effet directif (murs, levée de terre...) ou la possibilité d'explosions confinées dans les bâtiments.

Un dernier mécanisme d'atteinte est plus indirect. Il s'agit de la mise hors service d'une fonction essentielle au fonctionnement sûr de l'installation. Souvent la perte d'alimentation en eau de refroidissement est dangereuse. Souvent aussi, la perte d'alimentation électrique met en péril un procédé, éventuellement parce qu'elle fait perdre la fonction précédente. Enfin, la perte des circuits contrôle-commande est à envisager. Dans les installations à haut niveau de risque potentiel, les fonctions sont généralement doublées, et les délais entre dégradation et accidents peuvent être longs. Pourtant, un accident à l'extérieur reste à redouter, dans la mesure où en tant qu'événement externe, il agresse plusieurs fonctions à la fois, y compris les opérateurs. La possibilité d'un "mode commun" prenant en défaut la logique de sûreté du système est donc à considérer. Les scénarios accidentels agressant les structures sont à réexaminer ici, à propos d'éléments particuliers comme les stations de pompage. D'autres s'y ajoutent, pourtant moins redoutables à priori. Les déversements de produits corrosifs peuvent aboutir à une prise d'eau de refroidissement, en rivière avec des délais courts, ou par la nappe, avec des délais très longs. Des produits comme la soude, peu dangereux directement, peuvent ainsi avoir un impact sévère. Ces mêmes produits peuvent aussi détruire les câbles électriques. Il existe des établissements alimentés par des câbles situés dans les caniveaux bordant les chaussées. De tels liquides peuvent ainsi endommager tous les câbles associés à la télédétection, aux alarmes en général et aux commandes. De même, un effet souvent négligé pour beaucoup de gaz toxiques est la corrosion ou l'attaque de gaines de circuits électriques.

Ces cas constituent des exceptions à la règle mise en avant ci-dessus puisque c'est ici le seul domaine où l'on peut considérer que les épandages de liquides corrosifs peuvent avoir un impact autre qu'économique ou écologique. Compte tenu des modes de propagation, la définition des distances d'interaction, même grossières, est délicate. Le long des cours d'eau, quand le besoin

de refroidissement est vital pour une installation, les distances peuvent être grandes. Toutefois, le peu d'études sur la robustesse des systèmes de refroidissement face aux agressions chimiques ne permet pas de dire si ce danger est important.

III.2. Impacts économiques

Dans ce domaine également la littérature est assez pauvre. L'objectif premier est d'identifier l'installation ou l'équipement dont la perte, ou la cessation momentanée de fonctionnement représente un coût en destruction de capital, ou en perte de production.

. Le premier problème est de parvenir à lister ces équipements et installations :

Les unités à recenser comprennent les usines et les lieux de production, les entrepôts contenant des produits à forte valeur ajoutée, les réseaux d'importance économique (les routes et les autoroutes : la perte d'exploitation atteint 62 F de l'heure par véhicule immobilisé), les télécommunications, les réseaux informatiques (il existe dans ce domaine un assez grand nombre d'études sur la vulnérabilité des centraux), l'agriculture (élément constituant une cible particulièrement étudiée dans le contexte du problème de l'eau), les équipements et habitations en eux-mêmes, les éléments du patrimoine national. Parmi ces éléments, certains peuvent être identifiés précisément, d'autres au contraire sont diffus et peu tangibles, posant par exemple le problème du coût d'une évacuation, impliquant une analyse macroéconomique [23].

. Le second problème est de parvenir à repérer ces équipements et installations :

Il est possible de procéder à un repérage par l'intermédiaire des zones d'implantation : urbaine ou industrielle. En revanche, le repérage exhaustif des grands équipements des centrales électriques, centres de recherche, centres informatiques, ne peut être effectué de façon systématique.

III.3. La pollution accidentelle de l'eau

Ainsi qu'on l'a souligné, les accidents liés à la pollution de l'eau, élément à la fois vecteur de pollution et ressource en soi, doivent être traités séparément. Cela n'empêche pas qu'ils puissent avoir des conséquences dans des sphères diverses : écosystème et économie. Le même accident aura d'ailleurs plus ou moins d'impact sur l'écosystème, selon les mesures prises et donc son impact économique. A la limite, on peut envisager aussi l'impact sur la santé humaine, bien que jusqu'à présent, l'observation des réponses à l'accident montre que la protection intégrale des populations est prioritaire par rapport aux impératifs économiques.

La liste des usages de l'eau a déjà permis de fournir une première typologie des cibles. Les possibilités d'identification de celles-ci vont être développées ici.

III.3.1. Atteintes directes de la ressource

Les cours d'eau et les aquifères constituent des cibles en tant que telles. Leur repérage est immédiat à l'examen des cartes géographiques et hydrogéologiques. Il est toutefois nécessaire d'approfondir l'analyse puisque ces ressources en eau ne sont pas également sensibles aux pollutions accidentelles, soit parce que leur qualité initiale peut être déjà dégradée (cas des cours d'eau) soit parce qu'elles bénéficient d'une certaine protection (cas des nappes). De façon globale, on peut obtenir les cartes des cours d'eau en fonction de leur qualité telle quelle est définie dans les différentes classifications (cf. I.4.)

Des cartes mises au point par le BRGM sur la vulnérabilité des nappes sont aussi disponibles. On y note évidemment la plus grande vulnérabilité des nappes alluviales le long des cours d'eau, d'où provient la majorité de l'eau utilisée pour la boisson, mais il existe aussi des points d'affleurement sensibles pour les nappes non circulantes.

Face à des types d'agression plus précis, les données peuvent être recueillies à un niveau beaucoup plus fin. L'exploitation systématique des 200 points de mesure permanents de la qualité des eaux qui existent en France permet à la fois d'être plus précis dans l'espace, mais aussi en ce qui concerne les polluants. A une échelle plus fine, des études spécifiques peuvent être obtenues du SRAE (Service Régional d'Aménagement des Eaux). Enfin, s'agissant des captages, la vulnérabilité a souvent été étudiée très en détail dans le but de définir des périmètres de protection, ce qui fournit alors une base de travail intéressante [24] (cf fig 17).

FIGURE 17 - VULNERABILITE D'UN CAPTAGE [24]

G. CHALUMEAU

Étude hydrogéologique du bassin d'alimentation de la source de la Syrie, préalable à la mise en place des périmètres de protection. Rapport BRGM 86 SGN 363 FRC.



- | | | | |
|---|---|---|--------------------|
|  | Bassin de la source de la Syrie:
périmètre rapproché |  | Source non captée |
|  | Bassin général: périmètre éloigné |  | Source de la syrie |

Echelle
1 km

Extrait du fond IGN 1/25 000 VILLERSEXEL 3421

III.3.2. Cibles industrielles

L'industrie, on l'a vu, a deux types de besoins en eau selon qu'il s'agit d'exploiter l'énergie mécanique contenue dans l'eau (hydroélectricité) ou simplement de refroidir, (avec éventuellement une fonction de sécurité) ou encore d'alimenter les processus de production (agroalimentaire, tanneries...) L'identification des installations sensibles sur ce plan est moins facile qu'il n'y paraît. Il faut savoir qui utilise de l'eau et pourquoi. Il est alors possible de s'appuyer sur les recensements industriels (fichier SIRENE) en sachant que certaines industries ont des besoins spécifiques en eau. L'autre approche consiste à utiliser les déclarations qui sont à effectuer obligatoirement quand un puits ou un pompage sont installés, assorties généralement d'une indication sur le débit de pompage prévu. Ceci s'applique aussi bien aux pompes dans les fleuves et dans les nappes. Plusieurs organismes sont à même de disposer de ces données (DDE, DDA, SRAE, Agences du Bassin, BRGM, Services communaux). On peut enfin partir de l'hypothèse que ceux qui utilisent l'eau sont en général ceux qui en rejettent et identifier les établissements par l'Agence du Bassin.

Les études menées à l'échelle locale (cas de Grenoble) ont montré que ces données étaient assez éparpillées et parfois contradictoires, en particulier parce que certaines déclarations n'ont pas à être actualisées. En plus des pompes mentionnés dans les documents d'urbanisme, certains pompes ont pu être identifiés de façon très anecdotique (eau industrielle sur un site, eau potable pour un abattoir...). Face à cette situation il est certainement possible d'établir assez simplement des inventaires à l'échelle des communes ou des communautés urbaines, l'identification systématique des cibles industrielles à l'échelle de la région nécessite un travail préliminaire de synthèse des données. Les installations de production d'énergie, peu nombreuses, sont déjà connues, pour le reste de l'industrie beaucoup reste à faire.

Dans tous les cas, l'inventaire doit comporter des informations sur la vulnérabilité des installations, le niveau de qualité requis, la possibilité d'isolement en cas d'accident, les conséquences d'une coupure ou d'une mauvaise qualité d'eau. Sur ce plan, il faut citer les travaux du BRGM, en particulier une synthèse effectuée sur les besoins en qualité pour certains usages industriels (cf. Tableau 13).

TABLEAU 13 - CONCENTRATIONS SEUILS POUR L'EAU A USAGE INDUSTRIEL (EXTRAIT D'APRES BRGM [25])

Eau de refroidissement		Brasserie	
Dureté en CO ₃ Ca	50 mg/l	Résidu sec	500-1000 mg/l
Dureté en degrés français	5	pH	6,5-7
Fe	0,5 mg/l	Alcalinité en Ca CO ₃	75-80 mg/l bière blonde 80-150 mg/l bière brune
Mn	0,5 mg/l	Fer	0,1-1,0 mg/l
Fe et Mn	0,5 mg/l	Mn	0,1 mg/l
Industries laitières		Fe et Mn	0,1 mg/l
Résidu sec	< 500 mg/l	CO ₃	50-68 mg/l
Nitrate en N ₂ O ₅	< 30 mg/l	NO ₂	0 mg/l
NO ₂	0	NO ₃	10 mg/l
Ammonium en NH ₃	traces seulement	Cl	60-100 mg/l
Chlorure	< 30 mg/l	Si O ₂	50 mg/l
Sulfate	< 60 mg/l	H ₂ S	0,2 mg/l
Matières organiques		F	1,0 mg/l
en Mn O ₄ K	< 12 mg/l	Ca	100-200 mg/l bière blonde 200-500 mg/l bière brune
Dureté en CO ₃ Ca	< 180 mg/l	SO ₄ Ca	100-500 mg/l
Dureté en degrés français	< 18	Cl ₂ Ca	100-200 mg/l
Fe	0,1 à 0,3 mg/l	Mg	30 mg/l
Mn	0,03 à 0,1 mg/l	SO ₄ Mg	50-200 mg/l
Industries des conserves alimentaires		Cl ₂ Mg	50-200 mg/l
Résidu sec	850 mg/l	Cl Na	275-500 mg/l
Dureté en CO ₃ Ca	50-80 mg/l	SO ₄ Na ₂	100 mg/l
	200-400 mg/l (petits pois)	CO ₃ Na ₂	100 mg/l
	100-200 mg/l (fruits)	Boissons carbonatées, jus de fruit	
Dureté en degrés français	5 à 8	Alcalinité en CO ₃ Ca	50-128 mg/l
	20 à 40 (petits pois)	Résidu sec	850 mg/l
	10-20 (fruits)	Dureté en CO ₃ Ca	200-250 mg/l
Fe	0,2 mg/l	Dureté en degrés français	20 à 25
Mn	0,2 mg/l	Fe	0,1-0,2 mg/l
Fe et Mn	0,2 mg/l	Mn	0,2 mg/l
Cl Na	1000 à 1500 mg/l	Fe et Mn	0,1-0,5 mg/l
pH	> à 7,5	Cl	250 mg/l
H ₂ S	10 mg/l	SO ₄	250 mg/l
F	1,0 mg/l	F	0,2-1,0 mg/l
Alcalinité en CO ₃ Ca	30-250 mg/l	Tannerie - Mégisserie	
Nitrates en N ₂ O ₅	15 mg/l	Dureté en CO ₃ Ca	50 à 500 mg/l
Ammoniaque en N ₂ O ₅	0,5 mg/l	Dureté en degrés français	5 à 50
Sucreries		Alcalinité en CO ₃ Ca	128-135 mg/l
Ca	20 mg/l	pH	6-8
Mg	10 mg/l	Fe et Mn	0,2 mg/l
SO ₄	20 mg/l	Fe	0,1-0,2 mg/l
Cl	20 mg/l	Mn	0,2-0,2 mg/l
CO ₃ H en CO ₃ Ca	100 mg/l		
Fe	0,1 mg/l		

Cette liste pose deux difficultés : premièrement les seuils de concentration évoqués sont pertinents pour des concentrations moyennes annuelles et non pour des pics. Secondement ils s'appliquent à des paramètres, par exemple des éléments minéraux ou le PH, qui ne sont reliés que très indirectement à une substance qui serait déversée. En général, il faut d'abord modéliser l'impact d'un déversement sur l'équilibre du milieu pour conclure à l'impact potentiel d'un accident. En dehors des industries agroalimentaires, elle ne fait apparaître qu'un utilisateur spécifique, le secteur tannerie mégisserie.

En réalité, ces difficultés viennent de ce que la pollution de l'eau n'a pas été examinée sous l'angle accidentel et le problème se pose en des termes similaires pour la pollution des eaux d'alimentation.

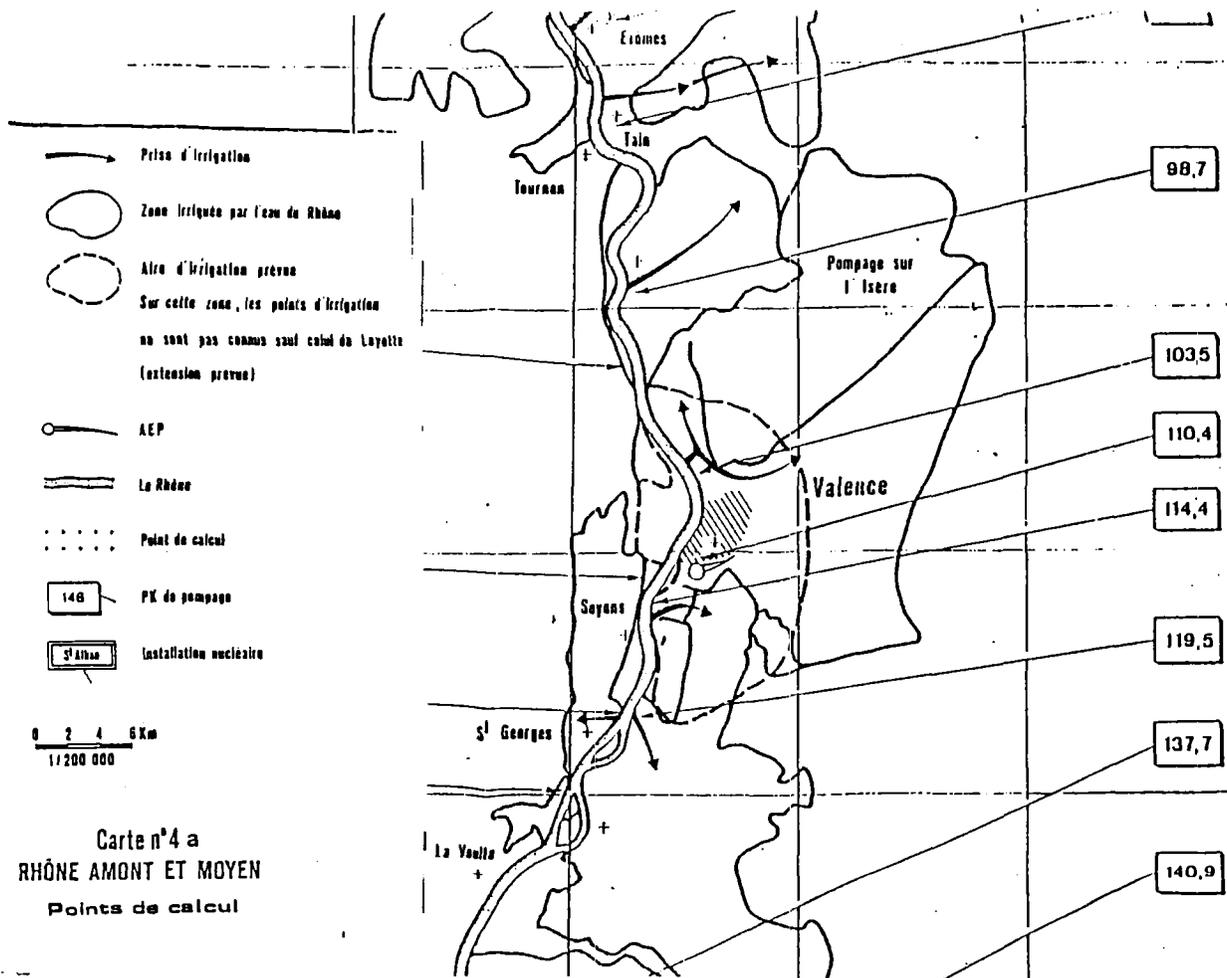
III.3.3. Usages agricoles

L'identification des usages agricoles est assez semblable à celle du recensement des cibles industrielles, à ceci près que le domaine a fait l'objet d'études plus nombreuses, notamment à l'occasion de l'implantation des sites nucléaires. Là encore l'identification peut se faire par le recensement des activités agricoles à partir du Recensement Régional Agricole, dans la mesure où l'on est à peu près capable d'associer des modes de culture aux différentes productions. Elle peut aussi se baser sur la connaissance des pompages et réseaux d'irrigation (données DDA, DDE, SRAE, et syndicats d'irrigation).

Compte tenu de la localisation des données, le niveau de travail le plus pertinent est le département. A cette échelle, ou à une échelle avoisinante une bonne description qualitative et quantitative des réseaux d'irrigation est possible.

Dans le cas de la Vallée du Rhône le travail est simplifié par la bonne connaissance du fleuve : la qualité et l'importance des études réalisées dans le domaine des nuisances chroniques est ici un atout important pour l'identification des zones agricoles vulnérables à une pollution accidentelle [26]. Elle ne permet pas de supprimer la nécessité d'une étude des vulnérabilités spécifiques à l'accident, mais elle permet au moins de réduire notablement le champ des investigations (cf fig 18).

FIGURE 18 - IDENTIFICATION DES ZONES AGRICOLES VULNERABLES A UNE POLLUTION ACCIDENTELLE [3]



III.3.4. Eau de boisson

L'identification des points de captage d'eau de boisson est relativement facile par comparaison aux cibles précédentes, à cause d'une meilleure centralisation et de la nécessité d'une surveillance. A l'échelle régionale, dans le cadre du programme sur le quart Sud-Est de la France, des fichiers sur les points de captage le long du Rhône (fleuve et nappe alluviale) ont été établis. A l'échelle d'une communauté urbaine, la tâche est encore facilitée par l'existence d'un service des eaux.

La principale difficulté se ramène à l'analyse de la vulnérabilité de ces captages. Cette vulnérabilité peut être associée à la plus ou moins grande proximité du fleuve - et donc à la dilution possible lors de l'atteinte d'un captage - ou aux systèmes de protection mis en place ; elle est aussi associée à l'exigence de qualité de l'eau. Le problème se ramène donc à la définition de ces critères, comme dans le cas de l'eau à usage industriel, avec les mêmes difficultés, dans la mesure où la plupart des études ou des normes correspondent à des cas chroniques. Une description assez détaillée de la question s'impose ici.

Il n'est en effet pas possible de répondre directement à la question qui s'impose pourtant dans le cadre de cette étude. Pour un produit donné, à partir de quelles concentrations l'usage de l'eau dans un réseau est-il impossible ?

En général les usages pour lesquels des critères quantitatifs de qualité de l'eau sont fournis sont ceux envisagés par les Communautés Européennes : eaux pour la consommation humaine, brutes et après traitement, eaux utilisées pour la baignade, pour la pisciculture et conchyliculture. La Commission des Communautés Européennes n'est pas la seule à avoir fourni des valeurs, l'Organisation Mondiale de la Santé en a fait de même [27] [28]. Au niveau national, le Ministère de la Santé a cette fonction en France pour l'eau de boisson. Aux Etats-Unis, l'Environmental Protection Agency (EPA) a fourni, quoique pour un nombre limité de produits, des "valeurs d'ambiance" utilisables pour l'eau de boisson, généralement dérivées de limites annuelles d'incorporation (ADI = Acceptable Daily Intake), établies elles aussi par l'EPA [29]. Pour l'eau de boisson, on a repris ici les valeurs fournies par les Communautés pour lesquelles il faut distinguer deux notions, la Concentration Maximale Admissible (CMA) et le "niveau guide" (cf Tableau 14 tiré de [28]).

TABLEAU 14 - CONCENTRATIONS SEUILS RECOMMANDEES PAR LA CCE POUR L'EAU DE BOISSON

N° de paramètre	Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible
5	Température	°C	12	25
6	Acidité	Unité pH	6,5 à 8,5	
7	Conductivité	$\mu\text{S cm}^{-1}$ à 20°C	400	
8	Chlorure	mg/l	25	
9	Sulfates	mg/l SO ₄	2,5	250
11	Calcium	mg/l CA	100	
12	Magnésium	mg/l Mg	30	30
13	Sodium	mg/l Na	20	175 puis 180
14	Potassium	mg/l K	10	12
15	Aluminium	mg/l Al	0,05	0,02
20	Nitrates	mg/l NO ₁	25	50
21	Nitrites	mg/l NO ₂		0,1
22	Ammonium	mg/l NH ₄	0,05	0,5
23	Azote	mg/l N		1
27	Substances extractibles au chloroforme	résidu sec mg/l	0,1	
28	Hydrocarbures (après extraction par éther)	$\mu\text{g/l}$		10
29	Phénol	$\mu\text{g/l C}_6\text{H}_5\text{OH}$		0,5
30	Bore	$\mu\text{g/l B}$	1 000	
32	Autres organochlorés (cf 55)	$\mu\text{g/l}$	1	
33	Fer	$\mu\text{g/l Fe}$	50	200
34	Manganèse	$\mu\text{g/l Mn}$	20	50
37	Phosphore	$\mu\text{g/l P}_2\text{O}_5$	400	5 000
38	Fluor	$\mu\text{g/F}$		1500 à 700
42	Baryum	$\mu\text{g/l Ba}$	100	
43	Argent	$\mu\text{g/l Ag}$		10
44	Arsenic	$\mu\text{g/l As}$		
46	Cadmium	$\mu\text{g/l Cd}$		5
47	Cyanures	$\mu\text{g/l CN}$		50
48	Chrome	$\mu\text{g/l Cr}$		50
49	Mercure	$\mu\text{g/l Hg}$		1
50	Nickel	$\mu\text{g/l Ni}$		50
51	Plomb	$\mu\text{g/l Pb}$		50
52	Antimoine	$\mu\text{g/l Sb}$		10
53	Sélénium	$\mu\text{g/l Se}$		10
55	Pesticides et produits apparentés :	$\mu\text{g/l}$		0,1 par subt. 0,1 au total
	- par substance individualisée			0,1
	- au total			0,5
56	Hydrocarbures polycycliques	$\mu\text{g/l}$		0,2

La lecture de ce tableau met bien en évidence le phénomène signalé à propos des usages industriels; le petit nombre des produits susceptibles d'être déversés accidentellement et auxquels s'appliquent ces restrictions, encore ne sont ils jamais dénommés explicitement sauf un seul, le phénol. Pour les autres, il faut se contenter de décider s'ils appartiennent à des groupes comme les hydrocarbures polycycliques ou les pesticides organochlorés ou organochlorés non pesticides. Même si l'appartenance peut être décidée simplement, les groupes ne discriminent pas entre des produits dont la toxicité peut varier de plusieurs ordres de grandeur. En revanche, on trouve beaucoup de substances réglementées qui ne sont pas manipulées par l'industrie en tant que telles.

La raison de cette discordance tient à ce que les matières dangereuses se décomposent plus ou moins vite dans l'eau et que leur mesure à l'état initial n'a pas toujours de sens. Ainsi les teneurs en ions (Cl, Na, SO₄...) vont effectivement être influencées par des pollutions accidentelles, mais d'une façon complexe compte-tenu du fait qu'il s'agit d'un milieu en équilibre chimique. Par exemple, la teneur en ions F par exemple va être modifiée par l'apport, de trifluorure de chlore, mais en fait par n'importe quelle base ou tout acide. Ce qui est vrai pour un ion particulier l'est a fortiori pour des indicateurs plus globaux comme le pH ou la dureté.

A partir du tableau de la Commission des Communautés Européennes, des chiffres de l'OMS, et de ceux, dont la recherche n'a pas pu être systématisée, de l'EPA, une liste-type des produits utilisés dans l'industrie a été confrontée aux différents seuils (tableau 15). Ceci a nécessité que certains produits soient placés dans des groupes et que d'autres soient associés aux ions qu'ils peuvent libérer dans certaines configurations d'équilibre de l'eau. Ces dernières valeurs sont surtout indicatives.

TABLEAU 15 - RELATION ENTRE NIVEAUX REGLEMENTAIRES ET POLLUANTS POTENTIELS

Niveaux guides et normes - A : Produits directement visés.

<u>NOM</u>	<u>CCE80 NIVEAU GUIDE</u>	<u>CCE80.CMA</u>	
<u>OMS-Santé</u>			
Alcool allylique	0,1 µg/l (ass. pesticides herbicides...)	""	""
Benzène	""	0,2 µg/l (ass. polycycliques)	
	10 µg/l		
Butane-propane	""	10 µg/l	""
Chloro-2-phénols	1 µg/l (ass."organochlorés non pesticides")	0,5 µg/l de C6H5-OH	non fixé
Chlorobenzène	1 µg/l (ass."organochlorés non pesticides")		""
	non fixé		
Dichloro 1-2, benzène	1 µg/l (ass."organochlorés non pesticides")	""	""
Essence	""	10 µg/l	""
Fuel domestique	""	10 µg/l	""
Isocyanate de dichloro 3-4 phényl	1 µg/l (ass."organochlorés non pesticides")	""	""
Mélanges d'hydrocarbures en C4	""	10 µg/l	""
Pesticides organo-halogénés	0,1 µg/l (ass. pesticides herbicides...)	""	""
Phénol	non fixé	0,5 µg/l L	""
Produits pétroliers n.d.a.	""	10 µg/l	""
Propène	""	10 µg/l	""
Trichloro-éthylène	cf : 25 mg/l de Cl	""	30 µg/l
Trichlorobenzène(s)	1 µg/l (ass."organochlorés non pesticides")	""	""

Niveaux guides et normes - B: Produits indirectement visés

<u>NOM</u>	<u>CCE80 NIVEAU GUIDE</u>	<u>CCE80.CMA</u>	<u>OMS-Qualité</u>
Acide fluorosulfonique	""	cf 700/1500 µg /l de F	""
Acide chlorhydrique	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Acide phosphorique	cf : 0,4 mg/l de P2O6	cf : 5mg/l de P2O6	""
Hypochlorite calcium,...	cf : 100 mg/l de Ca et 25 mg/l de Cl	""	""
Lessive de soude	cf : 20 mg/l de Na	cf : 150 mg/l de Na	""
Chlorure d'hydrogène	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Acide perchlorique	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Acide chloro-2 propionique	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Acide chloro-acétique	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Chlorure de propionyle	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Chloroformiate d'éthyl	cf : 25 mg/l de Cl	""	""
Trifluorure de chlore	cf : 25 mg/l de Cl	cf : 700 ou 1500 µg/l de F	
	""		
Chlorate de sodium	cf : 25 mg/l de Cl et 20 mg/l de Na	cf : 150 mg/l de Na	""

TABLEAU 15 (Suite) - RELATION ENTRE NIVEAUX REGLEMENTAIRES ET POLLUANTS POTENTIELS

Oxychlorure de phosphore P2O5	cf : 25 mg/l de Cl et 400 µg/l de P2O5 ""	cf : 5000 µg/l de
Trichlorure de phosphore P2O5	cf : 25 mg/l de Cl et 400 µg/l de P2O5 ""	cf : 5000 µg/l de
Chlorure ferrique	cf : 25 mg/l de Cl et 50 µg/l de Fe	cf : 200 µg/l de Fe ""
Acide nitrique	cf : 25 mg/l de NO3	cf : 50 mg/l de NO3 ""
Oléum SO4	cf : 25 mg/l de SO4	cf : 250 mg/l de SO4 cf : 400 mg/l de
Acide sulfurique	cf : 25 mg/l de SO4	cf : 250 mg/l de SO4 ""

C : Produits non associés à des normes ou guides

Acétate caétophénone
 Acétate d'isopropyle
 Acétone
 Acide acétique glacial
 Acide arylsulfonique (ou alkyl)
 Acide formique
 Acrylate de méthyle
 Alcool éthylique
 Alcools, éther, ...
 Aldéhyde hexylique
 Ammoniac
 Argon liquide
 Azote liquide réfrigéré
 Bioxyde d'hydrogène, sol. > 60 %
 Bioxyde d'hydrogène, sol. < 60 %
 Diacétone alcool pur
 Diisocyanate 2-4 de toluylène
 Dioxyde de carbone
 Ether butylique-éthyl
 Hélium liquide
 Heptanes
 Hydrogène comprimé
 Isopropylamine
 Méthacrylate de méthyle
 Méthylisobutylcétone
 Oxygène liquide
 Toluène
 Toluylène-diamine

Cette liste appelle plusieurs remarques. D'une part elle n'est pas exhaustive, car elle a été tirée de l'analyse des produits transportés autour d'un site industriel (Grenoble). Même alors, seule une faible partie des produits transportés (il y en a 84), a pu être prise en compte, et le plus souvent de façon floue. Par exemple le seuil en sulfate a été relié à l'acide sulfurique, alors que la quantité d'ions sulfate déjà présents et le pH d'origine de l'eau peuvent rendre le même déversement inoffensif ou dramatique. Dans l'exemple de Grenoble utilisé ici, il faut faire remarquer que la nappe phréatique est plutôt basique et que les déversements d'acide y sont relativement moins dangereux. La liste ci-dessus n'est donc pas universelle. Selon le milieu de transfert, des produits constitueront une menace pour un captage ou pourront être inoffensifs et on retrouve ici le lien entre type de cible et source de danger, la connaissance simultanée des deux éléments étant nécessaire pour définir le risque. Dernière remarque, les valeurs recommandées par tous ces organismes ne sont pas toujours basées sur la toxicité, le goût entre en ligne de compte. **L'eau impropre à la consommation n'est pas forcément dangereuse et la valeur pertinente pour une étude d'impact ne le sera pas forcément pour une analyse des risques pour l'homme.** Quand il s'agira de passer à l'évaluation du risque, il faudra donc revenir une nouvelle fois sur cette question et redéfinir les classifications. L'identification de ce type de cible requiert donc un supplément d'information, essentiellement sur les types de traitement prévus, ce qui ne devrait pas poser de difficulté majeure. En revanche, une hiérarchisation des niveaux de protection offerts par le milieu (temps de transfert et dilution depuis le fleuve) serait aussi souhaitable, mais nécessiterait des études plus lourdes. Souhaitable aussi, mais plus complexe encore, la protection associée aux équilibres chimiques des aquifères ne paraît pas pouvoir être prise en compte de façon réaliste à l'échelle du quart Sud Est de la France. Seules des études de site précis semblent possibles aujourd'hui.

IV. L'EVALUATION DU RISQUE

Les deux chapitres précédents ont défini comment élaborer l'information de base nécessaire à l'estimation du risque. L'objectif de cette partie est d'indiquer les méthodes possibles pour cette estimation. Toutefois cette étape ne peut être mise sur le même pied que les précédentes, dans la mesure où il ne s'agit plus de recensements ou de la mise en oeuvre des modélisations assez simples, mais de travaux complexes qui, du moins en France, ont peu de précédents. On se place ici dans l'optique de l'évaluation à l'échelle d'une zone importante. Comme dans toute évaluation, les résultats peuvent être entièrement quantifiés (on parle alors dans le domaine d'évaluation probabiliste), partiellement quantifiés (des événements peuvent être probabilisés et des conséquences estimées mais sans souci d'exhaustivité) voire même purement qualitatifs (on peut mettre en évidence des scénarios accidentels). Dans un premier temps la méthode la plus lourde et la plus complète, l'évaluation probabiliste sera décrite ; on cherchera ensuite de façon plus réaliste à montrer comment peut être conduite une évaluation à une échelle géographique conséquente, et les résultats partiels qui peuvent être obtenus. D'une façon devenue systématique au cours de cette étude, les questions de l'impact sur l'homme et de la pollution des eaux seront reposées, mais faute de données disponibles, celle des impacts sur l'économie sera cette fois totalement absente.

IV.1. Impacts sur l'homme

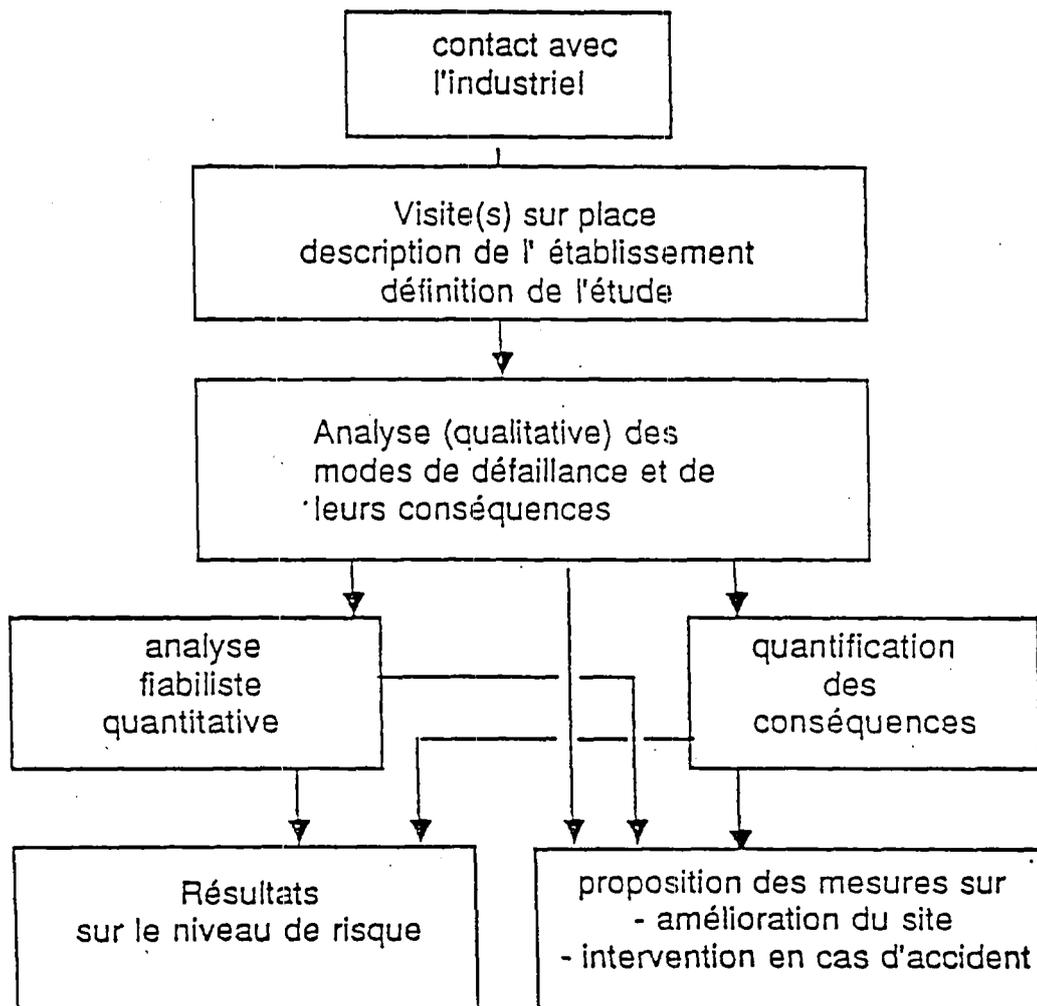
IV.1.1. L'évaluation quantitative

Il a déjà été signalé que dans le cas des accidents majeurs, le recours aux statistiques d'accidents est à écarter pour l'estimation du risque, compte tenu de la rareté des événements. Les observations, s'il y en a, ne sont pas significatives.

L'évaluation quantitative ou probabiliste est, depuis le rapport du Professeur Rasmussen sur les réacteurs nucléaires PWR [30], le moyen privilégié d'évaluer les risques autour d'un site industriel. Elle permet l'estimation du risque pour chaque individu du voisinage, en fonction de sa position par rapport au site, usuellement sous forme de probabilité annuelle de décès imputable aux incidents du site. Elle fournit aussi des données sur le risque sociétal, c'est-à-dire pour la population prise dans son ensemble, sous forme de

nombre attendu annuel de décès, ou encore fréquence annuelle attendue d'accidents faisant 10, 100, 1000 etc... victimes. Pour de nombreuses raisons, notamment leur imprécision, leur coût ou leur difficile insertion dans les systèmes opérationnels de contrôle du risque, ces études ne sont pas systématiques. On peut décrire de deux façons la mise en oeuvre de ces études. La première, empirique, montre comment elles s'insèrent dans les processus usuels d'analyse du risque, ce qui permet aussi de comprendre où se situe l'évaluation probabiliste par rapport aux quantifications partielles ou aux analyses purement qualitatives (fig 19).

FIG. 19 - LE DEROULEMENT D'UNE EVALUATION PROBABILISTE



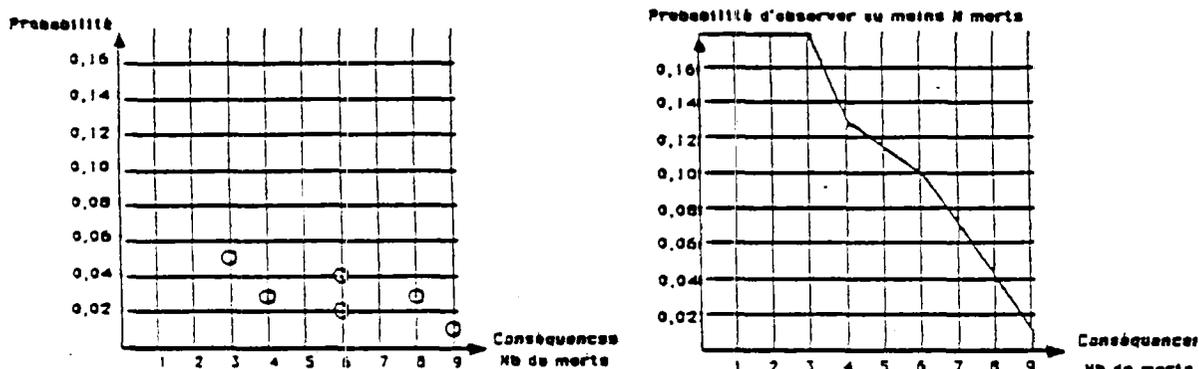
Ce schéma démontre comment des informations partielles peuvent être tirées des études moins complètes réalisés sur la zone. L'autre approche consiste à décrire l'ensemble des modélisations qui entrent en jeu dans l'évaluation probabiliste. Celles-ci procèdent en effet d'un grand nombre de disciplines variées ; statistiques, fiabilité des systèmes, diffusion atmosphérique, thermique, toxicité etc...

Jusqu'à présent, il n'existe pas d'étude probabiliste publiée à propos d'installations industrielles en France. En revanche, deux études relatives au Transport des Matières Dangereuses ont été effectuées à Grenoble et à Lyon par le CEPN [18 [19]]. Certains résultats sont présentés ici afin de mettre en évidence quelques ordres de grandeur, ainsi que les types de résultats qui peuvent être obtenus.

L'étude sur la traversée de Lyon ne s'appliquait qu'à une partie du trafic routier qui traverse la ville, et elle comparait deux itinéraires possibles pour ce trafic "détournable" : le centre de la ville et un contournement par l'ouest. Hydrocarbures liquides et gazeux, chlore et ammoniac ont fait l'objet d'une évaluation probabiliste, et il semble probable que l'essentiel du risque pour l'homme a ainsi été cerné. L'analyse, très complète, permet de disposer de nombreux résultats. Ainsi le passage au centre de la ville occasionne un nombre attendu de décès de l'ordre de 0,5 par an, contre 0,15 pour le contournement. En fait, il s'agit d'un risque majeur, la fréquence annuelle attendue des accidents est de l'ordre de 10^{-2} et les accidents peuvent faire un nombre de morts considérable. Ceci se présente, d'une façon devenue systématique pour les études probabilistes, dans le plan probabilité-conséquences, par une courbe dite courbe de Farmer, ou courbe F-N, ou courbe complémentaire des fréquences cumulées. On peut y lire, pour un nombre de victimes donné, la probabilité qu'il y ait un accident faisant au moins un nombre x de victimes (cf encadré). Sur ces courbes, l'aspect Risque Majeur apparaît très nettement avec, par exemple, une fréquence annuelle de l'ordre de 10^{-4} pour des accidents pouvant faire 100 morts ou plus (cf fig 20).

ENCADRE n° 3 - CONSTRUCTION D'UNE COURBE DE FARMER

Le résultat d'une étude de risque est la mise en valeur d'un jeu d'événements accidentels, et le calcul, pour chacun de ceux-ci d'un couple probabilité conséquence. Pour construire cette courbe, on range tous les événements par ordre décroissant de conséquences, puis à chaque conséquence, on associe la somme des probabilités des événements au moins aussi graves. La figure ci-dessous illustre la façon dont se construit une telle courbe à partir de quelques événements accidentels dont on connaît la probabilité et les conséquences.

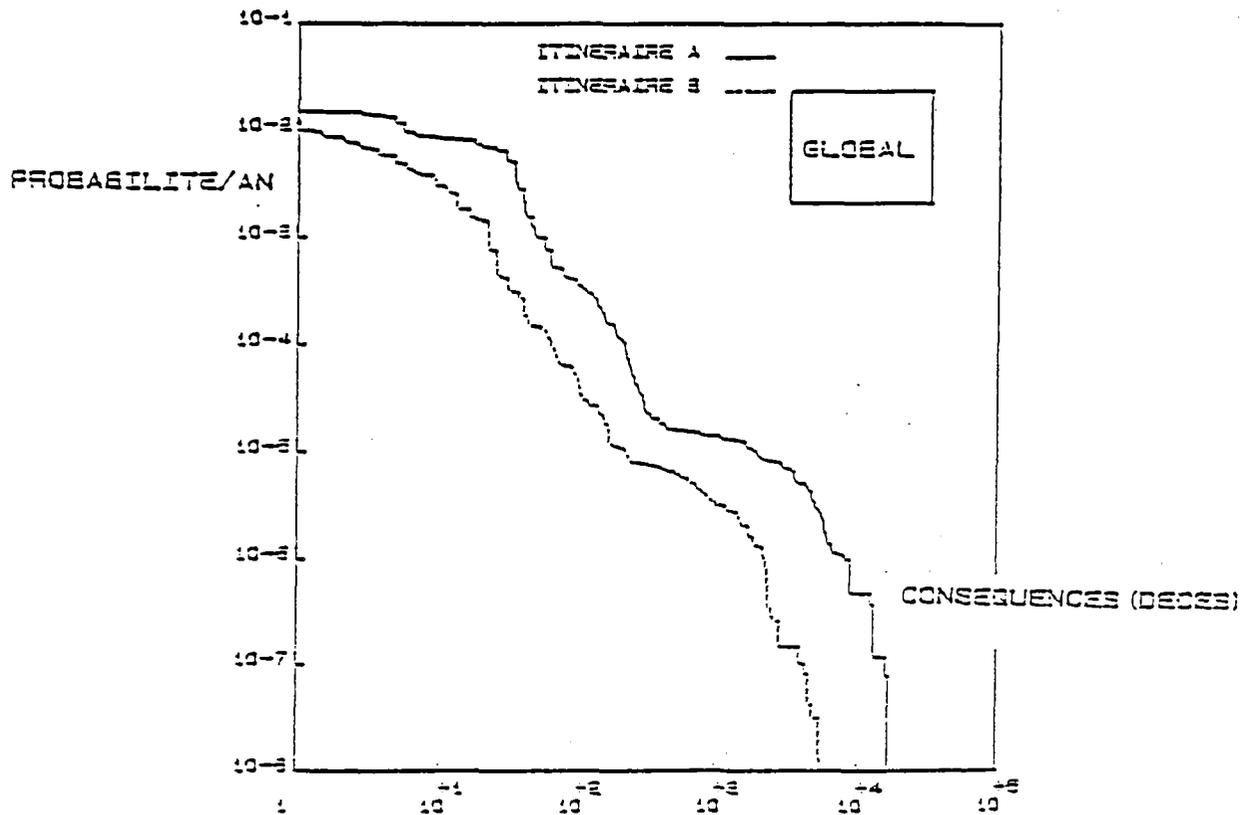


La représentation classique, vu les différences d'échelle entre les événements, est en coordonnées logarithmiques. A l'origine, pour 1 mort, on lit donc sur la courbe la probabilité d'avoir un accident mortel, à l'autre extrémité de la courbe, on lit la probabilité de l'accident maximum prévisible, ou tout au moins calculable.

La forme générale de la courbe permet de visualiser le caractère plus ou moins "catastrophique", c'est à dire la part plus ou moins grande des événements majeurs dans le risque total qu'exprime l'espérance mathématique. Une courbe plate au début reflète un profil de risque assez catastrophique. En effet, cela signifie qu'il y a peu ou pas d'événements bénins parmi les accidents.

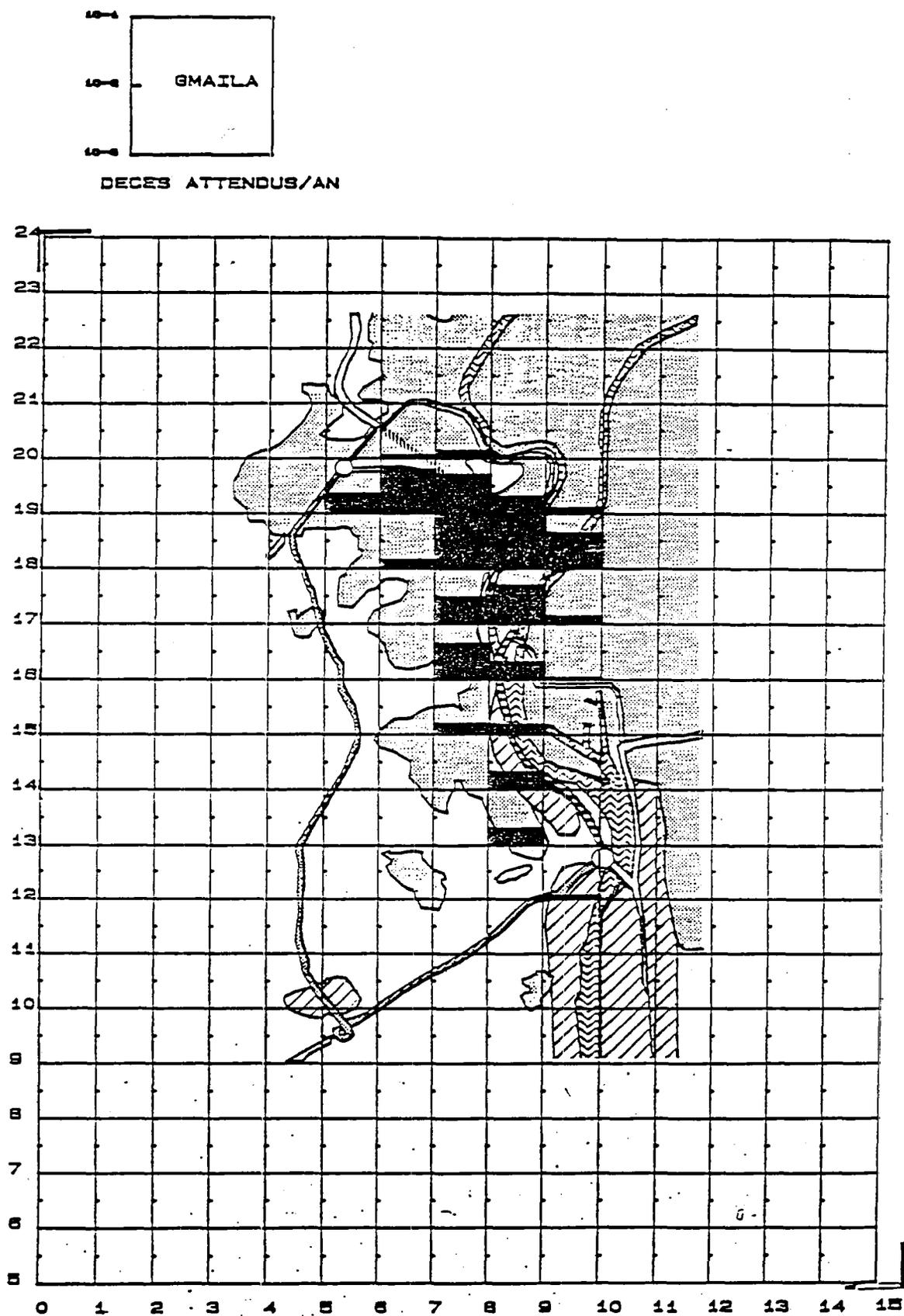
Une courbe très pentue exprimera au contraire la prédominance des événements peu graves ou moyennement graves, comme pour les transports de gaz naturel liquéfié aux Etats-Unis.

FIGURE 20 - COMPARAISON DES DEUX ITINERAIRES DANS LE PLAN PROBABILITE CONSEQUENCES



Ces résultats, au lieu d'être présentés dans le plan probabilité conséquences peuvent aussi l'être dans l'espace. On peut alors faire figurer, dans le maillage qui a servi à définir les populations (cf chapitre III), le nombre attendu de victimes. Des contrastes assez importants selon les zones apparaissent alors, produit de l'intensité de l'exposition au risque et de la densité de victimes potentielles (cf fig 21). A partir de ces densités, on peut aussi d'ailleurs estimer le risque individuel pour les résidents de la zone, qui approche ici une probabilité de décès de 2 à 3 10^{-5} par an dans les secteurs les plus sensibles.

FIGURE 21 - IMPACT SPATIAL : LE NOMBRE ATTENDU DE DECES ANNUELS LYON CENTRE



La faisabilité de telles études n'est plus à démontrer; à cet exemple s'en ajoutent d'autres effectuées aux Etats-Unis, aux Pays-Bas et au Royaume- Uni sur les Transports, des pipelines ou des installations fixes [13] [31]. Celles-ci seront évoquées ci-après.

Dans le cadre de l'analyse systématique du risque accidentel sur une zone importante, la réalisation d'études probabilistes sur toutes les sources de risque n'est pas envisageable. En premier lieu ces techniques ne sont pas encore bien développées pour toutes les types de sources. Tout ce qui est lié à un risque industriel plus diffus est mal pris en compte, de même que ce qui met en jeu des mécanismes très indirects (par ex.: impact de la pollution de l'eau sur la sécurité d'une installation). Enfin, ces études ne s'appliquent usuellement qu'à l'analyse des décès chez l'homme.

Dans la pratique, s'il s'agit d'étudier une zone, il convient d'abord d'examiner le matériau dont on peut disposer en la matière. Le tableau suivant synthétise les pratiques réglementaires en Europe (cf tableau 16). On note que l'étude probabiliste reste l'exception, mais que de nombreux pays, comme la France, requièrent des évaluations plus ou moins complètes. Une première tactique consiste à exploiter les résultats des études exhaustives publiées dans le monde, en les transposant ; une autre implique l'utilisation des analyses partielles requises par la législation.

Quant à la réalisation d'une étude spécifique pour chaque site, ses inconvénients de principe ont été évoqués, mais il existe un autre obstacle de taille: le coût de ces études qui sont à répéter un nombre considérable de fois sur la zone (une cinquantaine d'installations classées selon la directive Seveso si l'étude n'englobe pas Lyon, quelques centaines d'installations classées "ordinaires"). Les chiffres suivants, tirés d'une étude de l'OCDE [13] donnent une idée du coût de l'opération (cf tableau 17).

TABLEAU 16 - PRATIQUES EN MATIERE D'AUTORISATION D'EXPLOITATION [13]

Pays	Classement des établissements	Etude d'identification des dangers	Quantification partielle	Evaluation probabiliste	Référence à des objectifs quantitatifs
R.U.	oui	obligatoire	fréquente	assez pratiquées	parfois
France	oui	obligatoire	fréquente	peu pratiquées	occasionnelle
Pays-Bas	oui	obligatoire	fréquente	proposition de loi	objectifs officiels référence proposée
RFA	oui	obligatoire	fréquente	très peu pratiquées	occasionnelle
Belgique	oui (?)	obligatoire (?)	?	quelques cas	
Suisse	oui	obligatoire	?	quelques cas	
Danemark	oui (?)	obligatoire	?	quelques cas	
Canada	dépend des Etats		?	quelques cas	
Etats-Unis	dépend des Etats		?	quelques cas	
Italie	oui (?)	obligatoire	?	quelques cas	
Norvège				quelques cas	
Suède	oui (?)	obligatoire	?	quelques cas	
Japon					
Nouvelle-zélande				quelques cas	

TABLEAU 17 - COUTS ET NIVEAUX DE PRESTATION [13]

Niveau	Coûts	Caractéristiques principales	Utilisations possibles
I	150 000\$ à 450 000\$	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluation probabiliste - Données et modèles spécifiques du site - Prise en compte du facteur humain - Requiert beaucoup d'expertise 	<ul style="list-style-type: none"> - Conformité à des objectifs quantitatifs de sûreté - Etude pilote base d'autres études bien fondée des efforts de prévention - Bonne connaissance du système
II	45 000\$ à 150 000\$	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptation d'études pilotes - Recours à des logiciels - Données spécifiques sur points - Requiert une équipe habituée à ces analyses 	<ul style="list-style-type: none"> - Conformité aux prescriptions réglementaires - Comparaison d'options globales (sites, procédés). - Justifié en l'absence d'innovations trop radicales
III	15 000\$ à 45 000\$	<ul style="list-style-type: none"> - Recours à des logiciels standards - Etude peu spécifique de l'installation - Requiert peu d'expertise 	<ul style="list-style-type: none"> - Applicable à des problèmes bien connus - Conformité aux prescriptions réglementaires s'il existe de bonnes marges - Comparaison d'options très simples
IV	Moins de 15 000\$	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de logiciels avec valeurs par défaut - Expertise non nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Problèmes simples, extensions d'installation

IV. 1.2. L'utilisation des évaluations quantitatives disponibles

Compte tenu de certaines similitudes, il peut être intéressant de se référer aux évaluations probabilistes ayant eu lieu en Europe sur des "objets industriels" et ayant été publiées. Celles-ci, recensées par le Health and Safety Executive du Royaume-Uni et certains auteurs, sont en fait peu nombreuses, une dizaine environ [31] [32].

La plus ancienne de ces études est celle de Canvey Island, grand complexe industriel (35 km²) du bord de la Tamise, qui comprend des installations pétrochimiques, des stockages de gaz et de pétrole, des raffineries et une installation de déchargement de gaz naturel. Evalué une première fois en 1978, le risque a été réévalué en 1981, revu à la baisse à la fois à cause de l'affinement des techniques d'estimation et parce que des mesures avaient été prises (figure 22, cas n° 3 et 4). Le risque individuel pour les habitants les plus proches est alors limité à moins de 10⁻⁴. Quant au risque sociétal, il reste assez élevé (cf fig 22).

Sur cette figure (tirée de [32]), les risques sociétaux sont aussi représentés pour plusieurs autres situations. Le point le plus élevé correspond à un risque de catastrophes naturelles (figure 22, cas n° 17 et 18), les inondations de la Tamise, avant et après la mise en place d'un système de défense, dont on peut donc mesurer l'efficacité. Une autre paire de points de référence (n° 1 et 2) correspond à la mise en place d'un système destiné à limiter les effets des explosions de gaz domestiques dans un ensemble d'immeubles. Le cas d'un pipeline est aussi envisagé (n°16), ce pipeline transporte du gaz naturel liquéfié entre St Fergus et Moss Morran, sur 220 km, dans une zone assez peu peuplée (il traverse 3 villes de moins de 10 000 habitants), et le nombre maximum de morts est assez limité. Le cas d'un port recevant du gaz de pétrole liquéfié est encore envisagé (cas n° 6 et 7). Autre situation intéressante, la construction d'un ensemble de commerces à proximité d'un site dangereux a été analysé (Ellesmere Port) elle porte le risque sociétal à un niveau jugé élevé par les auteurs du document du Health and Safety Executive (n°8) ; avec une chance sur 10 000 d'avoir un accident faisant 100 victimes. Ce cas est un exemple type d'action, ici assez négative, sur la cible. Le cas de Goole Hook (n°14) est similaire, puisqu'il s'agit de la construction d'habitations à proximité d'une usine fabriquant des engrais ammonitrés ; le risque y est cependant plus faible. La manutention d'explosifs sur un quai (n°15) a justifié une étude probabiliste qui, malgré un risque assez faible par comparaison aux autres points de la courbe, a abouti à la mise en oeuvre de moyens de protection. Il faut encore

citer les études sur les passages à niveau (n°9) et sur la centrale nucléaire de Sizewell B. Les risques aux individus les plus exposés sont généralement inférieurs à ceux de Canvey : de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-5} par an. L'espérance mathématique (rarement calculée, quoique la "courbe de Farmer" y suffise) est de l'ordre de 10^{-2} décès attendus par an à Ellesmere et de 10^{-3} le long du pipeline St Fergus Moss Morran.

Cette liste, assez complète quant à la variété des objets analysés, peut être complétée par d'autres estimations. L'étude la plus importante à prendre en compte est celle réalisée aux Pays Bas dans la zone de Rijnmond ; elle concerne plusieurs industries [33]. Ici deux résultats sont présentés, la courbe de Farmer et les contours isorisque pour un stockage d'ammoniac (fig. 23 et 24).

Dans le domaine nucléaire, les études probabilistes sont plus nombreuses et des comparaisons ont été faites aux Etats Unis [34]. Il faut distinguer le risque immédiat, assez limité et le risque différé, (via les cancers radio-induits). Les études américaines montrent que le risque individuel, pour les proches riverains (1,5km) est entre 10^{-7} et 10^{-9} par an, chiffre très faible par rapport à ceux déjà cités. Le risque collectif différé intégré dans un rayon de 800 km, s'élève à 0,3 morts attendus par an dans les cas défavorables, il est sinon entre 10^{-1} et 10^{-3} . Quant au risque sociétal il est décrit avec la formulation usuelle des courbes de Farmer. On le présente ici pour une des centrales situées dans la moyenne (fig 25).

Tout en restant faible par rapport aux autres cas envisagés, le risque de conséquences importantes y apparaît sensiblement plus élevé qu'à Sizewell (cf.figure 22).

FIGURE 22 - QUELQUES RISQUES SOCIETAUX AU ROYAUME UNI

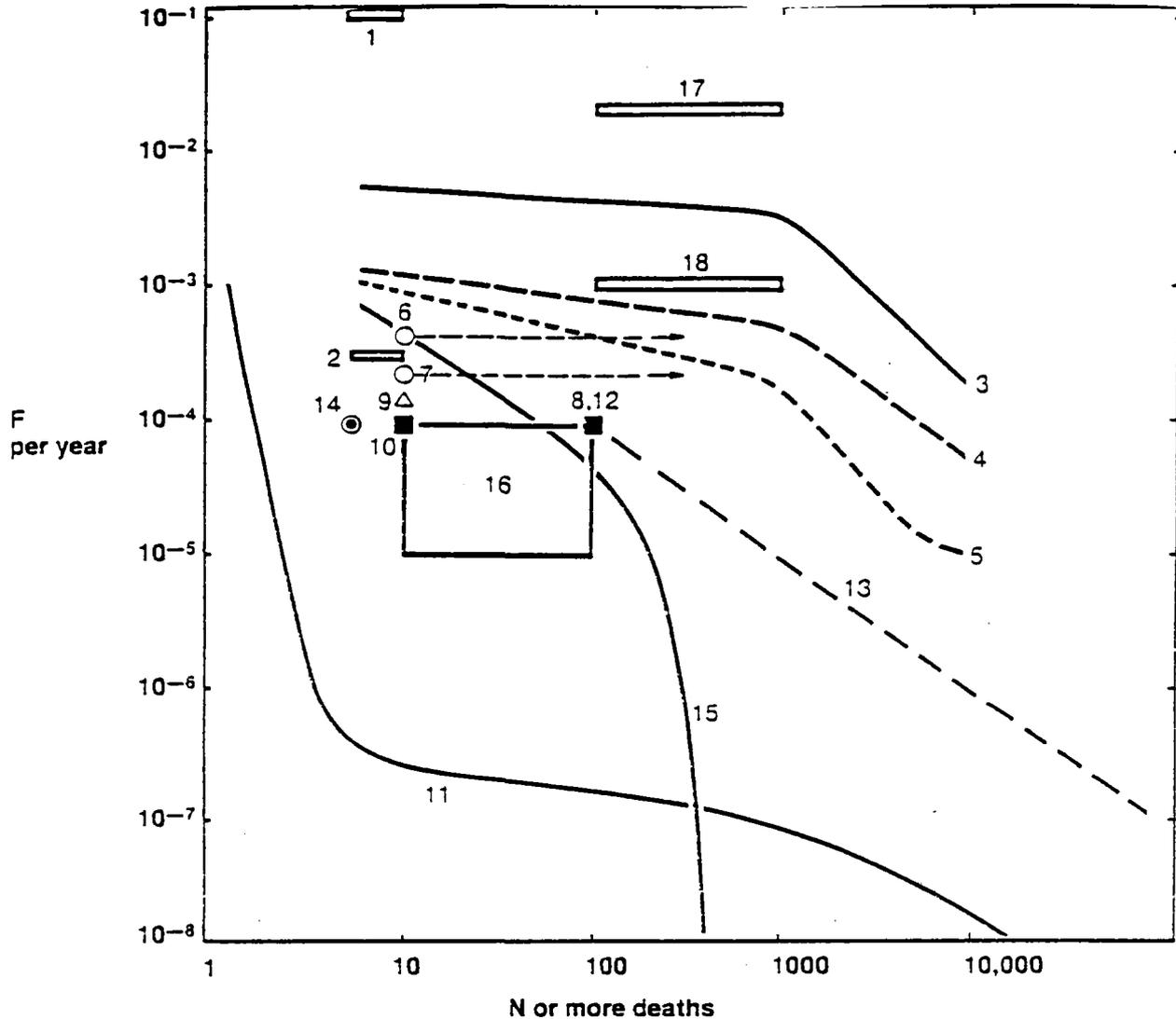


Figure Societal risks from some UK situations

1 Ronan Point before
(National total — 300 blocks).

2 Ronan Point before (one block).

3 Canvey before improvements (with proposed development).
Lines 3-5 assume half casualties fatal.

4 Canvey, with recommended improvements.

5 Canvey Second Report.

6 The Harbour before improvements.

7 The Harbour after improvements.

8 Ellesmere Port.

9 Level Crossings.

10 ACMH Point for one plant.

11 Sizewell B one installation.
Implied Design Requirement.

12 Tolerability point for
nuclear programme.

13 National PWR Programme
(suggested max. tolerability line).

14 Goole Hook.

15 Explosives wharf before
improvements.

16 St Fergus Moss Morran
Communities (Hospitals are at $F=10^{-4}$).

17 Before Thames Barrier.

18 After Thames Barrier.

Notes

Sizewell line includes delayed deaths
Some of the other data include numbers of
serious as well as fatal injuries. See Text for details.

FIGURE 23 - EXEMPLE DE COURBES DE FARMER POUR UNE ZONE DE STOCKAGE D'AMMONIAC [33]

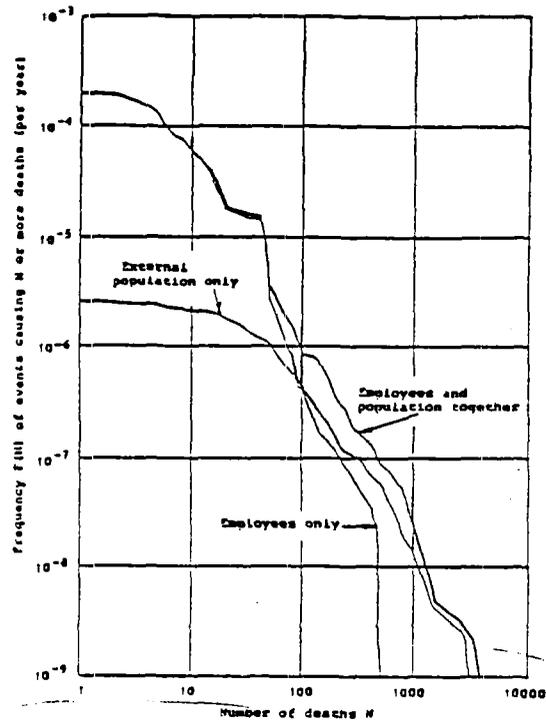
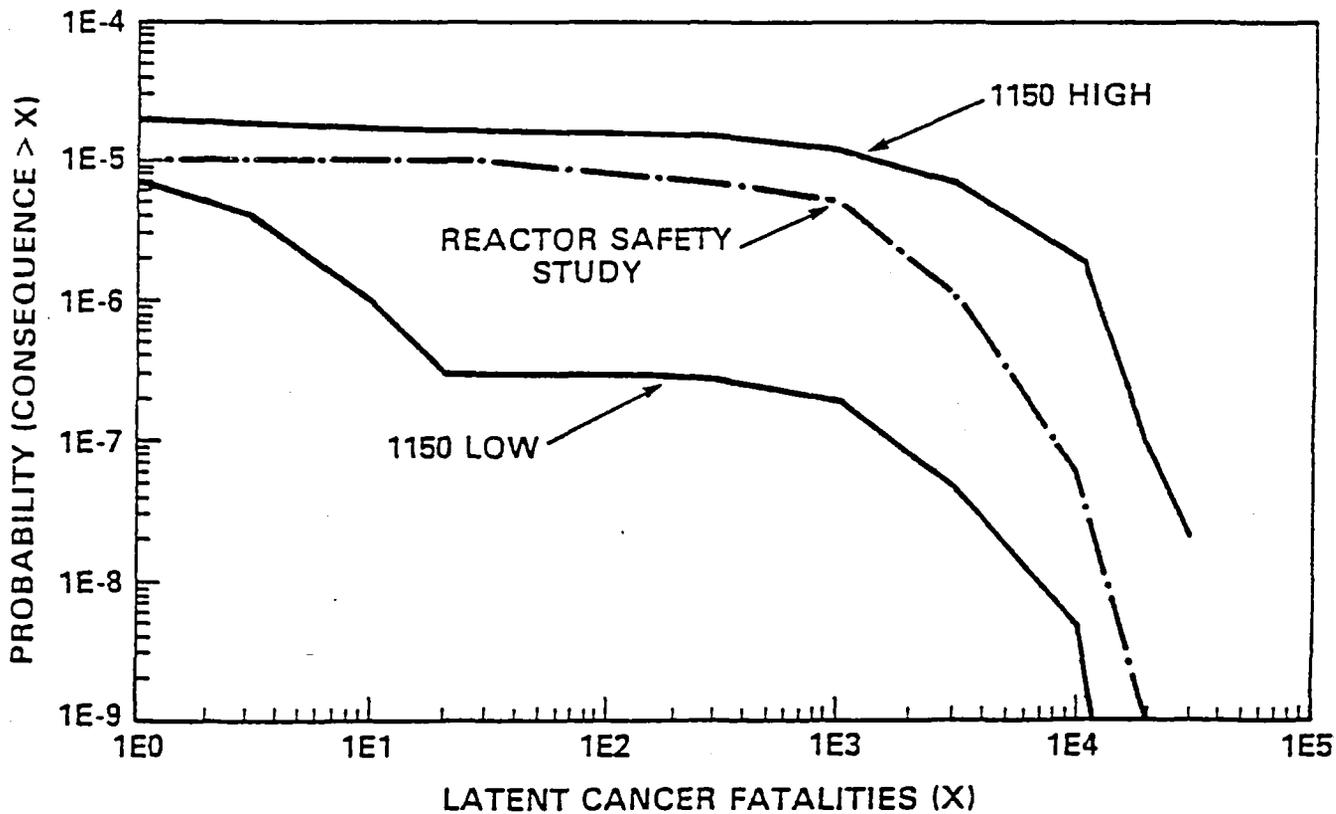
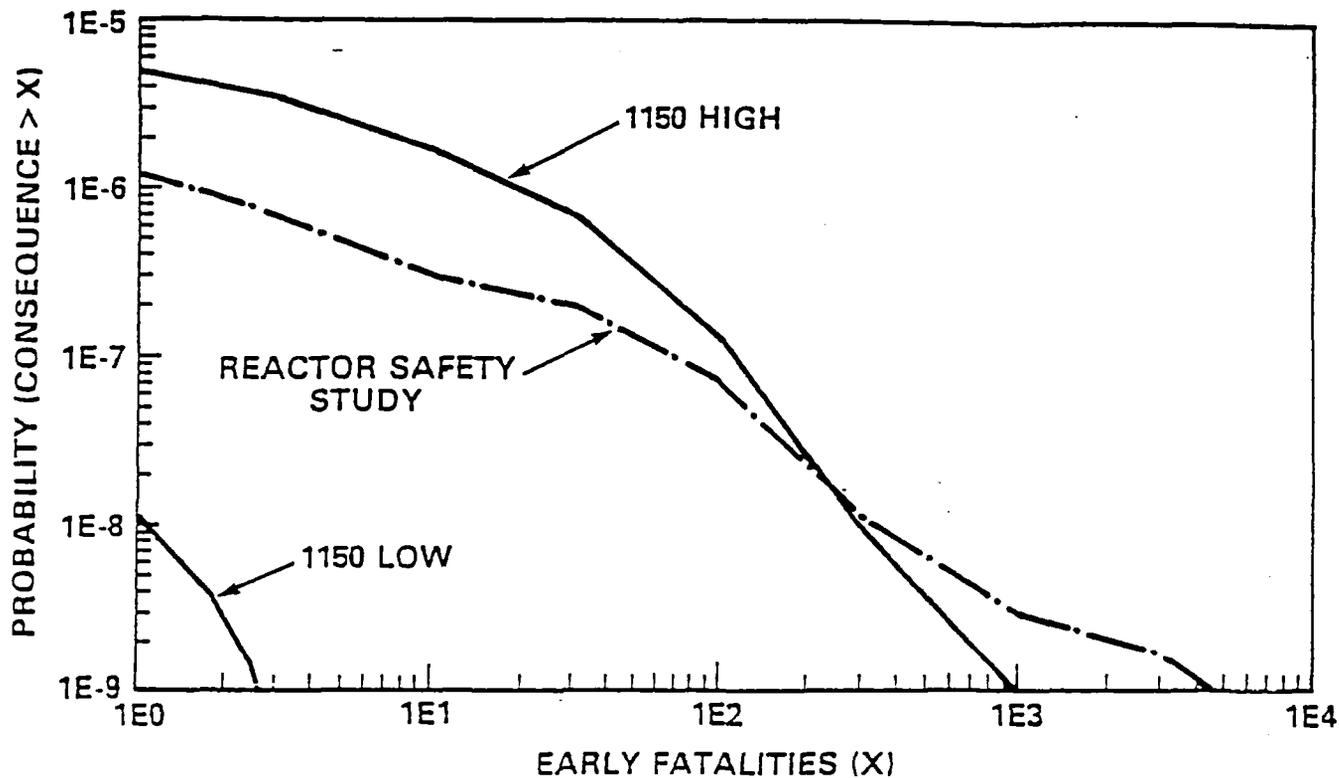


FIGURE 24 - EXEMPLE DE CONTOUR ISORISIQUE POUR UNE ZONE DE STOCKAGE D'AMMONIAC [33]



FIGURE 25 - COMPARAISON DES COURBES DE FARMER RELATIVES A L'ETUDE DE SURRY SELON "NUREG-1150 AND REACTOR SAFETY STUDY"



IV.1.3. Utilisation d'informations partielles

Si l'on peut imaginer d'utiliser directement les résultats des évaluations déjà effectuées, en se contentant de corriger, par exemple, de l'effet associé à la densité de population, cette méthode est critiquable dans la mesure où les installations peuvent différer sensiblement. Une approche plus réaliste consiste à exploiter les résultats partiels de ces études.

L'analyse faite sur le Transport de Matières Dangereuses fournit, par exemple, les distances létales associées aux relâchements du contenu de citernes de 10 à 20 tonnes pour différents produits (cf encadré n° 4). Les chiffres sont ceux utilisés dans les études sur les sites de Lyon et Grenoble, ils correspondent aux mécanismes préalablement décrits (cf II.3.). Une autre source de données, qui permet de prendre mieux en compte les particularités des installations et des zones, est associée aux études de danger et aux études de sûreté. L'accès à ces documents, ouvert au public en France, peut constituer une source importante de renseignements, bien que la quantification y soit encore peu pratiquée.

Une démarche simple d'analyse peut reposer sur des zonages, elle peut être assez pertinente quand on possède des renseignements sur les contours isorisques autour des installations (cf l'exemple du stockage d'ammoniac de la figure 24). La superposition de ces contours aux densités de population permet alors un calcul simple du risque. La transposition de ces données n'est toutefois pas non plus toujours justifiable. Une approche plus fruste encore, mais plus facilement applicable à grande échelle, consiste à construire des indicateurs d'exposition semi-quantifiés, utilisant autour des sites des distances de nature semi-administrative. La notion de "distance de consultation", définissant les zones en deçà desquelles l'autorité nationale au Royaume Uni doit être consultée, fournit un outil de ce type assez commode bien que son utilisation doive impérativement être réservée à des approches provisoires (cf tableau 18).

Un des aspects les plus intéressants d'une étude effectuée sur une unité géographique reste toutefois la superposition de l'identification des sources de dangers et de cibles, mettant en évidence les points sensibles. Inutile si l'intérêt se limite aux grandes zones industrielles déjà bien connues (cf Fos Berre ou couloir de la chimie à Lyon), ce travail doit permettre d'identifier de nombreux points où l'examen du risque s'impose dans les zones moins connues où l'implantation industrielle est plus disparate.

ENCADRE n° 4 - CONSEQUENCES DE RUPTURES DE CITERNES DE TRANSPORT [19]

Scénarios d'accident avec hydrocarbures liquides

Scénario	Probabilité par accident	Rayon létal [m]	
		100 %	à 10 %
Petit feu de nappe	0,02	17	20
Grand feu de nappe	0,018	42	50
Explosion aérienne	0,002	25	57

Scénarios d'accident GPL

Scénario	Probabilité par accident	Rayon létal 100 %		Rayon létal 10 %	
		(22 t)	(11 t)	(22 t)	(11 t)
Boule de feu	0,06	47 m	37 m	123 m	98 m
Explosion aérienne	0,006	98 m	78 m	222 m	176 m

Distances et surfaces létales pour les rejets toxiques

Scénario		Probabilité par ouverture	Distance	Surface
			maximum	létales
Ammoniac	Diffusion faible 1 m.s ⁻¹	0,49	385 m	0,044 km ²
	Diffusion normale 4 m.s ⁻¹	0,31	475 m	0,019 km ²
	Diffusion normale 8 m.s ⁻¹	0,2	800 m	0,028 km ²
Chlore	Diffusion faible 1 m.s ⁻¹	0,49	1 700 m	0,975 km ²
	Diffusion normale 4 m.s ⁻¹	0,31	200 m	0,325 km ²
	Diffusion normale 8 m.s ⁻¹	0,2	3 500 m	0,475 km ²

taux d'ouverture par accident 5 %.

TABLEAU 18 - DISTANCE DE CONSULTATION AU ROYAUME UNI [35]

Tableau 1 : Périmètres de consultation			
Substance	Quantité notifiable en tonnes	Quantité notifiées en tonnes	Distance (m) des frontières du site à l'intérieur de laquelle une consultation est recommandée pour des équipements significatifs (tels que définis dans le texte)
Gaz pétrolier liquéfié, tel que propane et butane commercialisés et tout mélange de ceux-là maintenu à une pression supérieure à 1,4 bar absolue.	25	25-40	300
		41-80	400
		81-120	500
		121-300	600
		301-1000	1000
		+ de 1000	1500
		25 ou +, seulement dans des cuves cylindriques ou de petits réservoirs dont la capacité est supérieure à 5 l	100
Gaz pétrolier liquéfié tel que propane et butane commercialisés et tout mélange de ceux-là maintenu sous réfrigération à une pression de 1,4 bar absolue ou moins	50	50 ou +	1000
Dioxyde de soufre	20	20 ou +	1500
Brome	40	40 ou +	1000
Ammoniac (anhydre ou en solution contenant + de 50 % de son poids en ammoniac)	100	100-1000	1000
		+ de 1000	1500
Hydrogène	2	2 ou +	500
Oxyde d'éthylène	5	5-25	500
		+ de 25	1000
Oxyde de propylène à l'exception de celui stocké dans des réservoirs où il est maintenu à basse pression, où il peut être traité comme une substance de type 4 (voir ci-dessous)	5	5-25	500
		+ de 25	1000
Phosgène	2	2 ou +	1000
Chlore	10	50 ou +	1500
Hydrogène fluoré	10	10 ou +	1000
Trioxyde de soufre	15	15 ou +	1000
Acrylonitrile	20	20 ou +	250
Hydrogène cyanuré	20	20 ou +	1500
Sulfure de carbone	20	20 ou +	250
Nitrate d'ammonium et mélanges de nitrate d'ammonium où le contenu d'azote dérivé du nitrate d'ammonium excède 28 % du poids, autres que les mélanges relevant de l'Explosive Act 1875 (a) ou que le nitrate d'ammonium basés sur des produits chimiques destinés à la fertilisation qui tombent sous la directive EC 80/876/EEC	500	500 ou + en vrac ou 300 en palette	600
		en vrac	1500
Solutions aqueuses contenant + de 90 volumes en poids de nitrate d'ammonium pour 100 volumes par poids des solutions	500	500 ou +	1500
Oxygène liquide	500	500 ou +	500

Notes :

1. La distance de consultation se rapporte à la quantité notifiée.
2. Ces critères ne sont pas valables pour les pipelines qui sont traités séparément.
3. Ces mesures peuvent être effectuées à partir des limites du site à moins que l'autorité de gestion soit sûre que la localisation des bâtiments et du site n'aient aucun risque d'être déplacées dans l'avenir.

IV.2. La question de l'eau

Là encore la demande la plus simple et la plus urgente consiste à mettre en regard cibles et sources; à court terme, le petit nombre d'études fines dans le domaine, et le fait qu'aucune n'ait été faite dans une perspective de généralisation (contrairement aux études de Canvey ou de Rijmond) rend toute estimation quantitative impossible. Pour donner quelques ordres de grandeur, certains résultats relatifs au Transport de Matières Dangereuses sont fournis ici (cf tableau 19). Ils sont assez hétérogènes (probabilité, délais, distances). On note des distances assez grandes, plus grandes que pour les effets sur l'homme, ce qui est naturel puisque la diffusion ne se fait pas en trois dimensions, et des délais assez longs, ce qui justifie le fait de négliger l'impact direct sur la santé. A l'heure actuelle, plus qu'une réelle estimation du risque, ces chiffres permettent de rendre plus réalistes les scénarios envisagés.

TABLEAU 19 - QUELQUES DONNEES SUR LES RISQUES DE POLLUTION ACCIDENTELLE (TMD) A GRENOBLE

Problèmes de l'eau

Accident TMD	Fréquence/an	Extension
Epandage type hydrocar.	4 10 ⁻²	
" " chimique	4 10 ⁻²	
Atteinte alimentation eau	0	
Epandage soude (Drac)	1,3 10 ⁻³	1 à 2 km en rivière
Epandage type phénol		
		avec traitement poussé : ~ 20 km
		sans traitement : ~ 200km
Epandage toxique		
(Puits Hôpital St Egrève à 300 m) :	délai de	15-30 j

L'analyse des cibles et de leur vulnérabilité permet de revenir maintenant sur l'identification des sources pertinentes pour la pollution accidentelle, du moins lorsque celle-ci dépend des produits manipulés; ceci conduit à revenir une troisième fois sur la question de la qualité de l'eau, pour aboutir cette fois à une analyse la plus proche possible du risque accidentel.

En effet, les classifications des produits, qu'il s'agisse de la directive Seveso ou de la classification internationale pour le Transport, sont usuellement basées sur le danger principal et immédiat pour un homme directement exposé aux produits. De ce fait, elles ne mettent pas en valeur le potentiel catastrophique de ces substances dans les cas de déversement accidentel dans l'eau. Il paraît possible ici de proposer une classification différente mieux adaptée à ce problème.

Pour la majorité des produits tirés de l'échantillon des produits déjà évoqué, il est en effet possible de collecter des données sur la toxicité par ingestion. De cette toxicité il est en principe possible de revenir à des critères de qualité de l'eau, par l'intermédiaire des quantités ingérées. Le schéma suivant, en apparence simpliste, s'applique :

$$\text{Concentration maximale [Kg/m}^3\text{]} = \frac{\text{Dose Létale [Kg]}}{\text{Quantité d'eau ingérée [m}^3\text{]}}$$

Une difficulté vient de la détermination de la quantité d'eau ingérée. Il faut en effet connaître à la fois la quantité quotidienne consommée (2 à 10 litres est une fourchette raisonnable), mais surtout la durée sur laquelle il faut raisonner (1 jour, 1 semaine, 1 mois, 1 année). Quand la toxicité de la substance est chronique, il est logique de raisonner sur l'année, la notion de ADI (quantité moyenne ingérable en 1 jour) a alors un sens et les limites telles que celles qui ont été signalées ci-avant sont pertinentes. En revanche, comme seule compte la charge annuelle, on peut tolérer des dépassements à court terme, pourvu bien sûr, que la moyenne annuelle soit satisfaite et que l'on n'atteigne pas les niveaux de toxicité aiguë. Les cancérogènes et par exemple les métaux lourds sont dans ce cas. Ce n'est cependant pas le cas général et pour la grande majorité des produits les données de toxicité sont basées sur des expérimentations animales portant sur des courtes durées et mesurant donc la toxicité aiguë. Généralement, même exprimées pour des expositions chroniques, la même dose évaluée sur une longue durée est beaucoup moins "efficace". Il est donc raisonnable de limiter la durée sur laquelle on peut utiliser les seuils exprimés en quantité de produits ingérés (1 semaine, 1 mois maximum) quand la mesure peut concerner

la toxicité aiguë. C'est sur ces bases que l'on propose d'effectuer des estimations de risque (cf. Tableau 20).

Les valeurs des seuils de toxicité ont été tirées des bases de données sur les substances chimiques, soit éditées [17], soit sur banque de données [16]. Ces valeurs sont estimées en mg par kg de poids d'animal et sont des DL50, c'est-à-dire les doses auxquelles meurt la moitié de la population intoxiquée. L'extrapolation à l'homme est faite à partir de ce ratio et n'est donc que sommairement fondée. De fait, d'une espèce à l'autre, ces valeurs peuvent varier de façon importante, bien que généralement de moins d'un ordre de grandeur.

Pour une soixantaine de produits courants, toujours ceux repérés autour du site de Grenoble, les données ont été recueillies. En sus des valeurs de toxicité, figurent dans le tableau 20, une indication plus qualitative sur la possibilité d'effets à long terme, soit qu'une chronicité ait été détectée, soit qu'un potentiel cancérigène ait été mis en valeur. Autre élément qualitatif, une appréciation est portée sur l'aspect "Danger Majeur" du produit en relation avec sa toxicité [17]. Dernier point important, les réactions du produit, en particulier avec l'eau, ont été reprises à partir des banques de données. L'absence d'un caractère systématique pour cette information lui retire de sa valeur. La possibilité de former des vapeurs toxiques au contact de l'eau a été retrouvée plusieurs fois. Elle fait d'un produit considéré a priori comme peu dangereux pour l'homme, un produit à potentiel catastrophique beaucoup plus élevé en cas de déversement dans l'eau. Ainsi le trifluorure de chlore est considéré comme seulement corrosif (code danger 80) alors qu'il émet des vapeurs toxiques en réagissant avec l'eau. Bien que cela ne soit pas lié à l'eau, il faut souligner que ces mêmes banques de données indiquent aussi très souvent des décompositions toxiques à la chaleur. Elles précisent aussi quelles sont les réactions violentes en général, ce qui peut permettre de préciser la vulnérabilité des structures, par exemple quand le produit réagit avec le bitume, le béton, etc...

Dans le cadre d'une étude plus poussée et plus focalisée il serait nécessaire d'exploiter systématiquement ces données. Ici, avec plus de soixante produits et un grand nombre d'impacts considérés et de cibles possibles, la seule recherche systématique a été celle des seuils de toxicité.

TABLEAU 20 - TOXICITE ET DANGERS INTRINSEQUES DE QUELQUES PRODUITS

N°	NOM	LD 50 mg/kg	Niveau	Chronicité	Remarques
30	1983 Acétate acétophénone				
33	1220 Acétate d'isopropyle				
33	1090 Acétone	10000-20000	mod./faible		additif alimentaire
83	2789 Acide acétique gazeux	3000	modéré		additif alimentaire
80	2586 Acide acryloylformique (ou acryl)				
80	1789 Acide acryloylique	900			
80	2511 Acide chloro-2 propionique	980	modéré		
80	1750 Acide chloro-acétique	75	fort	neoplasmogène (exp)	
88	1777 Acide fluorosulfonique				
80	1779 Acide formique	1200	modéré		
885	2032 Acide nitrique		fort		vap. tox. si mouillé ou chauffé
80	1802 Acide perchlorique		fort		
80	1805 Acide phosphorique	1530	modéré		additif alimentaire
80	1830 Acide sulfurique	2140			
339	1917 Acrylate de méthyle	300	fort	rein, foie, poumon	
663	1098 Alcool éthylique	5 100	fort	foie, rein (?)	vap. tox. si chauffé
33	1170 Alcool éthylique				
33	1993 Alcool. éther....				
30	1207 Aldéhyde hexylique				
268	1005 Ammoniac				tox. forte à l'inhalation
22	1951 Argon liquide				
22	1977 Azote liquide réfrigère				
33	1114 Benzène			Cancérogène	tox. à l'inhalation
359	2015 Bioxyde d'hydrogène, sol. >60%				tox. via caractère oxydant
85	2014 Bioxyde d'hydrogène, sol. <60%		fort		tox. via caractère oxydant
23	1965 Butane-propane				
50	1495 Chlorure de sodium	1200	fort/modéré	douleur	
60	2021 Chloro-2-oléfinol	500/ 670	fort	canc. suspecté	tox. à l'inhalation
30	1134 Chlorobenzène	3000	modéré	douleur	
68	2748 Chloroforme d'éthyl	68 (ip)	fort		
286	1050 Chlorure d'hydrogène				tox. forte à l'inhalation
80	1815 Chlorure de propanyle				
80	2582 Chlorure formique	3250	modéré		
30	1148 Diacétone succin pur	4000	modéré	anémie, foie, rein	
60	1591 Dichloro 1-2, benzène	2000	modéré	canc. suspecté, oie	tox. à l'inhalation
60	2078 Disocyanate 2-4 de toluène	6000	modéré		tox. forte à l'inhalation
22	2187 Dioxyde de carbone				
33	1203 Essence				tox. à l'inhalation
33	1178 Ether éthylique-éthyl				
30	1202 Feu domestique				
22	1963 Hélium liquide				
33	1208 Héptanes				
23	1049 Hydrogène comprimé				
85	1791 Hypochlorite calcium....		modéré		tox. comme oxydant
60	2250 Isocyanate de dichloro 3-4 (méthyl)				
338	1221 Isopropylamine	6000	modéré	douleur	
80	1824 Lessive de soude	(ip) 500	fort		
239	1010 Mélanges d'hydrocarbures en C4				
339	1247 Méthacrylate de méthyle	8300	modéré	cancérogène (exp.)	
33	1245 Méthylisobutyrate	200-2000	modéré		
888	1831 Oléum		fort		vap. tox. si mouillé ou chauffé
80	1810 Oxychlorure de phosphore	380	fort		tox. forte à l'inhalation
225	1073 Oxygène liquide				
60	2996 Pesticides organo-nitrogénés				tox. à l'inhalation
68	2312 Phénol	414	fort	carcinogène (exp), rein, foie, syst. nerveux	
30	1223 Produits pétroliers n.d.s.				
23	1077 Propène				
33	1294 Toluène	5000	modéré	douleur	
80	1709 Toluène-quinone				
80	1710 Trichloro-éthylène	4920	mod. (si iv)	carcinogène (exp), foie, rein ...	tox. à l'inhalation
80	2321 Trichlorobenzène(s)	756	modéré		tox. à l'inhalation
80	1809 Trichlorure de phosphore	550	fort		vap. tox. si mouillé
80	1749 Trifluorure de chlore		fort		vap. tox. si mouillé, réac. violentes

Quoique le problème comporte tant de dimensions qu'il est presque impossible de comparer deux substances, il est nécessaire à cette étape de regrouper les matières transportées en fonction de leur potentiel de pollution (Cf Tableau 21). Dans un souci de cohérence les catégories définies par le CETE de Lyon pour l'étude sur la protection des captages ont été reprises [10]. Face aux déversements accidentels, ce sont les suivantes :

A :Substances acides ou basiques modifiant le pH du milieu récepteur.

B :Substances peu à moyennement toxiques mais rendant l'eau impropre à la consommation (cf. hydrocarbures).

C :Substances très toxiques (Cf : Phénol, acroléine) ou a toxicité avérée.

O :Substances non polluantes.

Comme toute classification, celle-ci comporte une part d'arbitraire. Elle nécessite un grand nombre de précisions et d'ajouts. En particulier il faut considérer le caractère chronique ou non, cancérigène ou non, de la toxicité.

Pour définir vraiment précisément le potentiel polluant d'une substance, il faut ajouter à ce classement et aux distinctions sur la chronicité les paramètres suivants : dégradabilité chimique, biochimique et photochimique (milieu avec ou sans oxygène), capacité d'absorption, principales réactions avec le milieu, solubilité et miscibilité dans l'eau, densité et viscosité, possibilités du traitement des nappes in situ et de l'eau elle-même avant consommation. En bref, il faut connaître tout ce qui détermine les distances de transfert possibles, la dilution du produit, sa disposition et sa permanence à cause des piégeages possibles ainsi que la facilité avec laquelle il est possible de s'en débarrasser. La notion de "polluant type" est alors presque impossible à cerner, puisqu'il y a presque autant de paramètres que de produits. Dans une évaluation générale, on peut toutefois souhaiter effectuer l'étude de cas types, par exemple cinq produits peuvent être considérés: il s'agit des hydrocarbures, cas le plus fréquent, du phénol, un des polluants les mieux connus et réglementé, du benzène, un cancérigène reconnu, de l'alcool d'allyle, le plus toxique en expérimentation animale, et de la lessive de soude, qui est un polluant très transporté.

TABLEAU 21 - POTENTIEL POLLUANT DE QUELQUES SUBSTANCES

<u>N° PLQ</u>	<u>NOM</u>	<u>CATEGORIE</u>	
30	1993	Acétate acétophénone	ind
33	1220	Acétate d'isopropyle	ind
33	1090	Acétone	B
83	2789	Acide acétique glacial	C
80	2586	Acide arylsulfonique (ou alkyl)	A
80	1789	Acide chlorhydrique	A
80	2511	Acide chloro-2 propionique	A
80	1750	Acide chloro-acétique	A C
88	1777	Acide fluorosulfonique	A
80	1779	Acide formique	A C
885	2032	Acide nitrique	A
80	1802	Acide perchlorique	A
80	1805	Acide phosphorique	A
80	1830	Acide sulfurique	A
339	1917	Acrylate de méthyle	C
663	1098	Alcool allylique	C
33	1170	Alcool éthylique	O
33	1993	Alcools, éther,...	ind
30	1207	Aldéhyde hexylique	ind
268	1005	Ammoniac	O
22	1951	Argon liquide	O
22	1977	Azote liquide réfrigéré	O
33	1114	Benzène	C
559	2015	Bioxyde d'hydrogène, sol. >60%	C
85	2014	Bioxyde d'hydrogène, sol. <60%	C
23	1965	Butane-propane	O
50	1495	Chlorate de sodium	C
60	2021	Chloro-2-phénols	C
30	1134	Chlorobenzène	C
68	2748	Chloroformiate d'éthyl	C
286	1050	Chlorure d'hydrogène	O
80	1815	Chlorure de propionyle	ind
80	2582	Chlorure ferrique	C
30	1148	Diacétone alcool pur	C
60	1591	Dichloro 1-2, benzène	C
60	2078	Diisocyanate 2-4 de toluylène	C
22	2187	Dioxyde de carbone	O
33	1203	Essence	B
33	1178	Ether butylique-éthyl	ind
30	1202	Fuel domestique	B
22	1963	Hélium liquide	O
33	1206	Heptanes	B
23	1049	Hydrogène comprimé	O
85	1791	Hypochlorite calcium,...	B
60	2250	Isocyanate de dichloro 3-4 phényl	B
338	1221	Isopropylamine	C
80	1824	Lessive de soude	A
239	1010	Mélanges d'hydrocarbures en C4	O
339	1247	Méthacrylate de méthyle	C
33	1245	Méthylisobutylcétone	C
886	1831	Oléum	A

CONCLUSION

La démarche d'évaluation n'est pas une fin en soi. Le processus décrit ici est destiné à "consolider" le bilan sur les risques dans le quart Sud- Est de la France ; bilan qui a lui-même des objectifs, que l'introduction des risques accidentels doit aider à atteindre. Comme celle des impacts des nuisances et pollutions chroniques, l'évaluation peut se découper en trois étapes :

- Identification des risques, avec la mise en valeur des sources de danger, des vulnérabilités chez l'homme ou dans l'infrastructure, et celle des mécanismes. Dans le dernier cas des questions assez diverses comme l'établissement des relations causales pour la cancérogénèse, la recherche des scénarios d'accidents et de leurs enchaînements etc... La difficulté qu'il y a à utiliser des sources de données conçues dans des buts autres que l'analyse du risque est encore compliquée par l'aspect dual du risque qui requiert l'identification simultanée de la source et des cibles.

- Mesure d'indicateurs d'exposition : cette étape est bien caractérisée dans l'analyse de la pollution chronique où les mesures d'ambiance, ou mieux les indicateurs pondérés par la population permettent de comparer soit des zones soumises aux mêmes dangers, soit des sources. Dans le cas du risque accidentel, les mêmes indicateurs peuvent être repris, mais on cherchera souvent des indicateurs de la probabilité.

- Quantification du risque. Cette dernière étape consiste à évaluer les impacts par des indicateurs considérés comme ultimes : mortalité et coût en sont des exemples incontestés, tandis que morbidité, disparition d'espèces, perte de ressources ou d'aménité, et, pour prendre le cas le plus actuel, réchauffement de l'atmosphère sont des indicateurs qui requièrent un travail supplémentaire d'interprétation, hors du cadre de l'analyse du risque.

C'est à la dernière étape que la question de la consolidation du bilan se pose de la façon la plus claire. En premier lieu, il semble qu'à court terme la quantification n'est possible que pour les impacts sur la santé, et surtout pour la mortalité. Les données sur les impacts économiques sont en effet trop rares et trop éparées, tandis que celles sur l'environnement sont assez rares mais surtout difficiles à traduire en termes d'indicateurs précis. Classiquement on distingue dans le domaine risque individuel et risque collectif, ou encore, selon la terminologie anglo-saxonne, sociétal.

Dans le premier cas on mesure usuellement la probabilité annuelle qu'a un individu d'une zone exposée de décéder du fait d'une nuisance. Cet indicateur permet à la fois une comparaison simple puisqu'on peut oublier la cause du décès (accident ou maladie), et aussi une référence à des repères simples, voire à des normes. Par exemple, la mortalité naturelle est au minimum de 10^{-4} par an (jeunes filles, vers 10 ans) ainsi d'ailleurs que le taux moyen d'accident du travail. Le Health and Safety Executive a pour sa part estimé que 10^{-3} était absolument inacceptable, même pour un travailleur qui récolterait directement les bénéfices du risque qu'il prend [36]. Le Ministère de l'Environnement des Pays Bas souhaite que l'ensemble des risques industriels et environnementaux soit inférieur à 10^{-5} pour tout individu du public, la limite étant fixée à 10^{-6} pour une activité particulière. Les ordres de grandeur cités ici montrent qu'autour des sites ces chiffres peuvent être approchés. Ils sont aussi de l'ordre de grandeur du risque associé aux limites d'exposition prévues pour la radioactivité d'origine humaine, quoique l'étude du quart Sud Est de la France a montré que celles-ci étaient loin d'être atteintes. Enfin, cette même valeur de 10^{-5} correspond à ce qui peut se calculer pour une pollution atmosphérique assez faible en zone urbaine [$10 \mu\text{gm}^{-3}$ de SO_2 , cf [37]].

La consolidation du bilan peut ici se faire sous forme de zonage (par ex zones où le risque individuel est supérieur à 10^{-6} ou 10^{-5}). Avec les valeurs, très provisoires et très fragmentaires, retenues ici, tout laisse penser que les surfaces associées aux risques accidentels seront plus réduites que celles associées aux nuisances chroniques. Toutefois, cela implique d'accorder foi aux deux séries d'estimation, toutes deux entachées d'incertitude.

S'il s'agit de comparer les risques sociétaux, il devient beaucoup plus difficile de mettre en relation les "décès attendus" associés aux pollutions chroniques et ceux associés aux accidents. Les ordres de grandeur ne sont absolument pas comparables, ni non plus les significations des impacts. Dans le premier cas un risque diffus, et faible pour chaque individu s'applique à de grandes populations. Il se réalise régulièrement sans être pour autant décelable statistiquement. Dans le second cas, il touche des populations plus faibles, il n'a qu'une chance sur mille par an (plus souvent cent mille) de se réaliser, mais il est alors très visible, avec des dizaines de décès au même moment et au même lieu, et les victimes sont a priori des individus en bonne santé.

L'addition, à Lyon, de la centaine de morts que l'on pourrait attribuer à la pollution atmosphérique au mort ou à la fraction de mort attribuable au Transport des Matières Dangereuses n'est pas licite : en effet, non seulement elle ignore les aspects comme l'équité ou l'aversion à la catastrophe, mais surtout elle ne reflète ni les pratiques ni les principes de gestion des risques.

La question de l'intégration d'événements de nature très différente donne aujourd'hui lieu à un grand nombre de travaux. L'enjeu en est important puisqu'il s'agit d'unifier les approches de la gestion des risques chroniques et accidentels. Une solution a souvent été proposée pour intégrer la dimension catastrophique. Elle consiste à pondérer les accidents graves en fonction des conséquences. C'est encore le ministère Néerlandais de l'Environnement qui a été le plus en avant dans cette voie, en proposant de pondérer par le nombre de décès de l'accident : en d'autres termes un accident ayant une chance sur cent de se produire, pour faire alors cent morts, n'est plus comparable à une nuisance faisant certainement un mort, mais à une nuisance causant 100 décès.

Les réflexions précédentes peuvent être applicables à l'échelle d'une zone industrielle ou d'une communauté urbaine, seuls cas où l'on puisse espérer, à condition d'en payer le prix économique et politique, obtenir une quantification assez large du risque. A l'échelle d'une région, les schémas proposés peuvent guider les travaux ; ils ne constituent cependant pas un objectif réaliste dans un avenir proche.

La démarche d'évaluation paraît cependant devoir être proposée, car son intérêt ne se limite pas au calcul des "indicateurs ultimes" : les étapes intermédiaires apportent elles mêmes leur lot de résultats et d'enseignements. L'étape d'identification des cibles et des sources est plus ou moins originale suivant le niveau préalable d'information (réseaux de mesure de la pollution, installations classées, ou, au contraire, mesure des polluants nouveaux, de la vulnérabilité d'une installation aux coupures d'eau etc...) ; mais cette information est toujours précieuse.

Ces données permettent de disposer d'une large base de données et de sources d'information pour réaliser des évaluations prévisionnelles plus poussées, elles autorisent aussi la mesure de l'impact des accidents grâce à une bonne description de l'état de la zone avant l'accident, elles peuvent enfin améliorer les actions d'intervention, par exemple grâce à la connaissance de la qualité des abris offerts par les habitations (études sur le renouvellement d'air des habitations),

ou grâce à l'identification des réseaux vulnérables au voisinage d'un accident.

Les mesures d'indicateurs d'exposition et leurs relations aux sources réelles ou potentielles sont évidemment un élément clé dans la définition des politiques de maîtrise du risque. Trop souvent les pressions portent sur les "émetteurs de pollution" les plus visibles plutôt que sur ceux qui contribuent le plus aux concentrations données sur une zone. Comme l'estimation de la part "importée" des expositions, celle de la part accidentelle est un autre élément de nature à guider l'action des pouvoirs publics.

Plus généralement, les bilans de ce type fournissent un cadre d'analyse pour mesurer la pertinence des politiques de gestion du risque. Il faut en effet se situer dans un contexte, communauté urbaine, ou région, assez vaste pour que la mesure des enjeux économiques et sociaux, de même que le risque et ses transferts, soient possibles ; et on conçoit que l'impact d'une fermeture ou d'une délocalisation d'unité doit être mesuré à l'échelle du tissu industriel dans lequel elle s'insère, si l'on veut fonder une politique valide dans le contexte national ou international. Il faut en même temps une image assez précise du système industriel et de son interaction avec l'infrastructure et l'environnement humain. Là encore, la région ou une grande communauté urbaine constituent des cadres d'analyse adéquats. C'est, semble-t-il, à cette échelle qu'il faut travailler, par études de cas par exemple, pour définir des politiques de gestion des risques aptes à mettre en perspective prescriptions réglementaires et analyses techniques avec les impacts potentiels sur l'environnement écologique, humain ou économique.

REFERENCES

- [1] L'industrie au regard de l'environnement : les composantes de la pollution des eaux - situation au 1er janv 1985 - DPP Min.de l'Environnement. février 1987
- [2] L'industrie au regard de l'environnement : composantes régionales de la pollution industrielle. DPP Min. de l'Environnement, Paris 1982.
- [3] Etude comparative sous les deux aspects radioactif et chimique de l'impact sur la population des industries conventionnelles et nucléaires. Version anglaise Rapport Euratom EUR 10.557EN, Bruxelles 1988.
- [4] R. Coulon, J. Aigueperse, F. Anguenot, Evolution au niveau régional des conséquences sanitaires dues aux rejets atmosphériques de cadmium émis par les centrales thermiques du Sud Est de la France (Programme Grand Delta). Symposium international de Toxicologie Industrielle Bordeaux, France, 13-16 Décembre 1988.
- [5] P. Hubert, P. Pagès, Le risque d'accident majeur dans les transports de matières dangereuses, Rapport CEPN n° 81, Paris, 1985.
- [6] J. Brenot et al, Trafic des matières dangereuses sur l'itinéraire pilote de l'agglomération de Grenoble. Evaluation du risque. Étude préliminaire. Rapport CEPN n° 127, Novembre 1987.
- [7] H. Smets, La réparation des dommages à l'environnement par les catastrophes industrielles, Droit et ville, Revue IEJUC n° 21, pp 233-258, 1986.
- [8] Ministère de l'Environnement. Données économiques de l'environnement, Edition 1988, Paris 1988.
- [9] CETE de Lyon, Transport de matières dangereuses, "sensibilité" du milieu ambiant. Méthodologie d'application, RN 86 : La Mulatière-Condrieu, analyse globale de l'itinéraire "géologie-géotechnique", Rapport d'étude du CETE de Lyon, Lyon, 1978, 29 p. + Annexes.
- [10] CETE de Lyon, Noeud autoroutier LY5-B46-A42, Etude de la protection des captages de Lyon, Rapport d'Etude du CETE de Lyon, Lyon, 1980.
- [11] La gestion de l'eau, Annales des Mines, n° 78, Paris, Juil-Août 1988.
- [12] F. Anguenot, J. Aigueperse, S. Bonnefous, A. Despres, La pollution issue des chauffages résidentiels et tertiaires dans le bilan global comparatif des nuisances au niveau régional.

- [13] P. Hubert, L'évaluation et la gestion des risques d'accident liés aux activités industrielles, rapport final, Organisation de Coopération et de Développement Economiques, 20 juin 1988.
- [14] Accidents et pollutions accidentelles survenus dans la région Provence - Côte d'Azur, extrait du fichier des incidents, Min.Env, DPP, 1989.
- [15] Législation des installations classées, Application de la Directive européenne "Seveso", La prévention des risques industriels, Service de l'Environnement Industriel, février 1987.
- [16] Hazardous Substance Toxicology Data Bank.
- [17] I. Sax, Dangerous properties of industrial materials, Van Nostrand Reinhold, New-York, (rééditions régulières), VII^e édition, 1986.
- [18] P. Hubert et al, Estimation régionale du risque associé au transport de matières dangereuses. Comparaison d'itinéraires routiers à Lyon. Rapport CEPN n° 129, Décembre 1987.
- [19] J.Brenot, A.Després, J.P.Degrange, Ph.Hubert, P.Pagès, Trafic des matières dangereuses sur l'itinéraire piloté de l'agglomération de Grenoble. Evaluation du risque. Rapport CEPN n° 142, Décembre 1988.
- [20] J. Roed, Relationships in Indoor Outdoor air pollution. Rapport RIS-M-2476. Roskilde, Janvier 1985.
- [21] G.Purdy and P.C.Davies, Toxic gas incidents : Some important considerations for emergency planning. I.Chem.E. Symposium Series n° 94, pp. 257-268, Londres 1985.
- [22] J.Aigueperse et al., La pollution à l'intérieur des habitations dans le bilan global comparatif des nuisances au niveau régional (Programme grand Delta). Seminar on the Applications Perspectives and limitations of Comparative Risk Assessment and Risk Management. Nice Septembre 26-30, 1988. Rapport EUR 111465 EV PP 131-132,1989.
- [23] J.Brenot, Conséquences macroéconomiques d'une évacuation. Rapport CEA IPSN DPS, 1988.
- [24] A. Lallemand-Barrès, J.C.Roux, Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Editions du BRGM, Manuels et Méthodes, 1989.
- [25] L. Monition, Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique, Département d'hydrogéologie, Rapport 69 SGL 121 HYD, BRGM, Orléans, 1969.
- [26] Agence de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse. Ministère de l'environnement. Qualité du fleuve Rhône. Synthèse des connaissances. Pierre Bénite, 5 Avril 1988.

- [27] Directives de qualité pour l'eau de boisson, Vol. 1. Recommandations, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1985.
- [28] Directive du Conseil du 15/7/80 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, 80/778/CEE in J.O. CE N° L 229/41, 30-8-8.
- [29] Chemical Emergency Preparedness Program, Interim Guidance, Chemical profiles, Environmental Protection Agency, Washington, Etats-Unis, Décembre 1985.
- [30] NC Rasmussen, Reactor Safety Study, Rapport WASH 1400, Washington, Etats-Unis, 1975.
- [31] R.A.Cox, D.H.Slater, Risk assessment of chemical plants in Europe.
- [32] Quantified risk assessment : its input to decision making, Health and Safety Executive, 1989.
- [33] Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond, Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, a Pilot Study, Report to the Rijnmond Public Authority, D. Reidel Publishing Co. 1982.
- [34] NUREG Reactor risk reference document, main report, Office of Nuclear Regulatory Research, Report NUREG 1150, Washington feb 1987.
- [35] Health and Safety Executive. La maîtrise de l'urbanisations autour des sites industriels à haut risque. La gestion des sols en Angleterre. Préventique n° 29. Octobre 1989.
- [36] Health & Safety Executive; Tolerability of risk from nuclear power stations. Her Majesty's stationnary office. Londres 1988.
- [37] J. Brenot, P. Hubert, Les relations dose-effet en pollution atmosphérique ambiante : analyse critique des modèles existants et discussion des modèles applicables au cas français. INSERM, 1985.