



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Mise en application de la Directive
SEVESO II (DRA-008)**

**Méthode pour l'Identification et la
Caractérisation des effets Dominos**

(MICADO®)

Rapport Final

**MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU
DEVELOPPEMENT DURABLE**

Direction des Risques Accidentels

Décembre 2002

Méthode pour l'Identification et la Caractérisation des effets Dominos (MICADO®)

Rapport final

DECEMBRE 2002

PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

Agnès VALLEE, Emmanuel BERNUCHON, David HOURTOLOU

Ce document 75 pages (hors couvertures et annexes)

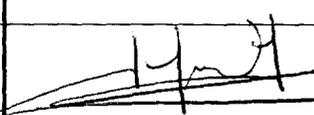
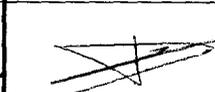
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	E. BERNUCHON A. VALLEE	D. HOURTOLOU	D. GASTON
Qualité	Ingénieurs à la Direction des Risques Accidentels	Ingénieur à la Direction des Risques Accidentels	Directeur Adjoint Direction des Risques Accidentels
Date	18/12/02 18/12/02	19/12/2002	20/12/02
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. OBJET ET CONTEXTE	3
2. DEFINITIONS.....	5
2.1 DÉFINITIONS DONNÉES DANS L'ARTICLE 3 DE LA DIRECTIVE 96/82/CE DU 9 DÉCEMBRE 1996	5
2.2 ARTICLE 2 DE L'ARRÊTÉ DU 10 MAI 2000.....	5
2.3 DÉFINITIONS PROPOSÉES PAR L'INERIS	6
3. RAPPELS RÉGLEMENTAIRES.....	7
3.1 DÉCRET DU 21 SEPTEMBRE 1977	7
3.2 DIRECTIVE 96/82/CE DU 9 DÉCEMBRE 1996	7
3.3 ARRÊTÉ DU 10 MAI 2000 / CIRCULAIRE DU 10 MAI 2000	8
4. ANALYSE DES ACCIDENTS PASSÉS	10
4.1 TYPES D'INDUSTRIES CONCERNÉES	10
4.2 ANALYSE DES ACCIDENTS	10
4.3 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE D'ACCIDENTS.....	15
5. SEUILS D'EFFETS SUR LES STRUCTURES.....	17
5.1 SEUILS POUR LES EFFETS THERMIQUES	17
5.2 SEUILS POUR LES EFFETS DE SURPRESSION	21
5.3 EFFETS MISSILES.....	28
6. METHODE POUR L'IDENTIFICATION ET LA CARACTÉRISATION DES EFFETS DOMINOS (MICADO®)	33
6.1 OBJECTIF.....	33
6.2 PRÉAMBULE – EXAMEN DES EFFETS DOMINOS DANS UNE ÉTUDE DES DANGERS.....	33
6.3 PRINCIPE DE LA MÉTHODE MICADO®	36
ÉTAPE 1 : IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS	39
ÉTAPE N°2 : DÉFINITIONS DES SCÉNARIOS D'ACCIDENTS	44
ÉTAPE N°3 : EVALUATION DES CONSÉQUENCES	49
6.7 TRAITEMENT DES EFFETS DOMINOS	53
7. PERSPECTIVES.....	70
7.1 AXES D'AMÉLIORATIONS POSSIBLES POUR LA MÉTHODE MICADO®	70
7.2 TRAVAUX PRÉVUS POUR LES ANNÉES À VENIR SUR LA THÉMATIQUE DES EFFETS DOMINOS.....	70
8. CONCLUSION.....	72
9. BIBLIOGRAPHIE	73
10. LISTE DES ANNEXES.....	75

1. OBJET ET CONTEXTE

Suite à l'accident technologique de SEVESO (Italie) le 10 juillet 1976, les Etats Membres de la Communauté Economique Européenne ont décidé de renforcer la législation sur les activités industrielles dangereuses. C'est ainsi qu'a été élaborée la Directive du 24 juin 1982 concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles, appelée Directive Seveso, avec pour objectif de réduire à la source les risques d'accidents.

Dès 1987, le Conseil de l'Union européenne, constatant la faible efficacité de la Directive Seveso I, décide de refondre le dispositif. Ce sont ces travaux qui aboutiront à l'adoption de la Directive n°96/82/CE du 9 décembre 1996 concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, appelée Directive Seveso II. Cette Directive abroge la Directive de 1982 dite Seveso I.

La Directive Seveso II conduit d'une part à poursuivre les actions déjà engagées et introduit de nouveaux points parmi lesquels figure la nécessité d'examiner les interactions entre son établissement et les établissements voisins.

Toutefois, la nécessité d'identifier et de maîtriser la propagation de sinistres par effets dominos sur une zone industrielle est bien antérieure en France à la Directive 96/82/CE dite SEVESO II et à sa transcription en droit français via notamment l'arrêté du 10 mai 2000.

Rappelons ainsi que la loi du 19 juillet 1976 précise que l'étude de dangers d'une installation classée pour la protection de l'environnement doit exposer les dangers que présente l'installation en cas d'accident, en présentant une description des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, et en décrivant la nature de l'extension des conséquences que peut avoir un accident éventuel.

En revanche, force est de constater le faible nombre de méthodes systématiques d'analyse dédiées spécifiquement à l'identification des effets dominos.

De fait, l'identification et la maîtrise des effets dominos sont intimement liés au processus d'analyse et d'évaluation des risques classiquement mis en œuvre dans une étude des dangers et l'étude des effets dominos ne constitue pas une partie annexe ou complémentaire ; elle fait bel et bien partie intégrante de la démonstration de la maîtrise des risques qui est l'objectif premier d'une étude des dangers.

Dans cette optique, ce document s'attache à proposer une méthode visant à formaliser les points relatifs aux effets dominos dans le cadre d'une étude des dangers ou d'une étude de sécurité. Cette méthode, baptisée MICADO® pour Méthode d'Identification et de Caractérisation des effets Dominos, constitue une aide pour l'intégration de la problématique des effets dominos dans une étude des dangers.

En vue de préciser les éléments indispensables à l'élaboration de cette méthode, les premiers chapitres sont dédiés respectivement :

- à la présentation d'éléments de définitions (chapitre 2),
- au rappel du contexte réglementaire (chapitre 3),
- à l'analyse d'accidents passés impliquant des effets dominos (chapitre 4),
- aux seuils à retenir pour ce qui concerne les effets sur les structures (chapitre 5).

Le chapitre 6 présente les principales étapes de la méthode MICADO® en s'inspirant de la démarche classiquement mise en œuvre dans le cadre d'une étude des dangers.

Enfin, le chapitre 7 fait état des perspectives d'évolution possibles de la méthode MICADO®, et des travaux qui seront entrepris par l'INERIS dans les années qui viennent en relation avec les effets dominos.

2. DEFINITIONS

2.1 DEFINITIONS DONNEES DANS L'ARTICLE 3 DE LA DIRECTIVE 96/82/CE DU 9 DECEMBRE 1996

1. « installation » : une unité technique à l'intérieur d'un établissement où des substances dangereuses sont produites, utilisées, manipulées ou stockées. Elle comprend tous les équipements, structures, canalisations, machines, outils, embranchements ferroviaires particuliers, quais de chargement et de déchargement, appontements desservant l'installation, jetées, dépôts ou structures analogues, flottantes ou non, nécessaires pour le fonctionnement de l'installation;
2. « exploitant » : toute personne physique ou morale qui exploite ou détient l'établissement ou l'installation, ou, si cela est prévu par la législation nationale, toute personne qui s'est vue déléguer à l'égard de ce fonctionnement technique un pouvoir économique déterminant;
3. « substances dangereuses » : les substances, mélanges ou préparations énumérés à l'annexe I partie 1, ou répondant aux critères fixés à l'annexe I partie 2, et présents sous forme de matière première, de produits, de sous-produits, de résidus ou de produits intermédiaires, y compris ceux dont il est raisonnable de penser qu'ils sont générés en cas d'accident;
4. « accident majeur » : un événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses;
5. « danger » : la propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement;
6. « risque » : la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées ;
7. « stockage » : la présence d'une certaine quantité de substances dangereuses à des fins d'entreposage, de mise en dépôt sous bonne garde ou d'emmagasinage.

2.2 ARTICLE 2 DE L'ARRETE DU 10 MAI 2000

8. « Etablissement » : l'ensemble des installations classées relevant d'un même exploitant situées sur un même site au sens de l'article 12 du décret du 21 septembre 1977 susvisé, y compris leurs équipements et activités connexes, dès lors que l'une au moins des installations est soumise au présent arrêté.
9. « Politique de prévention des accidents majeurs » : la politique mise en place par l'exploitant sur la base des accidents envisagés dans l'étude de dangers définie à l'article 3-5° du décret du 21 septembre 1977 susvisé, en vue de prévenir les accidents majeurs et de limiter leurs conséquences pour l'homme et l'environnement.

10. « Système de gestion de la sécurité » : l'ensemble des dispositions mises en œuvre par l'exploitant au niveau de l'établissement, relatives à l'organisation, aux fonctions, aux procédures et aux ressources de tout ordre ayant pour objet la prévention et le traitement des accidents majeurs.

2.3 DEFINITIONS PROPOSEES PAR L'INERIS

11. « Mesures de prévention » : ensemble des actions qui visent à diminuer la probabilité ou la fréquence d'occurrence d'un événement redouté.
12. « Mesures de protection » : ensemble des actions qui agissent en diminuant la gravité des conséquences d'un événement redouté.
13. « Evènement redouté » : l'évènement redouté résulte de la combinaison de dérives de paramètres de fonctionnement ou de défaillances d'éléments (équipements ou actions humaines), appelés évènements indésirables. Dans l'enchaînement d'évènements conduisant à un scénario d'accident majeur, l'évènement redouté constitue le moment à partir duquel la séquence d'évènements devient accidentelle.
14. « Scénario » : succession d'évènements qui s'enchaînent, de l'agression ou de la défaillance d'origine (événement indésirable) jusqu'à l'appréciation des conséquences finales de l'évènement redouté.
15. « Effet domino » :
La définition retenue par l'INERIS est la suivante :
Le terme d'effet domino se rapporte à l'action d'un phénomène accidentel affectant une ou plusieurs installations d'un établissement qui pourrait déclencher un phénomène accidentel sur un établissement voisin, conduisant à une aggravation générale des conséquences.
Lorsqu'il s'agit d'interactions entre installations proches d'un même établissement, on parlera de synergies d'accidents.

3. RAPPELS REGLEMENTAIRES

3.1 DECRET DU 21 SEPTEMBRE 1977

Comme mentionné en introduction, la préoccupation en matière d'identification et de prévention des effets dominos n'est pas une notion nouvelle en France, ou du moins est bien antérieure aux prescriptions de la Directive 96/82/CE dite SEVESO 2 .

Ainsi, l'article 3-5° du décret du 21 septembre 1977 précise que l'exploitant doit produire « *une étude des dangers, qui d'une part, expose les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident, en présentant une description des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, et en décrivant la nature et l'extension des conséquences que peut avoir un accident éventuel, et d'autre part, justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident* ».

Ainsi, les interactions entre installations dangereuses doivent être examinées de deux points de vue :

- Un accident survenant sur une installation peut initier un nouvel accident sur une installation voisine. En prenant en référence cette dernière installation, il s'agit donc d'examiner les causes d'accident d'origine externe ;
- Il y a lieu de déterminer quel impact peut avoir un accident survenant sur une installation, vis-à-vis des installations avoisinantes. En prenant en référence cette fois la première installation, il s'agit de décrire la nature et l'extension des conséquences associées à ce premier accident.

3.2 DIRECTIVE 96/82/CE DU 9 DECEMBRE 1996

L'article 8 de la Directive 96/82/CE, dite Seveso 2, a clairement insisté sur la nécessité d'examiner les interactions possibles entre établissements voisins. C'est ainsi que cette Directive précise les points suivants :

« *Effet domino* :

1. *Les Etats membres veillent à ce que l'autorité compétente, en s'appuyant sur les informations fournies par l'exploitant conformément aux articles 6 [Notification] et 9 [Rapport de sécurité], détermine des établissements ou des groupes d'établissements où la probabilité et la possibilité ou les conséquences d'un accident majeur peuvent être accrues en raison de la localisation et de la proximité de ces établissements et de leurs inventaires de substances dangereuses.*
2. *Les Etats membres doivent s'assurer que pour les établissements ainsi identifiés :*
 - a) *les informations adéquates sont échangées, de façon appropriée, pour permettre à ces établissements de prendre en compte la nature et l'étendue du danger global d'accident majeur dans leurs politiques de prévention des accidents majeurs, leurs systèmes de gestion de la sécurité, leurs rapports de sécurité et leurs plans d'urgence internes ;*
 - b) *une coopération est prévue relative à l'information du public ainsi qu'à la fourniture d'informations à l'autorité compétente pour la préparation des plans d'urgence externes* ».

Il convient ainsi de noter que la Directive Seveso 2 n'aborde a priori que les interactions entre établissements voisins, c'est-à-dire des effets dominos « externes » en se plaçant du point de vue d'un établissement particulier.

3.3 ARRETE DU 10 MAI 2000 / CIRCULAIRE DU 10 MAI 2000

La Directive 96/82/CE a été transposée en droit français via notamment l'arrêté du 10 mai 2000.

La problématique des effets dominos y est abordée dans l'article 5 de la façon suivante.

« l'exploitant tient les exploitants d'installations classées voisines informés des risques d'accidents majeurs identifiés dans l'étude des dangers définie à l'article 3-5 du décret du 21 septembre 1977 susvisé, dès lors que les conséquences de ces accidents majeurs sont susceptibles d'affecter lesdites installations.

Il transmet une copie de cette information au préfet. »

La circulaire du 10 mai 2000 précise quelques points relatifs aux effets dominos, dans les paragraphes III.2.1 et III.2.3.

Paragraphe III.2.1 :

« La description de l'établissement et de son environnement :

La description de l'établissement et de son environnement [...] doit être suffisamment approfondie pour vous permettre d'apprécier [...] les risques d'agression provenant de l'environnement (phénomènes naturels tels que les séismes, inondations et foudre, accidents survenant sur d'autres installations, risques d'intrusion...) dont l'identification incombe à l'exploitant. »

Paragraphe III.2.3 :

« Les interactions entre établissements proches (« effets dominos »), les interactions entre installations d'un même établissement :

Les interactions entre les installations d'un même établissement, action d'un premier phénomène (émission de débris par explosion, par exemple) qui pourrait en déclencher un second (fuite d'un réservoir perforé par un équipement, par exemple), ainsi que le caractère approprié d'une mesure de sécurité dans le cas où plusieurs phénomènes se conjuguent, doivent également faire l'objet d'un examen.

Il en est de même en ce qui concerne l'examen des possibilités d'interactions entre les établissements proches (examen des effets dominos).

L'évaluation des conséquences :

Compte tenu des caractéristiques de l'établissement et de son environnement, l'étude de dangers doit décrire la nature et l'extension des conséquences que pourrait avoir, à terme, un accident éventuel pour les populations concernées et l'environnement, et donner des éléments d'évaluation de la cinétique correspondante.

Les hypothèses d'accident qui sont utilisées à ce stade doivent clairement expliciter les causes et les facteurs aggravants, de même que les éléments favorables à la sécurité et à la fiabilité des installations. »

La circulaire du 10 mai 2000 précise que les interactions entre établissements proches et les interactions entre installations d'un même établissement doivent être étudiées.

Le terme « d'effets dominos » est cependant réservé dans ce texte aux interactions entre établissements voisins.

4. ANALYSE DES ACCIDENTS PASSES

Préalablement à l'élaboration d'une méthodologie d'identification des risques d'effets dominos dans une étude de dangers type SEVESO II, il paraît intéressant d'effectuer une recherche sur les accidents passés. Cette analyse peut permettre non seulement de se faire une première idée sur les risques présentés par les installations et les enchaînements d'accidents susceptibles de se produire, mais également d'évaluer les dispositifs de sécurité existants et ceux à envisager.

Une recherche d'accidents a été effectuée avec la base ARIA du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles), Service de l'Environnement Industriel, à la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, sous la thématique "Etude type sur les effets dominos". Cette étude retrace l'état de l'accidentologie en date du 5 octobre 2001 (voir en annexe 1).

4.1 TYPES D'INDUSTRIES CONCERNEES

Le BARPI a recensé 114 cas d'accidents ayant fait intervenir des effets dominos. Les accidents répertoriés se rapportent essentiellement à des installations chimiques, des installations de raffinage de pétrole, à l'industrie pharmaceutique, aux installations de production et de distribution de combustibles gazeux, aux installations de fabrication de pâte à papier, de papier et carton, ou de fabrication de peintures et vernis, mais également au transport maritime, ferroviaire ou routier, à l'industrie alimentaire, au commerce de gros, aux secteurs de la fonderie, de la chaudronnerie, etc...

4.2 ANALYSE DES ACCIDENTS

Dans le cadre de cette étude et étant donné que la liste des accidents que nous possédons n'est pas exhaustive, il n'est pas question d'effectuer des statistiques sur les causes et effets des accidents mentionnés. On pourra toutefois retenir les éléments détaillés ci-après.

4.2.1 Accidents affectant des bacs d'hydrocarbures

Sur les 9 accidents affectant des bacs d'hydrocarbures, on observe que :

- L'incendie prolongé d'un bac de stockage d'hydrocarbures a parfois entraîné un phénomène de Boil-over (4 cas).
 - Pour un Boil-over ou une explosion de bac, en présence ou non d'éléments de rétention, des effets de vague d'hydrocarbure enflammé ont été observés et ont participé à la propagation d'un incendie à d'autres bacs, installations, bâtiments proches (5 cas).
 - Lors de l'explosion de la phase gazeuse d'un bac d'hydrocarbures (5 cas), il y a eu émission de missiles (éjection du toit, rupture de la liaison robe/fond et projection de la robe) et de liquide enflammé. Après une explosion, des feux de bac ou de cuvette se sont déclarés. Les effets associés à l'éjection de fragments ont été divers : destruction des merlons des cuvettes de rétention (1 cas), endommagement des canalisations (2 cas), atteinte à d'autres bacs ou d'autres installations (chaufferie, bâtiments, véhicules...).
- L'explosion d'un bac a eu lieu soit parce que celui-ci était soumis au rayonnement thermique d'un incendie survenu sur un bac voisin, soit parce que le bac était directement soumis aux flammes d'un incendie s'étant déclaré dans sa propre cuvette de rétention.

4.2.2 Accidents affectant d'autres réservoirs de stockage

Sur les 13 accidents affectant des réservoirs de stockage, on observe que :

- Un incendie sur une cuve de stockage (1 cas) s'est propagé à d'autres cuves avoisinantes, notamment compte tenu du fait que certaines cuvettes de rétention ne sont pas totalement étanches ou que les réservoirs sont trop proches les uns des autres.
- Une fuite sur un réservoir (ou sur un organe de production) a conduit à l'explosion du nuage de vapeurs inflammables formé (6 cas), cette explosion ayant été généralement suivie d'un incendie. Cet incendie a parfois pu à son tour provoquer l'éclatement de réservoirs voisins.
- Le BLEVE d'une sphère (propane, CO₂ liquide, butane, isobutane...) (4 cas), associé à un sur-remplissage, à une fissuration de la sphère ou à un feu torche allumé à la source, a été source d'effets dominos. Ce premier BLEVE peut entraîner le BLEVE de sphères voisines ou l'ouverture de sphères (sans BLEVE), ainsi que la propulsion d'autres réservoirs et de fragments.
- L'explosion d'un réservoir (surpression, mélange de 2 produits incompatibles,...) (2 cas) endommage les réservoirs voisins. L'inflammation des réservoirs est possible. Des vapeurs toxiques peuvent être émises, les produits chimiques étant déversés dans les cuvettes de rétention (évaporation, réaction chimique lors du mélange de produits...) ou dispersés à l'atmosphère (cas de la déformation ou fissuration d'un réservoir renfermant un gaz toxique).

- La rupture d'un bac (3 cas) entraîne souvent un épandage massif de produit, qu'on qualifie d'effet de vague. Le produit est donc épandu, dans la cuvette de rétention si elle existe, ou au delà, si les murets de la cuvette ne sont pas dimensionnés pour résister à cet effet.
- La chute de réservoirs peut entraîner la rupture d'une canalisation véhiculant des produits toxiques ou inflammables (2 cas).

4.2.3 Accidents affectant des canalisations

Sur les 17 accidents concernant des canalisations, on observe que :

- L'inflammation d'un nuage (UVCE) (5 cas), suite à une fuite sur une canalisation (corrosion, attaque acide, tuyauterie provisoire...), peut endommager ou détruire des structures proches (autres canalisations, stockages, unités...) par onde de choc ou projection de fragments. L'explosion peut également être suivie d'incendies.
- Suite à la rupture d'une canalisation de produits inflammables, on peut également observer un feu torche (1 cas), qui peut aller impacter directement des canalisations ou équipements proches.
- L'inflammation d'une fuite sur une canalisation de transfert de GPL peut entraîner le BLEVE des réservoirs à laquelle elle est reliée (1 cas). Le premier BLEVE peut provoquer d'autres BLEVE et des projections de réservoirs.
- Suite à la rupture d'une canalisation entre un camion-citerne et un réservoir, durant la phase de remplissage, on observe généralement l'inflammation du nuage formé, l'explosion pouvant engendrer le BLEVE de la citerne ou du réservoir (2 cas). Il y a bien entendu des projections de fragments.
- Si une conduite enterrée est située en dessous de réservoirs, son éclatement peut endommager les réservoirs ou les enflammer (1 cas : exemple d'une conduite de gaz naturel qui se rompt, et conduit à l'inflammation de 2 réservoirs de méthanol et glycol situés au-dessus).

4.2.4 Accidents affectant des stockages (bâtiment ou stockage extérieur)

Sur les 20 accidents affectant des stockages (bâtiment ou stockage extérieur), on observe que :

- Pour les stockages (bâtiment ou stockages extérieurs), l'événement redouté est l'incendie (15 cas). Celui-ci peut être initié par l'explosion d'un contenant, par exemple. L'incendie peut se propager aux installations voisines par rayonnement thermique ou engouffrement par le feu (pas de protection physique).
- Suivant les produits stockés sur les palettes (aérosol, liquides inflammables...), sous l'effet de la chaleur de l'incendie, des explosions peuvent avoir lieu (3 cas). Les projectiles enflammés émis sont susceptibles de propager l'incendie à des installations voisines.

4.2.5 Accidents affectant des réacteurs

Sur les 6 accidents concernant des réacteurs, on observe que l'appareillage ou les canalisations surmontant un réacteur, peuvent être détruits, suite à un emballement de réaction. Les retombées de réactifs enflammés peuvent engendrer un incendie sur les autres équipements de l'atelier ou sur une autre installation voisine. Les projectiles dus à l'éclatement du réacteur peuvent endommager d'autres équipements.

4.2.6 Accidents affectant des installations mettant en œuvre de l'ammoniac

Sur les 7 accidents concernant des installations mettant en jeu de l'ammoniac, on observe que :

- Dans les installations munies d'unités de réfrigération, un incendie peut être suivi d'une explosion (inflammation de l'ammoniac libéré) ou de libération de NH_3 (3 cas).
- A noter également qu'une fuite sur une canalisation ou sur un réservoir de stockage de NH_3 peut provoquer une explosion, si le gaz est enflammé (2 cas). Des effets de surpression et des effets missiles sont alors observés.

4.2.7 Accidents relatifs au transport ferroviaire ou aux opérations sur les wagons

Sur les 7 accidents relatifs au transport ferroviaire ou aux opérations sur des wagons, on observe que :

- Suite au déraillement d'un train,
 - un wagon de GPL perforé peut s'enflammer, ce qui provoque l'explosion du wagon (3 cas). Suite à cette explosion, un incendie se déclare, des fragments sont projetés. Ainsi, d'autres wagons peuvent être affectés et être, à leur tour, le siège des phénomènes suivants : ouverture de la soupape de sécurité, feu torche entraînant le BLEVE, explosion. Des installations proches peuvent être touchées par des projections enflammées.
 - un wagon d'explosif (1 cas) ou un wagon d'essence (2 cas) peut être le siège d'un incendie, entraînant l'explosion d'autres wagons voisins, par propagation du feu. L'incendie peut se propager également à d'autres installations (bâtiments, habitations, etc...).
- Dans le cas du dépotage d'un wagon de GPL (1 cas), on peut observer l'inflammation d'une légère fuite lors de cette opération, suivie du BLEVE de la citerne, et de l'incendie de l'ensemble du convoi et des installations environnantes (habitations, commerces).

4.2.8 Accidents relatifs au transport maritime

Sur les 3 accidents relatifs au transport maritime, on observe que 2 accidents traitent de navires renfermant du nitrate d'ammonium dans leurs cales, notamment l'accident de Texas City. Les phénomènes mis en jeu sont l'incendie et l'explosion de nitrate d'ammonium, avec émission de projectiles.

Le troisième accident recensé ne présente pas d'intérêt pour la problématique effets dominos.

4.2.9 Accidents impliquant des camions citernes

Sur les 3 accidents impliquant des camions citerne, on observe que :

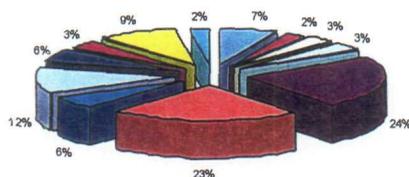
- L'inflammation d'un poids lourd transportant du carburant (1 cas), suite à un accident, est suivie d'explosions de bouteilles de gaz, le véhicule ayant percuté le dépôt d'un négociant en GPL.
- Un feu survenant sur le groupe froid d'une remorque réfrigérée (1 cas), sur une plateforme logistique, peut se propager à d'autres remorques, entraînant même l'incendie généralisé du dépôt.
- L'explosion de vapeurs de solvant suite au débordement d'un camion citerne en chargement (1 cas), est suivie d'un incendie qui atteint un stockage de fûts proche.

4.3 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE D'ACCIDENTS

L'analyse d'accidents précédemment réalisée amène les remarques générales suivantes :

- La répartition des phénomènes recensés susceptibles d'être initiateurs d'effets dominos est représentée par le graphique suivant. On peut noter que les phénomènes d'incendie et d'explosion peuvent donner lieu à des effets dominos.

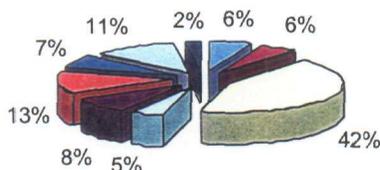
Phénomènes initiateurs recensés



- Incendie (w agon, navire, camion citerne)
- Feu de bac
- Feu de nappe ou de cuvette
- Feu torche
- Incendie (stockages, autres, etc...)
- VCE ou UVCE
- Explosion (w agon, navire)
- Eclatement de bac ou de réservoir, rupture de réservoir
- Emballement de réaction, éclatement du réacteur
- Explosion poussières
- Autres explosions
- Chute d'un réservoir

- La répartition des phénomènes secondaires recensés possibles est la suivante :

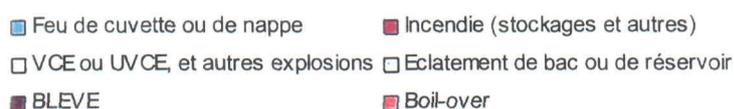
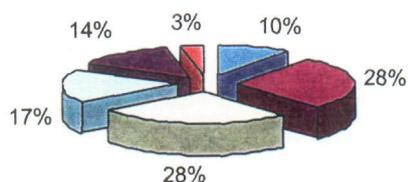
Phénomènes secondaires recensés



- Incendie (w agon, camion)
- Feu de nappe ou de cuvette
- Incendie (stockage et autres)
- Explosion (w agon, navire)
- VCE ou UVCE
- Autres explosions
- Dispersion nuage toxique
- BLEVE
- Boil-over

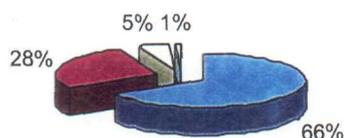
- La répartition des phénomènes tertiaires recensés possibles est la suivante :

Phénomènes tertiaires recensés



- Le nombre d'enchaînement de phénomènes pour les accidents recensés est donné sur le graphique suivant. On peut noter que, dans 94 % des accidents recensés faisant intervenir des effets dominos, on observe 1 ou 2 itérations maximum dans la cascade de phénomènes accidentels.

Nombre d'enchaînements de phénomènes accidentels recensés



- Les conséquences humaines (morts, blessés, etc...), matérielles (destruction de l'installation, usine rasée, etc...), environnementales (pollution d'un cours d'eau, etc...) d'un accident impliquant des effets dominos sont en général extrêmement lourdes.

5. SEUILS D'EFFETS SUR LES STRUCTURES

Trois types d'effets sont susceptibles d'engendrer des scénarios qui pourraient être à l'origine de synergie d'accidents : les effets de surpression, les effets thermiques et les effets liés aux projections d'équipements, aussi appelés effets missiles.

Il est à noter que la dispersion de gaz toxique n'est pas de nature à induire directement des effets dominos. Néanmoins, et bien que l'analyse des accidents passés ne le mentionne pas, on peut imaginer qu'un nuage toxique puisse empêcher l'intervention des secours pour éteindre un incendie, si l'installation en feu se trouve dans le nuage. L'incendie pourrait donc se propager et toucher une installation voisine, et indirectement le rejet toxique en est la cause. Un rejet toxique peut également porter atteinte au personnel d'un site industriel, les installations pouvant alors fonctionner sans contrôle humain, et éventuellement être le siège d'accidents majeurs.

Afin de déterminer les effets des scénarios d'accidents sur les installations industrielles, des seuils critiques correspondant à des effets notables sur les structures (effets thermiques pour les incendies, effets de surpression pour les explosions) doivent pouvoir être évalués dans le cadre de l'étude de dangers.

5.1 SEUILS POUR LES EFFETS THERMIQUES

5.1.1 Rappel de la problématique

L'objectif est d'évaluer les conséquences des scénarios impliquant des phénomènes thermiques tels que feu de nappe, incendie de stockage, feu torche...

On peut noter au préalable qu'un incendie peut se propager d'une installation à une autre par propagation du feu ou par rayonnement thermique sur la deuxième installation prenant feu à son tour.

Il est entendu que la résistance structurelle d'un équipement au rayonnement thermique est fonction de multiples paramètres comme la nature des matériaux constitutifs de l'équipement, son pouvoir d'absorption, son aptitude à former des produits volatils et inflammables, mais également de la durée d'exposition. D'autres facteurs jouent un rôle important, notamment les conditions atmosphériques, la géométrie de la flamme, la position et l'orientation de l'équipement récepteur du flux thermique, la nature et l'état du produit contenu dans l'installation cible.

Dans un premier temps, on se réfère à des seuils critiques de flux thermiques les plus couramment fournis par la littérature. Toutefois, il faut souligner qu'il est difficile de tirer une conclusion claire quant aux conséquences de l'impact thermique uniquement sur la base d'une comparaison avec des flux critiques.

En conséquence, une seconde approche plus poussée, basée sur les valeurs de températures critiques susceptibles d'être atteintes, peut être adoptée. Un bilan thermique effectué au niveau de la structure agressée permet de déterminer un temps d'exposition qui conduit à la rupture de la structure, et donc de connaître le flux critique associé.

L'idéal serait donc de raisonner en terme de couple (flux thermique, durée d'exposition) par rapport à une température critique représentative de la structure agressée (canalisations avec ou sans calorifuge, réservoir atmosphérique ou sous pression, etc...).

Une telle démarche permettrait également de porter un avis sur la stratégie d'intervention en place sur le site, en fixant des délais d'intervention limites pour des phénomènes où la cinétique de développement n'est pas négligeable (incendie, feu torche).

Toutefois, d'un point de vue pratique, les flux thermiques critiques ont l'avantage d'être le plus souvent directement comparables avec les flux thermiques incidents envisagés et sont donc plus facilement utilisables.

Par ailleurs, les conséquences liées aux effets thermiques des effets thermiques de courte durée (phénomènes de Boil-over, BLEVE, flash-fire) doivent être étudiées. A ce sujet, il faut être prudent, et ne pas écarter le fait qu'il puisse y avoir des effets sur les structures, sur une zone d'environ une centaine de mètres.

5.1.2 Revue bibliographique et état de l'art

Notons que les seuils donnés, par la suite, pour les effets thermiques sont considérés, avec une durée d'exposition suffisamment longue pour entraîner la destruction de la structure agressée.

- Selon l'expérience propre de l'INERIS [1] :
 - La peinture cloque à 8 kW/m².
 - La propagation du feu, sans mesure de protection particulière (comme de l'arrosage par exemple), est improbable en deçà de 8 kW/m².
 - Il y a un risque réel d'inflammation des matériaux combustibles (tels que le bois) à partir de 10 kW/m².
 - Si le refroidissement est important (conduisant à un maintien de l'équilibre thermique), alors la propagation du feu est improbable en deçà de 12 kW/m².
 - La propagation du feu à des réservoirs d'hydrocarbures, même refroidis, est admise à partir de 36 kW/m² pour une exposition prolongée (seuil supérieur des valeurs relevées).
 - Un flux de 84 kW/m² conduit à l'auto-inflammation des matériaux plastiques thermo-durcissables.
- En ce qui concerne l'étude des effets dominos associés à un feu torche sur les canalisations ou les réservoirs, les seuils critiques de 25 et 100 kW/m² sont évoqués pour des poutrelles en acier (en forme de "H")(Green Book, référence [2]). Ces seuils critiques sont caractéristiques d'un certain type de structure et ne sont pas applicables à une capacité ou à une canalisation circulaire recouverte éventuellement d'une isolation thermique et surtout contenant un fluide. Ces valeurs seuils peuvent être utilisées en première approximation mais afin d'être plus représentatif, il faudrait appréhender de façon plus fine ce problème physique en effectuant un bilan thermique de la structure réelle agressée. Pour une canalisation en acier, on pourra ainsi utiliser des températures critiques de 500°C pour les dégâts de niveau 1 (inflammation de la surface exposée au flux), et 200°C pour les dégâts de niveau 2 (décoloration, écaillage des peintures, déformations significatives de la structure) [3].
- Toujours d'après le TNO (Green Book [2]) :

- La valeur de 36 kW/m^2 est à considérer comme le seuil au delà duquel, pour une exposition prolongée (a priori, pour une durée d'exposition de l'ordre de l'heure), la propagation d'un incendie dans un réservoir doit être considérée
- Les structures ne doivent pas être exposées de manière prolongée à des flux supérieurs à 16 kW/m^2 (API RP 521, 1990)
- Si l'on se situe entre 8 et 36 kW/m^2 , on dispose de peu de données. Une étude plus poussée est alors à envisager, en raisonnant notamment en températures et temps d'exposition.

5.1.3 Synthèse de la revue bibliographique

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des valeurs données dans la littérature :

<i>Dégâts constatés</i>	<i>Flux radiatif (en kW/m²)</i>
Propagation du feu improbable, sans mesure de protection particulière	< 8
La peinture cloque	8
Apparition d'un risque d'inflammation pour les matériaux combustibles (tels que le bois)	10
Propagation du feu improbable, avec un refroidissement suffisant	< 12
Limite de l'exposition prolongée pour les structures	16
Propagation du feu à des réservoirs de stockage d'hydrocarbures, même refroidis	> 36
Auto-inflammation des matériaux plastiques thermo-durcissables	84

Tableau 1 : Synthèse bibliographique - effets thermiques

Un autre tableau de synthèse (référence [2]) peut fournir des informations. Le flux radiatif critique, c'est-à-dire le flux au-dessous duquel on n'observe pas l'effet décrit, quelle que soit la durée d'exposition, est déterminé pour les matériaux suivants :

	<i>Flux radiatif critique (kW/m²)</i>	
	<i>Dégâts de niveau 1</i>	<i>Dégâts de niveau 2</i>
Bois	15	2
Matières synthétiques	15	2
Verre	4	-
Acier	100	25

Tableau 2 : Flux radiatifs critiques pour certains matériaux

Avec :

Dégâts de niveau 1 : inflammation des surfaces exposées au flux radiatif, et ainsi rupture ou destruction des éléments de structures

Dégâts de niveau 2 : décoloration importante d'une certaine surface de matériau exposé au flux radiatif, écaillage des peintures et / ou déformations significatives des éléments de structure.

5.1.4 Seuils retenus par l'INERIS en première approche

Pour définir la zone où le risque d'accident secondaire engendré par l'accident initial devient significatif dans les études de dangers, l'INERIS retient 8 kW/m^2 , comme ordre de grandeur prudent

de limite de propagation de l'incendie à des installations non refroidies. Ce seuil d'effet fait l'objet d'un consensus au sein d'un groupe de travail interne à l'INERIS.

Pour mémoire, les seuils des effets thermiques sur l'homme sont les suivants :

- 3 kW/m^2 pour le seuil des effets irréversibles,
- 5 kW/m^2 pour le seuil des effets létaux.

Ces seuils supposent que les durées d'exposition sont susceptibles d'être supérieures ou de l'ordre de la minute.

5.2 SEUILS POUR LES EFFETS DE SURPRESSION

5.2.1 Rappel de la problématique

Les phénomènes de surpression tels que : VCE, éclatement de bac, explosion de poussières... peuvent engendrer des surpressions susceptibles d'affecter des équipements et installations.

La résistance d'un équipement aux effets de surpression est particulièrement difficile à déterminer. Il y a bien sûr lieu de tenir compte de la nature et de la géométrie des matériaux, mais également de la dynamique de la propagation des ondes de pression.

Dans le champ proche, la propagation des ondes de pression dépend de la nature des gaz initialement contenus dans le confinement qui se rompt et de la géométrie de la source (volume, forme, effets directionnels).

Dans le champ lointain, les caractéristiques de l'onde de souffle ne dépendent que de l'énergie totale libérée et des caractéristiques de l'atmosphère.

Le seuil de surpression pouvant provoquer des effets aux structures est donc fonction :

- de la nature des structures elles-même,
- de leur état (niveau de remplissage des bacs atmosphériques...),
- de la forme du signal de pression (impulsion, phase négative...).

Il convient de noter que, tenir compte de tous les paramètres précédemment cités, nécessiterait des développements complexes.

L'idéal serait de définir des seuils qui soient à la fois des couples (surpression maxi, impulsion) en fonction d'une typologie de structures agressées. En effet, pour le problème des effets dominos (soit un problème de résistance des structures), ce n'est pas tant le niveau de surpression qui est important mais plutôt la quantité de mouvement produite par l'explosion.

Néanmoins, dans une première approche, pour la réalisation d'une étude de dangers, et par souci de simplification, on se réfère à des seuils critiques d'effets de surpression, fournis par la littérature.

5.2.2 Revue bibliographique et état de l'art

- D'après A. Lannoy (référence [4]) :
 - Valeur typique de bris de vitres : 10 mbar
 - Destruction des vitres ≥ 10 %, limite des petits dommages : 20 mbar
 - Destruction de 50 % des vitres : 25 mbar
 - Dégâts très légers aux structures : 30 mbar
 - Destruction de 75 % des vitres et occasionnelle des cadres : 50 mbar
 - Destruction totale des vitres, détérioration partielle des maisons : 70 mbar

- Détérioration et destruction des cadres de fenêtres selon leur nature : 100 mbar
 - Effondrement partiel des murs et tuiles des maisons : 140 mbar
 - Limite inférieure des dégâts graves aux structures : 160 mbar
 - Destruction à 50 % des maisons en briques : 170 mbar
 - Démolition des cadres en acier, légers dommages aux machines dans les bâtiments industriels (ex : déplacement) : 200 mbar
 - Destruction des bâtiments légers en charpente métallique, rupture des réservoirs de stockage : 250 mbar
 - Destruction des poteaux : 350 mbar
 - Retournement des wagons de chemin de fer, destruction totale des maisons : 500 mbar
 - Destruction des murs en béton armé, destruction totale probable des bâtiments, dommages graves aux machines situées dans les bâtiments industriels : 700 mbar
- D'après l'INRS (référence [5]), les dégâts observés dans les constructions en regard des surpressions appliquées sont les suivants :
 - Bris de vitres, parfois dislocation de châssis : 40 à 70 mbar
 - Lézardes et flexions des parois de plâtre, cassure des plaques de fibrociment, dislocation, gondolage des cloisons et des toits de tôles ondulées, ainsi que des panneaux de bois : 70 à 150 mbar
 - Lézardes, cassures des murs en béton ou en parpaings, non armés, de 20 à 30 cm d'épaisseur : 150 à 250 mbar
 - Rupture de réservoirs aériens : 200 à 500 mbar
 - Bombement ou rupture des murs de brique, non armés, de 20 à 30 cm d'épaisseur : 500 à 600 mbar
 - Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé, soufflage de murs en briques : 700 à 1 000 mbar
- Dans le Green Book (référence [6]), le TNO donne les valeurs suivantes, disponibles dans la littérature, concernant les seuils de surpression et les dommages associés :
 - Destruction totale à 830 mbar, dégâts conséquents à 350 mbar, dégâts modérés à 170 mbar, dégâts mineurs à 35 mbar
 - Joints entre des tôles ondulées en acier ou en aluminium arrachés : 70 à 140 mbar
 - Murs en parpaings détruits : 150 à 200 mbar
 - Murs en briques, d'une épaisseur de 20 à 30 cm, détruits : 500 mbar

- Dommages mineurs aux structures métalliques : 80 à 100 mbar
 - Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations : 200 mbar
 - Rupture des structures métalliques auto-porteuses industrielles : 200 à 300 mbar
 - Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé : 300 mbar
 - Le toit d'un réservoir de stockage a cédé : 70 mbar
 - La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé : 1 000 mbar
 - Fissure dans des réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides : 200 à 300 mbar
 - Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire, rupture des canalisations connectées : 500 à 1 000 mbar
 - Dégâts sur une colonne de distillation : 350 à 800 mbar
 - Déformations légères sur un rack de canalisations : 200 à 300 mbar
 - Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations : 350 à 400 mbar
 - Destruction d'un rack de canalisations : 400 à 550 mbar
 - Renversement de wagons chargés : 500 mbar
 - Le dimensionnement des bâtiments industriels doit être de l'ordre de 300 mbar pour les murs, et 200 mbar pour le toit
- D'après les travaux de Clancey (référence [7]), les dommages qui peuvent être produits par une explosion sont les suivants :
 - Valeur typique de bris de glace : 10 mbar
 - Limite des dégâts mineurs aux structures : 30 mbar
 - Bris de vitres (de petites et grandes tailles), dommages occasionnels aux encadrements des vitres : 35 à 70 mbar
 - Dégâts mineurs aux structures des maisons : 50 mbar
 - Démolition partielle des maisons, rendues inhabitables : 70 mbar
 - Déformations légères des cadres métalliques des bâtiments : 90 mbar
 - Effondrement partiel des murs et toits des maisons : 140 mbar
 - Destruction de murs en béton ou parpaings non renforcés : 140 à 210 mbar
 - Limite inférieure des dommages graves aux structures : 160 mbar
 - Destruction de 50 % des maisons en briques : 170 mbar

- Légers dommages aux machines dans les bâtiments industriels, cadres en acier des bâtiments déformés et arrachés de leurs fondations : 210 mbar
 - Destruction des bâtiments en charpente métallique, rupture des réservoirs de stockage : 210 à 280 mbar
 - Destruction des bâtiments industriels légers : 280 mbar
 - Destruction des poteaux (téléphone, etc...), légers dommages sur une presse hydraulique de grande taille dans un bâtiment : 345 mbar
 - Destruction quasi complète des maisons : 345 à 480 mbar
 - Retournement des wagons de chemin de fer : 480 mbar
 - Destruction complète de wagons chargés : 620 mbar
 - Destruction totale probable des bâtiments, dommages graves aux machines situées dans les bâtiments industriels : 690 mbar
- D'après les travaux de LEES [7], une classification des dommages a été établie et définit les catégories suivantes, pour tout type d'installations industrielles :

<i>Zone</i>	<i>Niveau de dégâts</i>	<i>Surpression (mbar)</i>
A	Destruction totale (dommages irréparables)	830
B	Dommages sévères (rupture partielle et/ou rupture d'éléments de structure)	350
C	Dégâts moyens (utilisable mais des travaux sont nécessaires)	170
D	Dégâts mineurs (bris de vitres, légères fissures sur les murs, dommages aux cloisons et toitures)	35

Tableau 3 : Classification des dommages - Stephens (1970)

Des données sont également fournies, concernant les effets d'une explosion sur des bacs à toit flottant, des réservoirs cylindriques verticaux sous pression et des sphères de stockage. Les niveaux de dégâts correspondant à 20 % (dommages à la structure) et 99 % (destruction totale), sont reliés à des seuils de surpression.

	<i>Niveau des dégâts</i>	<i>Surpression (mbar)</i>
Bac de pétrole à toit flottant, en acier	20 %	241
	99 %	1378
Réservoir cylindrique vertical sous pression, en acier	20 %	827
	99 %	965
Réservoir sphérique de pétrole, en acier	20 %	551
	99 %	1102

Tableau 4 : Correspondance niveau de dégâts / surpression

5.2.3 Synthèse de la revue bibliographique

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des effets précédemment décrits pour différents niveaux de surpression incidente :

<i>Dégâts constatés</i>	<i>Seuil (mbar)</i>
Bris de vitres	10 à 70
Le toit d'un réservoir de stockage a cédé	70
Joints entre des tôles ondulées en acier ou en aluminium arrachés	70 à 140
Lézardes et cassures dans les murs légers (plâtre, fibrociment, bois, tôle)	70 à 150
Dommages mineurs aux structures métalliques	80 à 100
Fissures dans la robe d'un réservoir métallique	100 à 150
Limite inférieure des dégâts graves	140
Murs en parpaings détruits	150 à 200
Lézardes et cassures dans les murs béton ou parpaings non armés de 20 à 30 cm	150 à 250
Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200
Rupture de réservoirs de stockage Rupture des structures métalliques auto-porteuses industrielles Fissure dans des réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides Déformations légères sur un rack de canalisations Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé	200 à 300
Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations	350 à 400
Destruction d'un rack de canalisations	400 à 550
Murs en briques, d'une épaisseur de 20 à 30 cm, détruits	500 / 500 à 600
Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire, rupture des canalisations connectées	500 à 1 000
Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé	700 à 1 000
La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé	1 000

Tableau 5 : Synthèse bibliographique - effets de surpression

Ces valeurs sont retranscrites sur l'histogramme ci après :

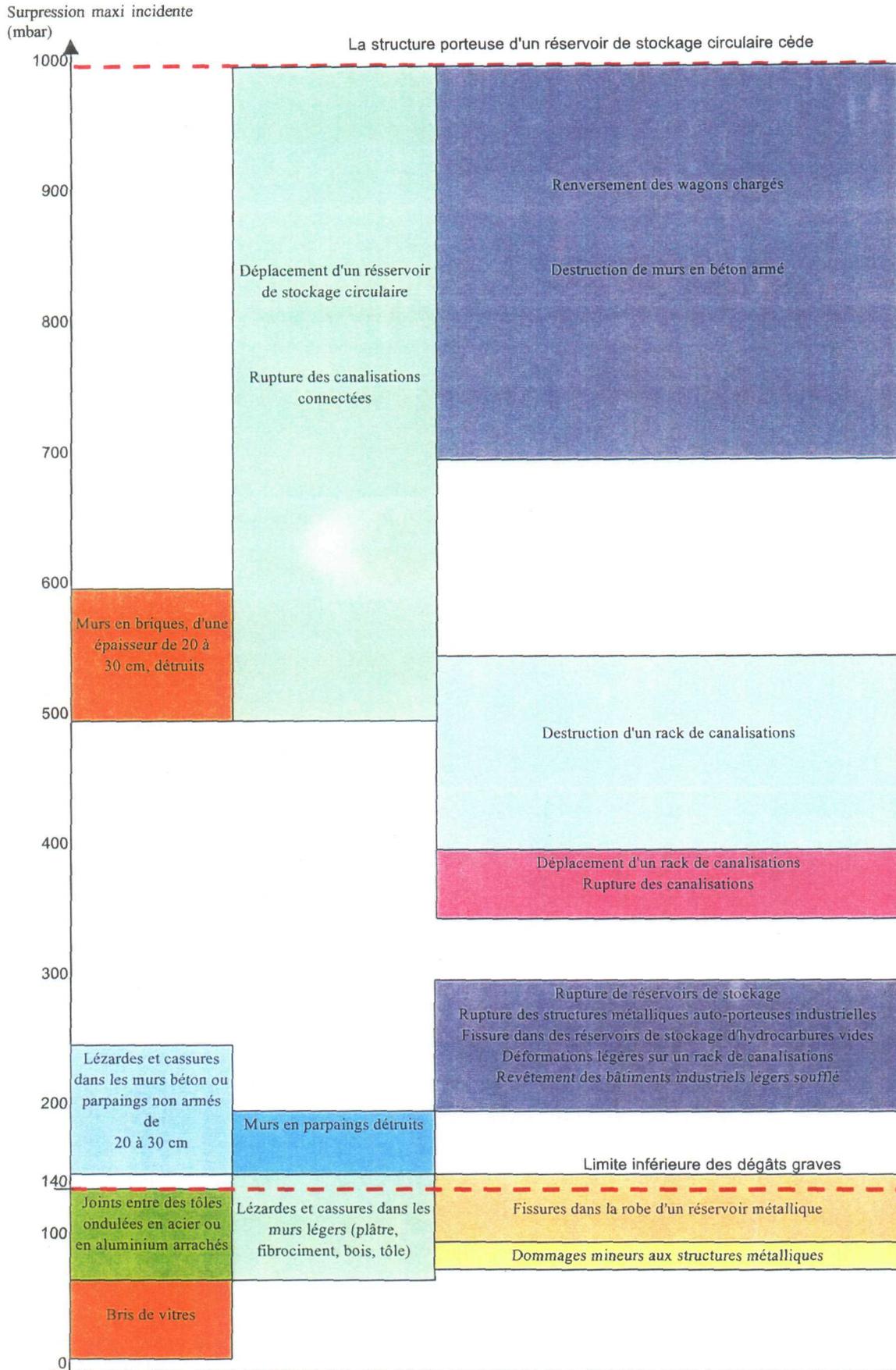


Figure 1 : Histogramme des effets de surpression

5.2.4 Seuils retenus par l'INERIS en première approche

En première approche, l'INERIS propose de retenir de manière prudente les seuils d'effets suivants, comme limite improbable de propagation d'une synergie d'accident :

- 200 mbar pour le seuil des dégâts significatifs : déformations des canalisations, déformations et ruptures de structures métalliques, rupture des réservoirs atmosphériques,
- 350 mbar pour le seuil des dégâts lourds : premières ruptures de canalisations, ruptures des structures métalliques autoporteuses industrielles,
- 500 mbar pour le seuil des dégâts très lourds ou majeurs : destruction totale des canalisations, destruction des murs en béton armé, destruction de la plupart des équipements industriels, effets sur les réservoirs sous pression.

Ces seuils d'effets ont fait l'objet d'un consensus au sein d'un groupe de travail interne à l'INERIS.

Pour mémoire, les seuils des effets de surpression sur l'homme sont les suivants :

- 30 mbar pour le seuil de détérioration des tympanes,
- 50 mbar pour le seuil des effets irréversibles,
- 140 mbar pour le seuil des effets létaux,
- 1 bar pour le seuil d'éclatement de poumons chez l'homme.

5.3 EFFETS MISSILES

5.3.1 Rappel de la problématique

Le comportement des projections de fragments de structure est complexe à déterminer. L'impact d'un missile dépend bien évidemment de son énergie cinétique, de sa trajectoire mais aussi de sa forme.

Il est ainsi difficile, voire impossible, de fonder une stratégie claire de prise en compte des effets missiles sur les structures, en raisonnant uniquement de manière déterministe sur des rayons de conséquences.

La méthode la mieux adaptée à cette problématique reste une estimation probabiliste de la répartition spatiale des fragments en fonction d'une évaluation probabiliste de la taille et de la direction d'éjection de ces fragments.

D'un point de vue déterministe, la solution la plus souvent adoptée pour prendre en compte les effets missiles est de considérer une typologie de différents fragments représentatifs de l'ensemble des agressions potentielles sur un équipement.

De plus, l'analyse d'accidents passés peut nous fournir un ordre de grandeur des distances d'effet liées aux projectiles.

De manière forfaitaire, l'INERIS retient que les distances d'effets liées aux projections de débris et autres fragments structurels sont au moins égales aux distances liées aux surpressions engendrées par l'explosion considérée.

5.3.2 Revue bibliographique et état de l'art

Dans ce paragraphe, différentes approches sont exposées, pour le traitement des effets missiles.

5.3.2.1 Epaisseurs de perforation

La perforation engendrée par l'impact d'un projectile sur une structure est proportionnelle notamment à la vitesse du projectile, à sa masse et inversement proportionnelle à sa section apparente.

Il faut retenir que plus le projectile se déplace rapidement, plus la déformation sera profonde ; plus le projectile est lourd, plus la perforation sera profonde. En revanche, plus la surface de contact du projectile avec la structure au moment de l'impact est petite, plus il sera pénétrant.

Il est possible de relier ces paramètres à un ordre de grandeur des épaisseurs de perforation dans l'acier allié et le béton armé, calculées d'après le High Pressure Safety Code (1985, B.G. COX et G. SAVILLE) (référence [8]), par la formule :

$$e = ((C \times M)/A) \cdot \log(1 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot V^2) \text{ avec}$$

- M la masse du projectile (kg)
- V sa vitesse (m/s)

- A sa section apparente lors de l'impact (m^2)
- e épaisseur de la paroi d'impact (m)
- C constante donnée dans le tableau ci-dessous :

Nature du matériau	C
Pierre calcaire	7.10^{-4}
Béton non armé - charge de rupture à la compression 15 MN/m^2	10.10^{-4}
Béton armé – charge de rupture à la compression 22 MN/m^2	6.10^{-4}
Béton armé – charge de rupture à la compression 40 MN/m^2	$3,5.10^{-4}$
Mur de pierres maçonnées	14.10^{-4}
Briquetage	25.10^{-4}
Acier doux	$0,5.10^{-4}$
Acier allié	$0,3.10^{-4}$

Tableau 6 : Valeur de la constante caractéristique des matériaux dans le calcul des épaisseurs de perforation

Il est à noter que la formule précédente n'est valable que pour des fragments de masse supérieure à 1 kg et dont le rapport longueur/diamètre est supérieur à 1.

Le tableau ci-dessous relie différents types de projectiles, satisfaisant aux conditions précédentes, à des épaisseurs de perforation.

Dénomination	M (kg)	V (m/s)	A (m^2)	Ratio K	e acier (mm)	e béton ¹ (mm)
Vanne	35	35	0,06	$20,5 \cdot 10^3$	0,45	5,3
Vanne	35	100	0,06	$58,3 \cdot 10^3$	3,1	36
Fragment de réacteur	50	150	0,02	$375 \cdot 10^3$	25	290
Couvercle de clapet	40	230	0,02	$460 \cdot 10^3$	34	390
Couvercle de cylindre	90	150	0,02	$675 \cdot 10^3$	44	500

Tableau 7 : Epaisseurs de perforation en fonction des caractéristiques des projectiles

De la lecture du tableau, on peut retenir qu'il existe un facteur multiplicatif de l'ordre de 10 entre le béton et l'acier, en ce qui concerne l'épaisseur du matériau pour laquelle on observerait une perforation.

5.3.2.2 Effets mécaniques de projections dans les sphères de gaz liquéfiés

Afin de déterminer les caractéristiques de projectiles susceptibles d'être rencontrés sur un site industriel, l'INERIS, dans une approche forfaitaire, se réfère à une étude réalisée par la Société SNPE Ingénierie pour le compte du Ministère de l'Environnement intitulée « Effets mécaniques de projections dans les sphères de gaz liquéfiés » et référencée 931934.0/PCL/PCL rev.1, en date du 07 avril 1995 (référence [9]).

En site industriel, il est complexe de définir précisément quels seront les projectiles et leurs caractéristiques balistiques (vitesse, angle d'envol ...). Ceci est dû principalement à la diversité des équipements et bâtiments ainsi qu'à la complexité de la mécanique de rupture de ceux-ci.

¹ Béton armé (charge de rupture à la compression de 40 MN/m^2)

A ce jour, il est donc nécessaire de choisir un ou plusieurs “projectiles types” pour étudier leurs balistiques et leurs effets éventuels.

Pour argumenter le choix des projectiles types, il convient d'examiner les projectiles retrouvés lors d'accidents et de créer quelques classes de projectiles. Cette démarche conduit aux trois classes principales suivantes :

- les projectiles massifs, de type vanne,
- les projectiles élancés, tels que tuyauteries et profilés de bâtiments et de racks ...
- des projectiles plaques, tels que tôles de calorifugeage, bardages, toits de réservoirs atmosphériques...

La vitesse initiale de projection est proportionnelle à la surface d'exposition, à la pression et inversement à la masse.

La portée dépend de la vitesse, de la masse et des caractéristiques aérodynamiques du projectile, ainsi que de l'angle d'éjection.

Dans le cadre de l'étude pour le Ministère de l'Environnement, quatre projectiles types ont été retenus. Il s'agit de :

- une vanne de 35 kg : Il s'agit d'un élément ayant un rapport (maître couple / masse) faible. Offrant peu de surface au souffle d'une explosion, sa vitesse de projection sera plutôt faible.
- un tube de 6 pouces (masse de 25 kg environ pour 1 mètre de long) : Ce type d'élément a un rapport (maître couple / masse) plus élevé qu'une vanne. Sa vitesse initiale est donc plus élevée que celle d'une vanne pour un même événement initial. Ainsi, une vitesse deux fois plus importante que celle de la vanne est retenue.
- un fond bombé (masse de 1 tonne environ) : Ce type d'élément est issu de l'éclatement d'une capacité (avec ou sans explosion interne). Un certain nombre de travaux, notamment ceux de Holden, amènent à prévoir une vitesse maximale élevée (de l'ordre de plusieurs centaines de m/s) en tant que vitesse initiale. Cependant, pour de telles pièces, le freinage aérodynamique est très rapide, notamment pour de grandes vitesses, ce qui fait que les vitesses d'impact sont notablement inférieures aux vitesses initiales.
- des pièces de 0,1 kg et 1 kg : Il s'agit de pièces issues de machines tournantes dont la vitesse de rotation des parties en rotation peut atteindre plusieurs milliers de tours par minute.

Pour chacun de ces projectiles types, trois vitesses d'impact sont retenues.

Les éléments retenus sont donc finalement présentés dans le tableau ci-dessous :

Projectile type	Surface apparente (m ²)	Vitesse d'impact (m/s)		
		V1	V2	V3
Vanne de 35 kg	0,06	15	50	150
Tube de 6 pouces (25 kg)	0,09	30	100	200
Fond bombé (1 tonne)	0,5	50	150	250
Pièces de 0,1 kg et 1 kg	0,01	100	300	-

Tableau 8 : Caractéristiques de projectiles-types susceptibles d'être rencontrés en milieu industriel

Nota : Les projectiles types sont notamment ceux qui ont été utilisés pour établir l'équivalence terre/Texsol dans le cas des réservoirs sous talus de gaz liquéfiés [10].

5.3.2.3 Modèle d'Holden et Reeves

Une étude portant sur les missiles générés par les BLEVEs a été réalisée par Holden et Reeves (1985), sur la base d'accidents passés [7].

Pour les réservoirs cylindriques ou sphériques, les auteurs ont étudié le nombre de fragments, la distribution des fragments et la direction prise par les fragments.

5.3.2.4 Utilisation du module MISSILE du logiciel EFFEX [11] développé à l'INERIS

La projection de fragments lors d'une explosion peut être la cause d'effets dominos :

- par perforation directe d'une canalisation ou d'une capacité entraînant la perte de confinement,
- par endommagement des structures porteuses.

L'étude des effets missiles s'articule donc de la façon suivante :

- détermination des caractéristiques des fragments susceptibles d'être projetés lors des scénarios d'explosion étudiés (forme, dimension caractéristique, masse, matériau),
- évaluation de la distance de projection et de la vitesse de ces fragments sous l'effet d'une onde de pression aérienne (détermination de la vitesse ou de l'impulsion initiale des fragments, calcul de la trajectoire du fragment)
- évaluation du pouvoir de perforation des fragments dans des cibles types (capacités ou canalisations)

L'INERIS a développé le module MISSILE qui permet de calculer la trajectoire d'un fragment soumis à une onde de pression aérienne. MISSILE résout les équations de la balistique dans lesquelles sont introduits les effets de l'onde de pression aérienne.

Le calcul de la trajectoire d'un fragment type est réalisée à partir des données suivantes :

- le matériau,
- la masse,
- la masse par unité de surface (maître couple),
- le Cx (coefficient de traînée du fragment),
- l'impulsion initiale (estimée, par exemple, à l'aide de la méthode multi-énergie développée par le TNO [12]). Elle est donc étroitement liée à l'énergie d'explosion et à l'indice de violence choisi sur l'échelle de la multi-énergie.

Les effets de portance sont négligés. La forme du fragment n'est pas prise en compte.

Le projectile est supposé émis avec un angle d'incidence de 35° par rapport à la verticale. Il s'agit de l'angle qui conduit aux distances de projection maximale.

Le fragment est considéré perpendiculairement à la direction de sa trajectoire, ce qui correspond à une poussée maximale dans la phase d'ascension, mais augmente le freinage pendant la phase de chute libre. Ainsi, ces deux effets contraires se trouvent compensés.

La vitesse d'émission et la portée du fragment dépendent fortement de l'impulsion qui lui est appliquée. En revanche, la vitesse du projectile quand il atteint le sol est beaucoup moins variable, car il s'agit d'une vitesse de chute libre qui n'est fonction que de l'altitude maximale atteinte par le projectile.

La profondeur de pénétration est ensuite estimée, comme une fonction :

- de la vitesse d'impact,
- de la taille et de la masse des fragments,
- de la nature de la cible.

Le pouvoir de perforation est donné par la formule suivante :

$$X_p = 2 / (\rho_c \cdot a_c + \rho_p \cdot a_p) \times V_n \times \Sigma_s$$

où V_n désigne la composante normale de la vitesse d'impact, Σ_s la masse par unité de surface du projectile, ρ la densité, a la vitesse du son et les indices p et c , respectivement le projectile et la cible.

La perte de confinement d'un équipement cible doit être considérée lorsque la profondeur de pénétration d'un projectile est plus élevée que l'épaisseur de la cible.

Si la profondeur de pénétration est inférieure à l'épaisseur de la cible, une fragilisation des structures suite à l'impact d'un projectile est possible. Les propriétés de résistance des matériaux ne sont donc plus garanties après l'impact d'un projectile.

5.3.2.5 Démarche adoptée par l'INERIS pour le traitement des effets missiles

Ainsi, pour traiter les effets missiles, l'INERIS s'appuie sur :

- le retour d'expérience (Holden et Reeves (1985) pour les missiles générés par les BLEVES, etc...),
- l'utilisation de projectiles types et du logiciel MISSILE.

6. METHODE POUR L'IDENTIFICATION ET LA CARACTERISATION DES EFFETS DOMINOS (MICADO®)

6.1 OBJECTIF

Comme précisé en introduction de ce document, la préoccupation en matière d'effets dominos n'est pas nouvelle en France. A ce titre, elle fait partie intégrante de l'examen des causes potentielles d'accident (d'origine interne ou externe) et de l'évaluation des conséquences devant figurer dans une étude des dangers par exemple.

En ce sens, la méthode MICADO® proposée dans les paragraphes suivants a été développée en vue de formaliser les points relatifs à l'étude des effets dominos et non comme une méthode globale intégrant des outils d'analyse des risques et de modélisations. En effet, la méthode MICADO® ne consiste pas à reprendre les phases d'analyse des risques et d'évaluation des conséquences par ailleurs développées dans une étude des dangers. Elle vise plutôt à s'appuyer sur ces résultats en vue de faire clairement apparaître les risques d'aggravation du sinistre et d'adéquation des moyens de secours vis-à-vis des effets dominos.

6.2 PREAMBULE – EXAMEN DES EFFETS DOMINOS DANS UNE ETUDE DES DANGERS

De manière schématique, l'examen des effets dominos dans une étude des dangers doit permettre :

- d'assurer que les scénarios d'accident majeur considérés incluent bien le cas échéant la possibilité d'agressions externes associées à des accidents survenant sur des installations industrielles. Ces dernières jouent en effet à la fois :
 - sur la probabilité d'un scénario d'accident jugé peu vraisemblable. Il est à noter que cette influence est généralement minime du fait de la déjà faible probabilité d'occurrence de l'accident agresseur,
 - sur les conséquences d'un scénario, qui peuvent être aggravées par l'occurrence de l'accident agresseur.
- d'identifier les scénarios d'accident susceptibles d'engendrer une extension du sinistre sur le site ou sur des sites voisins et, le cas échéant, de justifier la mise en place de mesures spécifiques à la maîtrise de cette propagation,
- de vérifier qu'un niveau de sécurité acceptable peut être maintenu sur le site même en cas d'effets domino (ex. salle de contrôle, circuit incendie...).

L'examen des effets dominos peut dès lors se révéler une tâche lourde et complexe car :

- l'établissement peut être considéré tour à tour comme une cible potentielle pour des agressions d'origine externe ou comme une source potentielle d'effets dominos pour des établissements voisins comme le montre la Figure 2 suivante,
- la prise en compte de scénarios d'accidents ayant des effets majeurs sur l'homme n'est pas suffisante pour se prononcer sur la possibilité d'occurrence d'effets dominos,
- les modélisations des scénarios d'accident doivent être effectuées pour des seuils caractérisant l'intégrité des équipements, en plus des seuils adaptés à la santé humaine.

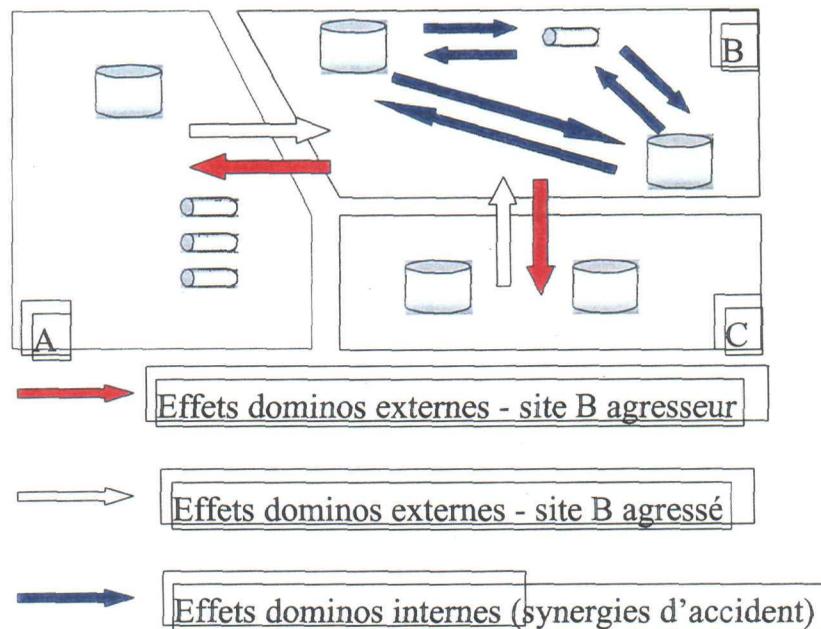


Figure 2 : Représentation schématique des interactions entre installations

La Figure 3 présentée à la page suivante reprend les codes couleur présentés ci-dessus et illustre la place qu'occupe classiquement l'examen des effets dominos dans une étude des dangers.

Elle met ainsi en évidence la complexité de l'étude ainsi que la contribution respective qu'apportent les phases d'analyse des risques et d'évaluation des conséquences.

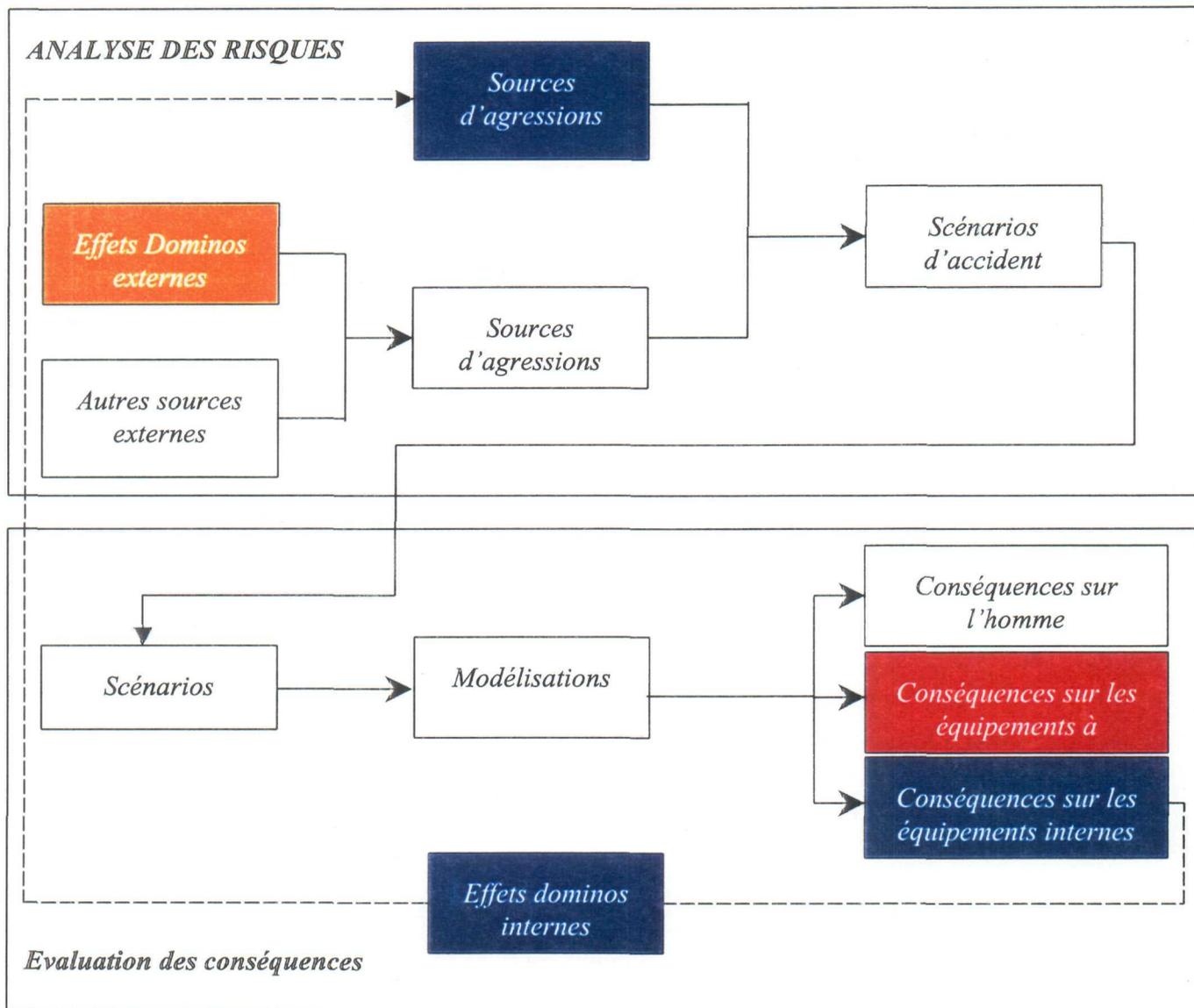


Figure 3 : Examen des effets dominos dans l'étude des dangers

6.3 PRINCIPE DE LA METHODE MICADO®

Comme précisé plus avant, la méthode présentée dans les paragraphes suivants doit être considérée comme un outil guidant la réflexion générale menée dans le cadre d'une étude des dangers ou d'une étude de sécurité.

Cette méthode considère les quatre étapes successives suivantes :

- 1) **Identification et description des équipements.** Cette étape constitue le point de départ de toute étude de sécurité ou des dangers. Pour ce qui concerne plus particulièrement la problématique des effets dominos, il est important d'identifier les différents équipements potentiellement dangereux de manière systématique. En effet, certains équipements peuvent être à l'origine d'accidents affectant gravement les installations situées à proximité sans pour autant conduire à des conséquences enveloppes sur l'homme. De la même façon, il semble pertinent de distinguer les équipements pouvant être sources d'agressions de ceux dont l'intégrité est indispensable au maintien d'un niveau de sécurité acceptable sur le site (cas des salles de contrôle ou des locaux pomperie incendie) et qui pourront être considérés comme des cibles particulières.
- 2) **Analyse des risques – Définition des scénarios d'accidents.** Cette seconde étape permet de mettre en lumière les scénarios d'accidents susceptibles de survenir ainsi que les barrières de sécurité prévues par l'exploitant pour faire face à ces situations de dangers potentielles. Dans le cas des effets dominos, cette partie doit intégrer les possibilités d'agressions externes associées notamment à la proximité d'autres installations industrielles ou les conséquences de défaillance affectant des équipements sensibles tels une salle de contrôle ou des fournitures d'utilités. Il est proposé de présenter en fin de cette étape un tableau des scénarios d'accidents identifiés et qui feront l'objet de modélisations au titre des effets sur l'homme, sur les équipements ou l'environnement. Notons qu'il est souvent difficile à ce stade d'intégrer les synergies d'accident internes à un site dans le sens où l'évaluation des conséquences est souvent indispensable pour juger de la possibilité de synergie d'accidents. C'est pourquoi la Figure 3 intègre bien, en ligne pointillée, un lien récursif entre l'évaluation des conséquences et la sélection des scénarios d'accident à considérer.
- 3) **Evaluation des conséquences.** Cette partie permet d'estimer, en ordre de grandeur, l'importance des effets pour les scénarios considérés dans l'étape précédente. Il s'agit pour chacun d'eux d'évaluer de façon systématique les distances où des effets sur l'homme et les structures peuvent être envisagés. La méthode présentée dans ce document propose en conclusion de dresser des tableaux par type d'effets, qui indiquent les équipements dangereux ou sensibles se trouvant à une distance de l'équipement à l'origine de l'accident, inférieure aux distances d'effets calculées.

4) **Traitement des effets dominos.** Cette dernière partie est la seule étape véritablement novatrice de la méthode dans la mesure où les précédentes ne font que formaliser le travail classiquement réalisé dans le cadre d'une étude des dangers, par exemple.

Il s'agit, à partir des tableaux d'effets réalisés à l'étape précédente, d'identifier les sinistres pouvant être initiés par les scénarios d'accidents envisagés et de s'assurer que ces synergies d'accident ont bien été (implicitement) prises en compte dans la définition des scénarios d'accident. Si tel n'est pas le cas, la méthode propose de considérer de nouveaux scénarios intégrant ces nouvelles possibilités d'agressions.

Une fois que les effets dominos ont été identifiés pour des équipements pris deux par deux (un agresseur et une cible), la méthode suggère d'identifier les cascades d'accidents sur la base d'un facteur noté PED pour Propension aux Effets Dominos. Ce facteur permet, sur la base des résultats de la partie « Evaluation des conséquences », de définir dans quelle mesure il y a lieu de considérer une propagation successive d'un sinistre sur plusieurs équipements.

En dernier lieu, cette étape s'attache à estimer la criticité des effets dominos ou cascades d'effets dominos identifiés en répondant aux questions suivantes :

- Y-a-t-il aggravation du sinistre ?
- Quelle est la cinétique de ces enchaînements d'accidents ?
- Quel impact ont ces effets dominos sur les dispositions de maîtrise des risques mises en place ?

Le cas échéant, la méthode demande à l'utilisateur de proposer des mesures complémentaires pour assurer que la maîtrise des risques peut être assurée, dans la mesure du possible, quel que soit l'accident initiateur considéré.

Les paragraphes à venir s'attachent à décrire plus en détail chacune de ces étapes. Pour la clarté de l'exposé, un exemple fictif est utilisé comme fil conducteur.

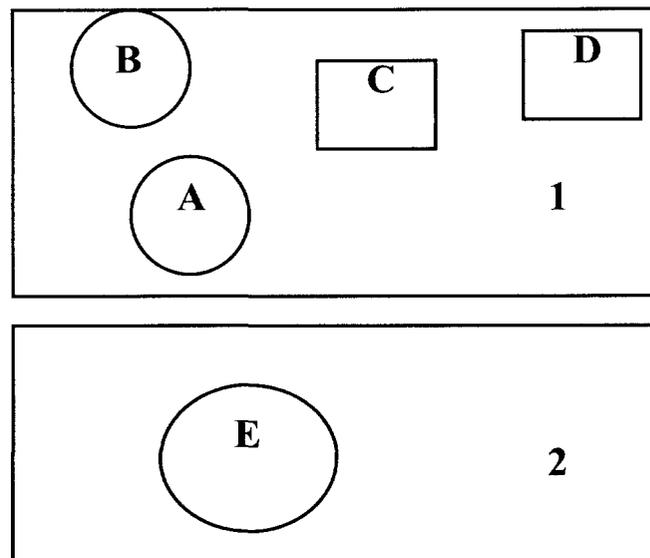


Figure 4 : Exemple fictif utilisé pour illustrer la démarche MICADO®

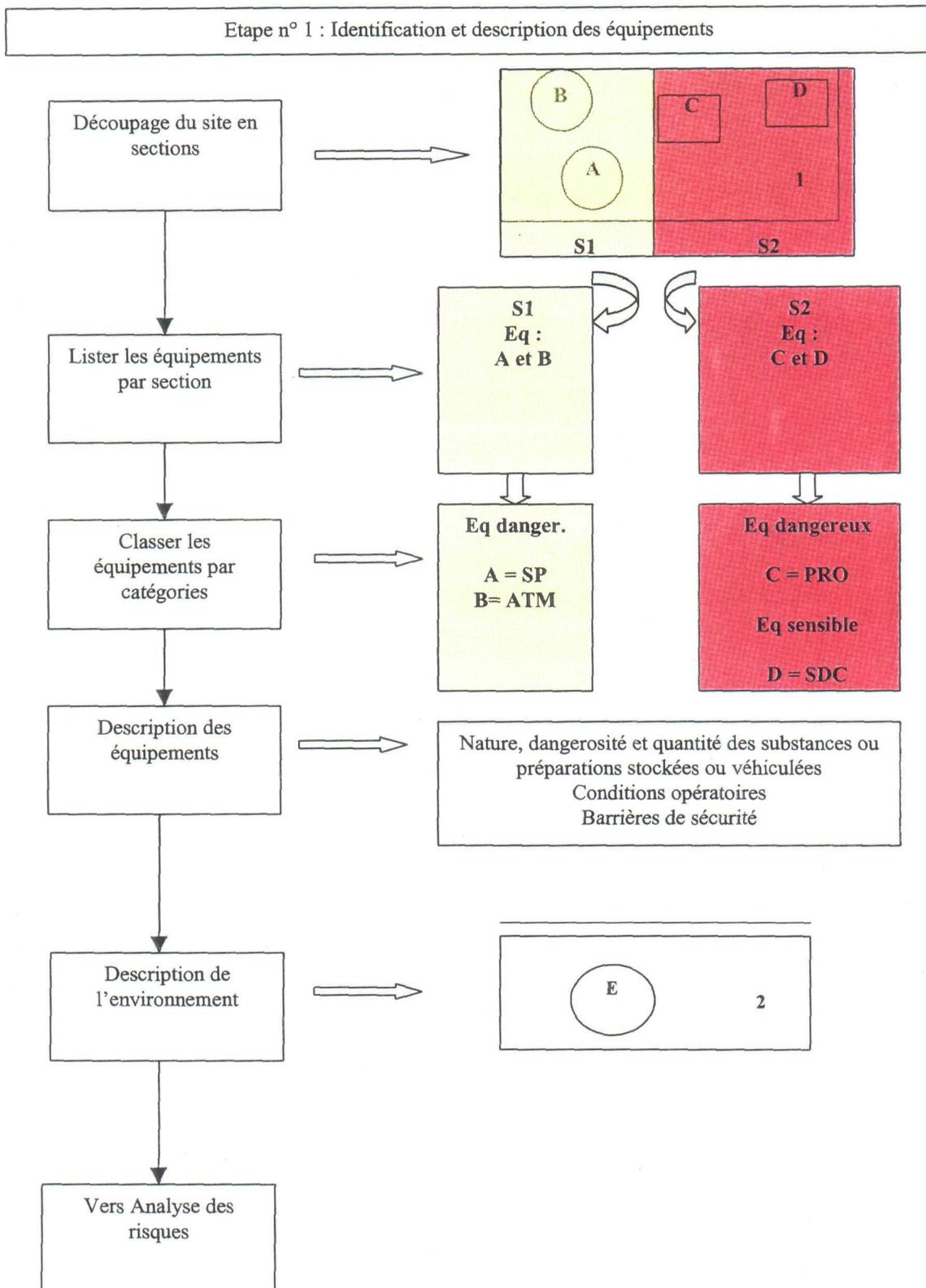
L'étude pour l'identification et la maîtrise des effets dominos concerne le site n°1. Le tableau suivant recense les équipements présents sur ce site.

<i>Désignation</i>	<i>Equipements</i>
A	Réservoir de Gaz Liquéfié sous pression, stocké à la température atmosphérique
B	Réservoir de gazole
C	Réacteur mettant en œuvre des produits de réaction gazeux toxiques
D	Salle de contrôle

Tableau 9 : Liste des équipements présents sur le site n°1

Le site 1 est voisin d'un site n°2, comportant notamment un stockage d'oxyde d'éthylène noté E sur la Figure 4.

6.4 ETAPE 1 : IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS



Cette partie, essentiellement descriptive, permet de collecter l'ensemble des informations indispensables pour l'étude des effets dominos entre autres. Les paragraphes suivants présentent une approche permettant de formaliser la collecte d'informations de manière efficace. Elle s'inspire pour partie des considérations développées par le Major Risk Research Centre de la Faculté Polytechnique de Mons dans le cadre de la méthodologie DOMINO. Pour plus de détails sur cette méthodologie, le lecteur pourra se reporter aux documents référencés [13] et [14], et à l'examen critique de la méthodologie réalisé par l'INERIS [15].

Cette étape rappelle la démarche adoptée classiquement en étude de dangers, où une description de l'environnement du site et une description des installations sont réalisées.

6.4.1 Découper le site en sections

Le découpage du site à étudier en sections permet de fractionner la description en se concentrant sur des parties circonscrites des installations.

Une section pourra être repérée comme un ensemble géographiquement cohérent, séparé des autres par des frontières physiques (murs, cloisons,...) voire des espaces vides (allées, voies de circulation).

Eventuellement, il peut être utile d'intégrer une composante « fonction » des sections, en distinguant par exemple les sections dévolues aux activités de stockage et celles dédiées aux activités de chargement/déchargement. Notons toutefois que ce critère peut s'avérer difficile à mettre en œuvre, notamment sur des zones de process, comprenant classiquement des unités de stockage tampons et des unités de production.

6.4.2 Lister les équipements par sections

Pour chacune des sections identifiées, il convient de lister, de manière exhaustive les installations et équipements qui la composent. L'attention est attirée sur le fait que des équipements non dangereux (c'est-à-dire ne contenant pas de produits présentant un danger) « a priori » ne doivent pour autant être négligés de manière automatique, dans la mesure où ils peuvent représenter des sources d'agressions potentielles non négligeables (cas de stockage de gaz liquéfié inertes sous pression par exemple).

En vue de préciser la démarche, il est utile de classer les équipements par catégories d'équipements. Ce classement présente notamment les avantages suivants :

- pour une catégorie donnée, les informations à renseigner sont souvent les mêmes,
- les catégories d'équipements permettent de donner une première vue sur les types d'accidents pouvant survenir et permettent d'identifier les équipements jouant un rôle prédominant pour la sécurité des installations.

Nous considérerons ici des catégories d'équipements réparties selon que nous avons affaire à :

- des équipements pouvant être générateurs d'accidents et qui représentent de fait des sources potentielles d'agressions pour les équipements voisins. Ces équipements seront dénommés « Agresseurs » dans ce document mais notons qu'a priori tout équipement « Agresseur » peut également être considéré comme une cible potentielle pour d'autres agressions externes.
- des équipements dont le bon fonctionnement est indispensable à la mise en sécurité des installations et à l'intervention. Ces équipements dénommés

« sensibles » dans ce document, seront à considérer comme des cibles particulières vis-à-vis d'agressions externes potentielles.

Au nombre des équipements dangereux, on trouvera à titre d'exemple les équipements de process (réacteurs chimiques...), les zones de stockages, les zones d'utilités (chaufferie,...). Les équipements sensibles regroupent les installations indispensables au contrôle des procédés et à la mise en sécurité du site. Il peut s'agir de salles de contrôles, de local pomperie incendie...

Les catégories types d'équipements proposées par la méthode MICADO® figurent dans le tableau ci-dessous.

Equipements dangereux		Equipements sensibles	
<i>Désignation</i>	<i>Description</i>	<i>Désignation</i>	<i>Description</i>
SP	Stockage sous pression	SDC	Salle de contrôle
CRYO	Stockage cryogénique	INC	Locaux ou équipements Incendie
ATM	Stockage atmosphérique	BAT	Bâtiments, bureaux...
CHG	Zone de chargement/déchargement	UTI	Utilités (électricité,...)
PS	Stockage de produits solides		
PRO	Zone de process		
PCD	Stockages en petits conditionnements		
UTD	Utilités (impliquant des matières dangereuses ou un fonctionnement sous pression)		
TUY	Réseaux de tuyauterie		

Tableau 10 : Catégories d'équipements pour la méthode MICADO®

6.4.3 Décrire les caractéristiques de chaque équipement

Suite à l'identification des équipements, il s'agit de décrire leurs principales caractéristiques en vue de pouvoir ultérieurement mener l'analyse des risques et l'évaluation des conséquences de manière pertinente. Cette étape peut s'avérer en pratique fastidieuse et lourde, si bien qu'il est souvent nécessaire de se concentrer en priorité sur les informations nécessaires et suffisantes pour mener l'étude.

Ces informations sont notamment fonction du type d'équipement considéré et, de manière classique, concernent :

- la nature, la dangerosité et les quantités de substances stockées ou véhiculées,
- les conditions opératoires (pression, température, composition...) pour chaque phase de fonctionnement (arrêt, démarrage, fonctionnement opérationnel...),
- les procédures pour l'exploitation et la mise en sécurité des installations,
- les barrières de sécurité (techniques ou organisationnelles) prévues pour maîtriser les risques sur l'équipement considéré.

Pour guider cette collecte d'informations, il peut être utile de se référer aux fiches d'équipements proposées par le MRRC de la Faculté Polytechnique de Mons dans le cadre de sa méthodologie « DOMINO ». Ces fiches présentent les informations indispensables à renseigner par type d'équipements. Un exemple d'une fiche pour les équipements sous pression est donné en annexe 2.

Il est clair que, pour une personne expérimentée, les informations pertinentes à collecter apparaissent comme évidentes. En ce sens, les fiches d'équipements peuvent être considérées comme des listes de contrôle (check-lists) assurant que des informations essentielles n'ont pas été oubliées.

6.4.4 Décrire l'environnement des installations

Les paragraphes précédents se sont contentés de fournir des pistes pour la description des installations du site étudié. Il est clair que, dans la mesure où il s'agit d'identifier les causes possibles d'un accident qu'elles soient d'origine interne ou externe, l'environnement du site doit également faire l'objet d'une description détaillée. Cette dernière permet non seulement d'identifier des sources potentielles d'agressions pour les installations examinées mais également de mettre en lumière des cibles dans l'environnement pouvant être affectées par les conséquences d'un accident survenant sur le site étudié.

Dans ce paragraphe, le terme « environnement » est à entendre au sens large et comprend donc les entités naturelles (conditions climatiques, sismicité, voies d'eau...) ainsi que les installations liées à l'activité humaine (voies de communication, installations classées...).

Dans ce document, nous nous concentrons sur la problématique des effets dominos mais il convient de souligner que **ces synergies d'accident ne sont qu'une cause extérieure parmi d'autres d'un accident majeur.**

S'agissant d'installations classées, il convient de lister les établissements situés à proximité en précisant si possible leur type d'activités, et si nécessaire, en fonction du potentiel de danger, la nature des équipements présents sur ces sites.

De manière synthétique, il convient, en se référant à la Figure 2, de considérer tour à tour les installations étudiées comme agresseurs et cibles potentiels.

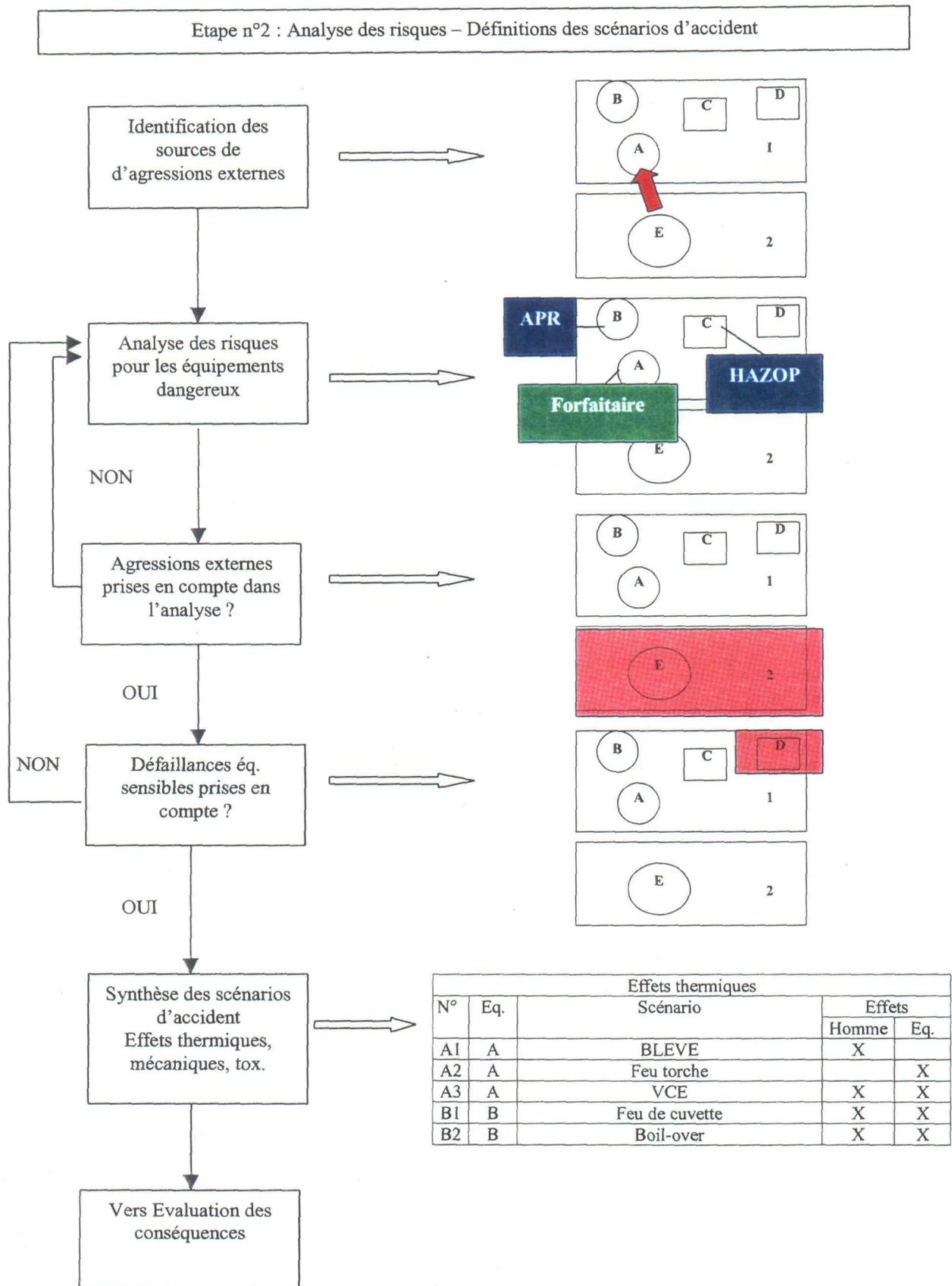
6.4.5 Ce qu'il faut retenir

Les paragraphes précédents présentent une approche qui s'avère souvent utile pour organiser la collecte d'informations mais a priori, cette étape peut être menée d'autres manières.

Les points essentiels devant figurer au terme de cette phase descriptive, sont, pour ce qui concerne les effets dominos, les suivants :

- tous les équipements ont bien été examinés, même ceux ne pouvant conduire a priori à des accidents ayant des conséquences majeures sur l'intégrité des personnes,
- les équipements dangereux et ceux dits « sensibles » ont été identifiés,
- les installations situées à proximité du site étudié ont bien été considérées.

6.5 ETAPE N°2 : DEFINITIONS DES SCENARIOS D'ACCIDENTS



6.5.1 Identification des sources d'agressions externes

Préalablement à la mise en œuvre d'outils systématiques d'analyse des risques (APR, HAZOP, AMDEC...), il est important d'identifier les sources potentielles d'agressions externes. En effet, les outils systématiques d'analyse classiquement mis en œuvre dans le cadre d'études de sécurité ou des dangers, sont des méthodes qui visent à étudier les conséquences sur l'environnement de défaillances affectant les installations étudiées.

Aussi, pour que leur mise en œuvre soit pertinente, il convient d'identifier dans un premier temps les causes d'origine externe pouvant entraîner un accident sur les installations objet de l'étude.

Ces sources d'agressions externes ne se limitent pas aux effets dominos inter-sites mais dans ce document, nous nous limiterons à cet aspect particulier.

Conformément à l'article 5 de l'arrêté du 10 mai 2000, l'exploitant d'une installation soumise à cet arrêté doit tenir informés les exploitants d'installations classées voisines des risques d'accidents majeurs, dès lors que les conséquences de ces accidents sont susceptibles d'affecter les dites installations.

Idéalement, il conviendrait de connaître précisément les niveaux de surpression, de flux thermiques, etc... reçus par chaque équipement du site étudié ainsi que le temps pendant lequel ces effets s'appliquent.

En pratique, ces informations ne sont souvent pas disponibles en l'état. Pour une meilleure homogénéité des études, il conviendrait de définir les informations indispensables devant être communiquées par chaque exploitant pour que son voisin puisse envisager la problématique des effets dominos de manière cohérente.

Il pourrait ainsi être proposé que chaque exploitant fournisse à ses voisins (dès lors que ces derniers peuvent être concernés par la problématique des effets dominos) :

- **les enveloppes des effets mécaniques, thermiques et toxiques sur les équipements et les hommes,**
- **des gradients d'effets à l'extérieur du site, pour chaque type d'effets, ainsi que le temps pendant lequel ces gradients s'appliquent.**

Notons que les gradients d'effets peuvent être recalculés à partir de deux seuils d'effets (léthalité et effets irréversibles sur l'homme, par exemple). Il est indispensable cependant d'avoir la connaissance des modèles utilisés, des hypothèses prises concernant la localisation du phénomène, les quantités mises en jeu...

Le fait de fournir directement les gradients d'effets permet de limiter cet échange d'informations au strict minimum nécessaire.

En fonction des distances d'effets ainsi fournies et des seuils d'effets considérés, il est possible d'identifier les équipements pouvant être affectés par un accident survenant sur le site voisin et en définitive, d'intégrer cette hypothèse ultérieurement dans l'analyse des risques.

6.5.2 Analyse des risques pour les équipements dangereux

En fonction de la complexité et de la dangerosité supposée des équipements présents sur le site étudié, une démarche systématique est à mettre en œuvre pour identifier, en outre, les accidents pouvant survenir, leurs conditions d'occurrence ainsi que les barrières existantes ou à envisager pour y faire face.

Il existe différents outils d'analyse systématique des risques : APR, HAZOP, What If, etc... ou combinaison d'outils. Comme noté précédemment, il ne s'agit pas ici de décrire dans le détail la démarche à appliquer pour la mise en œuvre de ces outils, mais de réfléchir à la manière dont on pourrait traiter les effets dominos par le biais de ces outils.

La logique de chacun des outils est globalement la même. Elle s'appuie sur l'élaboration d'un tableau d'analyse des risques dont un exemple est donné ci-dessous :

Installation étudiée : Sphère de GPL								
Evènement indésirable	Causes	Conséquences	G	Barrières existantes	F	Proposition d'amélioration	G	F
Montée en pression	Agression thermique externe	BLEVE	3 ou 4 (cibles : opérateurs ou environnement) 2 (cible : camion citerne)	...	...	...	...	...

Tableau 11 : Exemple de tableau d'analyse de risques

Pour chaque événement indésirable retenu, il s'agit d'identifier les causes aussi bien internes qu'externes, et notamment les effets dominos qui pourraient être générés par les installations voisines.

Pour chaque cause identifiée, il s'agit ensuite de **définir les conséquences qui pourraient être observées sur les cibles préalablement répertoriées**. Lorsque ces cibles sont des installations ou équipements voisins (dangereux ou sensibles), il convient de répertorier également les effets dominos possibles. Il est important de noter qu'il est fait abstraction, à ce stade, de tous les moyens de prévention et de protection existant sur l'installation étudiée.

Il s'agit ensuite de déterminer un indice de gravité pour chaque conséquence identifiée. Les indices de gravité, retenus par l'INERIS concernant les risques d'effets dominos, sont définis par l'échelle donnée ci-dessous :

Gravité	Caractérisation de la gravité
G1	Les conséquences du scénario primaire ne génèrent pas d'effet domino.
G2	Les conséquences de l'accident secondaire sont incluses dans les conséquences de l'accident primaire
G3	Les conséquences de l'accident secondaire sont accrues du fait de l'effet domino, mais restent à l'intérieur du site
G4	Les conséquences d'un accident primaire entraînent un accident secondaire sur une installation voisine, à l'extérieur du site

Tableau 12 : Echelle de gravité pour les effets dominos

La cotation en gravité est alors fonction de la cible qui pourrait être touchée.

Pour chaque couple cause/conséquence identifié, il faut lister les mesures de prévention et de protection existantes.

Il s'agit ensuite de déterminer une fréquence s'apparition de l'événement indésirable identifié. Ces indices sont également définis par une échelle de fréquence à 4 niveaux (1 lorsque l'événement est improbable et 4 pour l'événement possible). La classe de fréquence tient compte des barrières de défense en place sur le site.

Pour chaque couple F/G jugé inacceptable (ceci est défini dans la grille de criticité), il faut lister les mesures de prévention et de protection qui seront mises en place pour que le nouveau couple F/G redevienne acceptable.

6.5.3 Synthèse des scénarios d'accidents de référence

Que ce soit pour les effets sur l'homme ou sur les équipements, la phase d'analyse des risques doit présenter un tableau de synthèse indiquant les scénarios de référence qui feront l'objet de modélisations en vue de caractériser l'étendue de leurs conséquences. Le lecteur pourra notamment se reporter au document de référence [16], qui traite de la détermination des scénarios de référence.

Signalons qu'il n'y a pas réciprocity entre les scénarios enveloppes pour l'homme et pour les équipements. En d'autres termes, les scénarios retenus pour leur caractère majorant pour les effets sur l'homme ne conduisent pas obligatoirement à considérer des effets enveloppes sur l'environnement.

En conséquence, la méthode propose de synthétiser les scénarios à retenir en précisant si la raison de leur sélection concerne les effets sur l'homme ou les équipements.

Pour plus de clarté, il est également suggéré de dresser plusieurs tableaux en fonction des effets considérés : effets thermiques, effets mécaniques, effets toxiques.

<i>Effets thermiques</i>				
N°	Eq.	Scénario	Effets	
			Homme	Eq.
A1	A	BLEVE	X	X
A2	A	Feu torche	X	X
A3	A	VCE	X	X
B1	B	Feu de cuvette	X	X
B2	B	Boil-over	X	X

<i>Effets mécaniques</i>				
N°	Eq.	Scénario	Effets	
			Homme	Eq.
A1	A	BLEVE		X
A3	A	VCE	X	X
B3	B	Eclatement de bac	X	X
C1	C	Eclatement réacteur	X	X

<i>Effets toxiques</i>				
N°	Eq.	Scénario	Effets	
			Homme	Eq.
C2	C	Dispersion gaz toxique	X	

Tableau 13 : Tableaux récapitulatifs des scénarios d'accidents retenus

Il convient de noter, qu'à ce niveau, les possibilités d'effets dominos n'ont pas été considérés, sauf si ces derniers apparaissent évidents au cours de l'analyse des risques. Dans de nombreux cas cependant, il est difficile de se prononcer avec certitude sur la possibilité de propagation du sinistre sans estimer au préalable les conséquences d'accidents.

6.5.4 Ce qu'il faut retenir

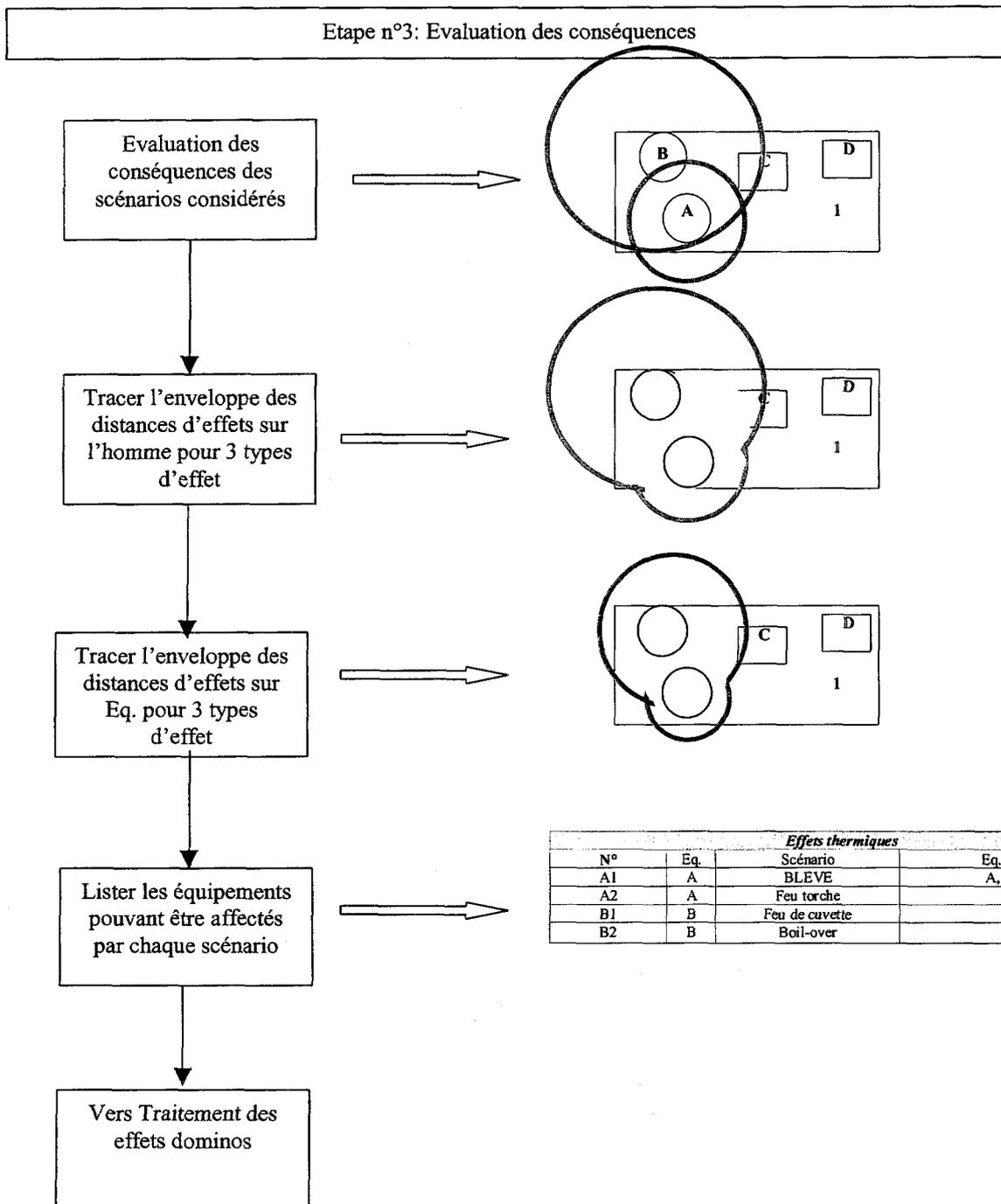
En définitive, il est primordial à ce stade de s'assurer que :

- l'analyse des risques menée sur les installations du site étudié considère bien les possibilités (le cas échéant) de synergies d'accidents (effets dominos internes), l'installation étudiée pouvant être agresseur ou agressée par d'autres installations du site,
- l'analyse des risques menée sur les installations du site étudié considère bien les possibilités (le cas échéant) d'effets dominos externes, le site étudié pouvant être agresseur ou agressé par les installations industrielles voisines,
- l'analyse des risques menée sur les installations du site étudié intègre bien les conséquences de défaillances sur les équipements sensibles (pertes d'utilités, ...).

L'analyse de risque doit permettre d'identifier les scénarios de référence qui prennent en compte la possibilité d'agression sur les équipements. Le but est alors de comparer ces scénarios de référence deux à deux (scénario agresseur, scénario cible) afin de s'assurer que la prise en compte des effets dominos est bien effectuée à ce stade.

Les matrices d'effets dominos (dont la construction est détaillée au paragraphe 6.7) peuvent d'ores et déjà être élaborées à ce stade de l'étude. Elles pourront alors être validées ou modifiées lors de la phase d'évaluation des conséquences.

6.6 ETAPE N°3 : EVALUATION DES CONSEQUENCES



6.6.1 Modélisations des scénarios d'accident

Les modélisations visent à estimer, pour chaque scénario d'accident identifié au cours de l'analyse des risques, les distances auxquelles des effets significatifs sur l'homme ou les équipements peuvent être observés.

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer les distances enveloppes au-delà desquelles un effet spécifique n'est plus observé. Il est particulièrement important, dans le cas des équipements, de mettre en rapport l'effet considéré avec le temps pendant lequel il peut être observé.

Ainsi, la méthode MICADO® choisit d'effectuer les calculs en première approche pour des seuils prudents au-delà desquels des effets ne peuvent a priori être observés sur des équipements industriels.

Ces seuils sont retenus de manière forfaitaire par type d'effets et ne prennent pas en compte à ce stade la nature de l'équipement affecté (cf chapitre 5).

En fonction de ce premier résultat, l'utilisateur pourra, en fonction des cas les plus critiques, juger de la pertinence de ces seuils au regard des équipements étudiés. Ce point sera repris dans le paragraphe 6.7.3 suivant.

Enfin, dans la mesure où des effets sur les structures pourraient être observés sur des sites voisins, il est nécessaire d'estimer non seulement des distances enveloppes mais également des gradients d'effets en dehors des limites de propriété, afin de pouvoir les communiquer au site concerné.

6.6.2 Seuils d'effets retenus

La méthode MICADO® propose, dans un premier temps, de déterminer des distances d'effets correspondant à des seuils retenus de manière forfaitaire et prudente. En d'autres termes, la détermination de ces distances d'effets permet d'assurer que les risques d'effets dominos sont peu probables pour les équipements situés au-delà. Pour autant, ces zones d'effets n'assurent pas obligatoirement que tous les équipements situés dans ces zones seront le siège de nouveaux accidents, initiés par un premier accident.

En conséquence et en regard des résultats du chapitre 5, les différents seuils considérés par l'INERIS sont présentés pour chaque type d'accident dans le tableau suivant.

<i>Accident</i>	<i>Type d'effets</i>	<i>Seuils à considérer</i>	<i>Temps d'exposition</i>	<i>Commentaires</i>
Feu de nappe	Rayonnement thermique	8 kW/m ²	> 1 h	Seuil des dégâts significatifs (cf paragraphe 5.1.4)
	Ecoulement de la nappe	-	-	Il y a parfois lieu de considérer la propagation par conduction de la chaleur lors d'un épandage massif enflammé
VCE	Surpressions	200 mbar	< 1 s	Seuil des dégâts significatifs (cf paragraphe 5.2.4)
	Missiles	De manière binaire, touché ou non	-	Dans une première approche, on considère les distances correspondant à une surpression de 50 mbar
	Thermique	-	-	La distance d'effet est de l'ordre de la distance à la LIE + 10 %
Eclatement de bac	Surpressions	200 mbar	< 1 s	Seuil des dégâts significatifs (cf paragraphe 5.2.4)
	Missiles	De manière binaire, touché ou non	-	Calcul balistique simple ou distances issues de l'analyse d'accidents
BLEVE	Rayonnement thermique	A déterminer	< 1 min	Les effets thermiques sont à considérer pour les effets sur des équipements. Dans une démarche prudente, considérer une zone d'effet sur les structures d'une centaine de mètres
	Surpressions	200 mbar	< 1 s	Seuil des dégâts significatifs (cf paragraphe 5.2.4)
	Missiles	-	-	Difficile de déterminer des distances d'effets associées aux projections de missiles, voir les distances issues de l'analyse d'accidents
Feu torche	Rayonnement thermique	8 kW/m ²	> 1 h	
	Conduction	-	-	Distance d'effet associée = longueur de la flamme
Explosion de poussières ou de solides	Surpressions	200 mbar	< 1 s	Seuil des dégâts significatifs (cf paragraphe 5.2.4)
	Missiles	De manière binaire, touché ou non	-	Dans une première approche, on considère les distances correspondant à une surpression de 50 mbar
Boil-over	Rayonnement thermique	A déterminer	< 1 min	Les effets thermiques sont à considérer pour les effets sur des équipements. Dans une démarche prudente, considérer une zone d'effet sur les structures d'une centaine de mètres
	Projections	-	-	Distance prudente d'une centaine de mètres pour les projections d'hydrocarbures enflammés
Dispersion toxique	Toxique	Doses retenues pour l'homme		Les distances calculées sont à considérer, compte tenu de l'implantation des équipements sensibles

Tableau 14 : Proposition des seuils d'effets à considérer dans la méthode MICADO®

6.6.3 Ce qu'il faut retenir

Concernant les effets dominos uniquement, la méthode invite l'utilisateur à identifier les équipements dangereux ou sensibles compris dans l'enveloppe des effets sur les structures pour chaque scénario d'accident considéré.

Il ne s'agit pas de savoir à ce niveau si l'effet considéré va effectivement engendrer un sur-accident sur des équipements voisins mais simplement de lister sur la base de critères purement géométriques les équipements pouvant être soumis à un effet supérieur à l'effet minimal défini de manière forfaitaire (cf. Tableau 14).

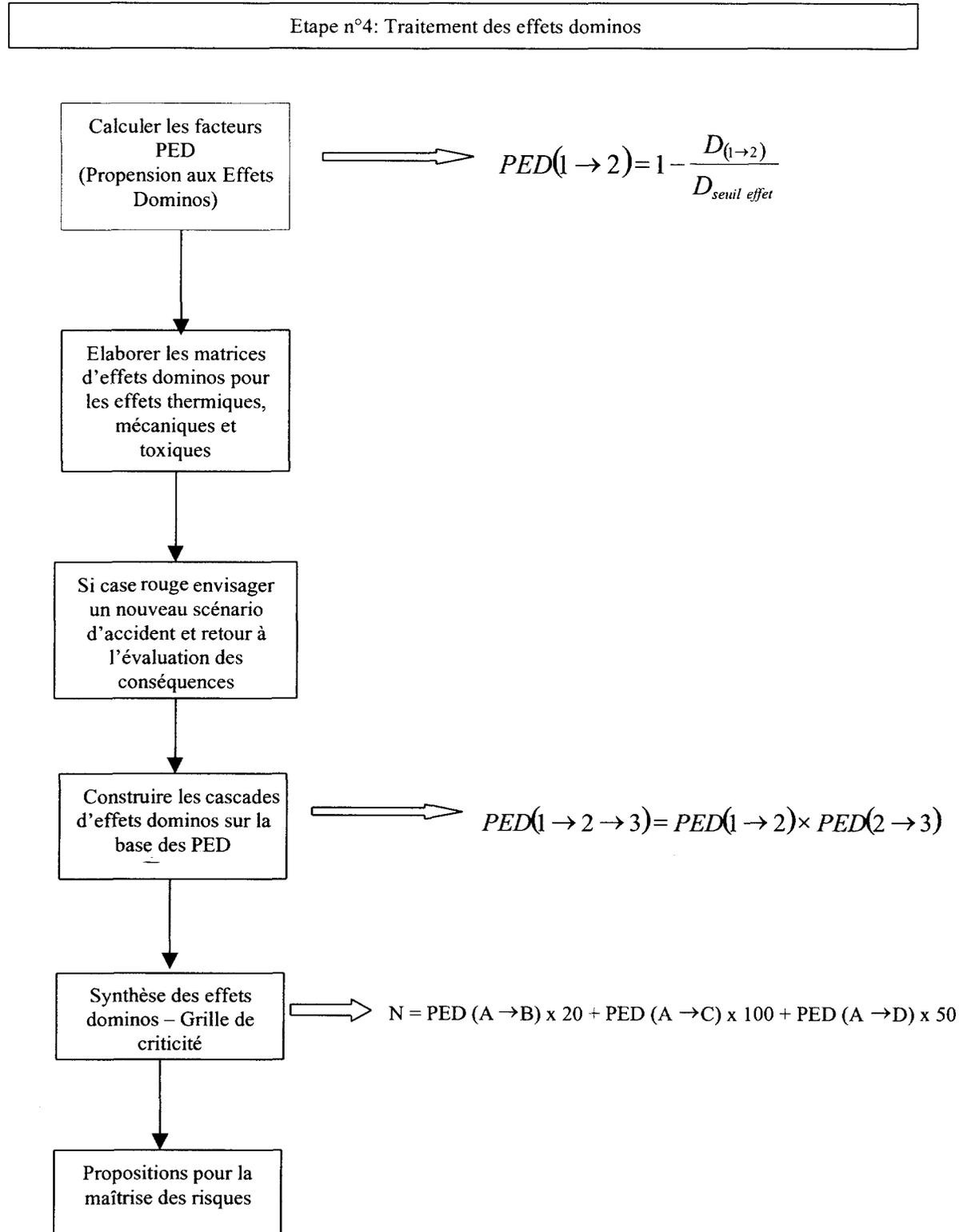
Ces résultats peuvent être synthétisés sous la forme de tableaux, par type d'effets.

<i>Effets thermiques</i>					
N°	Eq.	Scénario	Eq. affectés	Seuil	Temps
A1	A	BLEVE	A, B, C, E		
A2	A	Feu torche	B		
B1	B	Feu de cuvette	A		
B2	B	Boil-over	A, C		

<i>Effets mécaniques</i>					
N°	Eq.	Scénario	Eq. affectés	Seuil	Temps
A1	A	BLEVE	B, C		
A3	A	VCE	A, B, C, E		
B3	B	Eclatement de bac	A		
C1	C	Eclatement réacteur	A, B, D		

<i>Effets toxiques</i>					
N°	Eq.	Scénario	Eq. affectés	Seuil	Temps
C2	C	Dispersion gaz toxique	D		

6.7 TRAITEMENT DES EFFETS DOMINOS



6.7.1 Matrices des effets dominos

Jusqu'à présent, il n'a été question que de sélection de scénarios d'accidents et d'évaluation des conséquences et peu en définitive d'effets dominos.

Suite aux résultats des étapes précédentes, il convient maintenant d'identifier les effets dominos ou les enchaînements d'accidents susceptibles de survenir.

Dans un premier temps, il est proposé de déterminer **les effets dominos directs entre deux équipements**. Pour ce faire, la méthode suggère de construire trois matrices d'effets dominos selon que les accidents à l'origine d'effets dominos concernent des effets thermiques, mécaniques ou toxiques.

L'idée de ces matrices est de faire apparaître clairement et de manière visuelle dans quelle mesure un accident initiateur peut modifier la possibilité, la probabilité voire la gravité d'un scénario d'accident envisagé sur un équipement voisin dans l'analyse des risques.

Ainsi, chaque matrice est construite de la façon suivante :

- Les colonnes de la matrice comportent les scénarios d'accident de référence « Agresseurs » identifiés au cours de l'analyse des risques et correspondant au type d'effet considéré. Par exemple, les colonnes d'une matrice « Effets thermiques » comporteront des scénarios de type feu de nappe, feu torche, BLEVE, VCE...
- Les lignes de la matrice correspondent aux cibles potentielles vis-à-vis des scénarios considérés. Ces lignes désignent ainsi :
 - soit des scénarios d'accidents identifiés dans l'analyse des risques, l'objet étant de savoir si un scénario « Agresseur » peut effectivement entraîner un nouveau scénario d'accident sur un équipement voisin,
 - soit des équipements sensibles.

L'objet est bien entendu de vérifier par le biais de cette matrice si un accident primaire peut entraîner de nouveaux accidents ou des défaillances graves des équipements situés à proximité. Pour cela, il est proposé de remplir chaque case en utilisant le code couleur suivant :

Code couleur	Signification
	Pas de synergies d'accident ou d'effet domino possibles (indice de gravité 1 dans l'analyse de risques)
	Les conséquences du scénario secondaire sont inférieures et incluses dans celles du scénario primaire (indice de gravité 2 dans l'analyse de risques)
	L'accident primaire considéré peut entraîner le scénario secondaire identifié sans toutefois en modifier la gravité. La probabilité d'occurrence du scénario secondaire est accrue (indice de gravité 3 ou 4 dans l'analyse de risques).
	L'accident primaire considéré peut entraîner le scénario secondaire identifié et en modifie la gravité (indice de gravité 3 ou 4 dans l'analyse de risques)

Tableau 15 : Code couleur pour les matrices d'effets dominos

Lors de l'élaboration de ces matrices, l'accent doit être porté sur la détermination des cases oranges et rouges correspondant à la notion de « sur-accident », c'est-à-dire une synergie d'accident pour laquelle les conséquences d'un accident sont accrues par l'enchaînement d'accidents susceptibles de survenir consécutivement.

Dans ce document, nous choisissons de parler de sur-accident lorsque :

- Les effets d'un accident initiateur se conjuguent avec les effets d'un accident secondaire survenu à la suite. Les deux accidents considérés ont donc des cinétiques comparables. C'est notamment le cas de la propagation d'un incendie depuis une cuve aux cuves voisines,
- Le déroulement d'un scénario d'accident est significativement modifié et aggravé du fait d'un accident initiateur survenant à proximité. Dans ce cas, le nouveau scénario en résultant n'a pas été obligatoirement considéré dans l'analyse des risques. C'est par exemple le cas de la ruine totale d'un réservoir atmosphérique suite à des effets de pression importants.
- La possibilité d'un nouveau scénario d'accident est directement liée à l'occurrence d'un premier scénario d'accident. L'effet domino joue ainsi sur la possibilité d'un scénario qui n'aurait pas été considéré en regard des causes d'origine interne ou externe identifié par ailleurs,
- Les effets d'un premier accident entraînent la ruine d'équipements sensibles, indispensables pour la mise en sécurité du site. Le cas échéant, la maîtrise de nouveaux accidents ne pourrait alors plus être assurée.

6.7.2 Aide pour l'élaboration des matrices : le facteur PED

La construction des matrices d'effets dominos constitue bien entendu le point crucial de l'étude. L'enjeu de l'analyse consiste ainsi à déterminer quels effets dominos peuvent être physiquement envisagés et dans quelle mesure ils influent sur les scénarios d'accidents déjà envisagés.

Le paragraphe suivant propose un organigramme relativement simple pour aider à la construction de ces matrices. Pour autant, il appartient à la personne chargée de l'étude d'adapter cette méthode au cas particulier traité en fondant son avis critique sur l'analyse des accidents passés, les données disponibles dans la littérature ou des modèles physiques plus spécifiquement dédiés à l'étude d'agressions externes sur un équipement.

Néanmoins, en vue de guider l'utilisateur, la méthode MICADO® propose d'évaluer à ce stade, un facteur nommé PED pour Propension aux Effets Dominos. Ce facteur permet de juger du degré de pertinence des scénarios d'effets dominos considérés.

Le facteur PED peut être déterminé pour un effet domino entre deux équipements voisins partir de la formule suivante.

$$PED(1 \rightarrow 2) = 1 - \frac{D_{(1 \rightarrow 2)}}{D_{\text{seuil effet}}}$$

où $D_{(1 \rightarrow 2)}$ est la distance entre l'équipement 1 et l'équipement 2, et $D_{\text{seuil effet}}$ est la distance d'effets sur les structures calculée (avec les éléments du Tableau 14).

Ainsi, plusieurs cas peuvent se présenter :

1) **$PED < 0$ ($D_{\text{seuil effet}} < D_{(1 \rightarrow 2)}$)**

Dans ce cas, compte tenu du caractère prudent des seuils d'effets retenus, l'occurrence d'un nouveau scénario d'accident paraît improbable.

2) **$PED \approx \varepsilon$ avec $\varepsilon \approx 0$ ($D_{\text{seuil effet}} \approx D_{(1 \rightarrow 2)}$)**

Il s'agit d'un cas limite pour lequel l'équipement considéré est soumis à des effets proches du seuil considéré. Dans cette situation, l'utilisateur est invité à examiner si le seuil forfaitaire retenu est effectivement pertinent pour l'équipement cible considéré. Il pourra ainsi se référer utilement aux valeurs extraites de la littérature et données au chapitre 5 de ce document.

3) **PED compris entre 0 et 1**

Dans ce cas, les effets subis par l'équipement cible pourraient être significativement plus élevés que ceux retenus pour le seuil minimal d'effet.

Dans ce cas, l'utilisateur pourra juger prudent de considérer dans un premier temps que l'équipement cible sera gravement affecté par les effets du premier accident et être le siège d'un nouvel accident dans le cas des équipements potentiellement agresseurs.

Dans une démarche plus fine, il pourra calculer plus précisément les effets reçus par l'équipement cible. Vis-à-vis de ces résultats, il pourra juger de la pertinence d'un effet domino à partir de seuils adaptés à l'équipement considéré ou grâce à des outils de modélisation dédiés à l'étude de la réponse de structures soumis à des phénomènes accidentels extérieurs.

Il est en effet rappelé que la méthode MICADO® n'a pas pour objet de simplifier à l'extrême les résultats de l'évaluation des conséquences mais de guider l'utilisateur pour la mise en œuvre de modèles plus sophistiqués, réservés aux cas jugés les plus critiques.

Notons enfin que, pour les effets dominos envisageables, le PED est toujours compris entre les valeurs 0 et 1.

Il est important de noter que la définition du PED n'inclut aucun aspect quant à la probabilité d'occurrence du premier accident.

Il n'est ainsi pas possible de distinguer par ce biais deux effets dominos directs qui auraient le même rapport Déquipements/Deffet, bien qu'étant initiés par des accidents très différents en terme de probabilité.

A terme, il pourrait être envisagé de pondérer ce facteur PED par des coefficients tenant compte de la probabilité globale d'observer un accident majeur, sur la base par exemple de l'analyse d'accidents.

6.7.3 Construction des matrices d'effets dominos

La méthode MICADO® propose un organigramme décisionnel pour guider l'utilisateur dans sa démarche d'évaluation des effets dominos. En aucun cas, cette méthode ne vise à se substituer à son pouvoir de décision ou à son expertise.

Il apparaît clairement que les points les plus délicats à traiter concernent la détermination des cases jaunes, oranges ou rouges, c'est-à-dire savoir si l'accident initiateur peut engendrer le scénario secondaire considéré (dans le cas contraire, case grise), si cet accident modifie simplement la probabilité du second accident (case jaune ou orange) ou en modifie la gravité (case rouge).

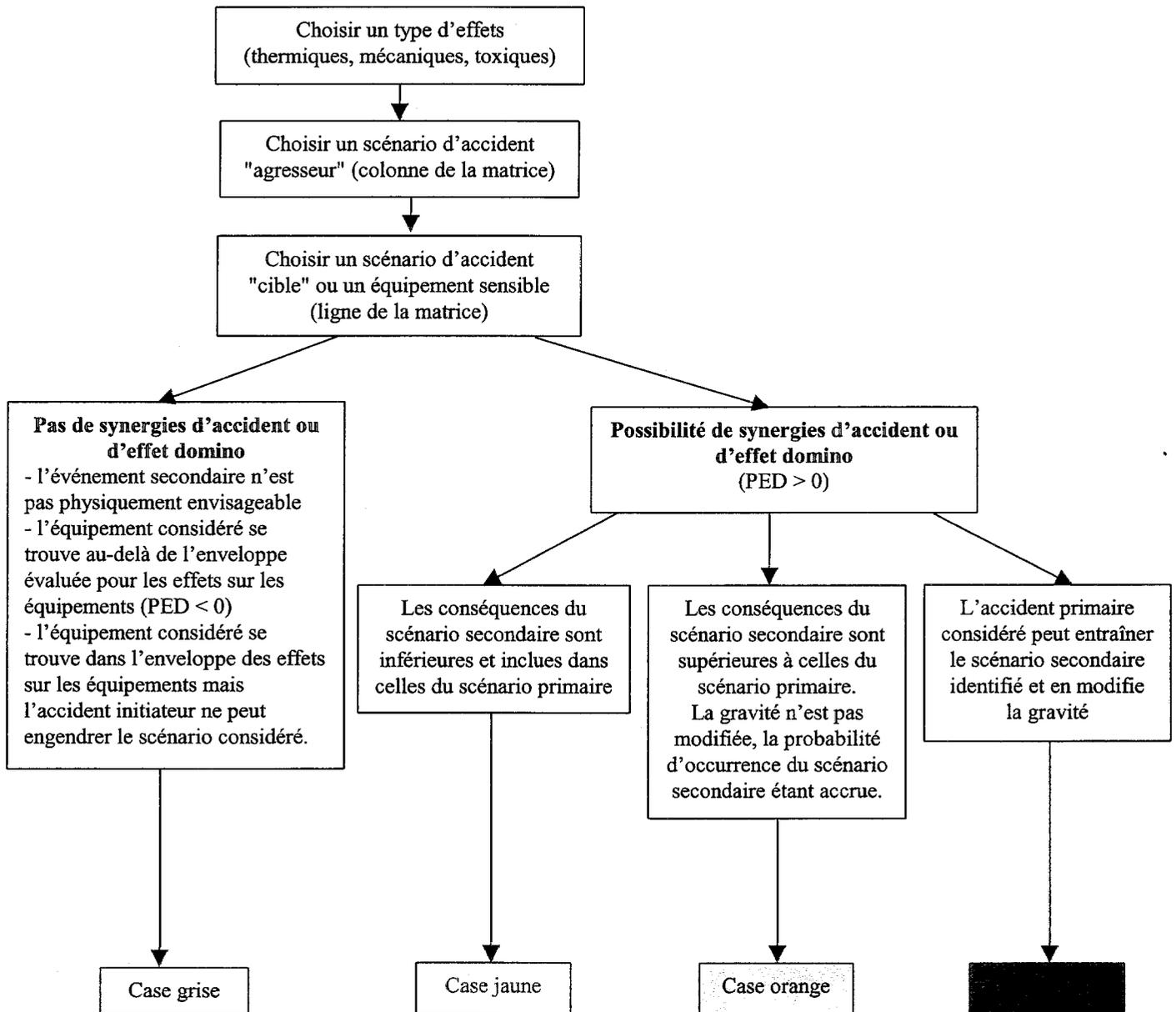


Figure 5 : Organigramme décisionnel pour la construction des matrices

La case rouge signifie que le scénario de référence retenu comme accident primaire est sous-dimensionné. Il convient alors de redéfinir un scénario de référence, et de modifier les matrices en conséquence.

6.7.4 Exemples de l'utilisation des matrices

Des exemples commentés de ces matrices sont donnés ci-dessous.

Matrice des effets thermiques

		AGRESSEURS			
		<i>Sc. réf. A1</i>	<i>Sc. réf. A2</i>	<i>Sc. réf. B1</i>	<i>Sc. réf. B2</i>
CIBLES	<i>Sc. réf. A1</i>				
	<i>Sc. réf. A2</i>				
	<i>Sc. réf. A3</i>				
	<i>Sc. réf. B1</i>				
	<i>Sc. réf. B2</i>				
	<i>Sc. réf. B3</i>				
	<i>Sc. réf. C1</i>				
	<i>Sc. réf. C2</i>				
	<i>D</i>				
	<i>E</i>				

Prenons le *scénario de référence A1* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne le BLEVE du réservoir de stockage GPL.

La matrice ci-dessus met en évidence les éléments suivants :

- Il est physiquement impossible d'engendrer les scénarios A1, A2 (feu torche) et A3 (VCE). Les intersections (A1;A1), (A1;A2) et (A1;A3) sont donc de couleur grise.
- Les équipements B, C et E sont dans l'enveloppe des effets sur les structures. Il ne peut être exclu qu'il puisse y avoir des effets sur ces équipements. Or, le BLEVE, accident initiateur, étant un phénomène de courte durée, les effets thermiques ne seraient pas suffisants pour entraîner les scénarios associés. Les intersections de A1 avec les scénarios associés aux équipements B, C, E sont de couleur grise.
- L'équipement D se trouve au-delà de l'enveloppe évaluée pour les effets sur les structures. L'intersection (A1;D) est donc de couleur grise.

Prenons le *scénario de référence A2* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne un feu torche sur une portion de canalisation du stockage GPL (A), survenant au niveau de la première bride par exemple.

La matrice des effets thermiques met en évidence les événements suivants :

- Le feu torche peut engendrer un phénomène de BLEVE sur le même équipement, à savoir le stockage GPL (Auto-BLEVE). Ce scénario a été dénommé A1. Dans ce cas, l'accident primaire entraîne le scénario secondaire identifié, sans toutefois en modifier la gravité. Il y a donc une case orange à l'intersection (A2;A1). En revanche, un feu torche ne pouvait être à l'origine d'un VCE (scénario A3). L'intersection (A2;A3) est donc une case grise.
- Il a été considéré que le feu torche A2 pourrait engendrer une perte de confinement du gazole suivie d'un feu de cuvette (scénario B1) ainsi que l'éclatement du réservoir (B3) sur l'équipement B, sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune). En revanche, même si l'équipement B peut être touché par un feu torche, il a été considéré que le feu torche ne pouvait engendrer directement un Boil-over sur cet équipement (scénario B2). L'intersection (A2;B2) est donc une case grisée.
- Pour toutes les autres interactions, les équipements (C ,D, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario de feu torche. Les cases correspondantes figurent en gris.

Prenons le *scénario de référence B1* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne le feu de cuvette pour le réservoir de gazole.

La matrice des effets thermiques met en évidence les éléments suivants :

- Il a été considéré que le feu de cuvette B1 pourrait engendrer, sur l'équipement A, le BLEVE du réservoir (A1), le feu torche (A2), ainsi que le VCE (A3), sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).
- Le feu de cuvette peut engendrer un phénomène de Boil-over (scénario B2) sur le même équipement, à savoir le réservoir de gazole. Dans ce cas, l'accident primaire entraîne le scénario secondaire identifié, sans toutefois en modifier la gravité. Il y a donc une case orange à l'intersection (B1;B2).
- Le feu de cuvette peut engendrer l'éclatement du bac (scénario B3) sur le même équipement. Dans ce cas, l'accident initiateur B1 conduit à une aggravation du scénario B3 : il s'agit en fait de l'éclatement du réservoir soumis à un incendie, et non à température ambiante. Les distances d'effets pourraient s'en trouver modifiées. L'intersection (B1;B3) sera donc une case rouge.
- Pour toutes les autres interactions, les équipements (C ,D, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario de feu de cuvette. Les cases correspondantes figurent en gris.

Prenons le *scénario de référence B2* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne le Boil-over sur le réservoir de gazole.

La matrice des effets thermiques met en évidence les éléments suivants :

- Les équipements A et C sont dans l'enveloppe des effets sur les structures. Il ne peut être exclu qu'il puisse y avoir des effets sur ces équipements. Or, le Boil-over, accident initiateur, étant un phénomène de courte durée, les effets thermiques ne seraient pas suffisants pour entraîner les scénarios associés. Les intersections de B2 avec les scénarios associés aux équipements A et C sont de couleur grise.
- Pour toutes les autres interactions, les équipements (B ,D, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario de Boil-over. Les cases correspondantes figurent en gris.

Matrice des effets mécaniques

		AGRESSEURS			
		<i>Sc. réf. A1</i>	<i>Sc. réf. A3</i>	<i>Sc. réf. B3</i>	<i>Sc. réf. C1</i>
CIBLES	<i>Sc. réf. A1</i>				
	<i>Sc. réf. A2</i>				
	<i>Sc. réf. A3</i>				
	<i>Sc. réf. B1</i>				
	<i>Sc. réf. B2</i>				
	<i>Sc. réf. B3</i>				
	<i>Sc. réf. C1</i>				
	<i>Sc. réf. C2</i>				
	<i>D</i>				
	<i>E</i>				

Prenons le *scénario de référence A1* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne le BLEVE du réservoir de stockage GPL.

La matrice ci-dessus met en évidence les éléments suivants :

- Il est physiquement impossible d'engendrer les scénarios A1, A2 (feu torche) et A3 (VCE). Les intersections (A1;A1), (A1;A2) et (A1;A3) sont donc de couleur grise.
- Il a été considéré que le scénario de BLEVE (A1) pouvait entraîner un feu de cuvette pour le réservoir de gazole (B1). L'accident initiateur A1 conduit à une aggravation du scénario B1 : la ruine du réservoir de gazole pourrait en effet conduire à un effet de vague qui submergerait les murets de la rétention conduisant à un épandage massif de combustible. La case (A1;B1) est donc de couleur rouge.
- Même si l'équipement B peut être touché par les effets de surpression, il a été considéré que le BLEVE ne pouvait engendrer directement un Boil-over sur cet équipement (scénario B2). L'intersection (A1;B2) est donc une case grisée.
- Il a été considéré que le BLEVE (scénario A1) pourrait engendrer, sur l'équipement B, l'éclatement du réservoir (B3), et sur l'équipement C, l'éclatement du réacteur (B3) et la dispersion de gaz toxique (C2), sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).

- Pour toutes les autres interactions, les équipements (D, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario de BLEVE. Les cases correspondantes figurent en gris.

Considérons maintenant le *scénario de référence A3*, soit un VCE ayant pour origine une fuite de GPL sur le réservoir A.

La matrice des effets de surpression met en évidence les éléments suivants :

- Il est physiquement impossible d'engendrer les scénarios A1 (BLEVE), A2 (feu torche) et A3. Les intersections (A3;A1), (A3;A2) et (A3;A3) sont donc de couleur grise.
- Il a été considéré que le scénario de VCE (A3) pouvait entraîner un feu de cuvette pour le réservoir de gazole (B1). L'accident initiateur A3 conduit à une aggravation du scénario B1 : la ruine du réservoir de gazole pourrait en effet conduire à un effet de vague qui submergerait les murets de la rétention conduisant à un épandage massif de combustible. La case (A3;B1) est donc de couleur rouge.
- Même si l'équipement B peut être touché par les effets de surpression, il a été considéré que le VCE ne pouvait engendrer directement un Boil-over sur cet équipement (scénario B2). L'intersection (A3;B2) est donc une case grisée.
- Il a été considéré que le VCE (scénario A3) pourrait engendrer, sur l'équipement B, l'éclatement du réservoir (B3), et sur l'équipement C, l'éclatement du réacteur (B3) et la dispersion de gaz toxique (C2), sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).
- Le scénario de VCE (A3) peut toucher l'équipement E, à l'extérieur du site. Dans ce cas, l'accident primaire entraîne l'accident secondaire, sans modification de la gravité. La case (A3;E) est donc en orange.
- L'intersection (A3;D) est en grisée, car l'équipement D est en dehors de la limite des effets sur les structures.

Prenons le *scénario de référence B3* en tant que scénario agresseur. Ce scénario désigne l'éclatement du réservoir de stockage de gazole.

La matrice des effets de surpression met en évidence les éléments suivants :

- Il a été considéré que l'éclatement de bac (scénario B3) pourrait engendrer, sur l'équipement A, le BLEVE du réservoir de GPL (A1), le feu torche (A2) et le VCE (A3), sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).
- L'éclatement du bac d'hydrocarbures (B3) pouvait entraîner le feu de cuvette (B1). L'accident initiateur B3 conduit à une aggravation du scénario B1 : la ruine

du réservoir de gazole pourrait en effet conduire à un effet de vague qui submergerait les murets de la rétention conduisant à un épandage massif de combustible. La case (B3;B1) est donc de couleur rouge.

- Il est physiquement impossible d'engendrer les scénarios B2 (Boil-over) et B3. Les intersections (B3;B2) et (B3;B3) sont donc de couleur grise.
- Pour toutes les autres interactions, les équipements (C, D, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario d'éclatement de bac. Les cases correspondantes figurent en gris.

Considérons maintenant le *scénario de référence C1*, soit l'éclatement d'un réacteur.

La matrice des effets de surpression met en évidence les éléments suivants :

- Il a été considéré que l'éclatement du réacteur (scénario C1) pourrait engendrer, sur l'équipement A, le BLEVE du réservoir de GPL (A1), le feu torche (A2) et le VCE (A3), sur l'équipement B, l'éclatement du bac de gazole (B3), sans toutefois aggraver ces scénarios considérés par ailleurs dans l'analyse des risques. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).
- Il a été considéré que le scénario d'éclatement de réacteur (C1) pouvait entraîner un feu de cuvette pour le réservoir de gazole (B1). L'accident initiateur C1 conduit à une aggravation du scénario B1 : la ruine du réservoir de gazole pourrait en effet conduire à un effet de vague qui submergerait les murets de la rétention conduisant à un épandage massif de combustible. La case (C1;B1) est donc de couleur rouge.
- Même si l'équipement B peut être touché par les effets de surpression, il a été considéré que l'éclatement de réacteur ne pouvait engendrer directement un Boil-over sur cet équipement (scénario B2). L'intersection (C1;B2) est donc une case grisée.
- L'éclatement du réacteur (C1) pouvait entraîner la dispersion de gaz toxique (C2). Dans ce cas, l'accident primaire entraîne le scénario secondaire identifié, sans toutefois en modifier la gravité. Les conséquences du scénario C2 seraient vraisemblablement supérieures à celles de scénario C1. Il y a donc une case orange à l'intersection (C1;C2).
- Les effets de surpression engendrés par le scénario C1 pourrait entraîner des dégâts au niveau de la salle de contrôle. Par exemple, compte tenu des éléments constructifs utilisés pour la salle de contrôle, la case (C1;D) pourra être orange (murs et toitures en bardage) ou rouge (murs et toiture en béton).
- L'intersection (C1;E) est en grisée, car l'équipement E est en dehors de la limite des effets sur les structures.

Matrice des effets toxiques

		AGRESSEURS
		<i>Sc. réf. C2</i>
CIBLES	<i>Sc. réf. A1</i>	
	<i>Sc. réf. A2</i>	
	<i>Sc. réf. A3</i>	
	<i>Sc. réf. B1</i>	
	<i>Sc. réf. B2</i>	
	<i>Sc. réf. B3</i>	
	<i>Sc. réf. C1</i>	
	<i>Sc. réf. C2</i>	
	<i>D</i>	
	<i>E</i>	

Considérons le *scénario de référence C2*, soit la dispersion d'un nuage toxique.

La matrice ci-dessus met en évidence les éléments suivants :

- Pour le scénario C2 correspondant à une fuite de gaz toxique issu du réacteur, il a été considéré que la salle de contrôle (D) pouvait devenir totalement inaccessible du fait de l'ambiance toxique. Dans ce cas-là, les installations ne seraient plus sous surveillance, soit la possibilité d'aggravation des scénarios de référence envisagés lors de l'analyse de risque. L'intersection (C2;D) est donc en rouge.
- Il est physiquement impossible d'engendrer les scénarios C1 (éclatement du réacteur) et C2. Les intersections (C2;C1) et (C2;C2) sont donc de couleur grise.
- Pour toutes les autres interactions, les équipements (A, B, E) sont suffisamment éloignés pour écarter le risque d'interactions associées à ce scénario de dispersion de nuage toxique. Les cases correspondantes figurent en gris.

Une fois ces matrices élaborées, l'objectif est de les examiner et les modifier en vue de ne plus avoir de cases rouges. En effet, si un accident primaire modifie la gravité d'un accident secondaire, cela revient à dire que la définition du scénario d'accident précédemment réalisée n'a pas inclu cette possibilité d'effets dominos.

Il convient donc de considérer un nouveau scénario d'accident prenant en compte cette interaction et d'en évaluer les nouvelles conséquences.

En définitive, il faut ajouter une nouvelle ligne « Scénario ' » dans la matrice effets dominos où l'équipement figure en tant que cible (case rouge) ainsi qu'une nouvelle colonne dans la matrice effets dominos dans laquelle l'équipement est considéré comme agresseur.

Rappelons que l'objet de cette transformation des matrices d'effets dominos est d'assurer que les interactions entre équipements ont bien été prises en compte pour procéder à l'évaluation des conséquences.

Un exemple de cette démarche est donné à la page suivante et commenté ci-dessous.

Comme mentionné au préalable, le scénario A3 : « VCE suite à une fuite de GPL sur l'équipement A » peut entraîner la ruine du réservoir de gazole (B) suivie d'un épandage massif d'hydrocarbures et in fine à un feu de nappe non limité par la cuvette de rétention.

L'interaction ainsi identifiée conduit donc à considérer un évènement plus grave que ceux envisagés au cours de l'analyse de risques en considérant notamment des causes d'accident internes.

Il y a donc lieu de considérer un nouveau scénario B1' : « Feu de nappe suite à la ruine du réservoir B » et en conséquence, de modifier les matrices d'effets dominos de la façon suivante :

- Rajouter une ligne (cibles) dans chacune des matrices correspondant à ce nouveau scénario. L'évènement B1' est lié aux scénarios A1, A3, B3 et C1. Dans ces conditions, la gravité du scénario B1' n'est pas modifiée. Ainsi, les intersections (A1;B1'), (A3;B1'), (B3;B1') et (C1;B1') figureront en jaune ou orange. L'évaluation des conséquences permettra de déterminer si les conséquences de l'accident secondaire sont supérieures à celles de l'accident primaire (case orange), ou si elles sont inférieures et incluses dans celles de l'accident primaire (case jaune).
- Rajouter une colonne (agresseur) dans la matrice « Effets thermiques » afin de faire d'identifier les interactions de ce nouveau scénario B1' avec les équipements situés à proximité.

Matrice des effets mécaniques

		AGRESSEURS			
		<i>Sc. réf. A1</i>	<i>Sc. réf. A3</i>	<i>Sc. réf. B3</i>	<i>Sc. réf. C1</i>
CIBLES	<i>Sc. réf. A1</i>				
	<i>Sc. réf. A2</i>				
	<i>Sc. réf. A3</i>				
	<i>Sc. réf. B1</i>				
	<i>Sc. réf. B1'</i> ▼				
	<i>Sc. réf. B2</i>				
	<i>Sc. réf. B3</i>				
	<i>Sc. réf. C1</i>				
	<i>Sc. réf. C2</i>				
	<i>D</i>				
	<i>E</i>				

Matrice des effets thermiques

		AGRESSEURS				
		<i>Sc. réf. A1</i>	<i>Sc. réf. A2</i>	<i>Sc. réf. B1</i>	<i>Sc. réf. B1'</i>	<i>Sc. réf. B2</i>
CIBLES	<i>Sc. réf. A1</i>					
	<i>Sc. réf. A2</i>					
	<i>Sc. réf. A3</i>					
	<i>Sc. réf. B1</i>					
	<i>Sc. réf. B1'</i>					
	<i>Sc. réf. B2</i>					
	<i>Sc. réf. B3</i>					
	<i>Sc. réf. C1</i>					
	<i>Sc. réf. C2</i>					
	<i>D</i>					
	<i>E</i>					

6.7.5 Synthèse des effets dominos

Lorsque les trois matrices « Effets dominos » ont été examinées et réduites de telle sorte qu'il ne subsiste aucune case rouge non traitée, l'utilisateur a l'assurance que la définition des scénarios d'accident prend bien compte les possibilités d'effets dominos entre équipements. En outre, ces matrices permettent d'identifier visuellement tous les effets dominos directs entre équipements pris deux à deux.

6.7.6 Définition des cascades d'effets dominos

La précédente étape a défini les effets dominos directs en considérant un effet depuis un équipement primaire vers un équipement secondaire.

L'analyse des accidents passés, comme celui survenu en 1984 à Mexico City par exemple, montre néanmoins que l'enchaînement de plusieurs accidents ne peut être totalement exclu.

La définition de ces cascades d'accidents peut être réalisée simplement à partir des matrices d'effets dominos en considérant de manière systématique tous les scénarios d'accident agresseur.

Il convient de considérer de manière systématique un scénario d'accident agresseur et d'identifier le premier scénario pouvant survenir sur un équipement voisin. Ce nouveau scénario sera considéré alors comme scénario agresseur et il faut alors identifier les scénarios qu'il peut engendrer.

On ne considèrera pas bien entendu, sauf cas exceptionnel, qu'un équipement à l'origine de l'accident primaire puisse de nouveau être considéré comme cible d'un accident d'ordre supérieur.

Dans notre exemple, l'accident A3 peut, entre autres, entraîner l'accident C1 pouvant entraîner à son tour B2 ou B3.

Constatons que si cette démarche est appliquée telle quelle sur tous les scénarios d'accident identifiés, il est possible d'identifier dans certains cas, plusieurs cascades d'accidents, soit des résultats parfois peu réalistes et difficilement exploitables.

Aussi, la méthode proposée ici suggère d'utiliser le facteur PED pour juger de la pertinence de considérer ou non une cascade d'effets dominos.

Ainsi, pour un enchaînement d'un accident 1 entraînant un accident 2, ce dernier entraînant à son tour un accident 3, nous définissons le PED comme suit :

$$PED(1 \rightarrow 2 \rightarrow 3) = PED(1 \rightarrow 2) \times PED(2 \rightarrow 3)$$

Sur la base de ce calcul, il est possible de calculer un PED pour chaque cascade mathématiquement possible. La cascade pourra alors être considérée si le PED est supérieur à un critère fixé par l'utilisateur.

A titre d'exemple, fixons ce critère à 0,05.

Considérons un premier effet domino ayant un PED de 0,1, correspondant en définitive à une distance d'effet relativement proche de la distance inter-équipement. Pour considérer une cascade à partir de ce premier effet domino, il est nécessaire que le deuxième effet domino ait un PED d'au moins 0,5 correspondant à une distance d'effet deux fois supérieure à la distance inter-équipements.

A l'inverse, considérons un premier effet domino avec un PED de 0,7, correspondant à une grande distance d'effets au regard de la distance inter-équipement. Une cascade d'effets dominos pourra être considérée dès lors que l'effet domino suivant aura un PED supérieur à 0,07.

Il est clair que toute cette démarche d'identification des effets dominos et des cascades d'effets dominos peut s'avérer lourde et fastidieuse à mettre en œuvre. Néanmoins, elle pourrait être automatisée de manière efficace grâce à un programme informatique.

6.7.7 Synthèse et maîtrise des effets dominos

Les étapes précédentes ont permis d'identifier et de caractériser les effets dominos susceptibles de survenir entre équipements d'un même site ou éventuellement entre équipements de deux sites voisins.

Au-delà du simple constat, il s'agit d'étudier les mesures propres à maîtriser les risques associés à ces enchaînements d'accidents.

A la date d'édition du présent rapport, les voies de réflexion suivantes sont en cours d'exploration et feront l'objet d'autres développements dans les programmes de recherche mentionnés au chapitre 7 suivant :

- Il peut être intéressant d'identifier dans un premier temps les scénarios d'accidents les plus pénalisants en terme d'effets dominos. A l'instar de la méthodologie DOMINO développée par le MRRC de la Faculté Polytechnique de Mons, il peut être envisagé d'affecter à chaque scénario une note traduisant la criticité de ce sinistre relativement à l'intégrité des équipements voisins.

Pour déterminer ce "poids" ou cette note, l'utilisateur pourrait affecter un coefficient de criticité à chaque effet domino identifié selon que les effets restent cantonnés à un seul site ou se propagent à un établissement voisin. De la même façon, il pourrait être choisi d'accorder un coefficient supérieur aux effets dominos entraînant une aggravation des conséquences du sinistre.

Par exemple, prenons l'exemple d'un accident A entraînant un accident B sur le même site, un accident C sur un site voisin et enfin un accident D plus grave (sur-accident sur le même site). Affectons une note de 100 aux effets dominos inter-sites, de 50 aux effets dominos avec aggravation des conséquences et de 20 aux effets dominos modifiant simplement la possibilité ou la probabilité d'un nouvel accident.

Dans cet exemple, l'accident B aurait la note N suivante:

$$N = \text{PED} (A \rightarrow B) \times 20 + \text{PED} (A \rightarrow C) \times 100 + \text{PED} (A \rightarrow D) \times 50$$

- En vue de limiter la propagation d'un sinistre, il peut être envisagé :
 - de limiter les conséquences de l'accident initiateur,
 - de soustraire les équipements cibles aux effets de l'équipement à l'origine du sinistre en revoyant l'implantation sur le site ou en protégeant les équipements cibles (protection ou intervention),
 - de prévenir l'occurrence de l'accident initiateur et, dans le cas idéal, éliminer les causes pouvant conduire à un tel événement.

- A l'issue de l'évaluation des conséquences, il est nécessaire de mettre en lumière les scénarios d'accident conduisant aux distances d'effets enveloppes. Lorsque les conséquences de ces scénarios sont jugées inacceptables, il convient d'identifier des moyens d'en réduire la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences. Pour ce qui concerne la problématique des effets dominos, les questions suivantes se posent :
 - L'accident considéré est-il exclusivement lié à une agression externe de type effets dominos ou d'autres causes plus critiques peuvent-elles être envisagées ?
 - Si d'autres causes peuvent être envisagées, les barrières de sécurité prévues sont-elles susceptibles d'assurer leur rôle en cas d'agressions externes ?
 - Si l'accident est exclusivement le résultat d'un accident survenant à proximité, quelle stratégie employer (protection de l'équipement cible, prévention de l'accident initiateur) et comment en mesurer l'efficacité ?
 - Si l'accident initiateur est lié à la proximité d'équipements dangereux sur un site voisin, quelle conduite adopter et quelles seront les responsabilités ?
 - Outre les aspects purement techniques, comment formaliser les plans d'alarme d'entre-aide entre sites soumis à ces problèmes d'effets dominos ?

7. PERSPECTIVES

7.1 AXES D'AMELIORATIONS POSSIBLES POUR LA METHODE MICADO®

Les axes d'amélioration possibles pour la méthode MICADO® sont les suivants :

- Affiner l'exploitation de l'accidentologie,
- Pour les seuils d'effet, travailler à la détermination de flux thermiques critiques (associés à une durée d'exposition) par type d'équipement, et de couples surpression/impulsion par type d'équipement,
- Apporter des éléments complémentaires pour la définition du PED
 - Tenir compte de la probabilité d'occurrence des scénarios d'accidents primaires considérés
 - Tenir compte des spécifications de l'équipement agresseur et de l'équipement cible
 - Tenir compte de la cinétique des phénomènes dangereux
 - Déterminer le nombre de cascades d'accidents possibles
- Intégrer les résultats de modélisations plus fines qui auraient pu être réalisées pour les équipements jugés les plus critiques
- Appliquer la méthode sur un ou plusieurs cas réels pour en tester la pertinence et y apporter les modifications éventuelles
- Développer un outil informatique pour la construction des matrices d'effets dominos et les calculs relatifs au PED

7.2 TRAVAUX PREVUS POUR LES ANNEES A VENIR SUR LA THEMATIQUE DES EFFETS DOMINOS

Les travaux prévus pour les années suivantes, relativement au traitement des effets dominos, en continuité avec le travail déjà engagé dans le cadre du DRA08, sont décrits ci-dessous.

- Dans le cadre de **l'opération e du DRA 34**, proposé au Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour l'année 2003, les principales tâches qui seront réalisées sont les suivantes :
 - recenser les différentes méthodes existantes en faisant apparaître la nature déterministe ou probabiliste et en jugeant du caractère systématique et structuré, de l'adaptabilité,
 - affiner, enrichir voire modifier la méthode MICADO® à partir de la tâche précédente et des observations d'un groupe de travail interne à l'INERIS sur les effets domino,
 - pour un effet donné (thermique ou mécanique), définir la nature(s) ainsi que la valeur(s) seuil(s) des grandeurs physiques pertinentes pour l'évaluation d'une agression directe de l'effet considéré sur une structure,

- définir ce qu'une étude de dangers doit contenir comme éléments afin que sa mise à disposition permette, pour un site voisin, d'y déterminer les risques en terme d'agressions susceptibles d'être reçues.
- Le **BCRD "Feux réels et effets dominos sur les réservoirs industriels et les canalisations"**, proposé pour l'année prochaine, a pour objectif de développer, de valider et de produire un ou des outils de calcul qui permettent d'appréhender de façon la plus réaliste possible l'impact thermique d'incendies sur des équipements tels que les canalisations et les réservoirs industriels.

Le programme s'articulera autour de deux principaux objectifs :

- définir le phénomène agresseur (feu de nappe, feu torche, boule de feu issue par exemple, d'un BLEVE....) par l'analyse des modes de transfert thermique mis en jeu. Ceci revient finalement à la définition des différents termes sources.
 - définir la réponse de l'équipement agressé en développant des outils de calculs adaptés à nos études, c'est-à-dire à la fois précis et de mise en œuvre compatible avec les contraintes de délais des études courantes.
- Les travaux à venir qui seront menés par **l'unité Résistance des structures (REST)**, à la Direction des Risques Accidentels, sont les suivants :
 - chercher à caractériser les différents matériaux (valeurs de λ , ρ , C_p , températures critiques...),
 - recueillir des données sur les moyens de protection (caractéristiques, valeurs critiques, mise en œuvre...) (peinture...)
 - faire un retour d'expérience sur les accidents, où des structures ont été exposées à des radiations (dégâts observés), ce qui permettra d'avoir une idée de l'imperfection de l'outil d'évaluation que l'on mettra en œuvre
 - savoir traiter le problème d'effondrement mécanique (même si la structure n'a pas atteint la température critique, on peut observer un effondrement si on fait disparaître un ou plusieurs nœuds fondamentaux)

L'unité REST travaille également sur la problématique de l'impact des fragments.

8. CONCLUSION

L'étude des effets dominos entre équipements d'un même site ou de sites voisins peut être dans certains cas une problématique lourde et complexe à mettre en œuvre. Pour autant, cette préoccupation n'est pas nouvelle en France puisque la loi du 19 juillet 1976 précise que l'étude de dangers d'une installation classée pour la protection de l'environnement doit exposer les dangers que présente l'installation en cas d'accident, en présentant une description des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine **interne ou externe**.

Pour autant, il existe à l'heure actuelle peu de méthodes dédiées spécifiquement à ces questions.

Le présent rapport a présenté, dans un premier temps, quelques éléments de réflexion tirés de l'analyse des accidents passés et de la littérature pour ce qui concerne les seuils à considérer pour les effets sur les structures.

L'INERIS a également proposé une méthode permettant de formaliser l'examen des effets dominos dans le cadre d'une étude des dangers ou de sécurité par exemple.

Cette méthode, baptisée MICADO® pour Méthode d'Identification et de CAractérisation des effets DOminos, repose ainsi en grande partie sur les parties consacrées à l'analyse des risques et l'évaluation des conséquences dans ces études et ne vise donc pas à redéfinir un travail par ailleurs déjà réalisé.

Pour le moins, il semble indispensable de préciser clairement le contenu des informations techniques à échanger entre sites voisins pour une cohérence des résultats et également de statuer, si possible, sur les seuils d'effets sur les structures à considérer.

Ce premier travail est à considérer comme une présentation des pistes de réflexion actuelles à l'INERIS. Il est clair qu'un certain nombre de points reste encore à explorer plus en détail. Certaines parties de la méthode MICADO® pourraient être affinées. La méthode devra être appliquée sur un cas réel pour en tester la pertinence.

D'autres travaux sur le thème des effets dominos sont lancés à l'INERIS pour les années à venir. Ils viendront ainsi compléter les travaux déjà réalisés dans le cadre du DRA 08.

9. BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. GONZALES
Une Problématique du feu
INERIS - 1994
- [2] TNO
Green Book - Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials – Chapter 1 « Damage caused by heat radiation »
Committee for the Prevention of Disasters 16E , Décembre 1989
- [3] S. PATEJ
Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) – Feu torche
INERIS – Rapport INERIS-DRA-2002-25427feu_torche.doc Version projet – Novembre 2002
- [4] A. LANNOY
Analyse des explosions air-hydrocarbures en milieu libre
1984
- [5] INRS
Les mélanges explosifs
INRS ED335 - Guide Rouge
- [6] TNO
Green Book - Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials – Chapter 2 « The consequences of explosion effects on structures »
Committee for the Prevention of Disasters 16E , Décembre 1989
- [7] F. P. LEES
Loss Prevention in the Process Industries
Butterworths, London (1996)
- [8] B. G. COX, G. SAVILLE
High Pressure Safety Code (1985)
- [9] SNPE INGENIERIE
Effets mécaniques de projections dans les sphères de gaz liquéfiés
Ref 931934.0/PCL/PCL rev.1, en date du 07 avril 1995 (page 11/56)
Etude réalisée à l'intention du Ministère de l'Environnement

- [10] BUREAU VERITAS
Equivalence terre-texsol - Etude de faisabilité
18 mai 1994
- [11] C. PROUST
Prévoir les effets des explosions de poussières sur l'environnement
EFFEX, un outil de simulation
INERIS – Rapport INERIS DRA-CPr/CPr-22751/effexc.doc – Janvier 2000
- [12] A. C. VAN DEN BERG
The Multi-Energy Method – a framework for vapour cloud explosion blast prediction
Journal of Hazardous Mat., Vol 12, 1985, pp 1-10
- [13] C. DELVOSALLE, C. FIEVEZ, F. BENJELLOUN.
Development of a methodology for the identification of potential domino effects in "SEVESO" industries, Proceedings 9th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, volume 3, pp. 1252-1261, Barcelona, Spain, 4-7 Mai 1998.
- [14] C. DELVOSALLE, F. BENJELLOUN, N. NIEMIROWSKY, V.T. BACH
A Methodology for the Identification of Potential Domino Effects in "SEVESO" Industries and an Application Tool : "DominoXL", Seminar on "Software Tools Relevant to the Seveso II Directive", Second Meeting of the Committee of Competent Authorities Responsible for the Implementation of Directive 96/82/EC, 43 pages, Turku, Finland, 13 Octobre 1999.
- [15] E. BERNUCHON
Examen de la méthodologie « DOMINO » du Major Risk Research Centre de la Faculté Polytechnique de Mons
INERIS – Rapport INERIS DRA-2001-25472 – Octobre 2001
- [16] P. BONNET, S. BOUCHET
Note sur la détermination des scénarios de référence
INERIS – Rapport INERIS DRA-02-SBo-PBn-27190 – rédaction en cours

10. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb de pages
Annexe 1	Accidentologie : Etude type sur les effets dominos	20
Annexe 2	Exemple de fiche de renseignements pour les équipements : équipement sous pression	1

Annexe 1 :

Accidentologie : Etude type sur les effets dominos

Etude type sur les effets dominos

Référence n° ED5246

Résumés d'accidents extraits de la base ARIA
Etat des données au 05/10/2001

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

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 17973 - 05/08/1940 13 - MIRAMAS

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un incendie se déclare dans un wagon d'explosif sur une voie de la gare de triage de MIRAMAS. Sur les voies voisines se trouvent des trains comprenant de nombreux wagons d'artifices de guerre et de munition qui explosent à la suite de la propagation du feu. La chaleur de l'incendie provoque ensuite l'éclatement de fûts de toluène qui se trouvent dans un établissement situé de l'autre côté du grillage qui clôture la gare. L'hydrocarbure s'enflamme et forme une nappe qui coulant selon la pente atteint un hangar qui abrite 240 tonnes de nitrate d'ammonium pur en sacs. A la suite de l'explosion, on trouve un entonnoir profond de 3m en son point le plus bas et dont le bord dessine grossièrement une ellipse ayant pour axe 39 et 26m. L'explosion aurait été provoquée par un obus lancé par une des explosions de munitions.

N° 6059 - 20/10/1944 ETATS UNIS - CLEVELAND

40.2 - Production et distribution de combustibles gazeux

Une fissure se développe dans la paroi d'un réservoir cryogénique d'un stockage de 4 540 m³ de gaz naturel liquéfié. La double paroi était composée d'un acier à 3,5 % de nickel avec une isolation en laine de roche. Le nuage s'enflamme rapidement et explose. Un gigantesque incendie se déclare et se propage à un autre réservoir qui explose à son tour. Au total, 12 ha d'installation sont détruits et près de 2900 t de gaz ont brûlé. 136 personnes sont tuées, 300 sont blessées, 80 maisons sont détruites et 10 usines sont fortement endommagées. Les dégâts sont évalués à 8 millions de dollars US.

N° 12271 - 15/04/1947 ETATS UNIS - TEXAS CITY

61.1 - Transports maritimes et côtiers

Dans un port, un navire, contenant déjà divers matériels, vient de charger de l'engrais (nitrate d'ammonium). Le produit est conditionné en sacs de 45 kg et se présente sous forme de petits grains bruns (composition : 32,5 % azote, 4 à 5 % charge minérale, 1% enrobant , mélange vaseline/résine). Lors du chargement, 1 400 t sont placées dans la cale 2 et 800 t dans la cale 4. Le lendemain à 8 h, après détection de fumées dans la cale 4, de l'eau en quantité limitée est jetée sur le foyer présumé puis la cale est refermée, ventilation inhibée (par bouchage des orifices). Le sinistre se développe, la pression fait ouvrir les orifices par lesquels de la fumées rouge orangée sort. A 9 h, la coque est déjà brûlante. A 9 h12, une très violente explosion éclate. Des projectiles, parfois de grosse taille, sont retrouvés loin du sinistre (ancres de 1,5 t trouvées à plus de 3 km, dans une raffinerie). L'explosion entraîne un raz de marée sur les berges. Un navire voisin, chargé de soufre et de nitrate d'ammonium (961 t), prend feu à

son tour. Une tentative de remorquage au large l'éloigne des côtes de 50 m environ. Au matin (1 h), il explose. L'accident fait environ 581 morts et environ 3500 blessés. Les dégâts dans le port et sur les habitations sont très importants. Les vitres sont détruites. Des réserves de carburant ont pris feu après la seconde explosion, de même que des silos. 5 j après la catastrophe, des incendies ravagent encore la ville.

N° 14732 - 28/07/1947 29 - BREST

61.1 - Transports maritimes et côtiers

Un navire norvégien à quai contient 3 133 t de grains de nitrate d'ammonium en sacs dans ses cales 1, 3 & 5 et, en pontée au-dessus de celles-ci, des substances combustibles ou inflammables : mazout, peintures, lubrifiants, caoutchouc, polystyrène, paraffine, méthyl éthyl cétone, alcool butylique... Vers 12h30, une fumée blanche puis jaune sort d'une manche d'aération de la cale 3. Le système d'extinction à la vapeur est inutilement mis en oeuvre (apport de chaleur, oxygène présent dans le nitrate). Des fumées rouges s'échappent des autres manches de la cale. Un grondement sourd se fait entendre. Les secours ouvrent le panneau d'accès qui vibre. Le feu s'intensifie, des explosions projettent des marchandises sur le pont ou dans l'eau. Des flammes atteignent des entrepôts sur un quai. Des remorqueurs éloignent le bateau du port mais celui-ci, superstructures en feu, s'échoue à 14 h sur un banc trop près de la ville. Le feu gagne l'avant à 17 h, le pétrole des fûts de la cale n° 2 s'enflamme, des flammes jaillissent de la cale n° 1 abritant 739 t de nitrate. Les bateaux s'éloignent. Une explosion à 17h25 tue 26 personnes, des centaines d'autres sont blessées. Une vague de 5 m déferle sur les quais, la ville bombardée de projectiles subit d'importants dommages (usine à gaz, dépôts de pétrole en feu...). Des vitres auraient été soufflées à 70 km et une ferraille retrouvée à 22 km. De la paraffine et autres matières en fusion auraient coulé sur le nitrate.

N° 6051 - 15/10/1955 JAPON - YOKKAICHI

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, un bac à toit fixe de 8000m³ rempli à près de 90% de FO s'enflamme (l'origine de l'incendie reste inconnue). Après 6h30 de feu de surface de bac, un Boil-over se produit. Environ 2 000 à 2 500 m³ d'HC débordent du réservoir. En l'absence d'éléments de rétention, la vague de FO en feu se répand - dans un premier temps - jusqu'à plus de 120 m, et fait des victimes parmi les pompiers. Le sinistre se propage ensuite rapidement sur plus de 10000m² de surface. 4 autres bacs de Brut/FO/GO/Essence ainsi que l'immeuble des bureaux sont incendiés et détruits. L'extinction finale est réalisée 28h après le début de l'accident. Le coût global de celui-ci est estimé à près de 420 Millions de Yens (1955).

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 1 - 04/01/1966 69 - FEYZIN

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, un aide opérateur manoeuvre dans le mauvais ordre 2 vannes de purge en fond d'une sphère de 1200 m³ remplie à 60%. Leur givrage simultané provoque leur blocage et la fuite de propane. Le nuage est enflammé 35' après par un véhicule en dehors de l'usine (décès du conducteur). Un feu chalumeau est allumé à la source 1'après. L'intervention regroupe 158 sauveteurs, la plupart à proximité de la sphère qui explose par BLEVE 90 min après (17 morts, 84 blessés). Une sphère voisine de propane explose à son tour par BLEVE 55 min. après et 3 sphères de butane s'ouvrent (sans BLEVE). Au total 11 réservoirs sont détruits. Des missiles sont projetés jusqu'à 800 m (1 de 80 t à 330 m). 1 475 habitations ou constructions sont affectées. Des sanctions pénales et civiles (1 MF) sont prononcées.

N° 6932 - 08/08/1967 ETATS UNIS - LAKE CHARLES

23.2 - Raffinage de pétrole

Une vanne d'un gazoduc souterrain d'isobutane est corrodée par une fuite d'acide sulfurique. Environ 66 m³ d'isobutane liquide s'échappent tels un geyser de la conduite de 10" à la pression de 3.5 bars. Le nuage s'enflamme en 7 minutes (UVCE). L'onde de choc détruit l'unité voisine d'alkylation et une série d'explosions secondaires se produisent dans les minutes suivantes. 7 personnes sont tuées et 12 autres blessées lors de l'accident. L'eau d'extinction étant indisponible, le feu s'est maintenu durant 6 heures. Un opérateur fermant un bac avant d'ouvrir un bac vide aurait créé une surpression dans la vanne déjà abîmée. La totalité des dommages est évaluée à 18 millions de dollars US.

N° 6931 - 01/01/1968 ETATS UNIS -

60.3 - Transports par conduites

Un réservoir de 27 830 m³ en construction est en phase d'être terminé lorsqu'une explosion se produit. C'est une fuite de gaz survenue sur un gazoduc tout proche et qui s'est répandue jusqu'à la construction qui est à l'origine de cette explosion. 4 personnes sont tuées lors de l'explosion et les dégâts sont évalués à plus de 1 000 000 \$.

N° 5266 - 07/02/1968 ETATS UNIS - CHICAGO

15.8 - Autres industries alimentaires

Un camion transportant des hydrocarbures percute un bâtiment industriel appartenant à une usine de produits alimentaires. Les citernes fuient, les hydrocarbures s'enflamment et une explosion se produit 15 min après le début de l'incendie. Cette dernière est attribuée à l'inflammation d'ammoniac

libéré par une installation de réfrigération située au sommet du bâtiment. Cet accident provoque la mort de 9 personnes, 72 autres sont blessées.

N° 6686 - 02/07/1968 ETATS UNIS - FAYETTEVILLE

41.0 - Captage, traitement et distribution d'eau

Dans une usine de production d'eau potable, un réservoir tombe et endommage une canalisation. Une fuite de chlore intoxique 4 personnes ; 1 700 autres sont évacuées par mesure de sécurité.

N° 7645 - 02/01/1969 HONGRIE - REPCELAK

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine de production de CO₂ liquide (CO₂ naturel purifié & stocké à -30°C/15 bar), un des quatre cigares verticaux de stockage explose par BLEVE durant son remplissage. Par effets domino, un second cigare explose (BLEVE) et un troisième est propulsé dans le laboratoire situé à 30 m, tuant 5 personnes. Les projections - des 2 BLEVE(s) - tuent 4 personnes. D'autres sont blessées jusqu'à 150 m, dont 15 sérieusement (traumatismes et gelures). Des fragments de grandes tailles sont projetés jusqu'à 400 m ; deux de 2,8 t et 1t sont retrouvés à 150 et 250 m. L'origine probable de l'explosion est un sur remplissage dû au gel du détecteur de niveau (gel d'eau non extraite totalement du CO₂). De plus, le matériau des 2 cuves explosées n'était pas adapté aux faibles températures.

N° 7200 - 12/01/1969 ETATS UNIS - BATTELLE

60.1 - Transports ferroviaires

Un convoi ferroviaire composé de 13 wagons dont 7 contenaient des matières dangereuses déraille. Un wagon d'acétaldéhyde est perforé et explose en déclenchant un incendie. 3 wagons contenant des LPG sont pris dans l'incendie et explosent à leur tour. Une partie de la citerne de l'un des wagons est projetée à 600 m de l'accident.

N° 15585 - 08/12/1969 59 - DOUAI

15.9 - Industrie des boissons

Dans une brasserie fonctionnant en discontinu (baisse d'activité), une explosion et une fuite d'ammoniac ont lieu 30 min après démarrage de l'unité de réfrigération. Un employé brûlé aux yeux fuit. Une 2ème explosion avec flammes se produit. Un réservoir d'NH₃ liquide (475 l, 12 b), en sortie condenseurs, est relié à une bouteille de surchauffe par une canalisation équipée d'un viseur et d'une vanne à pointeau manuelle pour pulvériser l'NH₃ en gouttelettes et abaisser la pression à celle de la bouteille. La fuite a lieu sur le réservoir recyclé, modifié et adapté à l'unité, présentant des soudures avec manque de pénétration. L'NH₃ envahit le local et

Nombre d'événements répertoriés : 114

s'enflamme avec une étincelle dans l'armoire électrique (détruite) ou sur les ampoules nues éclairant la salle ou un niveau en verre (brisé par les vapeurs d' NH_3 froides). puis le réservoir explose sous la chaleur. Un mur (25 cm) est troué sur 2 m², un escalier est déplacé (10 cm), le fond du réservoir est projeté à 15 m. Le site ferme l'année suivante.

N° 6919 - 21/06/1970 ETATS UNIS - CRESCENT CITY

60.1 - Transports ferroviaires

Dans un convoi de chemin de fer, une trémie de sable déraile et entraîne dans sa suite 9 wagons de propane. Perforé, un wagon s'enflamme spontanément. La chaleur déclenche la soupape de sécurité d'un second wagon et crée une flamme chalumeau qui en fait exploser un troisième (BLEVE). Un fragment est propulsé à 180 m alors qu'un second percute le toit d'une station service qui s'effondre. Le second wagon explose 2 heures plus tard. Un de ses fragments est projeté à 500 m. Un quatrième wagon explose et détruit 3 bâtiments situés sur sa trajectoire. 35 minutes plus tard un autre réservoir se rompt, il est bientôt suivi par deux nouveaux wagons. Les fragments de l'un d'entre eux provoquent l'explosion des 2 dernières citernes. 66 personnes sont blessées.

N° 6938 - 05/07/1973 ETATS UNIS - KINGMAN

63.2 - Gestion d'infrastructures de transports

Une légère fuite est repérée lors du dépotage d'un wagon contenant 75 m³ de GPL. L'un des deux opérateurs tente de resserrer les vannes en utilisant un outil en aluminium qui pourrait être la cause de l'inflammation du gaz. Il meurt brûlé vif ; l'autre gravement brûlé, donne l'alerte. Les pompiers n'arrivent qu'après 25 min. De grandes flammes s'échappent du wagon. Les pompiers tentent de refroidir mais ce n'est pas suffisant et un BLEVE se produit. La moitié du wagon est projetée à 365 m. Une boule de feu de 45 à 60 m de diamètre est observée. 5 bâtiments sont en feu. 12 pompiers meurent brûlés. 95 personnes sont blessées. Des débris mettent le feu à une usine, à un restaurant et à un magasin. Les incendies sont maîtrisés au bout de 8h.

N° 5611 - 01/06/1974 ROYAUME UNI - FLIXBOROUGH

24.7 - Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques

Une importante fuite de cyclohexane a lieu dans une usine chimique produisant du caprolactame par oxydation du cyclohexane. Le nuage formé s'initie au contact d'une torchère, une violente explosion (UVCE) et de nombreux incendies suivent. L'usine dont les effectifs sont réduits le jour du sinistre est détruite, 28 employés sont tués, 36 autres sont blessés et 3 000 riverains sont évacués (17 sont blessés, des centaines étant commotionnées). Les dégâts externes sont également importants : 1 821 maisons et 167

commerces ou usines touchés. Les dommages seront évalués à 378 M\$. Une conduite de fort diamètre (50 cm) reliant, temporairement mais depuis plusieurs semaines, 2 des 6 réacteurs de l'unité s'est rompue. La tuyauterie avait été installée sans étude préalable pour by-passer un réacteur fissuré en réparation. Des soufflets de dilatation à chaque extrémité de la conduite (initialement droite) ont été cisailés à la suite de contraintes de flexion. L'usine était en cours de réorganisation.

N° 6934 - 06/02/1977 ETATS UNIS - BOYNTON BEACH

60.1 - Transports ferroviaires

A la suite du déraillement d'un train de marchandise, un wagon de propane enfonce le muret de rétention d'un stockage de 4 réservoirs de GPL. La citerne explose, se brise et la plus grosse partie est catapultée à 130 m. Un incendie se déclare, s'étend à l'ensemble du convoi ainsi qu'à des habitations et des commerces dans lesquels deux personnes sont brûlées vives. Les pompiers devant le manque d'informations concernant les produits transportés redoutent de nouvelles explosions. 1,5 h plus tard, un BLEVE détruit une citerne d'isobutane. Il se forme une boule de feu de 100 m de diamètre visible à plus de 40 Km. L'incendie est finalement maîtrisé 2 jours plus tard.

N° 7911 - 19/06/1977 MEXIQUE - PUEBLA

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine produisant des matières plastiques, une fuite de monochlorure de vinyle a lieu sur la vanne de fond de l'un des 7 cigares (230 à 340 m³) de CVM (capacité totale du dépôt 1 500 t). L'accident a pour origine une erreur de manipulation d'un ouvrier d'entretien. Les établissements voisins sont arrêtés puis l'usine est évacuée. Le nuage formé (250x350 m) s'enflamme sur un four de cracking (éteint mais chaud) d'une usine voisine 55 mn plus tard. Une explosion se produit suivie de 2 autres 15 et 20 mn plus tard; 2 cigares sont retrouvés à 250 et 400 m, un 3ème est ouvert (fonds projetés à 100 & 200 m), des bâtiments de l'usine sont rasés. Dans l'usine où le nuage s'enflamme, une personne est tuée et 4 autres sont gravement blessées.

N° 6955 - 08/12/1977 ITALIE - BRINDISI

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans un complexe pétrochimique, une fuite de gaz est découverte à 0 h 30 au niveau d'un vapocraqueur entre de l'éthylène et le vase de reflux d'un dépropanisateur. La nappe de gaz s'écoule vers des fours situés à 120 mètres. L'alerte est déclenchée, les 30 agents de l'unité sont évacués. En 3 minutes la nappe de gaz atteint les fours et explose. Les murs en béton armé de la salle de commande sont soufflés. Les 3 opérateurs restés à l'intérieur sont tués. 50

Nombre d'événements répertoriés : 114

employés travaillant dans les unités voisines sont blessés. 120 pompiers luttent contre l'incendie durant 9 h. La section froide du vapocraqueur est détruite. Les vitres sont soufflées dans un rayon de 3 km et de nombreux édifices sont endommagés. Le coût global est estimé à 47,3 M\$.

N° 7122 - 30/05/1978 ETATS UNIS - TEXAS CITY

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une zone de stockage de GCL d'une raffinerie, une sphère de 800 m³ d'isobutane est sur-remplie et se fissure le long d'une ligne de soudure. Très rapidement la fuite s'enflamme et un feu chalumeau est allumé à la source. Moins d'1' après, la sphère BLEVE. Des cigares verticaux et horizontaux BLEVE tour à tour. 20' après la première, une seconde sphère de 800 m³ d'un mélange butane-butylène BLEVE et génère une boule de feu d'environ 335 x 200 m. De nombreux effets missiles sont constatés. Une soupape de sphère est projetée à 500m. Des vitres situées face au sinistre sont brisées jusqu'à 3,5 km. L'incendie généralisé nécessite plus de 12 h d'intervention. 7 employés sont tués et 10 autres sont blessés. Le coût global est estimé à 100 M\$ (1986).

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

50.5 - Commerce de détail de carburants

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

N° 7315 - 13/12/1980 VENEZUELA - LAS PIEDRAS

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, une ligne de 8" reliant un séparateur haute pression et un stripeur d'une désulfuration se rompt circonférentiellement dans la zone chaude environ 2" après une soudure. La charge à 48 bars et 650 °F est projetée en aérosol sur les installations voisines. Elle est enflammée au niveau des lignes d'hydrogène. L'incendie provoque la rupture d'une ligne de gaz de 16" qui alimente le feu et cause d'autres ruptures de lignes. L'incendie dure 6 h 30. Cet accident est responsable de la destruction ou de l'endommagement de 3 unités d'hydrogène. Des vibrations constatées 9 ans plus tôt sur la ligne

avaient justifié son renforcement par des goussets. Elle aurait alors subi des fatigues ajoutées au phénomène d'hydrogène blistering.

N° 4987 - 18/10/1981 69 - VILLEURBANNE

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Un feu d'origine accidentelle ou malveillante se déclare dans une droguerie en gros où sont notamment stockés en petit conditionnement 14 t de chlorate de sodium et 33 000 l de liquides inflammables (alcools, solvants, etc.). Des riverains donnent l'alerte à 1h20. De violentes explosions (perçues à 7 km) se produisent durant l'intervention. Des poutrelles en métal projetées entre 5 et 200 m (certaines par-dessus un immeuble de 8 étages) font des victimes dans le public (1 mort, 5 blessés dont un grave). D'autres missiles sont projetés (boîtes métalliques de 5 kg, bombes aérosols, etc). Les pertes sont évaluées à 17 MF de stocks et 6 MF d'équipements (1981), 10 000 m² de locaux sont détruits. Une école et 150 appartements ont des vitres brisées.

N° 6052 - 19/12/1982 VENEZUELA - TACOA

40.1 - Production et distribution d'électricité

Dans une centrale thermique, la phase gazeuse surchauffée (80°C au lieu de 65°C) d'un bac de 40 000 m³ rempli à 40 % de FO (PE=71°C) explose (ignition par 2 employés lors d'un travail de jaugeage). Le toit fixe frangible éjecté retombe dans la cuvette de 33 000 m³ (=>rupture d'une ligne de FO=>feu de cuvette). Après 6h de feu de bac, un boil-over survient. Une boule de feu s'élève à plus de 300 m, une vague d'hydrocarbures en feu submerge les merlons (H=6m) et s'étend jusqu'à 400 m en contrebas. Au passage elle inonde la cuvette d'un autre bac de FO (feu de cuvette=>surpression du bac=>ouverture du toit=>20j de feu de bac) détruit 60 véhicules situés sur la seule voie d'accès ainsi que 70 habitations et les 2/3 de la centrale. 150-200 personnes sont tuées et 500 blessées. La seule route d'accès au bac, étroite et sinueuse, passe en contrebas de la cuvette. Elle est encombrée par les véhicules de secours, de presse et de nombreux badauds. La chute du toit détruit la couronne d'aspersion de 4".

N° 12859 - 19/03/1983 38 - CLAIIX

24.1 - Industrie chimique de base

Sur un site produisant du chlore et des dérivés chlorés, un amorçage se produit sur 1 transformateur 60kV/100V alimentant les appareils de protection et de mesure des installations HT. Les 3 alimentations électriques sont coupées (disjoncteurs) tant que le défaut n'est pas localisé. L'un des 8 groupes électrogènes diesel de secours ne démarre pas. Les circuits aval contenant du chlore liquéfié montent en

Nombre d'événements répertoriés : 114

pression. Le toit frangible d'une colonne de lavage de chlore se soulève et 500 kg de chlore sont émis à l'atmosphère durant 1 h. Des surpressions endommagent un joint sur une canalisation d'ammoniac dans un atelier de dessalage. L'ammoniac et le chlore réagissent pour former du chlorure d'ammonium qui permet de visualiser le nuage toxique dérivant sur 10 km à 1000 m d'altitude avant de se dissiper sous l'influence de conditions météorologiques favorables. Deux intervenants sont légèrement intoxiqués.

N° 6077 - 30/08/1983 ROYAUME UNI - MILFORD HAVEN

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie la surface d'un toit flottant (fissuration chronique par contraintes mécaniques du vent) d'un bac de 94 000 m³ rempli à 1/2 de Brut léger (PE=38°C) s'enflamme (ignition probable par des escarbilles issues d'une torche). En 2h les 4800 m² de surface de bac sont embrasés. Le toit flottant s'enfonce. 12h après un Boil-over survient et génère une boule de feu ainsi qu'un débordement d'HC (feu des 16800m² de cuvette). 2 h après un second Boil-over engendre la rupture partielle de la liaison robe/fond. De l'HC est libéré mais les merlons (H=5 m) de la cuvette résistent. Le feu de bac persiste et ne sera éteint que 15h plus tard. Au total 150 pompiers interviennent durant 60h. Plus de 700 m³ d'émulseurs sont utilisés. 6 pompiers sont blessés.

N° 7128 - 19/11/1984 MEXIQUE - SAN JUAN IXHUATEPEC

40.2 - Production et distribution de combustibles gazeux

Durant la phase de remplissage d'une zone de stockage de GPL (mélange 80% butane-20% propane) composée de 2 sphères de 2400m³, 4 de 1600 m³ et 48 cylindres horizontaux (5 000 m³), une canalisation 8 à 24 bar se rompt. Un nuage de 150 X 200 X 2m se forme et s'allume 5-10' après sur une torchère à 120-150m de la fuite. Le VCE engendre 5' après le BLEVE de 2 petites sphères. Une boule de feu au niveau du sol (diamètre = 600 m) se forme. Dans un rayon de 300m la zone est détruite et la population est décimée. Par effets domino, des explosions se succèdent jusqu'à 11h. Des fragments de sphères sont projetés à 600 m et 12 cigares-rockets (20t) sont lancés (un à 1 200 m). Au total plus de 500 morts, 7 000 blessés, 39 000 évacués et 4000 sauveteurs sont dénombrés.

N° 7269 - 19/05/1985 ITALIE - PRIOLO

23.2 - Raffinage de pétrole

La soupape d'admission des 2 bouilleurs d'un dééthaniseur se désolidarise de son support à la suite de la rupture de plusieurs tiges filetées de sa bride d'admission. Les surpressions répétées subies par la

soupape seraient à l'origine de l'accident. Une fuite se produit et s'enflamme. Les stockages journaliers, pris dans l'incendie, sont détruits par BLEVE. Trois personnes sont blessées, une partie du fractionnement froid ainsi que les stockages de produits sont détruits. Le montant des dommages s'élève à 66.95 MS.

N° 6076 - 24/02/1986 GRECE - THESSALONIQUE

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans un terminal pétrolier (160 000 m³, 10 bacs en service, Brut FO Essence), un petit feu de cuvette se déclare sur un épandage de FO lors de travaux d'oxycoupage. Le feu se propage à 2 cuvettes non étanches. Soumis au rayonnement, 7 toit-fixes montent en pression. Les toits de 6 d'entre eux s'ouvrent et la liaison robe/fond du septième se rompt. Le flot de FO propage le sinistre à une quatrième cuvette. Un Boil-over survient dans un bac de Brut. Les projections (150m) enflamment la circonférence du toit-flottant (Brut D=80m) et étendent l'incendie aux 2 dernières cuvettes. Un toit-fixe explose et une vague de FO se répand jusqu'à 100m. L'extinction des 35000m² de cuvette et 10 bacs en feu nécessite 7 j d'intervention. 8 pompiers sont blessés.

N° 5136 - 13/05/1986 92 - GENNEVILLIERS

24.4 - Industrie pharmaceutique

Un emballage de réaction dans un atelier de chimie fine détruit l'appareillage en verre surmontant un réacteur de 3 m³. Du tétrahydrofurane enflammé (inflammation hydrogène/diborane) est éjecté hors du local et retombe sur le toit bitumé d'un laboratoire voisin. Celui-ci est détruit par l'incendie qui en résulte. Le sinistre est maîtrisé en 2 h, 6 pompiers intoxiqués sont hospitalisés. Bien qu'aucun lien de causalité ne soit prouvé, plusieurs riverains situés à 500 m de l'usine sont placés en observation 6 h après la fin de l'intervention. Un arrêt de l'agitation (défaillance mécanique) lors de l'hydrogénation d'un acide organique en présence de borohydrure de sodium et de trifluorure de bore est à l'origine de l'accident.

N° 161 - 08/06/1988 37 - AUZOUEUR-EN-TOURAINNE

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine chimique, une explosion et un incendie se produisent lors de la fabrication d'un imperméabilisant à base de silicone. L'accident a pour origine un dégagement imprévu d'hydrogène lorsqu'un alcoolate est introduit dans un réacteur contenant une huile siliconée. L'opérateur est gravement blessé. L'incendie se propage à une grande partie du site (2 à 3 000 m²) et un important nuage toxique se forme (oxydes d'azote, ammoniac, etc.) ; 200 personnes riveraines sont évacuées. Les eaux d'extinction polluent la BRENNNE et la LOIRE, 200 000 habitants

Nombre d'événements répertoriés : 114

de TOURS et de sa région sont privés d'eau durant 4 jours. Au moins 20 t de poissons sont tuées et la totalité de la microfaune est détruite. Le mode opératoire de la fabrication venait d'être modifié.

N° 64 - 18/09/1988 NORVEGE - PORSGRUNN / BAMBLE

24.1 - Industrie chimique de base

Une explosion et un incendie se déclarent dans une unité de MVC à la suite de la rupture par corrosion / érosion d'une tuyauterie de mélange (30 b / 140°C). Un nuage explosible se forme, son allumage se produit à 40 m du point d'émission. L'explosion entraîne la rupture d'autres pipes (Cl2). Intervention de 48 pompiers (28 extérieurs). Des missiles sont projetés et heurtent une canalisation majeure d'éthylène : l'aggravation est évitée de justesse. A la suite de l'accident, un programme de renforcement des canalisations externes est lancé.

N° 69 - 30/09/1988 ETATS UNIS -

24.1 - Industrie chimique de base

Durant une manoeuvre de mise à l'arrêt dans une usine d'engrais, la brusque baisse de régime d'une chaudière entraîne un ralentissement du compresseur d'une unité de réfrigération et une surpression dans les étages d'ammoniac liquide. Une soupape de sécurité s'ouvre et 2,6 t d'ammoniac sont rejetées à l'atmosphère. La chaudière est remise en route immédiatement et la procédure de mise à l'arrêt est conduite à son terme sans autres difficultés. Aucune conséquence n'est à déplorer sur l'environnement.

N° 165 - 09/02/1989 62 - NOYELLES-GODAULT

27.4 - Production de métaux non ferreux

Un incendie de cause initiale inconnue se déclare dans un stockage extérieur sur palettes comprenant en particulier 230 t de nitrate de sodium, 31 t de soufre, 3 t de charbon de bois, et du magnésium en lingots et copeaux. 9 explosions surviennent en 14 min, faisant 6 blessés dont 4 avec arrêt de travail. On observe des bris de toitures en fibrociment à 300 m et des bris de vitres à 750 m. Des lingots de magnésium sont projetés à 15-25 m, une bouteille de gaz retombe incandescente à 75 m sur le site. Une dizaine de foyers mineurs se déclarent sur 1 ha, y compris à l'extérieur de l'usine. Un nuage d'oxydes de soufre et d'azote se disperse sans conséquence externe. Le feu est maîtrisé par 150 pompiers en 1 heure avec de la poudre et du sable.

N° 717 - 20/03/1989 LITHUANIE - JONOVA

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine d'engrais, une cuve d'NH3 cryogénique de 10 000 t remplie à 70% se rompt brutalement, décolle et retombe sur le mur de

rétenion. L'NH3 liquide (propulsé sous forme de jet) forme une flaque (=>0,7 m de hauteur) qui se propage sur le site. Les vapeurs s'enflamment sur une torche. Le feu gagne les stocks de NPK (55 kt/3 jours de décomposition thermique). Le nuage toxique (NH3, NOx) contamine une zone d'environ 400 km² (diamètre max # 30-35 km) mais sans atteindre des valeurs de concentrations irritantes. 7 employés sont tués, 60 personnes intoxiquées et 32 000 évacués. L'accident a pour origine un roll-over suite à une entrée anormale d'NH3 chaud (+10°C) en fond de réservoir et à un système de sécurité (soupapes/réseau torche) largement sous-dimensionné.

N° 1102 - 24/12/1989 ETATS UNIS - BATON ROUGE

23.2 - Raffinage de pétrole

Un nuage constitué d'un mélange d'éthane et de propane consécutif a une fuite de gazoduc explose. La déflagration est ressentie à 24 km. D'autres canalisations de transport sont détruites. Le feu se transmet à 2 réservoirs contenant au total 13 000 m³ de gazole. On dénombre 1 mort et plusieurs blessés. Des bris de vitres sont observés jusqu'à 10 km. Les dommages matériels s'élèvent à 77,2 M\$.

N° 12408 - 20/03/1990 ROYAUME UNI - STANLOW

24.1 - Industrie chimique de base

Dans l'unité de fabrication de chlorofluoroaniline, un emballage de réacteur de 6 t se produit. Les canalisations raccordées à l'appareil éclatent, un jet enflammé de réactifs (dichloronitrobenzène ou DCNB, difluoronitrobenzène ou DFNB, diméthylacétamide ou DMAC) et de solvant (xylène), puis une boule de feu se forment et des débris sont projetés à plus de 500 m. Les capacités voisines contenant du xylène sont incendiées. Un ouvrier est tué et 5 autres sont blessés. L'unité est détruite. La contamination du mélange de DCNB/DFNB par de l'acide acétique est à l'origine du sinistre.

N° 114 - 26/05/1990 JAPON - ITABASHI-KU / TOKYO

24.1 - Industrie chimique de base

Une explosion se déclare dans un atelier de conditionnement manuel de peroxyde de benzoyle (cristaux secs) depuis des fûts plastiques de 40 kg vers des sacs polyéthylène de 5 kg. Tous les employés sont tués et l'atelier est complètement détruit. Cette substance sera interdite à la suite de cet accident. L'explosion entraîne d'autres explosions dans les ateliers voisins, puis un incendie qui se communique à tout l'établissement et à un établissement voisin. 8 bâtiments (900 m²) sont détruits, 22 maisons et 20 voitures sont endommagées à l'extérieur des sites.

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 218 - 17/03/1991 JAPON - YOKKAICHI-SHI

24.4 - Industrie pharmaceutique

A la suite d'un sur remplissage et d'une mauvaise répartition du chauffage (agitation insuffisante, une réaction chimique s'emballé en partie haute d'un réacteur de 3 m³ qui explose. Le mélange réactionnel (cyclopentadiène, acrylonitrile et hydroquinone) projeté dans tout le bâtiment (420 m²), communique le feu aux 61 autres équipements de l'atelier. Deux employés sont blessés et plus de 100 pompiers interviennent pour maîtriser le sinistre. La température était uniquement contrôlée en partie inférieure du réacteur.

N° 3325 - 30/05/1991 13 - BERRE-L'ETANG

24.1 - Industrie chimique de base

Une fuite survient sur une conduite d'éthylène de 10" sous 45 b, suite à une corrosion entre une portion aérienne en tranchée et une portion enterrée protégée par fourreau. La fermeture des vannes d'isolement (2 km) prend 20 min. Enflammée par un véhicule d'une entreprise extérieure, malgré le périmètre de protection établi, la fuite génère une torche de 15 m orientée vers un rack de 6 m de haut où passent 10 conduites. Une autre conduite d'éthylène de 6" se rompt et prend feu à son tour. Un tronçon retombe près de la première conduite qui explose. Le feu se communique à un entrepôt de 22 m³ de solvants en fûts et 1000 t de caoutchouc synthétique à 20 m. On déplore 4 blessés dont un brûlé grave. Les pertes de production sont estimées à 220 MF.

N° 3137 - 20/08/1991 16 - CHATEAUBERNARD

28.3 - Chaudronnerie

Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une chaudronnerie industrielle et se propage à la cartonnerie voisine. Un camion-citerne s'enflamme, le stock de bouteilles de propane et de butane explose et creuse un large cratère dans un hangar. Les pompiers luttent 2 heures pour éteindre l'incendie. 8 000 m² de cartons sur bobine sont détruits. Les murs de parpaings s'effondrent et la charpente métallique se déforme sous l'effet de la chaleur.

N° 3140 - 21/08/1991 AUSTRALIE - MELBOURNE

YY.0 - Activité indéterminée

Des incendies se produisent sur un site de stockage comprenant 47 réservoirs dont 26 contiennent des produits chimiques liquides (benzène, phénol, MEC, acrylonitrile, méthacrylate de méthyle, etc.) ; 27 réservoirs sont détruits ou très endommagés. Une fumée toxique (benzène, HCN, etc.) dérive hors du site. L'intervention qui débute 6 min après le départ des feux, se prolonge jusqu'au lendemain vers 16 h ;

450 m³ d'émulseur AFFF sont utilisés. Des milliers de personnes sont évacués dans un rayon de 2 km. La foudre serait à l'origine de l'accident. Les pertes pour interruption de travail sont estimées à 40 MS (200 MF) et les dommages matériels à 11 MS. Les personnes sur ou près du site doivent porter des appareils respiratoires.

N° 2900 - 15/10/1991 71 - CHALON-SUR-SAONE

24.1 - Industrie chimique de base

Après chargement, 300 kg de trichlorure de phosphore débordent d'un jaugeur et s'hydrolyse dans les égouts. Le rinçage de l'atelier aggrave la situation. Un nuage toxique d'acide chlorhydrique se déplace lentement au-dessus de la ville. Des effets sont perçus à 1 500 m. Deux employés sont hospitalisés. Alertées par communiqués radio, 16 personnes se présentent à l'hôpital mais regagnent rapidement leur domicile. L'unité présente des défauts de conception et des dispositifs de sécurité (niveaux hauts) ont été neutralisés. Lors de la maintenance passée de l'unité des limiteurs de débit (diaphragmes) n'ont pas été remis en place. Un interrupteur inadapté et provisoire est à l'origine du redémarrage imprévu de la pompe de PCI3, elle-même surdimensionnée.

N° 4032 - 27/02/1992 45 - SAINT-CYR-EN-VAL

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Dans dépôt de produits chimiques, à la suite de la rupture d'une vanne en pied de cuve, 20 m³ de bisulfite de sodium se déversent dans une cuvette de rétention dont le mur cède sous la pression. 80% du produit se répand sur l'aire de conditionnement directement reliée à la station de traitement des effluents de l'établissement. Le reste déborde dans la cours et menace de rejoindre le réseau public d'eaux pluviales qui se jette dans l'étang de MORCHÈNE. La société alerte préventivement la mairie et les pompiers. Aucun écoulement ne se produit, il n'y a pas d'atteinte à l'environnement. Le produit est récupéré par une entreprise spécialisée.

N° 562 - 10/03/1992 55 - VERDUN

75.2 - Services de prérogative publique

Les ciels gazeux de 2 bacs de 100 m³ de FOD, aux toits fixes et non frangibles, explosent dans une caserne militaire. Les soudures robe/fond se déchirent. Le 1er bac qui contient 7 m³ d'hydrocarbure, décolle et retombe sur la chaufferie. Le 2ème réservoir (51 m³ de FOD) part en fusée à 50 m de haut et retombe à l'extérieur. Le fuel en feu généralise l'incendie. Des bris de verre ou de plastiques fondus et des projections métalliques sont observés jusqu'à 200 m en dehors du site. Les dommages sont évalués à 1,3 MF. Une surchauffe du FOD (T° > PE), liée à une modification des installations, explique l'explosivité des ciels gazeux.

Nombre d'événements répertoriés : 114

Deux sources d'ignitions des explosions sont identifiées : un point chaud sur les résistances émergées (erreur de construction) et flamme générée lors de la première explosion, l'évent du réservoir ne disposant d'aucun dispositif pare-flamme (erreur de conception).

N° 5244 - 07/04/1992 ETATS UNIS - BRENHAM (TEXAS)

40.2 - Production et distribution de combustibles gazeux

Sur un site de stockage souterrain (cavité saline/V#60000m³) de GCL (Alcanes, 1/3 C3 + 1/3 C2 + 1/3 C4-C5-C6), une fuite se produit. Après plus de 1h de rejet, le nuage formé (V estimé à posteriori entre 500 & 1600m³) est allumé par un véhicule. Le VCE (il s'agit en fait de 3-4 explosions successives) endommage les constructions sur 800ha (d<2,4km destruction totale / d<3,6km dommages mineurs). Des secousses sismiques (3,5-4 / Echelle de Richter) sont enregistrées jusqu'à 120km. La zone est brûlée sur #70ha. Des vitres sont brisées jusqu'à 200km. 75 bovins sont tués et 12 blessés. 3 personnes sont tuées et 21 blessées. Le coût total est estimé à 9M\$ (1992). Des défauts de conception du procédé et des organes de sécurité sont à l'origine de la fuite.

N° 3543 - 22/04/1992 MEXIQUE - GUADALAJARA

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Une série d'explosions se produit dans les égouts de la ville. La 1ère explosion est enregistrée à 10h00 en centre ville dans un collecteur de diamètre 3,50 m enfoui à 8 m de profondeur. Au total 12 explosions seront recensées jusqu'au lendemain matin. Cette catastrophe est liée à une fuite d'hydrocarbures sur le réseau enterré PEMEX qui est très imbriqué dans les égouts. Le bilan fait état de 206 morts, 500 disparus, 1800 blessés et 4500 sinistrés. 12 km de rues sont dévastés, certaines sont creusées par des fossés de plusieurs m de profondeur. Les plaques d'égout et autre débris sont projetés à plus de 25 m de hauteur. Les réseaux d'eau, d'électricité et de communications sont très affectés. 1 500 maisons sont détruites.

N° 3694 - 17/06/1992 59 - SECLIN

15.5 - Industrie laitière

Un incendie ravage, sur 2 000 m², 1 500 m³ d'emballages en papier, carton et plastique (210 m³ autorisés) dans une ancienne chambre froide dont les canalisations ammoniac ne sont pas vidangées. Lors de l'intervention, ces dernières sont isolées avec difficulté du reste de l'unité de réfrigération (7 t NH₃) : vidange nécessaire de tronçons de conduite, vannes non étanches, tuyauteries mal dégazées et risque d'explosion (NH₃) lors des travaux d'isolement (soudures), etc. D'importants moyens d'intervention

sont engagés (65 pompiers - 9 centres de secours, etc.). Un pompier d'une équipe montante mal renseigné sur les opérations en cours sera intoxiqué par une fuite de 60 l d'NH₃ alors que l'opérateur s'est déplacé de 100 m pour fermer une vanne. Les dommages matériels sont évalués à 20 MF et les pertes d'exploitation à 14 MF. Une enquête judiciaire est effectuée (acte de vandalisme ?).

N° 4583 - 05/10/1992 13 - MARSEILLE

45.1 - Préparation des sites

Un ancien terril de 800 000 t de déchets de boues basiques existant depuis 1947 s'effondre. La rivière HUVEAUNE est entravée et polluée (coloration rouge). Les réservoirs d'acide chlorhydrique d'une usine agroalimentaire, situés 200 m en amont, sont endommagés. Les terrains avaient été rachetés par des promoteurs immobiliers et l'effondrement a pour origine des travaux d'excavation entrepris, sans autorisation, par une société de BTP. Des arrêtés de travaux d'urgence sont pris au titre de la police des eaux (réfection du lit) et de la police ICPE (reconstitution du terril).

N° 3895 - 07/10/1992 34 - MONTPELLIER

52.4 - Autres commerces de détail en magasin spécialisé

Dans une armurerie, une cartouche explose lors d'essais de tir sur une carabine en réparation. Un feu se déclare, des centaines de fusées d'artifice et de munitions explosent. L'incendie se propage aux 2 étages de l'immeuble. Un périmètre de sécurité est mis en place. L'immeuble est évacué. L'armurerie et plusieurs appartements situés au-dessus sont détruits. Une moto est calcinée. Une odeur de fumée âcre persiste dans les locaux des immeubles voisins.

N° 3969 - 09/11/1992 13 - CHATEAUNEUF-LES-MARTIGUES

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, une fuite se produit sur un by-pass 8 corrodé (brèche 25cm²) d'une tour (10bar) de la section Gas-plant de l'unité de Craquage catalytique. Durant 10', 15t de C₃H₈/C₄H₁₀/Naphta-légers sont relargués sur une surface de 14000m² puis le nuage s'allume sur le four du craqueur. Le VCE détruit la zone. La salle de contrôle de l'unité s'effondre et provoque la mort de 3 employés. Des vitres sont brisées à 8km. Par effets domino, d'autres explosions se produisent (boule de feu sur le dépropaniseur) et 6 foyers d'incendie s'allument - dont un au niveau d'un bac à 200 m. L'extinction des 5000 m² en feu nécessite 8h d'intervention et près de 600 hommes. 140m³ d'émulseur sont utilisés. 6 des 8 opérateurs présents dans l'unité sont tués et 1 est gravement blessé. Le coût des dégâts s'élève à environ 2700MF (408 Meuro).

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 4160 - 13/12/1992 17 - CHERAC

15.9 - Industrie des boissons

Un feu se déclare dans un chai de stockage d'une distillerie et se propage à un deuxième chai. Les foudres d'alcool explosent sous l'effet de la chaleur. L'alcool enflammé communique le feu à des serres voisines. Le danger d'extension à une cuve à gaz est important. 2 500 m² de chai et de 13 500 hl d'eau de vie pure sont détruits. Les vitres des serres volent en éclat. Durant toute la nuit, les 70 pompiers mobilisés parviennent à préserver un 3ème chai et une citerne de gaz. La CHARENTE est polluée par l'alcool. Le coût de l'accident s'élève à 145,2 MF.

N° 4225 - 13/01/1993 07 - LA VOULTE

60.1 - Transports ferroviaires

A la suite d'une rupture d'essieu, un convoi de 20 wagons (20 000 l/wagon) d'essence déraile ; 3 citernes renversées, s'enflamment et explosent. L'incendie se propage aux habitations voisines. L'essence s'infiltré dans les sols et les égouts. Près de 500 personnes sont évacuées dans un périmètre de sécurité de 300 m (6 sont blessées), 5 maisons sont détruites, 5 autres sont endommagées et des voitures sont calcinées. Des couvercles de bouches d'égout sont projetés à plusieurs mètres. A 800 m du lieu du sinistre, un bâtiment abritant une station de relevage des effluents est détruit. Des puits agricoles sont pollués et 2,6 ha de terrains sont contaminés, mais le RHONE n'est pas atteint. Les dommages s'élèvent à plus de 70 MF. Une centaine de personnes sont à reloger durant les travaux de dépollution.

N° 4416 - 06/04/1993 BELGIQUE - MACHELEN

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un incendie et des explosions se produisent dans une usine de fabrication de solvants d'une surface de 2 à 3 000 m². Le feu se propage en quelques secondes aux nombreuses cuves de produits chimiques. Des dizaines de maisons sont touchées par les flammes. Des boules de feu de 100 m de diamètre et une colonne de fumée de 100 m de haut se forment. Des fûts de solvants sont projetés à 50 m et des odeurs d'acétone se répandent dans l'air. La circulation ferroviaire, routière et aérienne est perturbée et 60 personnes souffrant de difficultés respiratoires sont évacuées. Une centaine de personnes sont évacuée. Douze ouvriers sont en chômage technique. L'usine automobile proche est arrêtée momentanément. Dégâts de 100 M BEF.

N° 4623 - 12/07/1993 55 - GONDRECOURT-LE-CHATEAU

51.2 - Commerce de gros de produits agricoles bruts

Dans une coopérative, un flexible se rompt à la base

d'une cuve d'engrais azoté à 30 %. 400 m³ de solution se déversent dans une rétention de 2 m de hauteur contenant 9 réservoirs dont l'un flotte et se déplace. L'un des murs de la cuvette se rompt (choc ou pression hydrostatique) et 380 m³ d'engrais se dispersent dans un champ. Les sols, la nappe puis l'ORNAIN, 400 m en contre-bas, sont pollués. Plusieurs communes sont privées d'eau potable durant quelques jours jusqu'à substitution de la ressource en eau. 500 kg de poissons morts sont récupérés, une pisciculture est menacée en aval. Des opérations de dépollution sont mises en place. Les cuves venant d'être remplies étaient reliées entre elles et se sont vidées par siphonnage.

N° 5055 - 22/09/1993 ESPAGNE - MIRANDA

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une chaîne de fabrication de PVC, une surcharge d'initiateur dans un prépolymérisateur de 9 m³ provoque l'emballement d'une réaction chimique, une montée en pression du réacteur et la rupture d'un disque de sécurité. La surpression coude la tuyauterie d'évent en aval du disque. Celle-ci heurte un élément de la charpente et se plie en obstruant le passage du chlorure de vinyle monomère (CVM) gazeux. La pression dans le réacteur s'élève à 30 b, une fuite de CVM liquide se produit au niveau du joint torique d'un trou d'homme et s'enflamme ensuite en présence d'électricité statique.

N° 5074 - 03/03/1994 44 - NANTES

37.1 - Récupération de matières métalliques recyclables

Un incendie se déclare dans une benne de 35 m³ contenant 3 t de copeaux d'aluminium et une proportion imprévue de copeaux de magnésium. Les pompiers choisissent de noyer le feu au moyen de grosses lances. Une explosion souffle les vitres d'une entreprise voisine. Des projections de métal en fusion de plusieurs cm³ qui s'abattent dans un rayon de 70 m, endommagent plusieurs voitures, percent des toitures et donnent naissance à une vingtaine de foyers secondaires. L'un d'eux détruit partiellement la maison du gardien de l'entreprise. Les secours dont les effectifs sont renforcés à 50 hommes, parviennent à contrôler la situation après 4 h d'intervention. A la suite de ce sinistre, 10 personnes dont 7 pompiers sont légèrement blessés.

N° 5073 - 08/03/1994 SUISSE - ZURICH

60.1 - Transports ferroviaires

Après rupture d'un essieu, l'un des 20 wagons d'un train, contenant chacun 75 m³ d'essence, déraile, prend feu et explose dans une gare. L'incendie atteint 4 autres voitures, détruit 3 bâtiments bordant les voies et endommage un 4ème en retrait (flammes de 80 m, 1.000°C). L'essence rejoint les égouts et provoque des explosions (cratère de 10 m de diamètre) ; un

Nombre d'événements répertoriés : 114

collecteur d'eaux pluviales est endommagé (dégâts > 30 MF). Le quartier est évacué une journée (rayon 200 m, 120 personnes) ; 1 blessé grave et 2 légers, dont un secouriste, sont à déplorer (projections de plaques d'égout...). La faune d'une rivière est atteinte. Deux explosions se produiront ultérieurement, dont l'une le lendemain (étincelle tronçonneuse). Les dommages sont évalués à 200 MF.

**N° 5232 - 03/05/1994 31 -
PORTET-SUR-GARONNE**

45.2 - Construction d'ouvrages de bâtiment ou de génie civil

Dans une zone de stockage de matières bitumineuses d'une société de BTP, le ciel gazeux d'un bac non-frangible de 30m³ rempli à 1/2 de cut-back0/1 (60% bitume/40% kérosène, PE<55°C) explose. La liaison robe/fond se rompt, le bac décolle et retombe à 20m. L'explosion détruit les merlons de la cuvette. L'émulsion en feu propage l'incendie. 5 min après, une cuve vide non dégazée de bitume explose (idem rupture robe/fond & projection de la robe). Une cuve d'HCl fond et se déverse. 7 des 17 cuves restantes, la toiture d'un bâtiment et 7 véhicules sont endommagés. L'atmosphère explosible (T>PE), les événements non munis de pare-flammes et des travaux de soudure/ébarbage par 2 employés (tués & projetés à 30m) sur le dôme des bacs sont à l'origine de l'explosion.

N° 5525 - 27/05/1994 ETATS UNIS - BELPRE

24.1 - Industrie chimique de base

Un réacteur de polymérisation explose lors de la fabrication de caoutchouc synthétique type butadiène-styrène. Le bâtiment abritant l'unité et un bâtiment voisin sont détruits. Des débris sont projetés en direction d'un parc de stockage et des réservoirs sont percés. Un incendie se déclare et se propage à des réservoirs de styrène (capacité totale 4.500 m³) et de FOD (1.800 m³). Trois opérateurs sont tués et 1.000 personnes sont évacuées dans un rayon de 1,5 km. L'intervention mobilise 250 pompiers (23 casernes et usines voisines). L'épandage massif de styrène et de dibromure d'éthylène pollue gravement l'OHIO. L'alimentation en eau potable de nombreuses villes est perturbée jusqu'à CINCINNATI. On récupère 1.800 poissons morts.

**N° 6026 - 26/06/1994 VENEZUELA - EL
TABLAZO**

24.1 - Industrie chimique de base

Une fuite d'un hydrocarbure lourd survient sur une conduite de transfert pendant le chargement d'un camion-citerne à partir d'un réservoir. Le produit entre en contact avec un élément chaud d'une station de pompage et s'enflamme. Le feu s'étend alors à 2 réservoirs (propane et propylène) qui explosent. Les réservoirs auraient été en phase de 1ère ré-épreuve

quinquennale, ou en préparation. L'incendie est éteint en 1 heure par le service de sécurité avec l'aide des pompiers de la ville proche d'ALTAGRACIA ; 8 sauveteurs sont légèrement blessés lors de l'explosion.

**N° 9892 - 17/10/1994 CANADA - POWELL
RIVER**

21.1 - Fabrication de pâte à papier, de papier et de carton

Dans une usine de pâte à papier, le tiers supérieur d'une tour de stockage de pâte de 30 m de haut se rompt et endommage les 2 stockages voisins de bioxyde de chlore en solution. La pâte et la solution chlorée se répandent dans la cuvette de rétention. Les canalisations de celle-ci sont détériorées et le flot atteint et endommage le générateur de ClO₂. 123 m³ de mélange pulpe-ClO₂ se répandent dans l'environnement. Ce mélange est abondamment dilué et rejeté en mer (les autres techniques envisagées ne sont pas applicables). Le trafic maritime est restreint. L'usine est évacuée 48 h. La faune est affectée sur 1 000 m².

N° 6223 - 29/10/1994 INDE - NEW DEHLI

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Dans une entreprise produisant du vernis à ongle, un fût de nitrocellulose explose et prend feu lors de son déchargement d'un camion. Le feu s'étend à 2 entreprises voisines. On déplore 10 brûlés graves, dont 5 sont tués sur le coup et 3 meurent peu après leur transfert à l'hôpital. Les 2 blessés encore en vie sont dans un état critique. Les dommages matériels internes et externes liés à l'incendie sont évalués au minimum à un demi-million de dollars.

N° 5993 - 02/11/1994 30 - SALINDRES

24.1 - Industrie chimique de base

Dans une usine conditionnant des produits agropharmaceutiques, un insecticide (LANNATE) tombe d'une trémie sur une ligne d'ensachage alors que des employés changent la vanne de pied de l'appareil. Les poussières toxiques provoquent une évacuation du bâtiment. Une faible explosion se produit peu après (incident électrique --> étincelles). Un feu se déclare et s'étend aux emballages voisins (engrais, etc.) et au bâtiment (2 étages - 1 600 m²) ; 130 pompiers interviennent (3 seront incommodés), 40 employés et des riverains sont évacués. Un site voisin et une crèche se confinent. La commune est isolée. Les eaux d'extinction sont collectées dans un bassin de 8 500 m³. Des difficultés sont rencontrées lors de l'intervention : mise en service récente de l'usine et réseau incendie non opérationnel, bâtiment inaccessible portes coupe feu fermées, aucun cadre connaissant les risques du site, vent faible tourbillonnant, pluie faible et plafond bas, absence de plan et produits mal connus, etc.

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 6268 - 13/12/1994 ETATS UNIS - SERGEANT BLUFF*24.1 - Industrie chimique de base*

Une explosion se produit à 6h10 dans une unité de production de nitrate d'ammonium (119 employés). Un missile éjecté lors de l'explosion perce une brèche de 15 cm dans un stockage d'ammoniac de 3 800 m³, générant une fuite de 30 kg/s de débit. Le plan d'urgence externe est déclenché. Dans un rayon de 30 km autour de l'usine, 2 500 riverains sont évacués jusqu'au soir, après dispersion d'un nuage d'ammoniac dont l'extension signalée atteint 15 km. On déplore 4 morts parmi les employés et 18 blessés dont 2 dans le public. L'explosion endommage des maisons d'habitation et d'autres bâtiments extérieurs à l'établissement. Une ligne à haute tension traversant le Missouri est affectée, interrompant l'alimentation dans l'état voisin.

N° 7040 - 10/04/1995 ETATS UNIS - SAVANNAH*63.1 - Manutention et entreposage*

Dans un entrepôt de produits chimiques, un réservoir de 750 m³ de sulfate de térébenthine explose. Des réservoirs voisins contenant ce même sulfate ou de l'hydrosulfure de sodium sont endommagés. Les réservoirs de sulfate s'enflamment et les fuites des 2 produits conduisent à une émission d'hydrogène sulfuré par réaction chimique lors de leur mélange. Le rejet toxique dure plus de 2 semaines ; 1 600 riverains sont évacués dont 200 durant plus de 3 semaines et 6 personnes sont hospitalisées. Des habitations sont décontaminées. La pollution atmosphérique est contrôlée et modélisée durant cette période. Des poissons et des oiseaux sont tués par les substances toxiques. L'intervention dure 30 jours.

N° 6885 - 27/04/1995 10 - PONT-SUR-SEINE*32.2 - Fabrication d'appareils d'émission et de transmission*

Dans la station de traitement des effluents d'un établissement fabriquant des antennes paraboliques, des bains cyanurés usés sont stockés dans des cuves ouvertes enterrées jouxtant celles des acides. Ces cuves sont séparées par un mur. Le revêtement d'une des cuves est attaqué, provoquant un mélange acide-bains usés et un dégagement de produits cyanurés. Le personnel est évacué mais 6 personnes légèrement intoxiquées sont hospitalisées. Une soixantaine de pompiers et d'importants moyens d'intervention sont mobilisés. Un périmètre de sécurité est mis en place. Le contenu de la cuve contenant des produits cyanurés est neutralisé et les réservoirs sont pompés.

N° 7027 - 20/05/1995 ALLEMAGNE - DILLINGEN*27.5 - Fonderie*

Dans une cokerie, la cuve à eau d'un gazomètre de 50 000 m³ se déchire. L'eau du joint hydraulique s'écoule sur une zone de 100 m en provoquant des dégâts importants aux bâtiments et aux installations. Cinq employés sont blessés dont l'un grièvement. Le gaz s'échappe également du réservoir sans s'enflammer. La vague d'eau initiale endommage les stations aériennes de distribution de gaz naturel et de haut fourneau et une fuite enflammée se produit; 2 heures sont nécessaires pour éteindre l'incendie. Les quantités de gaz et d'huile anticorrosive perdus sont estimées à 17 000 m³ et 17 t. Les pompiers installent des barrages pour limiter l'épandage de 20 000 m³ d'eaux huileuses et faciliter leur récupération. Le sol pollué est décapé puis traité.

N° 7172 - 17/07/1995 31 - TOULOUSE*24.1 - Industrie chimique de base*

Une usine chimique rejette 250 kg de chlore et 85 m³ de soude à 20 % dans la GARONNE. Une carte d'automate défaillante met en sécurité l'unité de fabrication d'acide trichloroisocyanurique par arrêt de la chloration, vidange de 2 chloreurs dans une fosse de faible volume et dont la pompe de reprise commandée via l'automate n'est pas démarrable et confinement du dépotage des wagons de chlore. Les wagons sont isolés, des colonnes d'abattage Cl2 démarrent. Le trop plein des colonnes se déverse dans un bac sans rétention qui déborde à l'insu des opérateurs, 3 consoles de contrôle commande s'étant figées (concentrateur surchargé). Les gestionnaires du réseau des eaux usées et d'une station d'épuration sont alertés. L'impact sur l'environnement est faible.

N° 7635 - 16/10/1995 ETATS UNIS - ROUSEVILLE*23.2 - Raffinage de pétrole*

Au cours du soudage près d'un événement d'une rampe d'escalier d'accès aux toits de 2 réservoirs cylindriques de 9 m de diamètre et de 11 m de haut utilisés pour décanter des eaux huileuses, une explosion se produit. Les fixations de la robe au sol affaiblies par la corrosion cèdent. Les réservoirs sont projetés à 6 et 22 m. Une grande quantité de liquide inflammable se répand en larges vagues. 3 ouvriers sont tués et 3 autres sont blessés. 15 min plus tôt, 50 ouvriers faisaient une pause à proximité de ces réservoirs. L'alimentation en eau pour l'incendie venait juste d'être achevée et le feu a été éteint en 2 h. Plus de 12 réservoirs, 4 remorques, des canalisations et l'instrumentation ont été endommagés.

N° 8183 - 24/10/1995 INDONESIE - CILACAP*23.2 - Raffinage de pétrole*

La foudre frappe le dispositif de jaugeage automatique d'un réservoir à toit fixe de 38800 m³ en cours de remplissage par du kérosène à 43,5°C (température supérieure au point éclair). La mauvaise

Nombre d'événements répertoriés : 114

équipotentialité des diverses parties du dispositif est à l'origine d'étincelles qui initient un incendie. Le ciel gazeux du réservoir explose et le toit est détruit. Le liquide enflammé transmet le sinistre aux 6 autres réservoirs présents dans la cuvette. Les habitants du voisinage et les employés sont évacués. Aucune victime n'est signalée. Près de 600 habitations sont endommagées et des centaines de points d'eau sont pollués. Les navires desservant la raffinerie sont retardés. L'incendie est éteint après 3 jours. Les dommages sont estimés à 560 MF.

N° 7916 - 17/12/1995 CHILI - LO ESPEJO

25.2 - Transformation des matières plastiques

Une explosion suivie par d'autres et par un gigantesque incendie de 160 m³ de matières plastiques survient dans une usine de transformation des plastiques. Un nuage de 200 m de haut recouvre Santiago. 1 500 pompiers et des hélicoptères sont mobilisés. 1 500 personnes, des enfants pour la plupart, souffrent de troubles respiratoires. 25 sauveteurs sont blessés par des projections d'huile et des éclats de récipients qui explosent. Un cylindre d'acier est projeté à plus de 300 m et tue une femme. Le manque d'eau contrarie l'extinction. La population est évacuée dans un rayon de 600 m. Les autorités sanitaires craignent une pollution de la nappe.

N° 7941 - 27/12/1995 24 - SAINT-ANTOINE-DE-BREUILH

60.2 - Transports urbains et routiers

Vers 13 h, un poids lourd transportant 32 000 l de carburant quitte la D 936 et s'enflamme. Le véhicule percute le dépôt d'un négociant de GPL, plusieurs bouteilles de gaz explosent. Le conducteur est légèrement blessé. D'importants moyens de secours interviennent pour maîtriser le sinistre et retenir les hydrocarbures déversés. Un périmètre de sécurité est mis en place et les habitations voisines sont évacuées. Le sinistre n'est maîtrisé qu'en fin d'après midi. Le site sera décontaminé.

N° 8020 - 01/02/1996 11 - PORT-LA-NOUVELLE

24.2 - Fabrication de produits agrochimiques

Dans un atelier de formulation et de conditionnement d'un produit agropharmaceutique (mélange soufre/méthyl parathion), un feu se déclare à 8h30 sur un stock de palettes associé à l'unité d'ensachage. Les pompiers éteignent l'incendie et immédiatement après un flash se produit sur un fût de 200 l de méthylparathion dont le contenu se disperse dans l'atelier. Le fût préchauffé dans un bain marie était resté ouvert dans l'atelier en attente de vidange dans un mélangeur. Deux pompiers sont légèrement brûlés. L'atelier, dont le toit a été soufflé, est détruit. Les personnes présentes lors de l'accident font l'objet d'un examen médical. L'activité est suspendue et une enquête judiciaire est effectuée.

N° 9537 - 02/06/1996 ESPAGNE - SANT CELONI

24.4 - Industrie pharmaceutique

La chute d'un réservoir de 7 000 l de javel dans une industrie chimique fabriquant des produits de base pour industrie pharmaceutique, rompt une canalisation transportant de l'acide chlorhydrique. Un nuage toxique de chlore, formé par le mélange de javel et d'acide chlorhydrique, atteint le village de Sant Celoni. Intoxiquant, une partie de la population (70 personnes), qui dormait fenêtres ouvertes. Une femme âgée décède. La police avertie par les habitants intervient dès 1 h du matin, en demandant par mégaphone à la population de fermer portes et fenêtres. Les autorités effectuent une enquête pour éclaircir les raisons de l'accident. L'entreprise investit 10 millions de pesetas pour la sécurité.

N° 9886 - 19/07/1996 68 - LIEPVRE

20.5 - Fabrication d'objets divers en bois, liège ou vannerie

Dans une usine fabriquant des piquets de bois, un incendie prend naissance sur un chariot élévateur, embrase l'atelier de fabrication / traitement puis le bâtiment administratif. Le feu est maîtrisé après 4h30 d'intervention. Malgré leurs ARI, 10 des 74 pompiers engagés sont intoxiqués, 1 250 m² de locaux sont détruits et 20 m³ d'eaux d'extinction pollués par des produits de traitement du bois (sels de Cr, Cu et B contenus dans 4 conteneurs PVC de 1 400 l qui ont fondu) ont rejoint la LIEPVRETTE, le GIESSEN et l'ILL. Sur 17 km, 2 t de poissons morts sont récupérées. Alimentée par le GIESSEN, la nappe phréatique est également menacée. Des associations de pêche et un Comité de Bassin portent plainte. Des procès-verbaux sont dressés.

N° 9598 - 24/07/1996 RUSSIE - VOLGOGRAD

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, un feu se déclare sur un stockage de résidus pétroliers (étang de décantation) inutilisé depuis 2 ans. L'incendie se propage à toute la zone jusqu'à atteindre une taille gigantesque (840 000 m²). Une pollution atmosphérique (fumées) très importante est générée. De nombreux pompiers et militaires interviennent, utilisant notamment 17 véhicules de pompiers ainsi que des bulldozers, pelleuses, véhicules amphibies, canons à eau automoteurs, pontons, lance-roquettes et hélicoptères porteurs d'eau. Le feu est éteint au bout de 16 jours. L'inflammation a pour origine un non-respect des règles de sécurité lors de travaux de soudage effectués par des employés d'une société extérieure expérimentant leur procédé de recyclage de déchets.

N° 9599 - 26/07/1996 MEXIQUE - REFORMA

23.2 - Raffinage de pétrole

Nombre d'événements répertoriés : 114

Dans l'unité de traitement cryogénique du plus important complexe pétrochimique d'Amérique latine, une vanne fuit et un nuage de propane se forme puis explose. Des flammes s'élèvent à plusieurs dizaines de m de haut. Deux autres explosions suivent. Des éléments de plusieurs kg sont projetés jusqu'à 300 m. L'incendie détruit totalement l'unité et une unité voisine semblable. Il est éteint 25 h plus tard. Il y a 6 morts et 9 blessés. Les habitants du voisinage s'enfuient. L'approvisionnement du pays en gaz est perturbé, des importations temporaires sont nécessaires. Le remplacement des installations coûtera 200 M\$. La faiblesse des budgets de maintenance est incriminée. La chambre des députés crée une commission d'enquête.

N° 9718 - 08/08/1996 92 - GENNEVILLIERS

63.4 - Organisation du transport de fret

Sur une plate-forme de répartition de denrées alimentaires de 5 000 m² comprenant un entrepôt frigorifique, un feu se déclare à 23h15 sur le groupe froid d'une remorque réfrigérée à quai. Il ne peut être maîtrisé avec des extincteurs à eau pulvérisée et à poudre. Alertés 8 mn plus tard, les pompiers interviennent rapidement (4 mn). Le feu se propage entre 2 remorques, les RIA et des lances sont établis dans le dépôt. A 23h45, une explosion et une inflammation généralisée en partie haute de l'entrepôt se produisent (fumées/gaz ayant pénétré par le plafond des sas ?). Le sinistre est maîtrisé à 2h00 (26 lances dont 17 grosses). Le dépôt, les unités de réfrigération (1,2 t de R22) et 45 camions sont détruits. Les dommages matériels sont évalués à 40 MF et les pertes d'exploitation à 30 MF. Une expertise judiciaire est réalisée.

N° 14223 - 25/09/1996 2A - BONIFACIO

61.1 - Transports maritimes et côtiers

Un cargo transportant 2 650 t de blé s'échoue sur des rochers dans une zone écologiquement très sensible classée en réserve naturelle. Les travaux de nettoyage de la zone (retrait de 46 m³ de gazole, pompage du blé dont une partie s'est déversée en mer, enlèvement de l'épave) durent près de 8 mois. Les dommages immédiats localisés sur une surface de 1 à 2 ha, concerneront 7 ou 8 ha quelques mois plus tard. La fermentation en masse du blé liée à la présence d'une microflore anaérobie sulfato-réductrice, se traduit par la production d'une quantité importante d'hydrogène sulfuré dans l'eau et dans l'air qui a affecté le personnel travaillant sur le chantier d'enlèvement du blé (vomissements, nausées, irritations).

N° 10120 - 12/11/1996 MEXIQUE - SAN JUAN IXHUATEPEC

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

Dans un dépôt d'hydrocarbures, une fuite sur la vanne d'un bac de 16 000 m³, contenant 12 800 m³ d'essence s'enflamme lors de l'intervention d'ouvriers. Le bac explose 1h40 plus tard et le feu s'étend à la cuvette. Un autre bac de 16 000 m³ contenant 4 000 m³ d'hydrocarbures implanté dans la même cuvette explose. Un 3ème bac (800 m³) est menacé. Une colonne de fumée s'élève à 1 200 m. Au moins 16 personnes sont blessées, dont 5 mortellement (brûlures) et 5 gravement. Les habitations proches et les écoles sont évacuées (5 000 personnes). Des centres d'hébergement sont ouverts. Des consignes sont données à la population (se confiner, boire...). La Croix Rouge secourt 950 personnes. Plus de 17 000 m³ d'essence ont brûlé. Le débit d'eau d'extinction atteint 30 m³/s. Le sinistre est éteint 48 h plus tard.

N° 10913 - 07/04/1997 95 - SAINT-OUEN-L'AUMONE

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

La nuit, le camion d'un régénérateur de solvants est chargé en acétone (5 m³). La pompe ne peut être arrêtée. Seul pour suivre une distillation et charger, l'employé va enlever des fusibles et revient. Le camion a débordé. Les vapeurs s'enflamment (explosion). Le feu atteint la rétention déportée de l'aire de chargement où sont stockés fûts vides ou pleins et conteneurs de liquides inflammables. L'acétone et l'isopropanol provenant du camion dont les vannes des compartiments sont endommagées, une cuve en feu et une conduite alimentent l'incendie (3 h). L'employé est brûlé. Le muret de rétention (tenue au feu 4 h !) est détruit en partie. Les 2 vannes de barrage étaient défaillantes, l'OISE est polluée par 15 m³ (sur 300 m³) d'eaux d'extinction.

N° 11147 - 29/04/1997 TURQUIE - KURTKOY

51.1 - Intermédiaires du commerce de gros

Dans une usine de conditionnement de récipients aérosols, une panne d'électricité survient. Au retour de l'énergie, une étincelle se produit et les lots de récipients aérosols explosent successivement. L'encadrement ordonne l'évacuation ; les ouvriers paniquent et personne ne tente d'éteindre le feu. Les pompiers sont alertés. Le feu s'étend à la zone de stockage. Les stocks très importants donnent des flammes s'élevant à 5 m au-dessus du bâtiment. Un réservoir cylindrique de 10 t de butane dépourvu de système de refroidissement explose (BLEVE) 35 mn plus tard, projetant la virole et les fonds à 20, 40 et 80 m. Les vitres sont brisées dans un rayon de 500 m et le flux thermique est ressenti à 250 m. L'incendie détruit deux usines voisines.

N° 11442 - 09/08/1997 13 - BERRE-L'ETANG

51.1 - Intermédiaires du commerce de gros

Sur le parc d'une coopérative agricole, un feu se

Nombre d'événements répertoriés : 114

déclare à 5 h sur un stockage de films plastiques (10 m³), de palettes et d'engrais. Le flux thermique endommage des fûts en plastique contenant 4 m³ d'acide nitrique, 2 m³ d'acide phosphorique, 10 m³ d'engrais liquides (nitrates de magnésium et de calcium...) et 11 m³ de métam sodium (phytosanitaire du type dithiocarbamate). La décomposition des produits et diverses réactions chimiques aggravent le sinistre en générant des gaz irritants ; 20 pompiers sont incommodés. Les fûts sont transvasés et 300 m² de terres appartenant à un riverain, polluées par les eaux d'extinction, sont excavées. Un PV est dressé. Un tiers-expert réalise une étude de risque.

N° 11547 - 19/08/1997 76 - Le HAVRE

63.1 - Manutention et entreposage

Un feu d'origine criminelle se déclare dans un entrepôt de 30 000 m² d'emprise au sol sur 2 niveaux, abritant des archives et un hangar frigorifique vide (1^{er} étage) comprenant une unité de réfrigération à l'arrêt contenant 5 t d'ammoniac. Le front de flamme est évalué à 350 m 15 mn après l'alerte. Un périmètre de sécurité est établi. D'importants moyens et 2 remorqueurs de haute mer sont mobilisés. Des évapo-condenseurs explosent dans l'incendie, libérant 2 t d'NH₃ gazeux à l'atmosphère. Une CMIC effectuée des prélèvements (4 ppm d'NH₃ dans les fumées sur site, négatif à 300 et 1 200 m). Aucune victime n'est à déplorer. Les dommages matériels sont considérables. L'unité de réfrigération est vidangée les jours suivants, l'NH₃ est stocké en conteneurs. Les dommages matériels sont évalués à 115 MF.

N° 11649 - 14/09/1997 INDE - WISHAKHAPATNAM

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans la zone de stockage d'une raffinerie, l'explosion d'un nuage de gaz provenant d'une canalisation de GPL et suivie d'un incendie affectant 11 réservoirs tue 22 personnes et nécessite l'évacuation de plus de 70 000 riverains. Plusieurs dizaines de personnes (15 selon une source, 31 employés selon une autre) sont blessées. L'incendie ravage des installations portuaires et d'autres unités pétrolières. Une douzaine d'entreprises est fermée lorsque la chaleur fait exploser des réservoirs.

N° 12325 - 26/12/1997 MALAISIE - KIDURONG

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une usine de synthèse d'hydrocarbures à partir de gaz naturel, construite depuis moins de 5 ans, 2 réservoirs contenant l'un du naphta, l'autre du kérosène explosent et s'enflamment suite à l'explosion de l'unité de séparation de l'oxygène de l'air. L'explosion est entendue à 20 km de distance. Des pièces métalliques provenant des installations sinistrées sont retrouvées dans le voisinage. Douze personnes dont 5 soldats et 2 employés d'une

entreprise voisine sont blessées. Environ 220 pompiers interviennent pour refroidir les 10 réservoirs voisins. Le feu est éteint 18 h plus tard. Les 336 employés de l'établissement sont en chômage technique pour une durée indéterminée. Une enquête est en cours pour déterminer les causes de ce sinistre.

N° 12737 - 11/03/1998 28 - DREUX

34.3 - Fabrication d'équipements automobiles

Dans une usine produisant des segments en fonte/acier pour moteurs, un agent détecte des vapeurs suffocantes dans la station de détoxification des eaux usées, note une fuite d'acide chlorhydrique sur le joint d'une pompe et ferme une vanne en amont ; 300 l d'HCl se sont déversés dans un bac de récupération des égouttures puis dans une citerne en sous-sol utilisée comme cuvette de rétention déportée. Les pompiers neutralisent l'HCl avec de la soude située dans une cuve voisine. La conduite se rompt en pied du bac, 1 000 l de soude s'écoule avant colmatage de la brèche. Une réaction exothermique endommage le bac de rétention, de nouveaux écoulements ont lieu. Un bouchon s'était formé en aval de la pompe. La pollution atmosphérique est restée limitée (80 m).

N° 13051 - 08/04/1998 ETATS UNIS - ALBERT CITY

01.2 - Elevage

Une canalisation de gaz naturel est endommagée à la suite d'un accident de véhicule, à proximité d'un poulailler industriel. Un réservoir de 68 m³ de propane prend feu puis explose (BLEVE) lorsque les pompiers interviennent. Deux pompiers sont tués, 6 autres et un policier sont brûlés. Une enquête est en cours.

N° 13054 - 22/04/1998 ETATS UNIS - SANTA CRUZ

40.2 - Production et distribution de combustibles gazeux

Une canalisation de gaz naturel (diamètre : 25 cm) se rompt, à la suite de l'effondrement d'une digue de retenue d'eau. La conduite de gaz est déviée pour permettre le colmatage de la fuite. Plus de 600 membres du personnel des sociétés de distribution de gaz font du porte à porte pour remettre en marche les veilleuses de gaz dans les habitations.

N° 13838 - 08/07/1998 59 - BOUSBECQUE

21.2 - Fabrication d'articles en papier ou en carton

Un feu se déclare dans un stock temporaire de carton et paille jouxtant un bâtiment industriel. Des flammèches poussées par le vent initient un 2^e incendie 50 m plus loin dans le stock de matières premières d'une papeterie recyclant des vieux

Nombre d'événements répertoriés : 114

papiers. Le service de sécurité interne puis les pompiers limitent les dommages en isolant rapidement le stock enflammé. La propagation rapide du feu est liée à la nature des stocks constitués de balles de papiers compactées pouvant facilement libérer des parties de leur matière (paille), tout en étant insuffisamment compactées pour ne pas contenir de l'air. Trente pompiers interviennent durant 20 h. Un quart du stock est détruit (1 200 t de papier / 500 KF). Les eaux d'extinction sont traitées en interne.

N° 13374 - 12/08/1998 24 - MILHAC-DE-NONTRON

20.1 - Sciage, rabotage, imprégnation du bois

Dans une scierie fermée pour congés annuels, un feu se déclare à proximité d'un l'incinérateur de déchets (débris de palettes et sciures). L'incendie détruit 3 000 m³ de bois et endommage un bâtiment de 1 500 m² (bardage et toiture). Une ligne haute tension de 63 KV surplombant le site s'effondre et sectionne dans sa chute une ligne de 20 KV. L'électricité est coupée durant 2 h. Les secours interviendront durant 18 h avant de circonscrire l'incendie.

N° 13396 - 18/08/1998 42 - SAINT-ETIENNE

28.5 - Traitement des métaux ; mécanique générale

Dans une usine de traitement de surface effectuant notamment des dépôts métalliques par torche à plasma, des flexibles s'enflamment dans un local de 40 m² abritant 560 Nm³ d'acétylène dissout (10 cadres de 8 bouteilles) à la suite d'une fuite probable sur le robinet d'une bouteille. Changeant un rack et brûlé au 2e degré par les flexibles battant l'air, un opérateur s'enfuit. Une bouteille explose, un incendie et d'autres explosions se produisent, le feu gagne une benne à déchets située à 15 m. Les pompiers interviennent 10 mn plus tard. La population est évacuée dans un rayon de 300 m (2 magasins, une crèche, 80 riverains à reloger, etc.) et 2 accès autoroutiers sont fermés. Le gaz brûle sous contrôle durant 14 h. Les bouteilles refroidies durant 24 h (lances) seront ensuite immergées une par une dans une cuve d'eau. Les dommages matériels sont limités. Le local est sprinklé, la centrale de détente mise à l'extérieur et un stockage modulaire mobile avec refroidissement autonome est envisagé.

N° 13452 - 27/08/1998 30 - VERGEZE

15.9 - Industrie des boissons

A 13 h 45 dans une usine d'embouteillage d'eau minérale, un feu d'origine inconnue embrase un stock extérieur de 1 800 t de palettes bois et s'étend à 2 autres zones où sont stockées 450 000 caisses en polyéthylène haute densité (0,2 x 0,4 x 0,6 m / 970 t) et 1 020 bales de carton (230 t). Le secteur (1 000 m²) est isolé et il n'y a pas d'activité humaine, l'alerte n'est donnée qu'à 14 h. Le POI est déclenché. Les moyens d'intervention internes sont insuffisants.

D'importants moyens externes sont mobilisés durant 4 h : 70 pompiers, 21 véhicules, avion larguant plusieurs fois un produit retardateur, etc.. Le rayonnement thermique a endommagé le bardage et les ouvertures d'un bâtiment. Les stocks seront réaménagés (taille, distances, etc.).

N° 13581 - 10/09/1998 34 - MAUGUIO

52.4 - Autres commerces de détail en magasin spécialisé

Un incendie d'origine indéterminée se déclare dans un local d'un magasin de bricolage impliquant notamment des bidons de pétrole lampant. Le liquide enflammé s'écoule en direction de la station-service voisine. Sous l'effet de la chaleur, 5 bouteilles de gaz de 13 kg explosent. Des éclats sont projetés à plusieurs dizaines de m ; un morceau de casier de stockage des bouteilles s'encastre dans le bardage d'un bâtiment distant de 200 m environ.

N° 13689 - 16/09/1998 76 - PETIT-COURONNE

23.2 - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, une manœuvre sur un tableau électrique engendre une microcoupure électrique d'un disjoncteur sur l'ensemble batterie/onduleur de secours étant resté ouvert. L'activation des sécurités de détection de flamme provoque à son tour l'arrêt des chaudières conduisant à un défaut de vapeur sur l'ensemble de la raffinerie à l'origine de l'émission d'une centaine de litres d'H₂S au niveau du stripeur et du sécheur de l'hydrodésulfuration. Les bâtiments sous le vent sont évacués. Les gaz sont brûlés à la torche. Les teneurs en H₂S émises au niveau de la garde hydraulique du système de vide et mesurées dans l'environnement sont de l'ordre de 1 à 3 ppm. La position du disjoncteur sera vérifiée.

N° 15000 - 01/03/1999 59 - MARDYCK

27.1 - Sidérurgie (CECA)

Un incendie se propage du rez-de-chaussée au sommet du bâtiment d'une usine sidérurgique de 22 m de haut et de 1 100 m² de surface. Le feu se déclare, par vent fort et à la remise en service des installations après un arrêt, dans un laveur situé hors du bâtiment et traitant les buées aspirées au-dessus des cuves d'une chaîne d'électrozingage. L'incendie qui a pour origine la défaillance de la résistance électrique de mise hors gel de la cuve de pied du laveur, se propage dans le bâtiment par la canalisation d'aspiration des buées et brûle les parties combustibles à base de matières plastiques constituant le capotage et la protection intérieures des cuves qui sont alors vides. La moitié de la toiture s'effondre sur les installations et détruit une ligne d'électrozingage. Le sinistre est maîtrisé après 4 h d'intervention. Les dommages matériels sont évalués entre 120 et 150 MF et les pertes d'exploitation à 60 MF.

Nombre d'événements répertoriés : 114

N° 15518 - 22/03/1999 TURQUIE - DORTYOL

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

A la suite d'une avarie sur une pompe hydraulique utilisée pour éprouver des réservoirs de 115 m³, un sous-traitant termine son opération en utilisant une bouteille d'oxygène comprimé. Une vanne cède sous un réservoir en cours d'épreuve et percute une canalisation raccordée à un réservoir voisin. Une fuite de gaz liquéfié s'enflamme et le réservoir explose (BLEVE) 20 min plus tard. Environ 1/3 du contenu est projeté contre le pied d'une sphère sur un terrain voisin, en bousculant les 3ème et 4ème réservoirs. Deux personnes sont tuées, 6 autres sont blessées. Les dommages matériels sont limités au site.

N° 15598 - 23/03/1999 42 - ROANNE

51.5 - Commerce de gros de produits intermédiaires non agricoles

L'exploitant d'un dépôt de produits chimiques commet une confusion et un chauffeur dépose 3 m³ de chlorite de sodium dans un bac de 30 m³ de chlorure ferrique. Des fumées blanches s'échappent et le bac explose. Des éclats atteignent 6 des 12 réservoirs voisins. Les produits chimiques (acides chlorhydrique et sulfurique, ammoniacal, eau oxygénée, etc.) se déversent dans les cuvettes de rétention. Un nuage toxique dérive vers une nationale près du dépôt. Basés à proximité, les pompiers mettent rapidement en place un périmètre de sécurité, suspendent la circulation routière (2h30), neutralisent le FeCl₃ répandu avec du carbonate de soude et les produits contenus dans les cuvettes avec de la lessive de soude. Les émissions gazeuses sont réduites à l'aide de mousse. Deux blessés légers et un pompier intoxiqué en changeant son ARI sont à déplorer. Le milieu naturel est légèrement pollué (obturateur du réseau des pluvielles actionné avec retard). Un arrêté d'urgence est pris pour la mise en sécurité du site.

N° 15725 - 23/04/1999 76 - ROUEN

24.1 - Industrie chimique de base

Un ancien bac en acier revêtu de plomb (diam. 8 m, haut. 9 m, ép. fond 8 mm et virole 5 à 7 mm) de 450 m³ d'acide phosphorique se rompt sur un site chimique. La vague d'acide détruit la cuvette de rétention en béton armé (galette et murets de 10 à 15 cm). L'inspection interne avait diagnostiqué une importante corrosion sur une génératrice et demandé un contrôle d'épaisseur. Le service d'entretien avait renforcé localement le bac (polyester de 6 mm, etc.) sans réaliser le contrôle demandé. La procédure n'a pas été respectée dans l'enchaînement des travaux et dans le contexte d'un site dont l'arrêt est programmé à court terme. La perte de résistance détectée ultérieurement, liée à une fuite localisée dans le revêtement en plomb, concerne les 4/5ème de la

hauteur du bac. Aucun impact important n'est observé sur l'environnement. Un arrêté de mesure d'urgence est pris. Les procédures en vigueur, suivies des préconisations du service inspection notamment, sont rappelées à l'ensemble du personnel.

N° 15622 - 14/06/1999 27 - SAINT-PIERRE-LA-GARENNE

24.2 - Fabrication de produits agrochimiques

Un feu et 2 explosions ont lieu dans un atelier de soufre mouillable. La matière première soufrée étant stockée dans des fûts en métal, des sulfures de fer polluent les eaux de lavage recyclées de l'unité pour préparer la phase liquide susceptible d'être atomisée. Un temps de séchage particulièrement important et du produit accumulé en bas du cyclone du lit, soumis à une température trop élevée à la suite du colmatage d'une buse d'atomisation et s'enflammant par oxydation exothermique des sulfures, provoquent une explosion de poussières qui détruit les canalisations d'eau d'un laveur en polypropylène. Le feu s'étend au laveur en générant une dense fumée noire. Des éléments métalliques détériorés d'un événement d'explosion qui s'échauffe tombent dans un silo proche, créant un 2ème nuage de poussières qui s'enflamme. Les POI et PPI sont déclenchés. Le personnel est évacué, un périmètre de sécurité est mis en place (500 m), une route est déviée, une ligne SNCF est perturbée. D'importants moyens interviennent durant 2 h.

N° 17560 - 22/03/2000 MAROC - CASABLANCA

60.2 - Transports urbains et routiers

Un camion-citerne (20 t) débute des opérations de ravitaillement en butane dans 2 réservoirs aériens horizontaux implantés sur le site d'une usine de détergents. Alors que le livreur est parti dans le bureau voisin, le chauffeur, resté dans la cabine du camion, constate l'ondulation du flexible. Environ 30 min après le début du dépotage, l'inflammation du nuage de gaz se produit au niveau du camion-citerne et 15 min plus tard, la citerne routière explose (BLEVE?) formant en particulier 3 gros fragments : le fond arrière projeté dans l'axe de la citerne à 100 m, la virole totalement déroulée à quelques dizaines de mètres et le fond avant projeté vers l'avant du camion à 40 m. Une canalisation liquide reliant les 2 réservoirs est arrachée et l'inflammation de la fuite qui suit occasionne un feu sous les réservoirs. Les soupapes s'ouvrent. Les pompiers arrosent les réservoirs. La fuite enflammée s'éteint par épuisement de produit environ 10 h après. Il n'y aurait que des blessés légers.

N° 17730 - 13/05/2000 PAYS BAS - ENSCHEDE

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un samedi en milieu d'après-midi, plusieurs explosions de type feux d'artifice attirent des gens

Nombre d'événements répertoriés : 114

dans la rue. Une déflagration très violente suit accompagnée d'un "champignon de flammes". Un incendie se propage à une brasserie attenante à l'entrepôt et à des maisons proches. Un supermarché est rasé, une zone de 3 à 4 ha évoque un paysage bombardé et l'entrepôt a fait place à un immense cratère. Une colonne de fumée est visible à 40 km, des morceaux de verre ou de béton ont volé à plusieurs km, des vitres et des vitrines sont détruites sur plusieurs centaines de m. On dénombre 20 morts dont 4 pompiers, 946 blessés dont 11 graves. Plus de 2 000 personnes sont évacuées, 380 à 400 maisons sont détruites et 1 000 sont endommagées. Des centaines de sauveteurs dégagent les blessés. Un incendie extérieur d'origine inconnue se serait propagé au dépôt. Une enquête est effectuée. Les divisions de risque des produits stockés étaient vraisemblablement sous-estimées ou les produits mal classés.

N° 17916 - 09/06/2000 69 - VILLEURBANNE

37.2 - Récupération de matières non métalliques recyclables

En présence d'un vent violent, un feu embrase un dépôt de palettes de 200 m² dans une entreprise de recyclage de palettes. Le dépôt et un bâtiment adjacent sont détruits. Un périmètre de sécurité est mis en place. Des câbles électriques et une gaine de gaz cèdent sous la chaleur, une fuite de gaz s'enflamme immédiatement. Les services d'intervention d'urgence d'EDF-GDF coupent l'électricité, privant de courant 4 habitations voisines. Le gaz est coupé peu après et 2 000 logements sont atteints. Le sinistre se propage à un établissement adjacent fabriquant des bâches pour piscines ; 180 m² de locaux administratifs, 2 habitations attenantes et 2 véhicules légers sont détruits. L'un des pompiers est légèrement brûlé au visage et aux mains lors de l'intervention. A la suite du sinistre, 9 des salariés de l'entreprise tiers se retrouvent en chômage technique. Des déchets de bois régulièrement brûlés dans un brasero pourraient être à l'origine du sinistre. Une enquête est effectuée.

N° 18195 - 07/07/2000 75 - PARIS-13E__ARRONDISSEMENT

40.3 - Production et distribution de chaleur

Une canalisation de chauffage haute pression sous un trottoir se perce lors de l'effondrement de la chaussée à la suite de violents orages. Des fuites de vapeurs se produisent et la canalisation explose 1 h plus tard lors d'une intervention des employés de la compagnie de chauffage assistés de pompiers et de policiers. L'explosion creuse un cratère 10 m de long sur 4 m de large. projette plusieurs personnes, brise des vitrines et endommage les véhicules situés à proximité. Deux pompiers sont grièvement atteints, dont l'un décède peu après, et 21 autres personnes sont blessées. D'importants moyens de secours interviennent (150

pompiers de 19 casernes, équipes avec chiens, etc.). Un périmètre de sécurité est mis en place et une crèche proche est évacuée.

N° 18496 - 07/07/2000 84 - SORGUES

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un accident se produit dans une usine chimique : Une colonne en verre de régénération de vieux acides issus de la fabrication de NEH (nitrate d'éthyl-hexyl) éclate et détruit la 2ème colonne voisine destinée au même usage. L'accident n'a pas de conséquence sur le personnel ni sur l'environnement mais contraint la société à arrêter sa production, faute de pouvoir stocker provisoirement ou faire traiter les acides issus de son procédé. Le délai de remise en service de l'unité est de 2 mois. Par arrêté préfectoral, la société est autorisée à titre exceptionnel à redémarrer en régime réduit, sur un seul atelier. Une surveillance stricte des effluents est demandée à l'exploitant jusqu'à la remise en service des installations de traitement des acides.

N° 19165 - 16/07/2000 35 - SERVON-SUR-VILAINE

15.8 - Autres industries alimentaires

Un feu se déclare dans une boulangerie/pâtisserie industrielle. Des agents de maintenance sur site et plusieurs automobilistes circulant sur une nationale toute proche alertent les secours. L'incendie détruit un entrepôt frigorifique abritant 1 200 palettes de viennoiseries et 0,5 à 2 t d'ammoniac s'échappent à la suite de la destruction d'un évaporateur associé aux installations de réfrigération. Si les locaux voisins de la chambre froide et notamment la salle des machines de l'installation de réfrigération ne sont pas atteints, 3 canalisations de transport d'NH₃ implantées sur le toit de cette salle ont plus ou moins souffert des flammes (manchons calorifugés calcinés). Les eaux d'extinction se sont déversées dans les bassins d'orage et de décantation de l'établissement. Aucune victime n'est à déplorer. Selon les pompiers et la gendarmerie, le sinistre aurait pour origine un incident électrique sur une enseigne lumineuse implantée sur l'une des parois de l'entrepôt.

N° 18298 - 20/07/2000 76 - ROGERVILLE

37.1 - Récupération de matières métalliques recyclables

Lors d'une manutention dans une usine retraitant des piles usagées, des explosions et un feu ont lieu dans 2 conteneurs de piles de lithium. Les pompiers et 3 CMIC interviennent. L'abondante fumée émise conduit à mettre en place un périmètre de sécurité. Des rideaux d'eau évitent une propagation de l'incendie aux autres conteneurs. Un nuage odorant dérive au-dessus d'HONFLEUR. Les mesures effectuées ne révèlent aucune concentration toxique alarmante, mais quelques habitants se plaindront de picotements.

Nombre d'événements répertoriés : 114

Un employé est brûlé aux mains et au visage, un pompier est atteint aux yeux. Les conteneurs étaient ouverts pour ventilation. Des piles tombées au sol lors de leur manutention, endommagées par les fourches du chariot élévateur, avaient été déposées dans un cubitainer à proximité des conteneurs. Les opérateurs notent une fumée blanche sortant de ce dernier et une pile qui fuyait. Peu après une pile éclate (piles en court-circuit, H₂ formé par réaction entre Li et humidité de l'air, échauffement piles), puis d'autres, le feu se propage ensuite aux conteneurs. La cinétique de l'événement a été rapide et l'information tardive, l'intervention s'est avérée longue et difficile. Les autorités locales mettent en place un protocole interdépartemental d'échanges d'informations et d'aide mutuelle pour faire face à tout futur événement accidentel qui pourrait survenir dans l'un des 3 départements concernés avec conséquences dans l'un des 2 autres.

N° 18379 - 01/08/2000 95 - MARLY-LA-VILLE

63.1 - Manutention et entreposage

Dans un bâtiment (entrepôt) dont une partie sert d'atelier de fabrication de papiers à usage sanitaire, de nappes et de serviettes, un incendie se déclare dans des balles d'ouate de cellulose stockées dans l'une des 8 cellules lors de travaux effectués au chalumeau sur le toit du bâtiment endommagé par la tempête de l'hiver. Des employés interviennent avec des RIA. Le feu se propage en 20 min aux 3 cellules de l'exploitant par la toiture et par les ouvertures existantes dans les murs. L'effondrement partiel d'un mur de séparation propage le feu à des produits agropharmaceutiques et des aliments pour animaux stockés par une société de logistique mitoyenne. Les fumées incommodent 37 pompiers (7 hospitalisés en observation). Les eaux d'extinction (1 500 m³) chargées en produits phytosanitaires, détergents, savons, recueillies dans un bassin d'orage non étanche, menacent de polluer des captages d'eau potable. Des mesures de réquisition sont prises pour assurer rapidement leur pompage et leur stockage avant traitement.

N° 18683 - 19/08/2000 ETATS UNIS - TEXARKANA

24.6 - Fabrication d'autres produits chimiques

Un incendie se déclare dans une installation pyrotechnique détruisant ou endommageant sérieusement 35 des 47 bâtiments existants. Les employés sont évacués pendant plusieurs jours. Les autorités militaires prévoient de déplacer les activités de l'implantation vers une autre entité. Les explosifs se sont en effet trouvés dans les zones en feu et ont donc explosé. Toutefois, selon les autorités, il n'y avait pas de risque d'accident majeur.

N° 19380 - 06/12/2000 ETATS UNIS - JAL

60.3 - Transports par conduites

Une canalisation de 40 cm de diamètre, enterrée sous 90 cm de terre et transportant du gaz naturel expose dans une usine de conditionnement de gaz ; 2 réservoirs situés au-dessus de la canalisation, l'un contenant du méthanol et l'autre du glycol, s'enflamment à leur tour. Les raisons de l'explosion ne sont pas connues. Le cratère creusé par l'explosion s'étend sur plus de 7 m de long, 6 m de large et 3 m de profondeur. Le feu, dont l'étendue est limitée à la fosse creusée, est étouffé par couverture avec de la terre. L'incendie est complètement maîtrisé en 2 h. Le tronçon de canalisation est isolé en amont et en aval. L'usine qui n'est plus alimentée, doit s'arrêter momentanément. Une réparation du tronçon accidenté ainsi que l'inspection des tronçons qui ont pu être affectés par l'accident sont effectuées. Un organisme spécialisé est appelé pour enquêter sur ce sinistre qui n'a pas fait de blessé.

N° 16210 - 02/04/2001 59 - GONDECOURT

24.3 - Fabrication de peintures et vernis

Un incendie se déclare dans une usine de fabrication de peintures et de solvants. Le feu démarre sur une piste de manutention de produits inflammables alimentant l'atelier de vernis cellulosique et se propage aux 3 bâtiments voisins : le petit bâtiment de stockage, l'atelier de vernis cellulosique et l'atelier de broyage où sont entreposés les pigments (mélanges de sulfochromate de plomb et chromo-molybdate de plomb). Les pompiers protègent les autres bâtiments et les dépôts de solvants et mettront plus de 2h à circonscrire l'incendie, les ressources en eau étant insuffisantes. Le feu aurait pris à l'arrière d'un chariot pendant la manutention d'un conteneur. L'agent, constatant la présence de flammes, dépose rapidement le conteneur sur la piste et se gare entre l'atelier de fabrication de vernis et l'atelier de broyage. Le conteneur prend feu et l'incendie se propage à l'ensemble du stockage de la piste. Le chariot prend feu lui aussi et entraîne l'incendie des 2 bâtiments, l'atelier de broyage étant touché par le rayonnement thermique. Les eaux d'extinction chargées en pigments et non confinées, rejoignent le canal de la DEULE. 2 obturateurs seront placés tardivement sur les canalisations de rejet des eaux pluviales. L'exploitant fait appel à une société extérieure pour nettoyer le site. Une CMIC analyse les fumées qui ne révèlent pas de pollution significative. Le redémarrage des parties détruites ou endommagées n'aura lieu que sous conditions.

N° 20832 - 01/07/2001 42 - SAINT-ALBAN-LES-EAUX

15.9 - Industrie des boissons

De nuit dans un établissement de production d'eaux minérales, un violent feu de palettes embrase un stock de 500 m². L'incendie qui se propage sur le site, atteint une cuve de butane. La soupape de sécurité du

Nombre d'événements répertoriés : 114

réservoir s'ouvre et le gaz émis à l'atmosphère s'enflamme. Un périmètre de sécurité est mis en place et 20 personnes sont évacuées durant l'intervention des pompiers.

N° 21011 - 12/08/2001 2B - BASTIA

15.9 - Industrie des boissons

Un incendie embrase le dimanche un établissement industriel produisant des apéritifs. Les bâtiments sont détruits, mais les stocks (50 000 l d'alcool pur et 250 000 l de vin) seront sauvés. Le feu s'est initié dans un bosquet de pins proche de l'usine, un arbre en feu est tombé sur des palettes et le sinistre s'est ensuite propagé à un hangar attenant au bâtiment. La gendarmerie effectue une enquête.

Annexe 2 :

Exemple de fiche de renseignements sur les équipements : Équipement sous pression

EQUIPEMENT DE STOCKAGE SOUS PRESSION		
Code d'identification (plan) Nombre total de réservoirs identiques à celui décrit dans cette fiche d'équipement appartenant à la zone d'équipements	..... .....
Caractérisation de la substance Nature Volume maximum stocké ou masse maximale stockée Température Pression	..... .....(m ³) .....(kg) .....(°C) .....(bar)	
Caractérisation de l'équipement Type ¹ Géométrie: Volume Diamètre Hauteur Taux de remplissage maximum autorisé Inertage Pression d'inerte Pression de rupture Nature du sol	<input type="radio"/> Sphère <input type="radio"/> Cylindre horizontal <input type="radio"/> Cylindre vertical (m ³) .....(m) .....(m)(%) <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non .....(bar) .....(bar)	
Caractérisation du plus gros piquage Alimentation Diamètre Débit Localisation ³ Soutirage Diamètre Localisation ³ Clapet limiteur de débit	<i>en phase liquide</i>	<i>en phase gazeuse</i>
	.....(mm) .....(m ³ /h) .....(m)	.....(mm) .....(m ³ /h) .....(m)
	.....(mm) .....(m) ..... .....	.....(mm) .....(m)
Systèmes de protection Bassin de rétention ¹ Dimensions Hauteur des murs Soupape de sûreté ¹ Débit de tarage Pression de tarage Surface Réservoir sous talus ¹ Autres	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non ..... .....(m) <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non .....(m ³ /h) .....(bar) .....(cm ²) <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	

¹ Cocher la case adéquate.³ Préciser la hauteur de la tuyauterie par rapport au fond du réservoir.