



**Analyse des dommages observés à
Billy Berclau (62) après le sinistre du
27 mars 2003 survenu sur le site de
la société NITROCHIMIE**

Rapport Annexe 3

Rapport final

MEDD/DPPR

N. DECHY - E. LEPRETTE

Direction des Risques Accidentels

Août 2003

Analyse des dommages observés à Billy Berclau (62) après le sinistre du 27 mars 2003 survenu sur le site de la société NITROCHIMIE

Rapport Annexe 3

Rapport final

MEDD/DPPR

Personnes ayant participé à l'étude
E. LEPRETTE, N DECHY, C. PROUST, C. MALVAUX, Y. MOUILLEAU, R. BRANKA

Ce document comporte 63 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	E. LEPRETTE N. DECHY	D. GASTON	J.-F. RAFFOUX
Qualité	Ingénieurs à la Direction des Risques Accidentels (DRA)	Directeur Adjoint de la Direction des Risques Accidentels	Directeur Scientifique (DSE)
Visa	Signé	Signé	Signé

TABLE DES MATIERES

<u>1. INTRODUCTION.....</u>	<u>4</u>
1.1 OBJET, CONTEXTE ET LIMITE DE L'ÉTUDE.....	4
1.2 CONTENU DE L'ÉTUDE	4
1.3 CHRONOLOGIE ET ÉLÉMENTS CONTRACTUELS	5
<u>2. RELEVÉ DES DOMMAGES</u>	<u>6</u>
2.1 GÉNÉRALITÉS	6
2.2 DONNÉES RECUEILLIES ET PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS.....	11
2.2.1 TABLEAUX SYNTHÉTIQUES DU RELEVÉ DES DÉGÂTS CONSTATÉS SUR NITROCHIMIE À BILLY BERCLAU (62).....	11
2.2.2 COMMENTAIRES SUR LES DÉGÂTS OBSERVÉS SUR LE SITE NITROCHIMIE.....	17
2.2.3 RELEVÉ DES DÉGÂTS CONSTATÉS DANS L'ENVIRONNEMENT À BILLY BERCLAU (62)	19
2.2.4 COMMENTAIRES SUR LES DÉGÂTS « OBSERVÉS » À BILLY BERCLAU	20
2.2.5 EXEMPLES DE DÉGÂTS OBSERVÉS ET PHOTOS ILLUSTRATIVES	20
2.3 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ESTIMATIONS DE SURPRESSIONS AÉRIENNES.....	25
<u>3. ANALYSE ET ESTIMATION DE L'EQUIVALENT TNT</u>	<u>27</u>
3.1 ANALYSE À PARTIR DES ESTIMATIONS FAITES SUR LE CHAMP DES SURPRESSIONS AÉRIENNES.....	27
3.1.1 RÉSULTATS DES ESTIMATIONS SUR L'ENSEMBLE DES POINTS DÉGÂTS DU SITE NITROCHIMIE 27	27
3.1.2 COMMENTAIRES SUR LES RÉSULTATS OBTENUS PAR CETTE APPROCHE.....	29
3.1.3 RÉSULTATS DES ESTIMATIONS SUR LES POINTS DÉGÂTS DE LA DYNAMITERIE DU SITE NITROCHIMIE (CHAMP PROCHE).....	30
3.1.4 RÉSULTATS DES ESTIMATIONS SUR LES POINTS DÉGÂTS DU SITE NITROCHIMIE HORS DYNAMITERIE (CHAMP LOINTAIN).....	30
3.1.5 CONCLUSIONS PROVISOIRES À CE STADE DE L'ANALYSE.....	31
3.2 ANALYSE À PARTIR DES OBSERVATIONS FAITES SUR LES CRATÈRES	32
3.2.1 MÉTHODE UTILISÉE	32
3.2.2 APPLICATION AUX CRATÈRES FORMÉS DANS L'ATELIER 50.....	33
<u>4. CORRESPONDANCE ENTRE L'EQUIVALENCE TNT ET LA MASSE DE PRODUIT MISE EN JEU.....</u>	<u>35</u>
<u>5. RAPPELS SUR LA RÉGLEMENTATION DE LA SÉCURITÉ PYROTECHNIQUE</u>	<u>37</u>
5.1 CLASSIFICATION DES MATIÈRES ET OBJETS EXPLOSIFS.....	37
5.2 CLASSIFICATION DES ZONES DE DANGER.....	37
5.3 DISTANCES D'AMORÇAGE PAR SYMPATHIE ET PAR PROJECTION	38
5.4 CONDITIONS SUSCEPTIBLES DE MODIFIER LES ZONES DE DANGER.....	39

<u>6. COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS AVEC LES EFFETS DEDUITS DE L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE</u>	<u>41</u>
6.1 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS A CEUX PRÉVUS PAR L'ETUDE DE SECURITÉ	41
6.1.1 EFFETS PRÉVUS PAR L'ÉTUDE DE SÉCURITÉ PYROTECHNIQUE DE L'ATELIER 50	41
6.1.2 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS ET DE CEUX PRÉVUS PAR L'ETUDE DE SECURITÉ....	42
6.2 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS AUX EFFETS CALCULÉS PAR L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE A LA CHARGE REELLEMENT PRESENTE DANS L'ATELIER 50	44
6.2.1 ESTIMATION DE LA CHARGE PRÉSENTE DANS L'ATELIER 50 AU MOMENT DE L'EXPLOSION	44
6.2.2 CALCUL DES EFFETS DE LA DÉTONATION DE CETTE CHARGE PAR APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION PYROTECHNIQUE.....	45
6.2.3 COMPARAISONS DES EFFETS CALCULÉS AUX EFFETS RÉELLEMENT OBSERVÉS	46
6.3 CONCLUSION.....	49
<u>7. EFFETS SUR LES PERSONNES</u>	<u>50</u>
7.1 DESCRIPTION DES DÉCLARATIONS D'ACCIDENT	50
7.2 LES EFFETS TYPIQUES SUR L'HOMME DES SURPRESSIONS	53
7.3 RAPPEL DES SEUILS D'EFFETS RETENUS DANS LA RÉGLEMENTATION PYROTECHNIQUE ..	54
7.4 CARACTÉRISATION DE CERTAINS EFFETS OBSERVÉS SUR LES VICTIMES.....	55
7.5 RAPPEL DES EFFETS ATTENDUS SUR L'HOMME PRÉVUS DANS L'ÉTUDE DE SÉCURITÉ DANS LES DIFFÉRENTS ATELIERS OÙ DES VICTIMES ÉTAIENT PRÉSENTES	56
7.6 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS SUR LES VICTIMES AUX EFFETS ATTENDUS DANS L'ÉTUDE DE SÉCURITÉ.....	57
7.7 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS SUR LES VICTIMES AUX EFFETS CALCULÉS PAR APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION PYROTECHNIQUE À LA CHARGE RÉELLEMENT PRÉSENTE	58
7.8 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVÉS AUX SEUILS DE LA RÉGLEMENTATION ICPE	58
<u>8. CONCLUSIONS.....</u>	<u>59</u>
<u>9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u>	<u>61</u>
<u>10. LISTE DES ANNEXES.....</u>	<u>63</u>

1. INTRODUCTION

1.1 OBJET, CONTEXTE ET LIMITE DE L'ETUDE

La Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) a sollicité l'INERIS pour lui apporter son soutien en matière d'expertise technique au cours de l'enquête administrative consécutive à l'explosion survenue le 27 mars 2003 sur le site de la Société Nitrochimie à Billy Berclau (62) qui a occasionné le décès de quatre employés.

Dans ce cadre, l'INERIS a notamment procédé au relevé des dommages observés sur le site, siège de l'explosion, ainsi que dans l'environnement proche et ce, jusqu'à 1 km environ de l'épicentre de l'explosion. Ce relevé a été effectué le 9 avril 2003.

Ce relevé, principal objet du présent rapport (qui constitue l'annexe 3 du rapport d'intervention de l'INERIS), permet de disposer d'une image synthétique tout en restant relativement complète des dommages observés. Il permet en outre de remonter à la quantité d'explosif solide tel que du TNT qu'il aurait été nécessaire de faire exploser pour aboutir à des dommages comparables. Ensuite, moyennant quelques hypothèses quant aux propriétés des explosions de dynamite, il est aussi possible de remonter à une estimation de la quantité de produit qui a produit les effets observés lors de l'explosion du 27 mars 2003.

Cette dernière estimation pourra être comparée aux différentes masses de produit présentes dans les installations avant le sinistre et identifiées à partir des témoignages et autres éléments tirés de l'enquête. A ce titre, les cratères formés par l'explosion de certaines charges pourront être interprétés.

Par ailleurs, le relevé des dommages peut aussi être exploité pour établir une comparaison entre les effets des surpressions aériennes consécutifs à l'explosion et ceux calculés dans l'étude de sécurité de la dynamiterie. Ces études permettent de délimiter les zones de l'espace où les seuils critiques des zones Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 pourraient être atteints ou dépassés. Pour mémoire, ces seuils sont utilisés dans le cadre des études de sécurité pour délimiter les zones où certains effets sur la santé humaine peuvent être ressentis (effets létaux, effets irréversibles,...) ainsi que certains dégâts sur les biens matériels. De même, le relevé des dommages peut aussi être exploité pour vérifier certaines règles d'application de la réglementation pyrotechnique.

De plus, l'INERIS décrira les effets sur les personnes à partir des déclarations d'accident du travail et donnera quelques éléments d'interprétation.

1.2 CONTENU DE L'ETUDE

Pour effectuer sa mission de relevé des dégâts, l'INERIS a retenu une approche consistant à :

- repérer des dégâts « typiques » (bris de vitres, dommages sur des murs dont les matériaux de constitution sont bien identifiés,...) dans différents lieux de l'espace. L'intérêt de procéder ainsi est qu'il est ensuite possible de relier ces dégâts typiques à des niveaux de surpression aérienne connus,

- faire des prises de vue complétées par des mesures sur des dommages qui ne sont pas forcément parmi les dégâts « typiques » mais qui pour autant sont manifestement dus à la propagation des ondes de surpression aérienne,
- et repérer des projections de débris considérées comme « significatives » dans la mesure où l'origine de ces débris avant accident est identifiée et que la projection provient directement de l'explosion et non pas d'un effet indirect comme un choc avec une autre structure.

Les données recueillies en suivant cette approche sont regroupées sous forme de tableaux synthétiques reportés au chapitre 2 suivant. Ces données sont aussi présentées de façon plus détaillée dans le CD-ROM joint en annexe 2.

Ensuite, une interprétation des données recueillies est proposée au chapitre 3 pour aboutir à une estimation de la quantité de TNT dont l'explosion aurait conduit à des dégâts comparables. Il est à noter que cette interprétation est bien sûr tributaire de la précision des données recueillies mais aussi des travaux consacrés à leur interprétation. Or, à cet égard, il convient de noter que quelques heures seulement ont pu être consacrées à la collecte des données. De plus, l'analyse de certains dommages mériteraient plusieurs heures d'attention alors que dans une approche préliminaire ce ne sont que quelques minutes qui lui ont été consacrées.

Puis, une estimation de la quantité de produit ayant détoné est fournie au chapitre 4 à partir de l'équivalence énergétique d'une part et d'hypothèses sur le régime des explosions de dynamite d'autre part.

Dans le chapitre 5, quelques dispositions techniques de la réglementation pyrotechnique sont rappelées.

Dans le chapitre 6, la quantité de dynamite ayant détoné estimée d'après le relevé des dégâts est comparée à la quantité de dynamite présente dans l'atelier au moment de l'explosion.

Puis, les effets observés sont comparés :

- d'une part aux effets mentionnés dans l'étude de sécurité,
- d'autre part, aux effets qui seraient calculés par application de la réglementation pyrotechnique sur les quantités réelles présentes dans l'atelier au moment de l'explosion.

Le chapitre 7 est consacré aux effets sur les personnes.

Enfin, le chapitre 8 est consacré aux principales conclusions qui sont déduites des travaux en cours.

1.3 CHRONOLOGIE ET ELEMENTS CONTRACTUELS

Le présent rapport fait notamment suite :

- au courrier adressé et enregistré à l'INERIS le 15 avril 2003, n°0482, par la DPPR, Service de l'Environnement Industriel, B. Cahen / D. Dumont daté du 4 avril 2003 et signé par P. Vesseron ayant pour objet le cahier des charges de l'intervention de l'INERIS suite à l'accident de Billy Berclau du 27 mars 2003.
- à la première visite de l'INERIS sur site le 9 avril 2003 avec Mlle Lim et Messieurs Branka, Lecoze, Leprette et Dechy lors de laquelle la mission de relevé des dommages a été effectuée d'une part sur le site de la société Nitrochimie notamment grâce à la

collaboration de Messieurs Choynet, Duprilot et Erouart et d'autre part en examinant dans les environs du site jusqu'à 1 km de l'épicentre environ sur la commune de Billy Berclau.

2. RELEVÉ DES DOMMAGES

2.1 GENERALITES

Les principales zones dans l'environnement du site sinistré où les relevés ont été faits sont repérées en couleur sur les figures 1 et 2 suivantes.

En annexe 1, des plans relatifs aux zones relevées sont joints à titre de complément.

La démarche mise en œuvre par l'INERIS pour effectuer l'analyse des dommages observés à Billy Berclau après le sinistre du 27 Mars 2003 survenu sur le site de la société Nitrochimie est similaire à celle mise en œuvre lors de l'analyse des dommages observés à Toulouse après le sinistre du 21 Septembre 2001 survenu sur le site de la société AZF de la société Grande Paroisse (INERIS, 2001 et Y. Mouilleau et al, 2002).

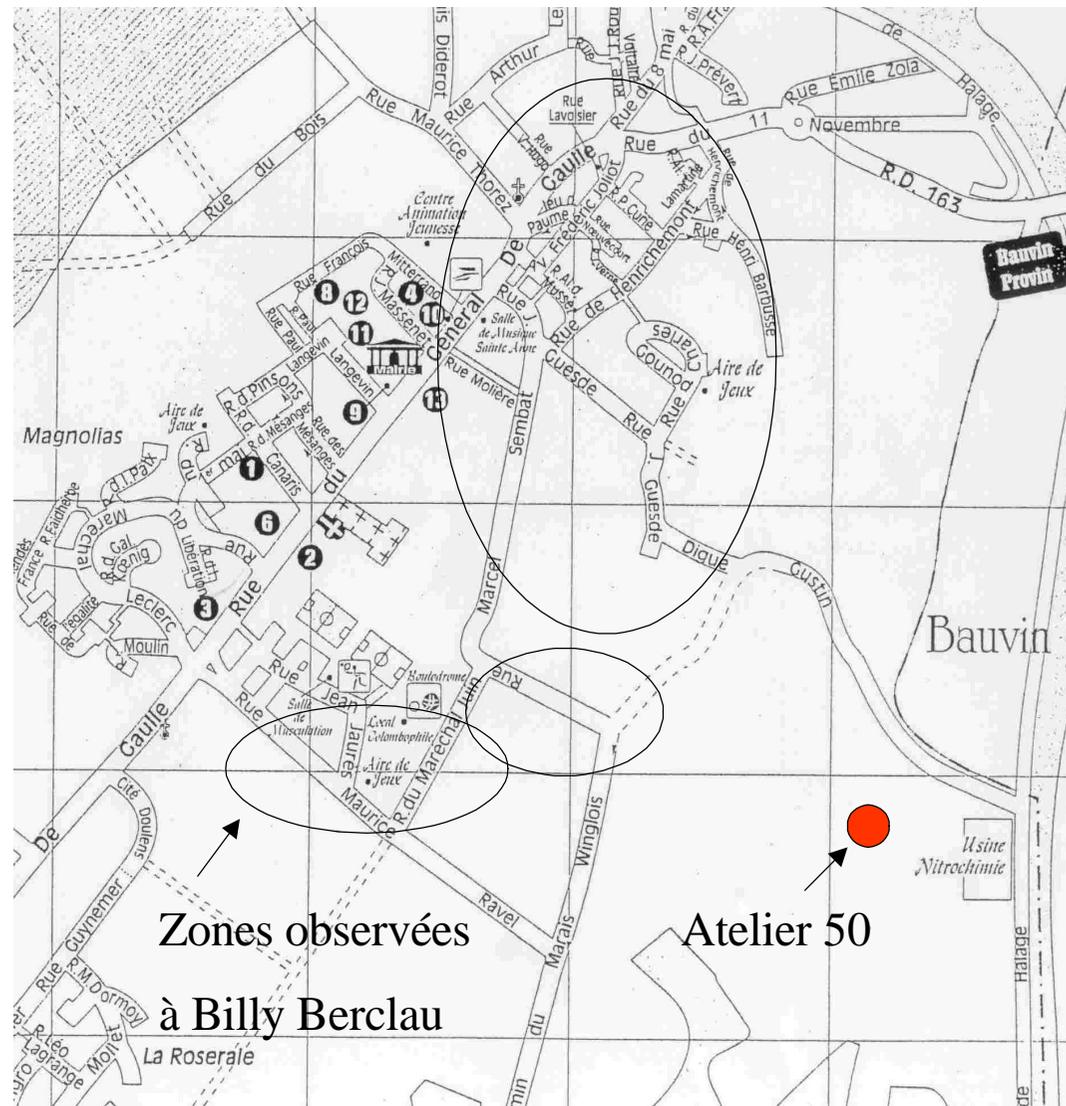


Figure 2 : Aperçu global des zones qui ont fait l'objet d'observations – commune de Billy-Berclau

Ensuite, le relevé des dommages observés est reporté dans les tableaux 2 et 3 consignés au sous paragraphe 2.2. Ces 2 tableaux correspondent aux observations faites par les agents de l'INERIS sur les lieux du sinistre, à savoir :

- le site de NITROCHIMIE pour le tableau 2,
- et les observations faites en circulant dans les environs sur la commune de Billy Berclau pour le tableau 3.

Tous les tableaux sont conçus de la même manière.

Sur le plan de la forme, les codes reportés en première colonne sont des identifiants des points dégâts qui permettent de retrouver en annexe 2 les prises de vues et quelques remarques sur la position et l'orientation vis-à-vis de l'épicentre de l'explosion.

Les distances reportées dans ces tableaux ont été tirées du Plan Général Usine au 1/1000° référencé N° 28 910 / JLY en date du 04/10/99 mis à jour le 11/01/01 ainsi que d'un plan de Billy Berclau et de ses environs.

Ensuite, les dégâts typiques observés en un point donné sont repérés au moyen d'un numéro alors que la correspondance entre numéros, dégâts typiques et niveaux de surpression aérienne est fournie dans le tableau 1 ci-dessous.

<i>Numéro</i>	<i>Type de dégâts constatés</i>	<i>Seuil (mbar)</i>
1	Bruit de fond (137 dB, si basse fréquence 10-15Hz)	1 à 2
2	Bris de vitre occasionnel pour des vitres fragiles c'est-à-dire de grandes vitres peu épaisses	2
3	Bruit important (143 dB), "boum" sonique avec bris de glaces	2 à 3
4	Bris de vitre de grande dimension (INRS), (baies vitrées)	5 à 10
5	5% des vitres cassées (BIT), ces vitres sont prises au hasard petites ou grandes	7 à 10
6	10% des vitres brisées et limites des petits dommages (INRS)	20
7	50% des vitres cassées (BIT)	14 à 30
8	Dégâts structurels mineurs, cloisons et éléments de menuiserie arrachés, tuiles soufflées (BIT)	30 à 60
9	Bris notables de vitres (à 70 mbar a priori presque toutes cassées, petites et grandes) et parfois dislocation des châssis (INRS)	40 à 70
10	Portes et fenêtres enfoncées (BIT)	60 à 90
11	Le toit d'un réservoir de stockage a cédé	70
12	Joints entre des tôles ondulées en acier ou en aluminium arrachés	70 à 140
13	Lézardes et cassures dans les murs légers (plâtre, fibrociment, bois, tôle) toiture en fibrociments quasiment détruite	70 à 150
14	Dommages mineurs aux structures métalliques	80 à 100
15	Fissures dans la robe d'un réservoir métallique	100 à 150
16	Limite inférieure des dégâts graves (la plupart des dégâts sont « facilement » réparables et correspondent à des tuiles projetées, des vitres cassés, des panneaux tordus, ceci étant les premières fissures dans les murs apparaissent,...)	140

<i>Numéro</i>	<i>Type de dégâts constatés</i>	<i>Seuil (mbar)</i>
17	Effondrement partiel de murs de 20cm d'épaisseur (INRS) – limite inférieure des dommages sérieux aux structures	140 à 150
18	Murs en parpaings ou en béton non armé détruits	150 à 200
19	Lézardes et cassures dans les murs béton ou parpaings non armés de 20 à 30 cm	150 à 250
20	Destruction de 50% des maisons en briques (INRS)	160 à 200
21	Maisons inhabitables, effondrement partiel ou total de la toiture, démolition d'1 ou 2 murs extérieurs, dégâts importants aux murs porteurs intérieurs (INRS)	140 à 280
22	Rupture des structures métalliques et déplacement des fondations	200
23	Rupture de réservoirs de stockage	200 à 500 / 250
24	Bardage acier des bâtiments arrachés, détruits	200 à 270
25	Rupture des structures métalliques autoporteuses industrielles	200 à 300
26	Fissure dans des réservoirs de stockage d'hydrocarbures vides	200 à 300
27	Déformations légères sur un rack de canalisations	200 à 300
28	Déplacement d'un rack de canalisations, rupture des canalisations	350 à 400
29	Maisons d'habitation détruites	350 à 500
30	Revêtement des bâtiments industriels légers soufflé	300
31	Destruction d'un rack de canalisations,	400 à 550
32	Dégâts sur une colonne de distillation	350 à 800
33	50-75% de la maçonnerie extérieure est détruite ou rendue instable (INRS)	350 à 800
34	Retournement de wagons chargés	500
35	Murs en briques, d'une épaisseur de 20 à 30 cm, détruits	500 / 500 à 600
36	Déplacement d'un réservoir de stockage circulaire, rupture des canalisations connectées	500 à 1 000
37	Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé	700 à 1 000
38	La structure porteuse d'un réservoir de stockage circulaire a cédé	1 000
39	Poteaux téléphoniques abattus (INRS)	700 à 1700
40	Gros arbres abattus (INRS)	1700 à 3800

Tableau 1 : Dégâts typiques

Pour mémoire, le tableau précédent a été réalisé à partir d'une synthèse des informations reportées dans (Lannoy, 1984, Clancy, 1972, INRS, 1994, BIT, 1993) et diverses analyses d'accident (Lechaudel et al., 1995, Michaélis et al., 1995).

Pour mémoire, 1 bar = 10⁵ Pa.

Enfin, les niveaux de surpression aérienne sont déduits :

- soit à partir du tableau 1,
- soit à partir de considérations en matière de résistance des matériaux, ces dernières n'étant pas détaillées dans le cadre du présent rapport.

2.2 DONNEES RECUEILLIES ET PREMIERES INTERPRETATIONS

2.2.1 Tableaux synthétiques du relevé des dégâts constatés sur NITROCHIMIE à Billy Berclau (62)

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, vidéo	Remarques
P101	< 16 13 - > 8	60 à 90 mbar (2 à 3 x 30 mbar)	60 m	Bâtiment 57	1 à 4, 35, vidéo	L'onde est rasante (toiture) ; Les cloisons dures n'ont pas bougé ; le placo-plâtre a bougé Les éléments menuiserie ne sont pas arrachés
P102	8 – < 13	40 à 60 mbar (20 mbar x 2 à 3)	110 m	Bâtiment 28 – 28b Le bâtiment est partiellement protégé par un merlon (du 18)	5 à 9	La toiture en fibrociment et éléments translucides (rasante) est très partiellement soufflée La façade sud-ouest est normale à l'onde : la façade en polycarbonate est largement détruite
P103	8 – 7	20 mbar	140 m	Bâtiment 19	8	La toiture inclinée de 30°, forme un angle de 45° environ avec le sens de la propagation de l'onde
P104		Pas de cotation	120 m	Bâtiment 35, 78 Château d'eau 34	vidéo	L'angle 60° – 70° de la toiture avec la propagation de l'onde ; Peu de dégâts sont apparents sur la toiture ; les effets du merlon du 43 sont possible
P105	<< 15	Pas de cotation	130 m	Stockage 19b – réservoir de glycol	vidéo	Stockage apparemment intact
P106	<< 15	Pas de cotation	150 m	Stockage 89 – réservoir d'acide sulfonitrique	vidéo	Stockage apparemment intact
P107	< 7 < 8	10 à 20 mbar	165 m	Bâtiment 94	10 et 11	La façade nord-est (angle de 60° avec le sens de propagation de l'onde) a 50 % de vitres brisées
P108	< 8	10 mbar à 20 mbar	160 m	Bâtiment 93 (noyage, nitration)	12 à 16	La toiture horizontale (onde rasante) est partiellement détruite ; Le merlon n'a pas d'effet à cette altitude
P109	< 8	20 mbar à 40 mbar (10 à 20 mbar x 2)	120 m	Bâtiment 1	17, 18, vidéo	La façade normale à l'onde a été légèrement affectée Un exemple de chariot est donné en photo

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, vidéo	Remarques
P110	<13 < 8	40 mbar (20 mbar x 2)	90 m	Bâtiment 18	19 à 24	La toiture est à 8 m d'altitude : la tôle en fibro-ciment est partiellement détruite ; La façade sud-est (onde rasante, angle de 20°) : la zone située entre 3 et 7 m d'altitude est détruite ; le merlon commence à faire effet. La toiture de l'auvent (onde rasante) à h = 2,5 m est partiellement détruite (l'auvent est relativement protégé par le merlon)
P111	9 8 13	60 mbar (6 x 10 mbar)	80 m	Bâtiment 17	25 à 32 vidéo	Les toitures des auvents en polycarbonates ont été partiellement détruites sur les 2 façades (sud-ouest et nord-ouest) ; les merlons ont protégé les auvents ; Il y a eu dislocation de certains châssis de fenêtre (vieux bois), dégâts sur les cloisons ; Les charpentes bois à l'intérieur du bâtiment 17 n'ont pas de fissures
P112	8 > 13	80 à 120 mbar (20 mbar x 4 à 6)	90 m	Bâtiment 16	33 et 34	L'auvent est protégé par le merlon et la charpente est fendue ; la toiture en polycarbonate est soufflée
P113	>>8 < 16	100 à 150 mbar	25 m	Bâtiment 49	36 à 46, vidéo	La toiture en fibro-ciment est détruite ; La charpente (poutres) est intacte (excepté 2 ou 3 travées) ; une majorité de fermes a sauté ; les murs en parpaings ne semblent pas abîmés par l'onde de pression ; Il semble que l'on soit en dessous de la limite inférieure des dégâts graves (150 mbar)

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, vidéo	Remarques
P114		Plusieurs bars	Point 0	Bâtiment 50 : « épicentre »	47 à 58, vidéo	Absence d'éléments de charpentes ; Le mur nord a été impacté et le béton armé est visible ; Un cratère près du passage entre les ateliers 50 et 48 a été formé (1m par 1,3m et 60 cm de profondeur) Au niveau de l'alimentateur : un cratère de 80 cm de diamètre et de 20 cm de profondeur (dalle béton de 15 à 20 cm d'épaisseur puis remblais). Un trou de 1 m à 1,5 m de diamètre dans la paroi latérale en béton, à environ 2 m de l'alimentateur. Présence de la bâche de l'enquête judiciaire
P115	8 13	100 à 200 mbar (30 à 60 mbar x 6)	20 m	Bâtiment 52	59 à 65, vidéo	La charpente est endommagée (sur la partie opposé au merlon de l'atelier 50), Le mur a été endommagé au niveau des points de fixation de la charpente (cette partie du mur n'est pas en béton).La toiture est largement soufflée malgré la protection du merlon
P116	8	180 mbar (6 x 30 mbar)	40 m	Bâtiment 54	66 à 69, 73-1, vidéo	Le merlon protège les 2 façades du toit Le seuil des dégâts structurels mineurs sur les 2 façades est atteint
P117	8 < 13	180 à 360 mbar (30 à 60 mbar x 6)	30 m	Bâtiment 52 b	75, vidéo	La charpente et le toit se sont écroulés Le merlon assure une protection
P118		Pas de cotation	65 m	Stockage 32	70, 72, vidéo	Il n'y pas d'effets visibles sur le réservoir
P119		Pas de cotation	50 m	Bâtiment 86	76	
P120	8 10	50 à 100 mbar	40 m	Toilettes WC	74	La toiture fibro-ciment a été soulevée ; Des portes sont enfoncées ; Les murs de brique sont intacts La toiture métallique est intacte

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Suppressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, vidéo	Remarques
P121		Pas cotable	90 m	Bâtiment 61	vidéo	Pas d'effet
P122	8 < 13 ; 10 ?	50 mbar	120 m	Bâtiment 64 et 79	78, vidéo	L'onde est normale au bardage ; Le bardage a tenu
P123		35 mbar	160 m	Bâtiment 68	79, 80	Façade en bac acier partiellement détruite ; façade Sud, sous l'onde et normale à l'onde
P124	< 8 < 7	10 mbar	520 m	Bâtiment 123	81 à 84, vidéo	Onde presque normale aux fenêtres (1m x 1m) brisées (ouvertures de fenêtres bâchées) Il n'y a pas de toiture fibro-ciment soufflée, ni de toiture polycarbonate
P125	<8	10 à 20 mbar	540 m	Bâtiment d'accueil 103 et 139	85, vidéo	On est à la limite de l'absence d'effet sur les tuiles La toiture est inclinée à 30° La façade de la toiture forme un angle de 30°/onde ; Il n'y a pas de vitre brisée
P126	<8	10 à 20 mbar	520 m	bâtiment 104 (garage)	vidéo	La toiture fibro-ciment n'est pas soulevée (l'onde est rasante et le garage est relativement protégé par un bâtiment
P127	<8 > 7 > 7	10 à 20 mbar	480 m	Bâtiment 105	95 à 97, vidéo	La toiture en fibro-ciment n'est pas soulevée Les vitres sont cassées en façade nord et ouest (les façades forment des angles de 30 à 60° avec le sens de propagation de l'onde)
P128	<8 6-7	10 à 20 mbar	450 m	Bâtiment 106 à 108	91 à 94, vidéo	Les tuiles sont déplacées mais ne sont pas soulevées Les vitres tenues par des joints élastiques ont tenu
P129	<8 6	15 à 20 mbar	450 m	Bâtiment 120 à 121 et 1151 (ouest de la voie ferrée)	86 à 88, vidéo	La façade est de la toiture (sous l'onde) n'a pas de tuiles déplacées ; par contre les tuiles sont légèrement déplacées face à l'onde (l'angle est de 20 à 30°) La toiture fibro-ciment n'est pas affectée Environ 25 % des vitres sont brisées (comptages)

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, Vidéo	Remarques
P130	<8 <6	Pas cotable	520 m	bâtiment 124 à 127	Vidéo	La toiture en tôle fibro-ciment est intacte.
P131	<8 <6	10 à 20 mbar	560 m	bâtiment 128	89, 90, vidéo	Quelques tuiles sont déplacées (en façade nord inclinée à 30 ° et normale à 60° à l'onde)
P132	<8	10 à 20 mbar	410 m	Bâtiment 117	98, 99, vidéo	La toiture fibro-ciment sous l'onde est intacte Quelques vitres sont brisées sous l'onde (angle 30°/onde)
P133	>6 < 9 <8	20 mbar	370 m	Pompe à gasoil (168) et réservoir cylindre bâtiment 166 et 167	100, 103, vidéo	La façade ouest de la toiture à 45° /onde a des tuiles soulevées Sur la façade Ouest : 100% des grandes vitres (30 x 70 cm) sont brisées et 10% des petites (20 x 70 cm) ; Sur la façade Est (sous l'onde): 70 % des grandes vitres sont brisées et aucune pour les petites
P134	6	20 mbar	360 m	Bâtiment 115, 113, 114, 157	101, 104, vidéo	La façade Ouest de la toiture en bardage métallique est intacte (angle de 30 à 45° avec l'onde) Les vitres sont brisées à 10 – 15 % maximum
P135	< 8	20 mbar	340 m	Bâtiment 159	102, 105, vidéo	Sur la façade Ouest (45° / onde) de la toiture, les tuiles sont déplacées et bien soulevées Le réservoir d'acide sulfonitrique est intact
P136	<8	Pas de cotation	350 m	Bâtiment 207 (blanc)	109, vidéo	La toiture en bac acier est pour l'essentiel intacte Quelques dégradations très partielles sont visibles mais il n'est pas possible de déterminer si cela est le fait de l'onde de pression.
P 137	< 13 8	20 mbar	310 m	Bâtiment 203	108, vidéo	La toiture en fibro-ciment est soufflée partiellement (façade ouest / onde normale)
P138	8	20 mbar	320 m	Bâtiment 208	vidéo	La toiture fibro-ciment est très légèrement soufflée

Numéro de point dégât	Numéro(s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance à l'épicentre en mètres	Localisation	Photos, Vidéo	Remarques
P139	< 6	20 mbar	320 m	Bâtiment 164	107	Il y a quelques vitres cassées La toiture en bac acier est intacte (normale à l'onde)
P140	<11 <12	Pas de cotation	290 m	réservoirs verticaux	Vidéo	Réservoirs intacts Il y a un trou toiture : raison ? (cheminée, dégât ?)
P141	13 8	60 mbar (30 mbar x 2, réservoir)	90 m	bâtiment 32 et 62 le réservoir est une dizaine de mètres devant le 32	110 et vidéo	La toiture en tôle fibro-ciment (sous l'onde, façade sud du bâtiment 32) est soufflée. Elle était partiellement protégée par le réservoir 32. La toiture en tôle ? rasante/onde du bâtiment 62 a été déplacée sans être soufflée, léger affaissement
P142		Pas de cotation		Bâtiment 211	111 et vidéo	La toiture en bac acier est intacte, les éléments translucides et fusibles ont tenu
P143	< 13 6 8	20 mbar	250 m	bâtiment 63 et 64 b	113 et vidéo	La toiture rasante / onde a un 1 ^{er} élément de la toiture en fibrociment soufflé Le rideau métallique du garage est intact
P144		Pas de cotation	220 m	Bâtiment 42	112 et vidéo	La toiture en bardage métallique ? souple est intacte
P145	7	30 à 50 mbar	210 m	bâtiment 138	114, Vidéo	La toiture en bardage métallique intacte La façade ouest (onde rasante) a plus de 50 % des vitres brisées
P146	8 < 13	30 mbar	160 m	bâtiment 68 à 64	79, 115, vidéo	La toiture fibrociment (onde rasante) est soufflée partiellement Le bardage acier est intact

Epicentre* : l'épicentre de l'explosion, servant de référence pour l'estimation des distances, a été placé au centre de l'atelier 50 destiné à l'encartouchage de dynamite.

La mesure des distances a été effectuée sur le Plan Général Usine au 1/1000^e référencé N° 28 910 / JLY en date du 04/10/99 mis à jour le 11/01/01.

Tableau 2 : Relevé des dommages sur le site Nitrochimie à Billy-Berclau

2.2.2 Commentaires sur les dégâts observés sur le site NITROCHIMIE

Les dommages considérés dans le tableau précédent sont importants (inférieurs ou équivalents à des dégâts graves, dégât typique n°16) pour les ateliers adjacents (48, 49, 52) à l'atelier 50 de la dynamiterie siège de l'explosion (cf. figures 3 à 6 pages suivantes). Cependant, ces dégâts sont d'une ampleur beaucoup plus limitée que dans l'atelier 50, ce qui souligne le rôle de protection joué par les merlons.

L'atelier 50 a été totalement soufflé et il reste des éléments de l'encartoucheuse (figure 3).

Lors de la visite de l'INERIS, deux cratères ont été identifiés dans l'atelier 50 :

- un au niveau de l'alimentateur et du bac de nettoyage (cf. figure 17 au paragraphe 6.2.1), d'un diamètre de 80 cm et d'une profondeur de 20 cm,
- un second, de diamètre 1 m à 1,30 m, et de profondeur 60 cm, à l'entrée de l'atelier 50, à l'emplacement où se trouvaient deux bacs de dynamite en attente selon les témoignages (figure 4).

Ces cratères constituent des points dégâts (*P114*) significatifs vis-à-vis des forces qui ont été mises en jeu. Or, s'il est difficile - et pas nécessairement utile d'ailleurs - d'associer la formation du cratère à un niveau de surpression, il existe en revanche des relations empiriques qui permettent de relier directement les caractéristiques des cratères observés à la masse équivalente de TNT. L'une de ces relations (très simple) a été utilisée dans le cas présent. Ce point est développé plus en détail au chapitre 3.2 suivant.

En outre, un « trou » de 1 à 1,5 m de diamètre a été formé dans la paroi en béton à environ 2 m de l'alimentateur. Il est difficile de l'attribuer aux effets de pression ou bien à l'impact d'un élément de l'alimentateur.

Par ailleurs, les visites complémentaires de Nitrochimie dans l'atelier 50 ont permis de mettre en évidence d'autres dommages particuliers :

- un élément du fond de la trémie de l'alimentateur encastré dans la dalle de béton (à proximité du cratère de 80 cm de diamètre),
- des dégradations dans le mur du merlon entre les ateliers 50 et 49, à proximité de l'emplacement supposé des caisses de dynamite FRANGEX (cf. 6.2.1),
- des dégradations dans le sol et dans le mur entre les ateliers 49 et 50, à proximité du cratère de 1 m à 1,3 m de diamètre. Selon l'interprétation de Nitrochimie, ces dégâts seraient associés à l'explosion d'un bac.

Ces dégâts rapportés par Nitrochimie n'ont pas été observés lors de la visite de l'INERIS le 9 avril 2003.

Ensuite, au delà des premiers merlons (quelques dizaines de mètres), les dégâts deviennent nettement plus limités (inférieurs ou équivalent à des dégâts structurels mineurs, dégât typique n° 8) et soulignent la protection apportée par ces merlons (figures 7 à 10).

Cette protection a été quantifiée localement sur les dégâts observés sur certains éléments des ateliers de la dynamiterie. En effet, les surpressions déduites de l'observation des dégâts sont « corrigées » de l'influence des merlons pour estimer les surpressions qui ont été observées à

quelques mètres au-dessus des merlons. Différents facteurs ont été utilisés selon la position relative de l'atelier par rapport au merlon et à la propagation de l'onde, ainsi que de la hauteur du dégât observé au regard de la hauteur du merlon faisant écran (cf. chapitre 5 pour les explications techniques contenues dans la Circulaire du 8 mai 1981).

Peu de débris significatifs ont pu être observés lors de la visite de la dynamiterie. En conséquence, aucun point dégât n'a été établi sur ce type de dégât. Il convient de noter que les merlons ont joué leur rôle d'écran pour la projection directe des débris.

A l'extérieur de la dynamiterie et sur le site NITROCHIMIE, les dégâts se limitent à des bris de vitres, des déplacements de tuiles ou de toiture en fibrociment très difficiles à quantifier (figure 11).

Concernant les effets dominos potentiels sur des matières ou objets explosifs en dehors de l'atelier, aucune transmission de l'explosion n'a été observée au-delà de l'atelier 50.

Au sein de l'atelier 50, au moins deux charges ont visiblement explosé (par effet de sympathie ou projection) et étaient distantes de l'ordre de 8 m.

Concernant les effets dominos conduisant à des ruptures de stockage en réservoir, aucun effet visible lors de la visite n'a été observé sur les réservoirs aux points 105, 106, 118, 133, 140 et 141 (figure 9, point 118 : réservoir à 65 m de l'atelier 50).

2.2.3 Relevé des dégâts constatés dans l’environnement à Billy Berclau (62)

Numéro de point dégât	Numéro (s) de dégât type	Surpressions estimées (mbar)	Distance approximative en mètres	Localisation	Photos, vidéo	Remarques
P151	8	20 mbar	1000	1 ^{er} hangar à foin au nord-ouest à côté de jeux pour enfants	vidéo	Toiture éverite partiellement soufflée (onde rasante)
P152	4	5 mbar ?	1500	7, 11 rue Henrichemont		grandes vitres brisées (normale à l’onde)
P153	<8	10 mbar	1500	1, 3, 5 , rue Ravel		Toiture soulevée Faîtière décelée, tuile déplacée vitre brisée,
P154	>4	10 mbar	1200	50 , rue Ravel		petite vitre brisée
P155	< 8	10-20 mbar	1000	n° 66 rue Ravel, intersection, rue Maréchal Juin, n° 16 et 14		Tuile soulevée sur la toiture nord Toiture côté façade tuile envolée, tuile soulevée autres maisons par de soulèvement de tuiles La limite basse du soulèvement des tuiles est atteinte
P156	< 8	10 - 20 mbar	900	n° 80 rue Sembat et N° 93 rue Sembat		Toiture soulevée
P157	< 8	10 mbar	700	N° 99 Marcel Sembat (fin maisons)		Toiture en éverite/abris de garage (semble-t-il n'a pas bougé)

Epicentre* : l’épicentre de l’explosion, servant de référence pour l’estimation des distances, a été placé au centre de l’atelier 50 destiné à l’encartouchage de dynamite.

Tableau 3 : Relevé des dommages dans l’environnement à Billy Berclau

2.2.4 Commentaires sur les dégâts « observés » à Billy Berclau

La mission de relevé des dommages réalisée par l'INERIS sur site s'est déroulée comme indiqué en introduction treize jours après le sinistre. A cet instant, les dégâts produits par l'explosion avaient manifestement déjà été en partie réparés (tuiles déplacées remises en place, débris éventuels balayés) et étaient peu visibles. Seules quelques vitres brisées ont pu être localisées.

Cette remarque s'applique dans une moindre mesure pour le site de Nitrochimie, où les dégâts, beaucoup plus importants, n'avaient pas encore été réparés et les débris n'avaient pas été déblayés pour les besoins de l'enquête judiciaire.

Les points dégâts rapportés dans le tableau 3 proviennent pour l'essentiel des déclarations de sinistre effectuées par les riverains en mairie de Billy-Berclau. Quelques points ont pu être vérifiés lors de la visite sur le terrain.

Dans une première estimation rapide des dégâts, ces points n'ont pas été considérés.

2.2.5 Exemples de dégâts observés et photos illustratives

Par ailleurs, à titre d'illustration, diverses prises de vue faites depuis l'origine de l'explosion et en s'éloignant de celle-ci sont reportées sur les figures 3 à 11. L'ensemble des prises de vue est consigné en annexe 2.



Figure 3 : Vue de l'atelier 50 consécutivement à l'explosion



Figure 4 : Vue du cratère (point P114) devant l'atelier 50 du site de Nitrochimie



Figure 5 : Vue du mur de l'atelier 50 du site de Nitrochimie



Figure 6 : Vue de l'atelier 52 du site de Nitrochimie depuis un point situé à 20 m au sud de l'atelier 50 (de l'autre côté du merlon)



Figure 7 : Vue de l'atelier 49 du site de Nitrochimie depuis un point situé à 25 m à l'Ouest de l'atelier 50 (de l'autre côté du merlon)



Figure 8 : Vue du bâtiment 57 du site Nitrochimie depuis un point situé à 60 m à l'Ouest de l'atelier 50



Figure 9 : Vue du stockage 32 du site Nitrochimie depuis un point situé à 65 m au Sud-Est de l'atelier 50



Figure 10 : Vue du bâtiment 18 du site Nitrochimie depuis un point situé à 90 m à l'Ouest de l'atelier 50



Figure 11 : Vue des bâtiments 166 et 167 du site Nitrochimie depuis un point situé à 370 m au Sud-Est de l'atelier 50

2.3 REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ESTIMATIONS DE SURPRESSIONS AERIENNES

Les surpressions aériennes estimées et reportées dans les tableaux 2 et 3 sont représentées en fonction de la distance comptée depuis l'épicentre d'explosion (situé au centre de l'atelier 50) sur la figure 12 suivante.

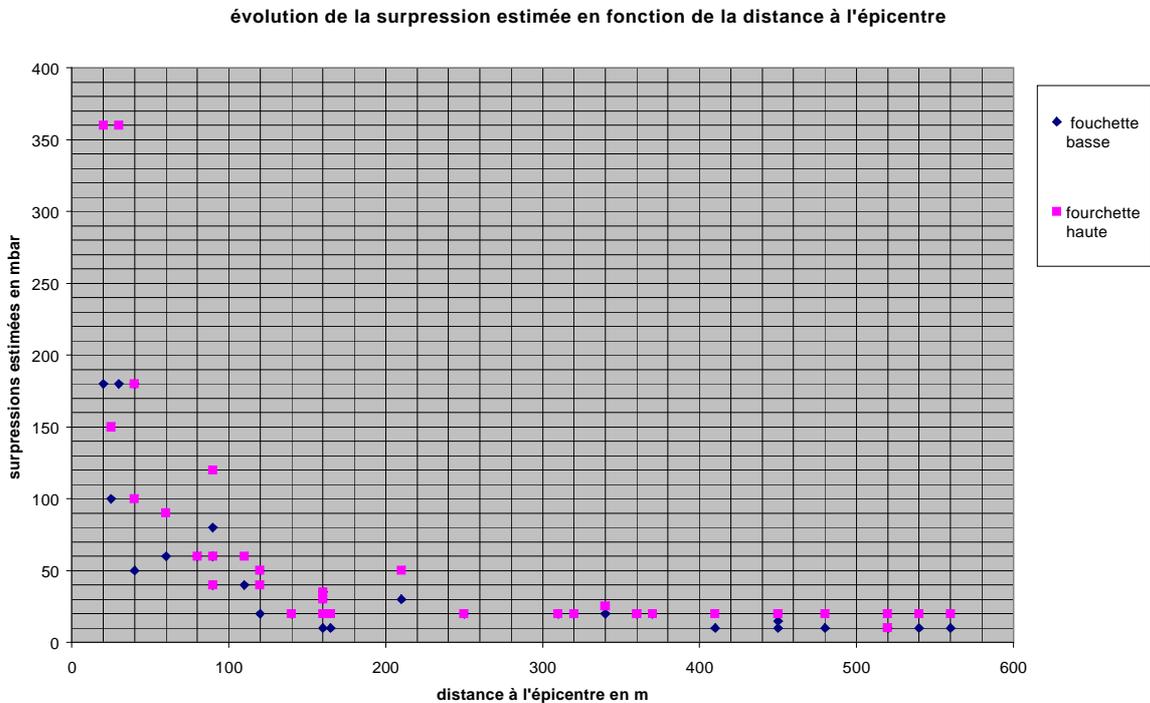


Figure 12 : Décroissance des surpressions aériennes estimées en fonction de la distance comptée depuis le centre de l'atelier 50 observée sur le site NITROCHIMIE

Comme attendu physiquement, les estimations reportées sur la figure précédente montrent une décroissance des surpressions aériennes avec la distance comptée depuis l'épicentre. La dispersion des points autour d'une courbe moyenne est comparable à ce qui a déjà été observé au cours de travaux du même type (Lannoy, 1984, Lechaudel et al. 1995, Michaélis et al., 1995).

L'estimation des niveaux de surpression est dépendante de l'interprétation des dégâts typiques qui peuvent être observés. Les correspondances entre dégâts typiques et niveaux de surpression dépendent notamment :

- de la nature des matériaux,
- de la résistance des structures,
- de l'impulsion du signal de pression reçu,
- du pic de surpression reçue,
- de l'incidence de l'onde sur la cible considérée ...

La disparité des points rencontrés introduit de nombreuses incertitudes qu'il n'est pas possible de quantifier en première approche.

Dans la zone de la dynamiterie, l'estimation des niveaux de surpression est fortement tributaire de l'interprétation qui a été faite de la protection offerte par les merlons. L'atténuation de l'onde de surpression induite par la présence des merlons a été estimée d'après les règles de sécurité pyrotechnique rappelées au chapitre 5 (circulaire du 8 mai 1981), et les niveaux de surpression déduits de l'observation directe des dégâts ont été corrigés en conséquence. Il n'en reste pas moins que cette estimation comporte une part d'incertitude, notamment parce qu'il est difficile d'évaluer l'influence de plusieurs merlons successifs.

En dehors de la zone pyrotechnique, à plus de 250 m de l'atelier 50, les estimations de surpression sont toutes comprises entre 10 et 20 mbar. Elles correspondent à un seul type de dégâts (bris de vitre, bris de toiture en fibro-ciment et déplacement de tuiles), observés avec plus ou moins d'intensité mais qu'il est difficile de coter avec plus de précision.

3. ANALYSE ET ESTIMATION DE L'EQUIVALENT TNT

3.1 ANALYSE A PARTIR DES ESTIMATIONS FAITES SUR LE CHAMP DES SURPRESSIONS AERIENNES

A partir de l'abaque TM5 – 1300 (Lannoy, 1984) jointe page suivante (figure 13), il est possible pour chacun des points dégât relevés sur le site de Nitrochimie (tableau 2), caractérisés par différents couples (distance à l'épicentre, surpression aérienne estimée) de déduire la masse de TNT dont l'explosion aurait conduit à obtenir la surpression estimée à la distance considérée.

Pour analyser de manière statistique les masses de TNT déduites à partir des points dégâts, deux méthodes ont été utilisées :

- une moyenne arithmétique des valeurs de masses calculées à partir des estimations par défaut et par excès des surpressions aériennes,
- la médiane des valeurs de masses calculées à partir des estimations par défaut et par excès des surpressions aériennes.

Pour autant que les points dégâts identifiés à distance de l'épicentre soient distribués de manière uniforme, deux remarques quant aux méthodes retenues sont à garder à l'esprit. :

- La première méthode présente l'inconvénient de donner plus de poids aux estimations élevées de la masse de TNT ayant détoné.
- La deuxième méthode permet de pondérer de manière plus équitable chaque estimation.

3.1.1 Résultats des estimations sur l'ensemble des points dégâts du site Nitrochimie

Les résultats obtenus en faisant ce travail sur l'ensemble des 34 points dégâts établis sur le site de Nitrochimie, ont été analysés et il peut en être déduit dans un premier temps que la masse de TNT équivalente pour obtenir les dommages observés est a priori comprise entre :

	Moyenne arithmétique (kg)	Distribution des estimations	Médiane (kg)
Estimations par défaut	76	50 % des estimations sont inférieures à la moyenne	70
Estimations par excès	200	33 % des estimations sont supérieures à la moyenne	125

Tableau 4 : Estimation de l'équivalent TNT sur la base des 34 points dégâts du site Nitrochimie

Ces éléments statistiques montrent la disparité des estimations obtenues pour les masses équivalentes de TNT. Cette disparité s'explique essentiellement à partir des difficultés d'interprétation des dommages observés.

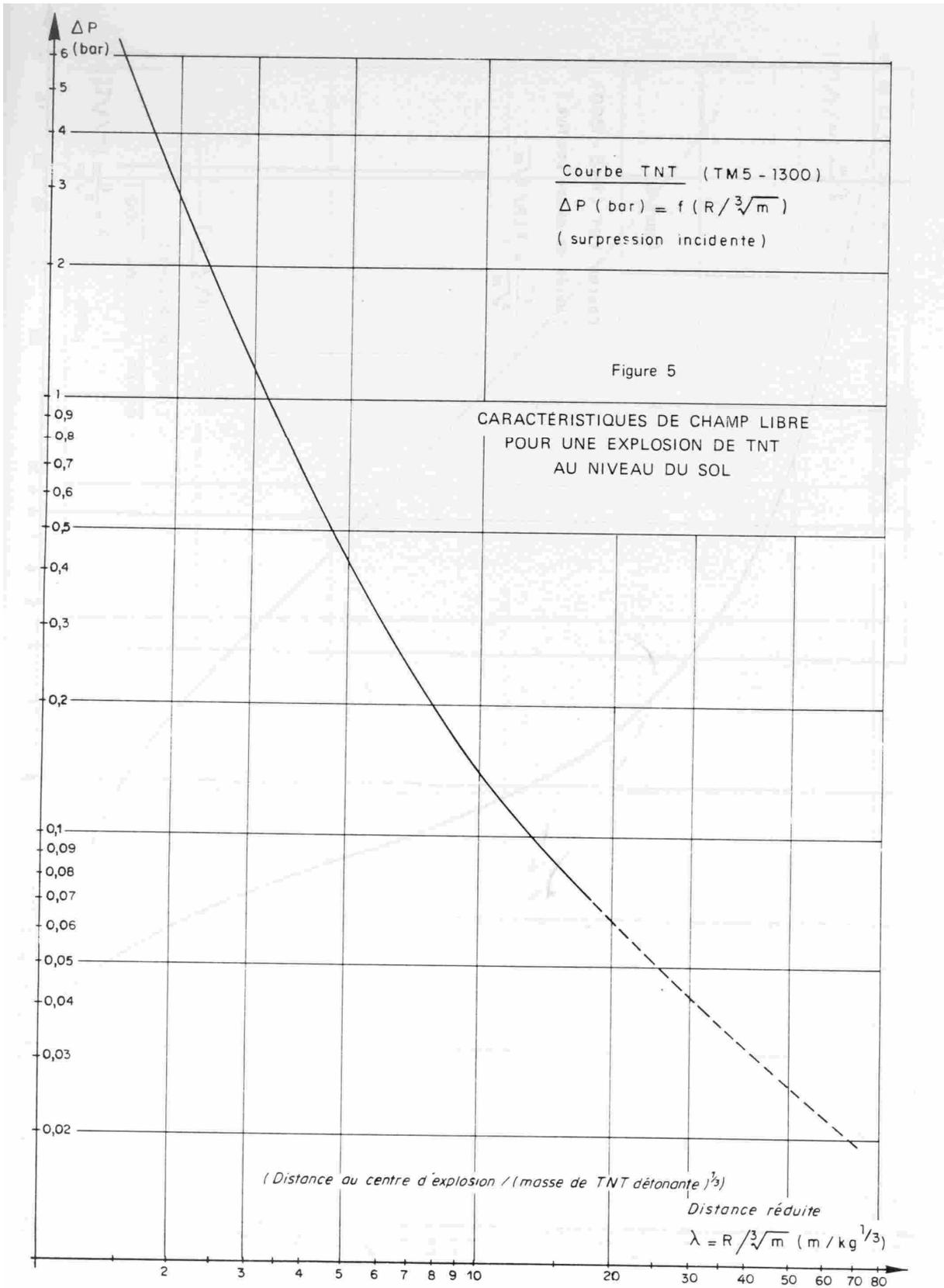


Figure 13 : Abaque TM5 - 1300 (Lannoy, 1984),

3.1.2 Commentaires sur les résultats obtenus par cette approche

Les valeurs moyennes et médianes établies sur l'ensemble des 34 points dégâts cachent en réalité une forte disparité de répartition des estimations.

En effet, les estimations hautes proviennent plutôt des points dégâts situés à l'extérieur de la dynamiterie, tandis que les estimations basses (en dessous de 70 kg de TNT) correspondent plutôt aux points dégâts situés à l'intérieur de la dynamiterie (ateliers protégés par des merlons), et ce en dépit du fait qu'il a été tenu compte de l'influence éventuelle des merlons pour l'estimation des surpressions, conformément à ce que prévoit la réglementation pyrotechnique (cf. chapitre 5).

Ainsi pour ce qui est de la dynamiterie, les points dégâts se situent dans ce que nous qualifierons, à cette échelle, de champ proche de l'explosion (distance inférieure à 250m). Celui-ci se caractérise par des dégâts mineurs ou graves aux structures des ateliers et par la présence des merlons de protection. En général, on considère que les interprétations liées à des dégâts sur les structures sont relativement fiables. Toutefois, une incertitude sur ces interprétations est introduite par le degré de prise en compte des effets localisés des merlons sur les propagations des ondes de pression. Des effets de diffraction et de réflexion des ondes sur les merlons ne sont pas pris en compte dans l'analyse.

De plus, en champ proche, l'interprétation des dégâts nécessiterait de prendre en compte l'effet de l'impulsion de l'onde pression. Ce travail n'a pas été réalisé dans le cadre de cette mission où l'INERIS s'est limité à une interprétation rapide des dégâts. De plus, l'INERIS n'a pas procédé à des calculs de résistance des matériaux sur les structures impactées, or ce type d'analyse pourrait conduire à une estimation plus fiable.

Pour ce qui est du reste du site Nitrochimie (hors dynamiterie), les points dégâts se situent dans ce que nous qualifierons, à cette échelle, de champ plus lointain, moins ou pas perturbé par la présence de merlons ou d'obstacles, où les dégâts sont inférieurs aux dégâts mineurs et constituent pour l'essentiel des dégâts typiques comme les bris de vitres (à des degrés divers), bris de toitures en fibro-ciment et déplacements de tuiles. A ce titre, ce type de dégâts est interprété comme étant causé par une onde de pression de l'ordre de 10 à 20 mbar. Il a été observé avec plus ou moins d'intensité sans qu'il soit possible d'être plus précis et ce sur des distances variant de 300 à 500 m. Ceci introduit des incertitudes considérables sur les estimations calculées de masse d'équivalent TNT, variant en conséquence dans une fourchette de 40 à 700 kg de TNT. Ces résultats traduisent le fait que la finesse de l'interprétation des dégâts typiques de bris de vitre et déplacements de tuiles est relativement faible. De plus, à des distances élevées, des phénomènes parasites comme l'influence du vent, la recombinaison des ondes, la réflexion des ondes sur les basses couches de l'atmosphère sont possibles. En particulier, la recombinaison¹ des ondes en champ lointain pourrait, si elle a eu lieu, entraîner des dégâts plus importants et donc des estimations d'équivalent TNT plus élevées. Enfin, les effets de la propagation d'ondes sismiques n'ont pas été pris en compte.

En conséquence, une analyse différenciant les « familles » de points dégâts de la dynamiterie et du reste du site Nitrochimie a été établie.

¹ Lorsqu'une onde de pression se propage, elle comprime l'air et le réchauffe sur son passage. Une deuxième onde émise à la suite de la première, pourra donc se propager dans un milieu plus « chaud », ce qui augmente sa vitesse de propagation. Dans ces conditions, la 2^{ème} onde pourrait rattraper la première et ne former plus qu'une.

3.1.3 Résultats des estimations sur les points dégâts de la dynamiterie du site Nitrochimie (champ proche)

La même analyse a été effectuée à partir des 20 points dégâts établis sur la dynamiterie (tableau 5).

	Moyenne arithmétique (kg)	Distribution des estimations	Médiane (kg)
Estimations par défaut	49	60 % des estimations sont inférieures à la moyenne	43
Estimations par excès	107	20 % des estimations sont supérieures à la moyenne	60

Tableau 5 : Estimation de l'équivalent TNT sur la base des 20 points dégâts de la dynamiterie

Ces éléments statistiques montrent la disparité des estimations obtenues pour les masses équivalentes de TNT au sein de la dynamiterie. Cette disparité s'explique essentiellement à partir des difficultés d'interprétation des dommages observés, du fait que l'influence de l'impulsion est négligée, et dans le cas de la dynamiterie au degré limité de prise en compte des effets des merlons².

3.1.4 Résultats des estimations sur les points dégâts du site Nitrochimie hors dynamiterie (champ lointain)

Les résultats obtenus en faisant ce travail sur l'ensemble des 14 points dégâts établis sur le site de Nitrochimie à l'extérieur de la dynamiterie, ont été analysés et sont reportés dans le tableau 6 :

	Moyenne arithmétique (kg)	Distribution des estimations	Médiane (kg)
Estimations par défaut	115	50 % des estimations sont inférieures à la moyenne	110
Estimations par excès	330	43 % des estimations sont supérieures à la moyenne	295

² Les effets d'amortissement calculés selon les recommandations de la réglementation pyrotechnique ont été pris en compte. Toutefois, en pratique, et parce qu'il y a plusieurs merlons orientés dans plusieurs directions, d'autres effets que l'amortissement sont prévisibles : des diffractions, des réflexions d'ondes. Ces derniers effets n'ont pas été pris en compte.

Tableau 6 : Estimation de l'équivalent TNT sur la base des 14 points dégâts du site hors dynamiterie

Ces éléments statistiques montrent la disparité des estimations obtenues pour les masses équivalentes de TNT à l'extérieur de la dynamiterie. Cette disparité s'explique essentiellement à partir des difficultés d'interprétation des dommages observés qui sont des dégâts du type bris de vitre ou déplacements de tuiles et où la finesse de l'analyse est limitée. De plus, à des distances élevées, des phénomènes parasites comme l'influence du vent, de la recombinaison des ondes, de la réflexion des ondes sur les basses couches de l'atmosphère sont possibles.

3.1.5 Conclusions provisoires à ce stade de l'analyse

L'analyse des résultats permet de déterminer deux ordres de grandeur de la masse de TNT dont l'explosion est susceptible d'avoir produit les dégâts observés :

- de l'ordre de 50 à 100 kg à partir des dégâts relevés sur la dynamiterie,
- de l'ordre de 100 à 300 kg à partir des dégâts relevés sur le site hors dynamiterie.

Compte tenu des incertitudes inhérentes à chaque analyse, il n'est pas possible de trancher simplement en faveur de l'un ou l'autre des ordres de grandeur.

A ce stade de l'analyse, il est donc prématuré de donner un ordre de grandeur plus précis que celui de la centaine de kilogrammes d'équivalent TNT.

Toutefois, l'estimation des effets observés laisse penser que ceux-ci n'auraient vraisemblablement pas été produits par la détonation d'une masse d'équivalent TNT supérieure à environ 300 kg.

Ainsi, dans un deuxième temps, une estimation de certaines charges détonantes sera réalisée au regard des dimensions de deux cratères et complètera l'analyse précédente.

Enfin, ces estimations pourront être confrontées aux résultats des interviews des opérateurs permettant une estimation des charges avant l'explosion.

3.2 ANALYSE A PARTIR DES OBSERVATIONS FAITES SUR LES CRATERES

3.2.1 Méthode utilisée

Des relations empiriques (Winter, 1986) montrent que les cratères formés suite à l'explosion de solides posés au sol ont des dimensions, en particulier un rayon qui dépend :

- de la nature du sol,
- et de la quantité d'explosif mise en jeu.

Dans le cas d'explosion de TNT et pour différents sols, il est ainsi possible d'obtenir les résultats reportés en figure 14 suivante.

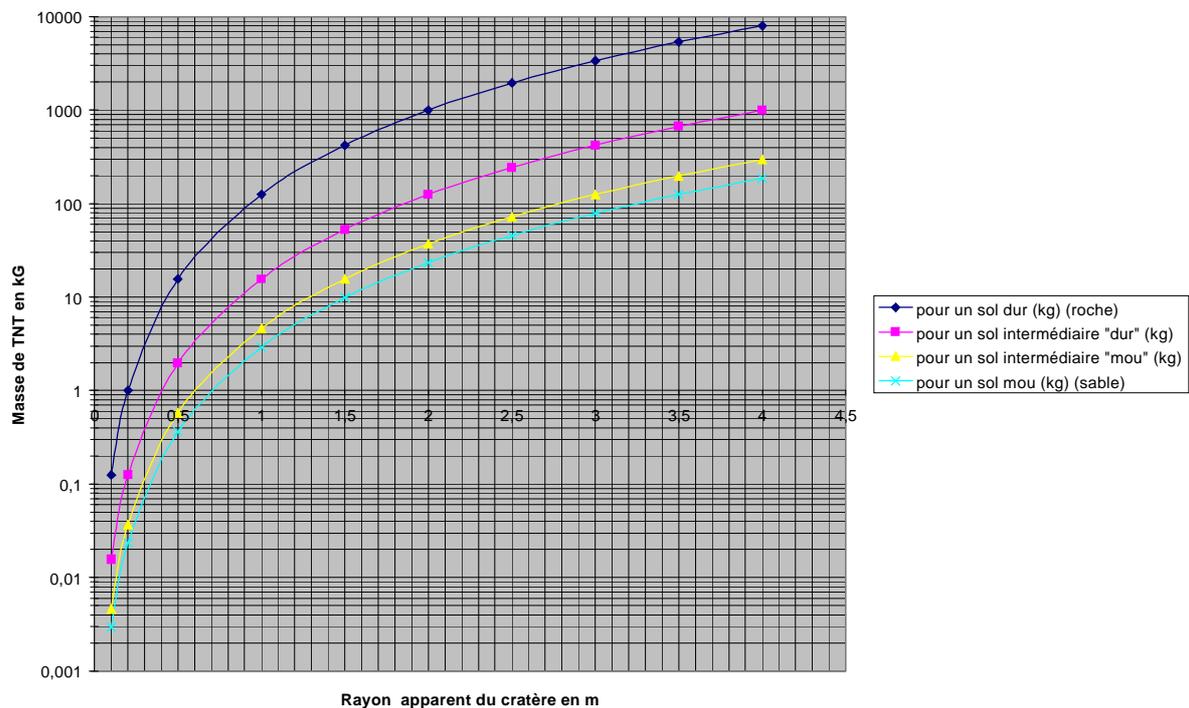


Figure 14 : Influence de la dureté d'un sol et de la masse d'explosif mise en jeu vis-à-vis du rayon apparent du cratère formé

Remarque

Il est important de noter que le rayon qui figure en abscisse sur le graphe ci-avant est le rayon apparent soit 1,5 fois le rayon déduit de la mesure de crête à crête (diamétralement opposée) des lèvres du cratère. Dans le cas de Nitrochimie, le sol était en béton (sur 15 à 20 cm) et n'a pas permis la formation de lèvres de cratère.

L'influence de la nature du sol apparaît nettement sur les courbes reportées en figure précédente qui indiquent notamment qu'à masse de TNT constante (suivant une horizontale sur la figure), le rayon du cratère formé est d'autant plus grand que le sol est « mou », correspondant plutôt à du sable qu'à des roches.

3.2.2 Application aux cratères formés dans l'atelier 50

Dans le cas du site NITROCHIMIE et de l'atelier 50, le sol était constitué depuis la surface d'une dalle en béton armée d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, puis d'un remblai, comme le montre la photo reportée en figure 4. Dans ces conditions, la courbe relative à un sol "dur" peut être retenue en première approche.

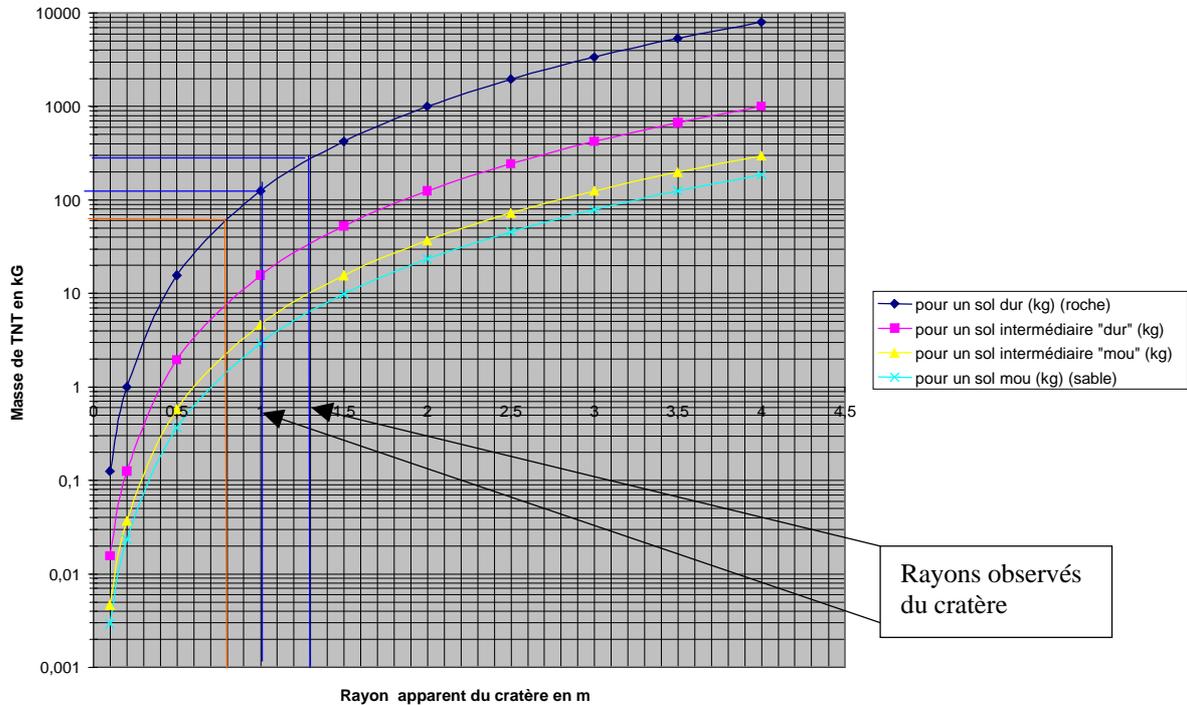


Figure 15 : Détermination des masses équivalentes de TNT à partir des dimensions des deux cratères de l'atelier 50.

A partir de la figure 15 précédente, et des dimensions des cratères de l'atelier 50, il est possible de déduire les masses d'équivalent TNT posées au sol nécessaires pour former ces cratères (tableau 7).

	Diamètre	Masse de la charge posée au sol (kg de TNT)
Cratère à l'entrée de l'atelier 50	1 à 1,3 m	120 à 280
Cratère au niveau de l'alimentateur et du bac de nettoyage	0,8 m	75

Tableau 7 : Estimations des masses d'équivalent TNT à partir des dimensions des deux cratères de l'atelier 50.

Le cratère à l'entrée l'atelier 50 pourrait être attribué à l'explosion d'un ou deux bacs de dynamite en attente.

Le cratère au niveau de l'alimentateur est plus difficilement interprétable. Il pourrait provenir de l'explosion d'un bac de nettoyage posé au pied de l'alimentateur ou encore de l'explosion de l'alimentateur (à 1 ou 2 m du sol),. Ce cratère était peu profond (de l'ordre de 20 cm).

Une discussion des masses de dynamite susceptibles d'avoir formé ces cratères sera réalisée au chapitre 6.2.3.3.

Remarquons qu'il ne faut pas rechercher une correspondance stricte dans la mesure où :

- la nature du sol est difficile à qualifier précisément (en raison notamment de son hétérogénéité, béton puis remblais), bien que l'hypothèse de sol dur semble confirmée par les vérifications ;
- l'un des cratères n'est pas idéalement circulaire et dès lors la déduction d'un rayon comporte une part d'arbitraire.

A ce stade de l'analyse, il serait prématuré de comparer l'estimation de la charge détonante ayant produit les effets observés à l'estimation déduite de la taille des cratères. En effet, la présence de plusieurs charges dans l'atelier rend difficile la correspondance entre ces deux estimations.

De plus, l'équivalence TNT, obtenue pour des dégâts dus à la propagation des ondes aériennes, et l'équivalence TNT pour former un cratère comparable à celui observé, n'ont pas de raison d'être rigoureusement identiques. Cette dernière remarque est importante mais est aussi complexe et mériterait d'être développée en détail. Toutefois, de façon synthétique il peut être retenu que les équivalences TNT déduites de constats faits à proximité immédiate de l'épicentre d'explosion (comme le cratère qui est cet épicentre en général) et celles faites à partir de constats plus éloignés peuvent différer (Cf. 3.1).

4. CORRESPONDANCE ENTRE L'EQUIVALENCE TNT ET LA MASSE DE PRODUIT MISE EN JEU

Pour estimer la masse de produit qui a pu participer au sinistre en utilisant les évaluations en matière d'équivalence TNT reportées dans le chapitre précédent, la technique consiste à :

- calculer l'énergie mise en jeu par l'explosion des masses équivalentes de TNT,
- et diviser la quantité ainsi obtenue par l'énergie libérée par l'explosion d'un kg de produit.

En d'autres termes cela revient à poser l'équation suivante.

$$M_{produit} = \frac{M_{TNT} \times E_{TNT}}{E_{produit}} \quad \text{Équation 1}$$

où $M_{produit}$ est la masse de produit ayant participé à l'explosion en kg,
 M_{TNT} est la masse équivalente de TNT en kg,
 E_{TNT} est l'énergie libérée par l'explosion d'un kg de TNT soit 4690 kJ,
 $E_{produit}$ est l'énergie libérée par l'explosion d'1 kg du produit en cause (dynamite) en kJ.

Toutefois, de manière générale, la masse de produit ainsi déterminée est une évaluation théorique et par défaut de la masse qui a pu réellement participer à l'explosion. En fait, retenir l'équation (1) revient à admettre que le produit considéré est capable en explosant de libérer de l'énergie de façon rigoureusement analogue à ce qui est observé en cas de détonation du TNT.

Ainsi, les régimes d'explosion du TNT et du produit considéré peuvent être différents : détonation dans le cas du TNT, détonation ou déflagration dans le cas d'autres produits. Dans ce cas, il est plus pertinent de retenir l'équation ci-après :

$$M_{produit} = \frac{M_{TNT} \times E_{TNT}}{r \times E_{produit}} \quad \text{équation 2}$$

où r est un rendement global qui rend compte des écarts entre les capacités respectives des produits à libérer de l'énergie pour créer des ondes de pression
 et où toutes les autres variables gardent la même signification que dans l'équation 1.

Dans le cas de la dynamite, le régime d'explosion est la détonation au même titre que le TNT, en conséquence l'équation 1 suffit.

Le rapport des énergies libérées par l'explosion de 1 kg de dynamite et 1 kg de TNT est de 1,1.

Ainsi, l'équivalent TNT de 1 kg de dynamite est de 1,1 kg de TNT.

Suite aux conclusions provisoires du chapitre 3.1, plusieurs ordres de grandeurs ont été retenus pour la masse de TNT susceptible d'avoir produit les effets observés. Aussi, il peut être déduit que la masse de produit qui a participé à l'explosion est de l'ordre de :

- 50 à 100 kg de dynamite à partir des dégâts relevés sur la dynamiterie,

- 100 à 300 kg de dynamite à partir des dégâts relevés sur le site hors dynamiterie.

A ce stade de l'analyse, il est donc prématuré de donner un ordre de grandeur plus précis que celui de la centaine de kilogrammes de dynamite.

Toutefois, l'estimation des effets observés laisse penser que ceux-ci n'auraient vraisemblablement pas été produits par la détonation d'une masse de dynamite supérieure à environ 300 kg.

Suite aux conclusions provisoires du chapitre 3.2, les charges de dynamites nécessaires à la formation des deux cratères seraient de l'ordre de :

- 110 à 255 kg de dynamite pour le cratère à l'entrée de l'atelier 50,
- 68 kg de dynamite pour le cratère au pied de l'alimentateur.

5. RAPPELS SUR LA REGLEMENTATION DE LA SECURITE PYROTECHNIQUE

La sécurité des établissements pyrotechniques est régie par les trois principaux textes législatifs suivants :

- Décret n°79-846 du 28 septembre 1979 : règles générales d'hygiène et de sécurité dans les établissements pyrotechniques ;
- Arrêté du 26 septembre 1980 fixant les règles de détermination des distances d'isolement relatives aux installations pyrotechniques ;
- Circulaire du 8 mai 1981 concernant l'application de l'arrêté du 26 septembre 1980 fixant les règles de détermination des distances d'isolement relatives aux installations pyrotechniques.

L'arrêté du 26 septembre 1980 définit en particulier :

- la classification des matières et objets explosifs en division de risques
- la classification des zones de danger.

La circulaire du 8 mai 1981 précise en outre les effets de pression, de projectiles et thermiques caractérisant ces zones de dangers.

5.1 CLASSIFICATION DES MATIERES ET OBJETS EXPLOSIFS

Les matières et objets explosifs sont répartis :

- d'une part, en divisions de risques, suivant la nature des effets de leur explosion ou de leur combustion ou selon leur degré de sensibilité ;
- d'autre part, en groupes de compatibilité, suivant le type particulier de risque supplémentaire qu'ils peuvent comporter lorsqu'ils sont en présence de matières ou d'objets appartenant à d'autres groupes.

Les dynamites sont classées dans la division de risque 1.1, correspondant aux « matières ou objets comportant essentiellement un danger d'explosion en masse, c'est à dire affectant de façon pratiquement instantanée la quasi-totalité de la charge », et dans le groupe de compatibilité D (explosifs secondaires détonant).

5.2 CLASSIFICATION DES ZONES DE DANGER

L'arrêté du 26 septembre 1980 définit cinq zones dangereuses classées selon la gravité probable des dangers que la charge explosive présente pour les personnes et pour les biens (Tableau 8).

La circulaire du 8 mai 1981 précise en outre les effets de pression, de projectiles et thermiques caractérisant ces zones de dangers.

Désignation de la zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Dommages prévisibles aux personnes	Blessures mortelles dans plus de 50% des cas	Blessures graves pouvant être mortelles	Blessures	Possibilités de blessures	Très faibles possibilités de blessures légères
Dégâts prévisibles aux biens	Dégâts très graves	Dégâts importants	Dégâts moyens et légers	Dégâts légers	Dégâts très légers
Seuil de surpression associé (en bar)	> 0,6	> 0,3	> 0,1	> 0,05	*
Energie de projection d'un fragment solide (en J)	> 50	> 20	> 8		
Chaleur dégagée (en kW/m²)	> 15	> 6			

Tableau 8 : Définition des zones de danger selon l'arrêté du 26 septembre 1980 et la circulaire du 8 mai 1981

* La réglementation pyrotechnique n'associe pas de seuil de surpression à la limite supérieure de la zone Z₅. Toutefois, il est d'usage de retenir pour cette limite la valeur de 20 mbar.

Pour les charges explosives de la division de risque 1.1, les zones de dangers sont déterminées au moyen des formules du tableau 9. Ces formules donnent, pour une charge de masse Q exprimées en kilogrammes, la distance R en mètres des limites des zones dangereuses définies pour une charge placée au niveau du sol, à 15°C et 1013 mbar, au-dessus d'un terrain plat et sans protection particulière.

Désignation de la zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Distance R à la charge de masse Q	$0 < R \leq 5.Q^{1/3}$	$5.Q^{1/3} < R \leq 8.Q^{1/3}$	$8.Q^{1/3} < R \leq 15.Q^{1/3}$	$15.Q^{1/3} < R \leq 22.Q^{1/3}$	$22.Q^{1/3} < R \leq 44.Q^{1/3}$

Tableau 9 : Calcul des zones dangereuses pour des matières ou objets de la division 1.1

5.3 DISTANCES D'AMORÇAGE PAR SYMPATHIE ET PAR PROJECTION

Lorsqu'une détonation pourrait entraîner presque simultanément d'autres détonations, Q représente la somme des masses pouvant détoner presque simultanément. On admet que, en terrain plat et sans protection particulière, la détonation d'une masse Q :

- entraîne, dans un rayon $R = 0,5.Q^{1/3}$;
- peut entraîner, dans un rayon $R = 2,4.Q^{1/3}$, s'il y a risque de projections, la détonation presque simultanée de toute masse susceptible de détoner.

5.4 CONDITIONS SUSCEPTIBLES DE MODIFIER LES ZONES DE DANGER

Les formules de détermination des zones dangereuses présentées ci-dessus sont valables en terrain plat et sans protection particulière. L'arrêté du 26 septembre 1980 prévoit toutefois la possibilité de modifier ces zones de dangers pour tenir compte :

- de propriétés particulières de la charge explosive ;
- des conditions d'environnement de cette charge, en particulier de la présence de dispositifs de protection.

La circulaire du 8 mai 1981 précise ces dispositions, et en particulier les modifications à adopter lorsque les installations pyrotechniques sont protégées par des merlons ou des murs de protection.

Ces règles sont valables lorsque le merlon ou le mur de protection peut supporter l'explosion de la charge qu'ils entourent sans percement ni déplacement ou déformation notables de leurs faces qui ne sont pas tournées vers la charge.

Dans ces conditions, dans la zone séparée de la charge par un merlon ou un mur de protection de hauteur H , la gravité des dangers dépend de la hauteur au-dessus du sol et de la distance horizontale D où se trouve la cible de l'arête supérieure du merlon ou mur de protection la plus éloignée de la charge.

Si H dépasse d'au moins 2 m la hauteur du point le plus élevé de la charge, on peut admettre que, à l'intérieur d'une zone qui serait classée Z_i si le terrain était plat et sans protection, lorsque la charge est constituée de matières ou objets de la division 1.1 :

Au-dessous d'un plan P situé à la hauteur H à $D = 0$ et à la hauteur $H - 2$ m à $D = 4.H$:

- si $D \leq 2.H$, les dangers sont assimilables à ceux d'une zone Z_{i+2} ;
- si $2.H \leq D \leq 4.H$, les dangers sont assimilables à ceux d'une zone Z_{i+1} .

En dehors des volumes définis ci-dessus, l'effet de protection du merlon ou du mur de protection est faible ou négligeable.

La figure 16 résume les règles de détermination des distances d'isolement énoncées ci-dessus.

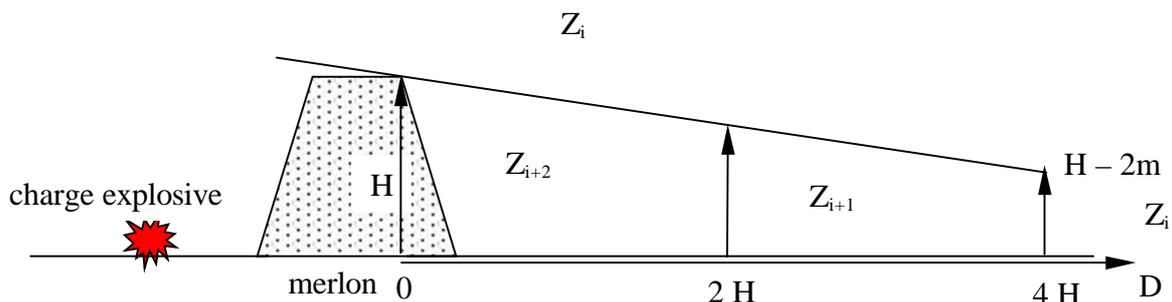


Figure 16 : Prise en compte d'un merlon de protection sur la détermination des zones dangereuses

La présence d'un merlon assure une protection contre les effets de pression et de projection de débris directs. D'après les considérations développées ci-avant, il est possible de retenir que pour les effets de pression :

- un surclassement d'une zone (Z_i devient Z_{i+1}) correspond à une surpression de l'ordre de deux à quatre fois inférieure à celle qui serait observée en champ libre ;
- un surclassement de deux zones (Z_i devient Z_{i+2}) correspond à une surpression de l'ordre de quatre à six fois inférieure à celle qui serait observée en champ libre.

Ces règles ont été utilisées pour corriger de l'influence des merlons l'estimation des niveaux de surpression atteints présentée au chapitre 2.

6. COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES AVEC LES EFFETS DEDUITS DE L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE

6.1 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES A CEUX PREVUS PAR L'ETUDE DE SECURITE

6.1.1 Effets prévus par l'étude de sécurité pyrotechnique de l'atelier 50

Le document intitulé « Etude de sécurité travail – Unité d'encartouchage de dynamite Rollex 50 dans les ateliers n° 49-50-52-52bis » présente une analyse des dangers pyrotechnique de l'atelier 50.

D'après ce document, la charge maximale de l'atelier 50 peut être évaluée à 220 kg de dynamite, répartis de la manière suivante :

- un bac de dynamite de 135 kg,
- un reste dans la trémie de 60 kg,
- un bac de cassage de 25 kg.

Cela correspond à un équivalent TNT de 242 kg en retenant un coefficient d'équivalence TNT de 1 kg de dynamite pour 1,1 kg de TNT.

Les zones de danger en terrain plat sont définies comme suit, par application des formules du tableau 9 :

Désignation de la zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Distance R (m)	31	50	94	137	274

Tableau 10 : Définition des zones de danger pour une explosion de 220 kg de dynamite dans l'atelier 50 en terrain plat.

Les autres ateliers de la dynamiterie peuvent être classés, en fonction de leur distance à l'atelier 50 et de la protection offerte par les merlons, dans les zones de danger Z₁ à Z₅.

Le tableau 11 suivant, extrait de l'étude de sécurité, présente ce classement. Seuls les ateliers et bâtiments visités par l'équipe de l'INERIS et faisant l'objet d'un point dégât ont été rapportés.

Atelier	Zone de danger en terrain nu	Niveau de surpression correspondant (mbar)	Zone de danger en présence de merlons	Niveau de surpression correspondant (mbar)
57	Z ₃	100-300	Z ₃	100-300
35	Z ₄	50-100	Z ₅	< 50
78	Z ₄	50-100	Z ₄	50-100
28	Z ₄	50-100	Z ₅	< 50
19	Z ₄	50-100	Z ₅	< 50
89	Z ₅	< 50	Z ₅	< 50
93-94	Z ₅	< 50	Z ₅	< 50
1	Z ₄	50-100	Z ₅	< 50
18	Z ₃	100-300	Z ₅	< 50
17	Z ₃	100-300	Z ₅	< 50
16	Z ₃	100-300	Z ₅	< 50
49	Z ₁	> 600	Z ₂	300-600
52	Z ₁	> 600	Z ₃	100-300
54	Z ₂	300-600	Z ₂	300-600
52b	Z ₁	> 600	Z ₃	100-300
86	Z ₃	100-300	Z ₄	50-100
Bâtiments extérieurs à la zone pyrotechnique	Z ₅	< 50	Z ₅	< 50

Tableau 11 : Classement des ateliers de la dynamiterie dans les zones de dangers de l'atelier 50, et effets de surpression correspondants

6.1.2 Comparaison des effets observés et de ceux prévus par l'étude de sécurité

6.1.2.1 Transmission de l'explosion aux ateliers voisins

L'étude de sécurité prévoit que l'explosion d'une charge de 220 kg dans l'atelier 50 ne peut se transmettre ni par sympathie, ni par projection, aux charges éventuellement présentes dans les ateliers adjacents du fait de la distance séparant les charges (supérieure à la distance d'amorçage par sympathie) et de la présence de merlons retenant les fragments.

Conformément à ce qui était prévu dans l'étude de sécurité, aucune transmission de l'explosion n'a été observée dans les ateliers voisins. Les merlons de l'atelier 50 ont vraisemblablement retenu la plupart des fragments directs susceptibles d'atteindre les ateliers voisins.

6.1.2.2 Comparaison des effets de surpression

Le tableau 12 suivant présente une comparaison des effets de surpression attendus d'après le classement de zones de l'étude de sécurité avec les effets de surpression déduits du relevé des dégâts présenté au chapitre 2.

Atelier	N° de point dégât	Distance à l'atelier 50 (m)	Zone de danger en terrain nu	Niveau de surpression correspondant (mbar)	Niveau de surpression estimé d'après le relevé des dégâts, éventuellement corrigé de l'influence des merlons	Zone de danger en terrain nu correspondant aux estimations
57	P101	60	Z ₅	100-300	60-90	Z ₄
28	P102	110	Z ₄	50-100	40-60	Z ₄ -Z ₅
19	P103	140	Z ₄	50-100	20	Z ₅
35	P104	120	Z ₄	50-100	Pas de cotation	-
78	P104	120	Z ₄	50-100	Pas de cotation	-
89	P106	150	Z ₅	< 50	Pas de cotation	-
94	P107	165	Z ₅	< 50	10-20	Z ₅
93	P108	160	Z ₅	< 50	10-20	Z ₅
1	P109	120	Z ₄	50-100	20-40	Z ₅
18	P110	90	Z ₃	100-300	40	Z ₅
17	P111	80	Z ₃	100-300	60	Z ₄
16	P112	90	Z ₃	100-300	80-120	Z ₃ -Z ₄
49	P113	25	Z ₁	> 600	100-150	Z ₃
52	P115	20	Z ₁	> 600	100-200	Z ₃
54	P116	40	Z ₂	300-600	120-180	Z ₃
52b	P117	30	Z ₁	> 600	180-360	Z ₂ -Z ₃
86	P119	50	Z ₃	100-300	Pas de cotation	-
Bâtiments extérieurs à la dynamiterie	P125 à P142	> 300	Z ₅	< 50	En moyenne, de 10 à 20 mbar	Z ₅

Tableau 12 : Comparaison des niveaux de surpression estimés aux niveaux de surpression prévus par l'étude de sécurité.

A l'intérieur de la dynamiterie, l'examen de ces comparaisons fait ressortir que les niveaux de surpression déduits du relevé des dégâts sont toujours inférieurs aux niveaux de surpression issus de l'étude de sécurité pyrotechnique de l'atelier 50. En moyenne, les dégâts observés correspondent à des zones de dangers surclassées d'une ou deux zones par rapport aux zones définies par l'étude de sécurité. Il est à rappeler que ces derniers correspondent à la détonation de 220 kg de dynamite, or il semble, d'après l'estimation faite au chapitre 3.1.3 à partir des points dégâts de la dynamiterie, que la charge détonante qui a entraîné les dégâts observés dans la dynamiterie était plutôt de l'ordre de 50 à 100 kg de dynamite.

Ce résultat était attendu, puisque les zones de danger, donc les effets, prévus par l'étude de sécurité pyrotechnique ont été calculées à partir d'une charge de 220 kg de dynamite, supérieure à l'estimation de la charge détonante ayant produit les effets observés dans la dynamiterie. Or, la même méthode de calcul est mise en œuvre, d'une part pour calculer les effets de pression à partir d'une charge de 220 kg et d'autre part, pour déduire la charge ayant réellement détoné des effets de surpression estimés à partir des dégâts observés.

Une discussion de cette méthode de calcul pourra être tentée au regard des effets observés et de la charge réelle susceptible d'avoir produit ces effets (cf. chapitre 6.2).

A l'extérieur de la dynamiterie, les effets observés sont comparables à ceux prévus par l'étude de sécurité (effets de pression inférieurs à 50 mbar, correspondant à la zone Z₅).

De cette comparaison, il peut donc être conclu que, indépendamment des charges détonantes mises en jeu, l'étude de sécurité prévoyait des effets qui se sont révélés plus importants que ceux réellement produits par l'accident, notamment dans la dynamiterie.

6.2 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES AUX EFFETS CALCULES PAR L'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE A LA CHARGE REELLEMENT PRESENTE DANS L'ATELIER 50

6.2.1 Estimation de la charge présente dans l'atelier 50 au moment de l'explosion

La chronologie de l'accident réalisée par l'INERIS et rapportée en Annexe 1 du rapport d'intervention, permet d'établir un inventaire des produits ayant transité par l'atelier 50 dans les heures précédant l'explosion. La quantité de dynamite présente dans l'atelier 50 au moment de l'accident a été évaluée à 580 kg, répartis de la façon suivante :

- deux bacs de dynamite pleins en attente à l'entrée de l'atelier 50 : 260 kg,
- le contenu de l'alimentateur : 150 kg,
- un bac de nettoyage situé au pied du tapis : 90 kg,
- quatre caisses de 20 kg de dynamite FRANGEX entreposées dans l'appentis de l'atelier 50 en attente d'encartouchage : 80 kg
- un bac, au pied de l'alimentateur, contenant le contenu de la filière démontée au moment de l'explosion : quelques kg.

Ces quantités ont été estimées par NITROCHIMIE suite aux différents entretiens avec les opérateurs et les ordres de grandeur ont été confirmés par l'INERIS suite à ses entretiens. L'emplacement de ces différentes charges à l'instant de l'accident est reporté sur la figure 17 suivante.

L'alimentateur et les deux bacs en attente à l'entrée de l'atelier 50 étaient distants d'environ 8 m. Le bac de vidange était situé à environ 2 m de l'alimentateur, tandis que 2 à 3 m séparaient les deux bacs en attente des caisses de FRANGEX.

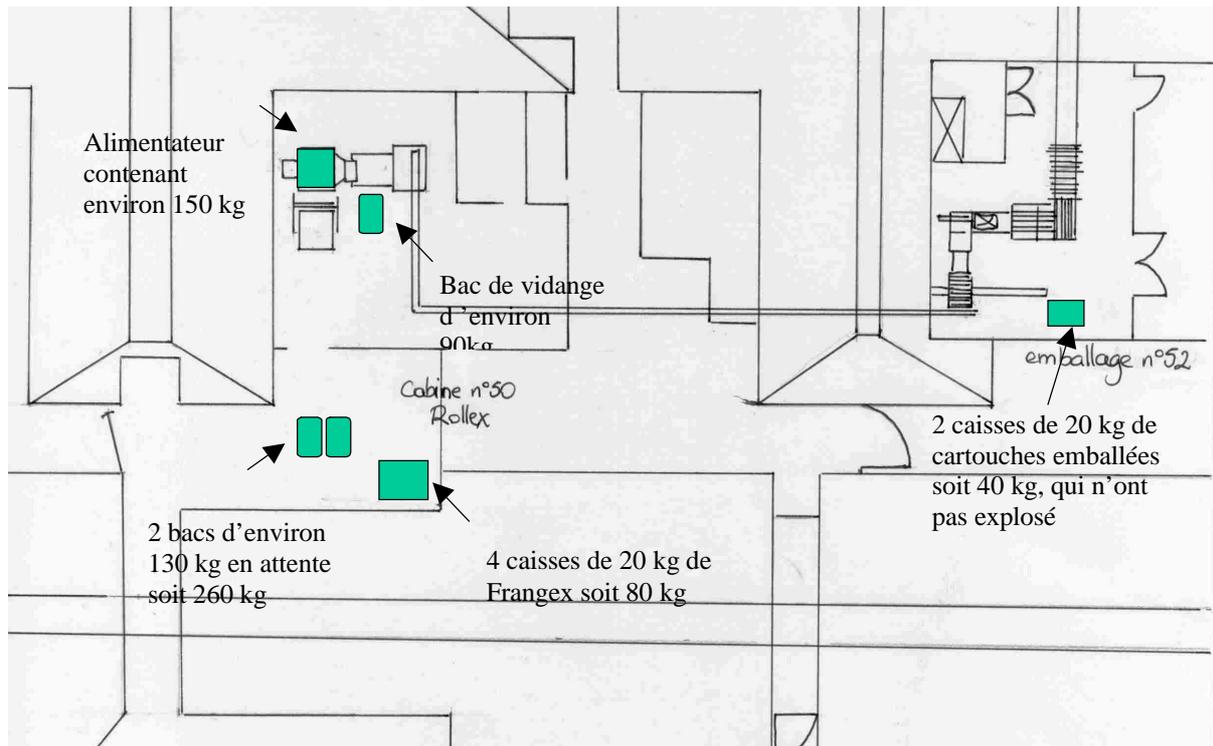


Figure 17 : Emplacement des charges de dynamite présente dans l'atelier 50 au moment de l'accident

6.2.2 Calcul des effets de la détonation de cette charge par application de la réglementation pyrotechnique

A ce stade de l'enquête (voir Annexe 4), on peut retenir qu'une explosion initiale s'est produite au niveau de l'alimentateur, puis s'est transmise aux autres charges présentes dans l'atelier 50.

La réglementation pyrotechnique prévoit, pour une charge de 150 kg (charge présente dans l'alimentateur), que la détonation presque simultanée d'une charge voisine peut se produire :

- jusqu'à une distance de 2 à 3 m par onde de choc,
- jusqu'à une distance de 13 m par projection de fragment.

Compte tenu des distances séparant les différentes charges présentes dans l'atelier 50, une explosion dans l'alimentateur a donc pu se transmettre :

- par sympathie à la charge contenue dans le bac de nettoyage (90 kg),
- par projection de fragments aux deux bacs en attente (260 kg) et aux caisses de FRANGEX (80 kg).

Les charges explosives présentes dans l'atelier 50 se trouvent donc séparées les unes des autres par des distances inférieures à la distance de 13 m qui représente, en application de la réglementation pyrotechnique, la distance en deçà de laquelle l'explosion de l'alimentateur produit la détonation quasi-simultanée de toute charge détonante. Par conséquent il y a lieu, pour calculer les zones de danger liées à une explosion dans l'alimentateur, de retenir comme charge explosive la totalité de la charge contenue dans l'atelier 50, soit 580 kg de dynamite.

Ces zones de danger sont reportées dans le tableau 13 suivant :

Désignation de la zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Distance R (m)	43	69	130	190	379

Tableau 13 : Définition des zones de danger pour une explosion de 580 kg de dynamite dans l'atelier 50 en terrain plat.

Il va de soi que la traduction de ce classement de zones en niveaux de surpression et en effets produits par l'explosion conduirait à des effets plus importants que ceux rapportés dans l'étude de sécurité, et, *a fortiori*, que ceux réellement observés.

6.2.3 Comparaisons des effets calculés aux effets réellement observés

6.2.3.1 Transmission de l'explosion aux ateliers voisins

L'application de la réglementation pyrotechnique prévoit que l'explosion d'une charge de 580 kg dans l'atelier 50 ne peut se transmettre ni par sympathie, ni par projection, aux charges éventuellement présentes dans les ateliers adjacents du fait de la distance séparant les charges (supérieure à la distance d'amorçage par sympathie) et de la présence de merlons retenant les fragments.

Aucune transmission de l'explosion n'a été observée dans les ateliers voisins. Les merlons de l'atelier 50 ont vraisemblablement retenu la plupart des fragments directs susceptibles d'atteindre les ateliers voisins.

6.2.3.2 Comparaison des effets de surpression observés et des effets calculés

Le relevé des dégâts montre clairement que les quatre charges de dynamite présentes dans l'atelier ont détoné :

- un cratère et un large trou dans une paroi en béton ont été formés à l'emplacement de l'alimentateur et du bac de nettoyage ; un élément du fond de la trémie a été retrouvé encastré dans la dalle de béton (observations de Nitrochimie),
- un autre cratère a été retrouvé à l'emplacement des deux bacs en attente,
- des dégâts importants ont été observés sur la paroi en béton à l'emplacement supposé des caisses de FRANGEX et à proximité de l'emplacement des bacs en attente (observations de Nitrochimie).

A ce stade de l'enquête et au regard de la réglementation, il est donc légitime de supposer que l'explosion dans l'alimentateur a entraîné, par sympathie, l'explosion du bac de nettoyage et par projection, l'explosion des deux bacs en attente et des caisses de FRANGEX.

Néanmoins, les effets observés dans le reste du site ne correspondent pas et sont inférieurs à ceux qui seraient produits par la détonation quasi-simultanée de 580 kg de dynamite.

6.2.3.3 Discussion sur les effets observés et les charges ayant détoné

L'estimation de la charge détonante ayant produit ces dégâts serait plutôt, d'après les considérations développées au chapitre 3 :

- de l'ordre de 50 à 100 kg de dynamite d'après les dégâts relevés sur la dynamiterie ;
- de l'ordre de 100 à 300 kg de dynamite d'après les dégâts relevés sur le reste du site.

En conclusion du chapitre 3, la charge ayant produit les effets observés a été évaluée à une centaine de kilogrammes de dynamite, et en tout état de cause, vraisemblablement inférieure à 300 kg. Cette estimation est inférieure à la charge de 580 kg réellement présente dans l'atelier au moment de l'accident.

Cet écart pourrait s'expliquer en considérant que les détonations successives des différentes charges présentes dans l'atelier ont produit des pics de surpression indépendants, qui ne se sont pas cumulés. Cette hypothèse se trouverait confirmée par les témoignages indiquant pour l'explosion, un bruit sourd et « prolongé », indiquant qu'il y a eu plusieurs explosions successives des principales charges.

Suite à cette remarque et dans ce paragraphe, deux approches seront émises pour expliquer cet écart.

En première approche, on peut considérer que deux charges principales étaient présentes dans l'atelier 50 :

- la charge située au niveau de l'alimentateur et du bac de nettoyage d'une part (240 kg)
- la charge constituée par les bacs en attente et les caisses de FRANGEX d'autre part (340 kg).

Entre ces deux charges principales, la transmission de l'explosion se ferait plutôt par projection de fragments, compte tenu de la distance qui les sépare. Par ailleurs, si l'on retient la valeur de 1000 m/s comme vitesse de propagation de la détonation par projection de fragment, alors l'explosion de la seconde charge (bacs en attente + caisses de FRANGEX) se serait produite environ 10 ms après celle de l'alimentateur. Or, la durée de la phase positive d'une telle détonation serait plutôt de l'ordre de 1 ms. Le signal de pression émis serait donc constitué de plusieurs pics de pression se suivant à quelques millisecondes d'intervalle, mais sans se rejoindre, du moins en champ proche.

Ainsi, en première approche, les dégâts observés en champ proche seraient dus, non à l'explosion de 580 kg de dynamite, mais plutôt à la détonation de la plus grosse charge, soit 340 kg.

En champ lointain, pour les points situés à l'extérieur de la dynamiterie, il semble plus difficile de conclure, l'interprétation des dégâts étant difficile (voir chapitre 2). On ne peut exclure qu'à cette distance, les effets de détonations successives se soient cumulés par recombinaison des ondes de pression (phénomène expliqué au paragraphe 3.1.2.). Dans ces conditions, il serait possible de sommer les énergies respectives de ces ondes de pression.

Néanmoins, au regard des deux ordres de grandeur de la masse ayant produit les effets observés (chapitre 3 et rappelés ci-avant), ceux-ci sont inférieurs à la masse de la plus grosse charge présente dans l'atelier 50.

Cet écart pourrait éventuellement s'expliquer par l'incertitude qui entache la prise en compte des merlons de protection dans l'estimation des niveaux de surpression associés aux dégâts observés. En effet, l'approche utilisée pour prendre en compte la présence des merlons est forcément simplifiée, au regard de la complexité de la configuration du site pyrotechnique.

De plus, au regard des interprétations des dégâts correspondant à des effets de pression mentionnés dans la littérature scientifique, il est possible qu'il y ait eu une sous-estimation en champ proche de certains effets de pression.

En seconde approche, si l'on considère que les ordres de grandeur de la masse ayant produit les effets observés sont fiables, et que ceux-ci sont inférieurs à la masse de la plus grosse charge présente dans l'atelier 50, il est possible de faire l'hypothèse que les effets observés en champ proche ne seraient pas dus à l'explosion « en masse » de la plus grosse des deux charges principales, mais à la plus grosse charge ponctuelle présente dans l'atelier 50, soit 150 kg (charge de l'alimentateur). Cela reviendrait à considérer que, d'une part, l'explosion de l'alimentateur et du bac de nettoyage auraient produit des effets qui ne se seraient pas cumulés en champ proche et d'autre part, l'explosion de chacun des bacs en attente et des caisses de FRANGEX auraient produit eux-mêmes des effets dissociés en champ proche.

Cette hypothèse permettrait d'expliquer l'ordre de grandeur de 50 à 100 kg de dynamite déterminé à partir des dégâts relevés dans la dynamiterie. D'autre part, l'ordre de grandeur de 100 à 300 kg de dynamite déterminé à partir des dégâts relevés hors de la dynamiterie s'expliquerait en considérant les effets cumulatifs d'au moins une partie des ondes de pressions produites par l'explosion des différentes masses.

Cette hypothèse ne pourrait être validée que par la mise en œuvre d'outils d'analyse plus sophistiqués, comme des codes de calcul CFD, ou par la réalisation d'essais à échelle réduite sur maquette, ce qui sort du cadre de cette mission.

Cependant, l'examen des dégâts, en particulier des cratères, dans l'atelier 50 permet d'apporter quelques éléments complémentaires.

Les deux cratères étudiés au chapitre 3 correspondraient :

- pour l'un, à l'explosion d'une charge de l'ordre de 68 kg de dynamite (au pied de l'alimentateur)
- pour l'autre, à l'explosion d'une charge comprise entre 110 et 255 kg de dynamite (à l'entrée de l'atelier 50).

Le premier cratère pourrait être rapporté à l'explosion du bac de nettoyage, posé au sol à proximité de l'alimentateur, et dont la charge a été évaluée à 90 kg par Nitrochimie. L'explosion dans la trémie de l'alimentateur aurait entraîné pour sa part, d'après les observations faites par Nitrochimie, la projection du fond de la trémie vers le sol et son encastrement dans la dalle de béton. Les effets des deux charges semblent donc dissociés à l'échelle de l'atelier.

Le deuxième cratère pourrait correspondre à l'explosion d'un ou deux bacs (soit 130 ou 260 kg de dynamite) à l'entrée de l'atelier 50. L'estimation réalisée à partir des dimensions de ce cratère, soit 110 à 255 kg de dynamite, est en bon accord avec ces deux valeurs. Toutefois, la forme plutôt circulaire du cratère laisse penser que celui-ci serait dû à l'explosion d'une seule charge, soit un bac de 130 kg. D'après les observations de Nitrochimie, l'explosion du second bac aurait entraîné des effets dissociés de l'explosion du premier : un autre cratère aurait été découvert sous les gravats du merlon séparant les ateliers 50 et 49.

Enfin, toujours d'après les observations de Nitrochimie, l'explosion des caisses de FRANGEX aurait produit des dégâts dans le merlon distincts de ceux produits par les explosions des deux bacs.

Ces différents points pourraient confirmer l'hypothèse d'explosions de toutes les charges de l'atelier 50 ayant produit, en champ proche, des effets dissociés et non cumulés.

Au-delà des premiers merlons, les effets de réflexion, de diffraction et d'interaction des trains d'ondes sont difficilement interprétables mais semblent conduire, en champ lointain, à une recombinaison d'une partie au moins des signaux de pression.

6.3 CONCLUSION

En conclusion de ce chapitre, il peut être retenu que :

- l'étude de sécurité prévoyait des effets qui se sont révélés plus importants que ceux réellement produits par l'accident, notamment dans la dynamiterie ;
- d'autre part, les effets observés sont inférieurs à ceux qui seraient produits par la détonation quasi-simultanée de toutes les charges présentes dans l'atelier 50 au moment de l'accident (580 kg de dynamite).

Les écarts entre les effets observés en champ proche, les effets observés en champ lointain, et les charges réellement présentes dans l'atelier pourraient s'expliquer à l'aide des théories sur la propagation des ondes de choc qui prédisent que des trains d'onde dissociés en champ proche peuvent se recomposer et conduire à des effets cumulés en champ lointain.

7. EFFETS SUR LES PERSONNES

Ce chapitre est consacré aux effets sur les personnes. La démarche a priori pourrait traiter des points suivants :

- la description des déclarations d'accident
- les effets typiques sur l'homme des surpressions
- la caractérisation de certains effets observés sur les victimes
- un rappel des seuils d'effets retenus dans la réglementation pyrotechnique
- rappel des effets attendus sur l'homme prévus dans l'étude de sécurité dans les différents ateliers où des victimes étaient présentes
- comparaison des effets observés sur les victimes aux effets attendus dans l'étude de sécurité
- comparaison des effets observés sur les victimes aux effets calculés par la réglementation pyrotechnique à la charge réellement présente

7.1 DESCRIPTION DES DECLARATIONS D'ACCIDENT

L'INERIS a reçu les 13 déclarations d'accident du travail recueillies par Nitrochimie auprès de ses salariés. L'une des personnes décédées présente dans l'atelier 50 au moment de l'explosion était intérimaire et sa déclaration d'accident du travail ne nous est pas parvenue.

Le tableau suivant synthétise quelques informations extraites de ces déclarations d'accident du travail.

	Age (années)	Ancienneté / embauche (années)	Profession	Position au moment de l'explosion	Effets observés (siège et nature des lésions) et circonstances
1	46	25	Conducteur d'installation	Atelier Nitrate fuel (82)	Enflure au genou (s'est jeté à terre suite à l'explosion) Bourdonnement au niveau des oreilles
2	52	23	Conducteur d'installation	Atelier Nitrate fuel (82)	Douleur à la main gauche après avoir été projeté à terre par la déflagration
3	37	15	Conducteur machine polyvalente	Cabine 10, poste d'emballage	Douleur au dos après avoir été projeté à terre par le souffle de l'explosion et s'être cogné contre un pilastre en béton
4	45	23	Opérateur polyvalent	EGC, zone pyrotechnique à proximité des dépôts	Choc psychologique

5	38	-	Conducteur, régleur machine automatique	EGC (bâtiment 8,9, 10)	Malaise
	Age (années)	Ancienneté / embauche (années)	Profession	Lieu au moment de l'explosion	Effets observés (siège et nature des lésions) et circonstances
6	40	3	Conducteur machine polyvalente	Cabine 47	Choc psychologique
7	38	17	-	Rollex 20	Egratignures et hématome à la main gauche après avoir reçu le plafond sur la tête et à la main gauche Il a été choqué (il devait se rendre à la Rollex 50)
8	38	16	Opérateur malaxeur polyvalent	Pétrin au 43 bis	Choc psychologique
9	39	16	Conducteur, machine automatique	Réfectoire, vestiaire	Choc psychologique (il devait se rendre à l'atelier 50)
10	36	16	Opérateur malaxeur polyvalent	Extérieur au site	Choc psychologique après avoir été rappelé comme pompier
11	48	16	Opérateur entretien	Allée accès atelier 50	Décès Il faisait le ramassage des poubelles
12	42	17	Professionnel d'entretien	Atelier 49 au droit du tunnel d'accès à l'atelier 50	Décès Après une intervention à l'atelier 47, il repartait à l'atelier mécanique, il a été pris par le souffle de l'explosion
13	54	29	Conducteur, régleur machine automatique	Rollex 50	Décès Explosion de son atelier de travail
14	-	-	Intérimaire	Atelier 50	Décès Explosion de son atelier de travail

Tableau 14 : Synthèse des déclarations d'accident du travail de la société Nitrochimie

Le relevé des effets sur les personnes consignés dans les déclarations d'accident du travail, permet de constater qu'en dehors des opérateurs décédés dans les ateliers 49 et 50, aucun autre opérateur n'a été blessé de manière irréversible. Ce constat rappelle l'efficacité de la protection apportée par les merlons.

L'emplacement des victimes d'accident du travail est reporté sur le plan en figure 18.

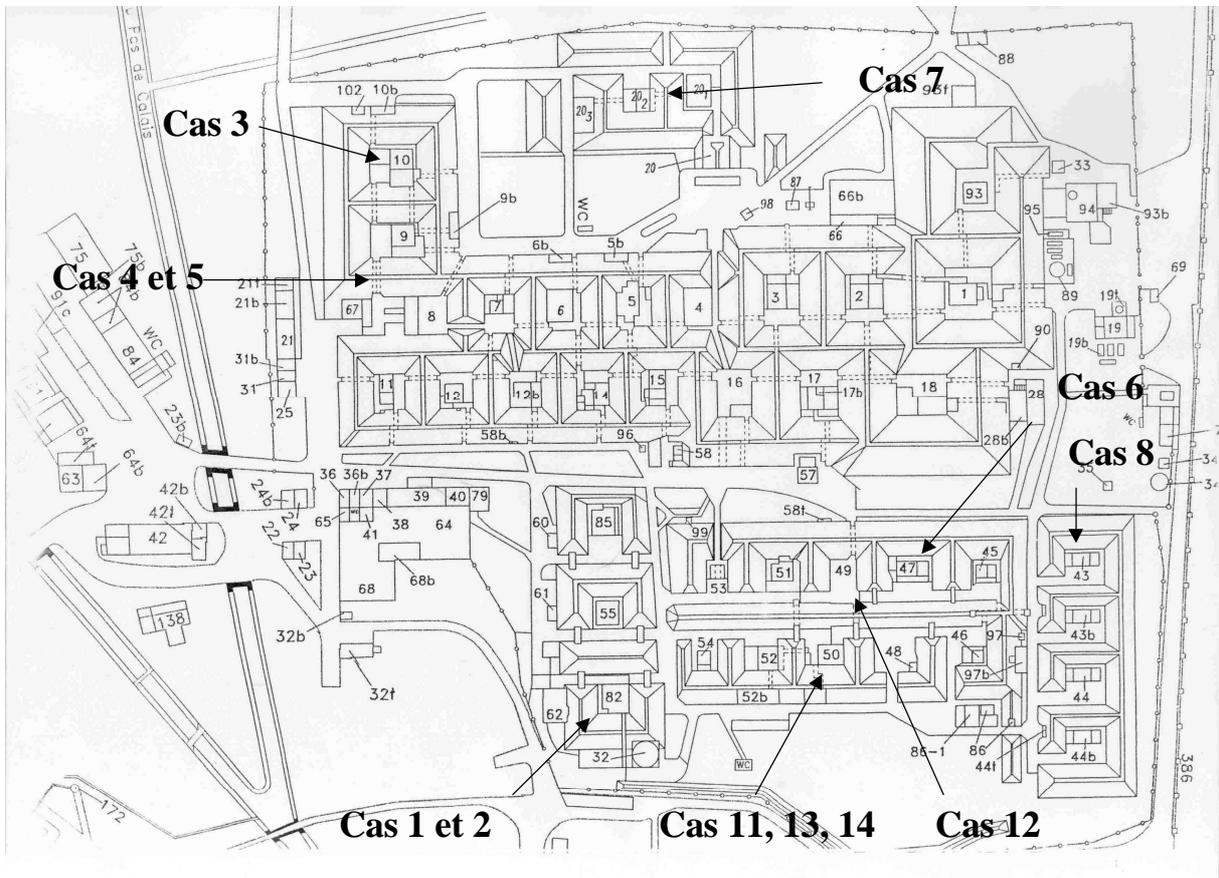


Figure 18 : Position des victimes au moment de l'explosion

7.2 LES EFFETS TYPIQUES SUR L'HOMME DES SURPRESSIONS

Le tableau suivant a été réalisé à partir d'une synthèse des informations reportées dans différents ouvrages de la littérature scientifique (Lannoy, 1984 abaque TM5-1300 du Department of the Army, the Navy and Air force, INRS, 1994, Baker 1983) et des sources réglementaires.

Effet sur l'homme	seuils	source
Début de propulsion de projectiles	20 mbar	TM5-1300
Détérioration des tympans	30 mbar	TM5-1300
Effets irréversibles	50 mbar	Réglementation ICPE
Effets létaux	140 mbar	Réglementation ICPE
Peuvent être supportés sans danger	200 mbar	INRS
Peuvent entraîner la rupture des tympans	300 mbar	INRS
Seuil de rupture des tympans	350 mbar	Baker
Limite de ce qui peut être supporté (avec protection des oreilles)	500 mbar	INRS
Seuil de létalité par dommages aux poumons	700 mbar	Baker
Peuvent provoquer des lésions graves aux oreilles et aux poumons	1 bar	INRS
Eclatement des poumons chez l'homme	1 bar	TM5-1300
Peut être mortel	5 bars	INRS

Tableau 15 : Seuils d'effets des ondes de pression (pics) sur l'homme

D'autres données en terme d'impulsion peuvent être utilisées (Richmond et Fletcher, 1971, cité par Lees, 1996). Elles sont couplées avec des vitesses de déplacement du corps, qui peuvent être occasionnés par les ondes de pression :

Effets sur les personnes	Impulsion (Pa.s)	Vitesse maximale de déplacement du corps
Pas de déplacement ou renversement	8	0,1 m/s
50 % des personnes renversées	57	0,6 m/s
1% blessures sérieuses par renversement	372	4 m/s

Tableau 16 : Seuils d'effets des ondes de pression sur l'homme en terme d'impulsion et vitesses de déplacement du corps

D'autres seuils typiques d'effets sur les personnes lors de déplacement de corps suite à une onde pression peuvent être utilisés (Glasstone, 1962, cité par Lees, 1996) :

	Effets sur les personnes	vitesse d'impact du corps en mètre/secondes
Impact jambes tendues	Globalement sans blessures : pas d'effet significatif	< 2,5 m/s
	Globalement sans blessures : douleurs	2,5 à 3 m/s
	Seuil des blessures	3 à 3,7 m/s
	Seuil des fractures	4 à 4,9 m/s
Impact assis	Globalement sans blessures : pas d'effet significatif	< 2,5 m/s
	Globalement sans blessures : douleurs	2,5 à 4,3 m/s
	Seuil des blessures	4,6 à 7,9 m/s
Fracture du crâne	Globalement sans blessures : pas d'effet significatif	3 m/s
	Seuil des fractures	4 m/s
	50 % de fractures	5,5 m/s
	Près de 100% de fractures	7
Impact de tout le corps	Globalement sans blessures : pas d'effet significatif	3 m/s
	Seuil de létalité	6,4 m/s
	50 % de létalité	16,5 m/s
	Près de 100% de létalité	42 m/s

Tableau 17 : Seuils d'effets sur l'homme en terme de vitesse d'impact du corps

7.3 RAPPEL DES SEUILS D'EFFETS RETENUS DANS LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE

L'arrêté du 26 septembre 1980 définit cinq zones dangereuses classées selon la gravité probable des dangers que la charge explosive présente pour les personnes et pour les biens (Tableau 18).

Désignation de la zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Dommages prévisibles aux personnes	Blessures mortelles dans plus de 50% des cas	Blessures graves pouvant être mortelles	Blessures	Possibilités de blessures	Très faibles possibilités de blessures légères
Seuil de surpression associé (en bar)	> 0,6	> 0,3	> 0,1	> 0,05	*

Tableau 18 : Seuils d'effets retenus dans la réglementation pyrotechnique

7.4 CARACTERISATION DE CERTAINS EFFETS OBSERVES SUR LES VICTIMES

Au vu des données disponibles consignées dans les déclarations d'accident du travail de la société NITROCHIMIE et rassemblées dans le tableau 14, il n'est pas possible d'interpréter les effets tels que les chocs psychologiques, malaise et décès.

Pour le cas 7, il apparaît que ces blessures sont liées à un effet indirect de l'explosion à savoir la chute du plafond. De fait, cet effet est lié à un seuil d'effet sur la structure du bâtiment et non directement sur la personne.

Seuls les cas 1, 2, 3 qui correspondent à un renversement des personnes, pourraient faire l'objet d'une comparaison des effets observés avec les seuils typiques relevés dans la littérature scientifique.

Cependant, au vu de la déclaration d'accident du travail du cas 1, la victime a déclaré s'être jeté à terre suite à l'explosion. Ainsi cet acte était potentiellement volontaire et ne peut être directement attribué à un déplacement sous l'effet de l'onde de pression.

Seuls les cas 2 et 3 (aux ateliers 82 et 10) correspondent à un effet direct de l'onde de pression sur les personnes, à savoir leur renversement au sol. Dans les deux cas, les personnes souffrent de douleurs à la main et au dos mais n'ont pas déclaré de blessures particulières.

Dans la littérature, ce type d'effet n'est pas caractérisé par un seuil de surpression, mais par des vitesses d'impact du corps sur une surface ou par des impulsions reçues.

Ainsi ce type d'effet peut être relié à une vitesse d'impact du corps sur le sol inférieure à 3 à 4 m/s, ou encore à une impulsion reçue de l'ordre de quelques dizaines de Pa.s.

Remarque :

Au regard des seuils d'effets typiques relevés dans la littérature et afin d'améliorer l'analyse, il aurait été nécessaire de disposer des informations relatives à la présence d'autre personnel dans la dynamiterie et en particulier dans les ateliers où du personnel a été affecté par les effets de l'explosion.

En effet, du personnel était présent dans des ateliers proches de l'atelier 50 comme en atteste l'emplacement de certains opérateurs n'ayant pas été affectés par l'explosion (cf. figure 19, croix bleues). L'emplacement des personnes décédées (croix rouges) et des personnes ayant fait des déclarations d'accident du travail (croix vertes) est précisé.

En particulier, certaines personnes très proches de l'explosion à l'atelier 47 n'ont pas subi de dommages physiques.

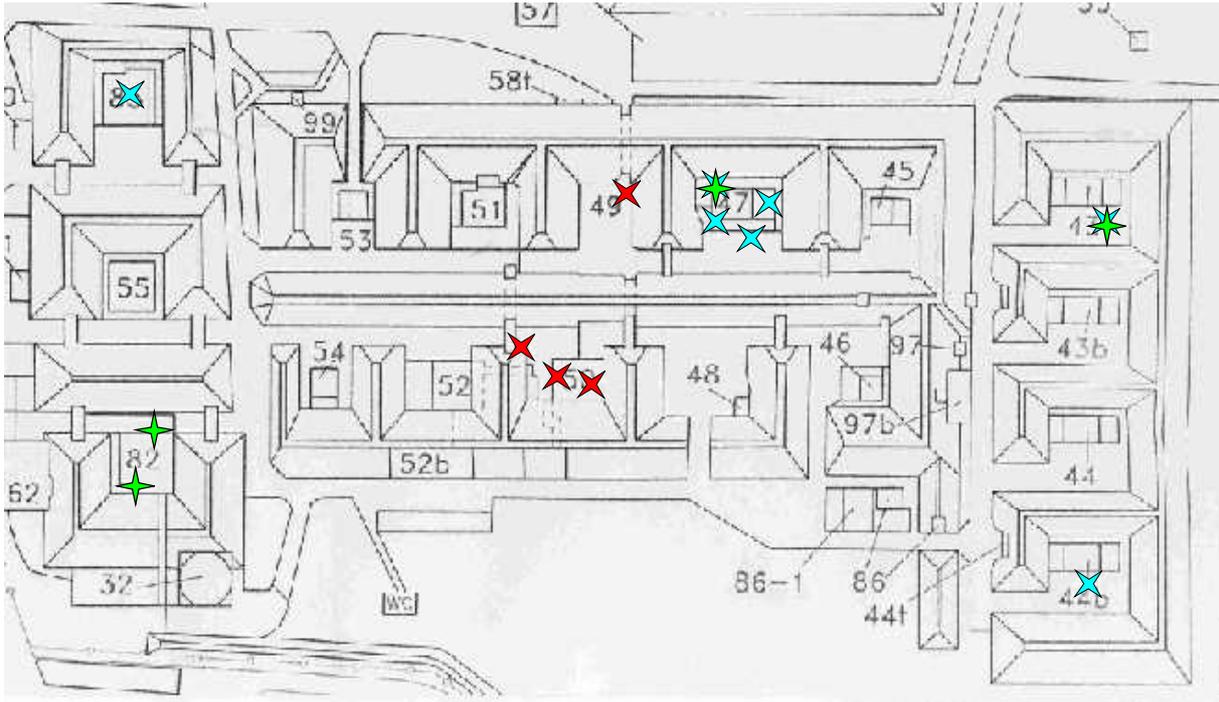


Figure 19 : Emplacement du personnel au moment de l'explosion (décès, déclarations d'accident du travail et pas d'effets déclarés)

7.5 RAPPEL DES EFFETS ATTENDUS SUR L'HOMME PREVUS DANS L'ETUDE DE SECURITE DANS LES DIFFERENTS ATELIERS OU DES VICTIMES ETAIENT PRESENTES

L'étude de sécurité de Nitrochimie a estimé les effets potentiels d'une explosion de 242 kg de TNT et a proposé le classement suivant des ateliers de la dynamiterie en application de la réglementation pyrotechnique. Seuls les ateliers, où des victimes ont été déclarées, sont répertoriés dans le tableau 19 suivant.

Atelier	Zone de danger en présence de merlons	Niveau de surpression correspondant (mbar)	Domages prévisibles aux personnes
50	Z ₁	> 600	Blessures mortelles dans plus de 50 % des cas
49	Z ₂	300-600	Blessures graves pouvant être mortelles
47	Z ₃	100-300	Blessures
43 bis	Z ₅	< 50	Très faibles possibilités de blessures légères
44 bis	Z ₅	< 50	Très faibles possibilités de blessures légères
82	Z ₅	< 50	Très faibles possibilités de blessures légères
85	Z ₅	< 50	Très faibles possibilités de blessures légères
10 et 20	non coté, hors zones (Z ₅ en terrain plat)		

Tableau 19 : Classement des ateliers de la dynamiterie dans les zones de dangers de l'atelier 50, et dommages prévisibles aux personnes correspondants

7.6 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES SUR LES VICTIMES AUX EFFETS ATTENDUS DANS L'ETUDE DE SECURITE

Le tableau suivant établit une comparaison des effets observés sur les personnes (à partir des déclarations d'accident du travail) avec les effets prévus dans l'étude de sécurité.

Atelier	Zone de danger en présence de merlons	Dommmages prévisibles aux personnes (Etude de sécurité)	Effets observés
50	Z ₁	Blessures mortelles dans plus de 50% des cas	3 décès
49	Z ₂	Blessures graves pouvant être mortelles	1 décès
47	Z ₃	Blessures	Choc psychologique pour l'une des 4 personnes présentes
43 bis	Z ₅	Très faibles possibilités de blessures légères	Choc psychologique
44 bis	Z ₅	Très faibles possibilités de blessures légères	Pas de déclaration d'accident du travail pour la personne présente
82	Z ₅	Très faibles possibilités de blessures légères	Cas 1 : Enflure au genou (s'est jeté à terre suite à l'explosion) et bourdonnement au niveau des oreilles Cas 2 : Douleur à la main gauche après avoir été projeté à terre par la déflagration
85	Z ₅	Très faibles possibilités de blessures légères	Pas de déclaration d'accident du travail
10	non coté, hors zones (Z5 en terrain plat)		Cas 3 : Douleur au dos après avoir été projeté à terre par le souffle de l'explosion et s'être cogné contre un pilastre en béton Cas 5 : malaise
20	non coté, hors zones (Z5 en terrain plat)		Cas 7 : Egratignures et hématome à la main gauche après avoir reçu le plafond sur la tête et à la main gauche Il a été choqué (il devait se rendre à la Rollex 50)

Tableau 20 : Dommmages aux personnes prévus dans l'étude de sécurité et dommmages observés

Les dommmages observés sur les personnes présentes dans les ateliers 50, 49 et 82 correspondent dans une certaine mesure à ce que l'étude de sécurité prévoyait. Les personnes décédées se trouvaient en zone Z₁ et Z₂.

Pour l'atelier 47, des blessures pouvaient être attendues et seul un choc psychologique a été déclaré par l'une des 4 personnes présentes. La protection des merlons a été efficace.

Parmi les personnes qui se trouvaient dans la zone Z5 (très faibles possibilités de blessures légères), quelques-unes ont subi des dommages très légers (douleurs suite à un renversement).

De manière générale, les effets observés sur les personnes ne sont pas supérieurs à ceux qui étaient prévus dans l'étude de sécurité.

7.7 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES SUR LES VICTIMES AUX EFFETS CALCULES PAR APPLICATION DE LA REGLEMENTATION PYROTECHNIQUE A LA CHARGE REELLEMENT PRESENTE

Cette question pourrait présenter un intérêt si les effets observés sur les personnes étaient supérieurs à ceux prévus dans l'étude de sécurité, ce qui n'est pas le cas.

Les effets observés ne sont pas supérieurs à ceux prévus par l'étude de sécurité et à ceux qui auraient été attendus en application de la réglementation pyrotechnique à la charge réellement présente.

7.8 COMPARAISON DES EFFETS OBSERVES AUX SEUILS DE LA REGLEMENTATION ICPE

La réglementation ICPE préconise les deux seuils d'effets de surpression suivants :

- 50 mbar pour les effets irréversibles
- 140 mbar pour les effets létaux.

Le seuil des effets irréversibles est identique à celui qui définit la zone Z₄ dans la réglementation pyrotechnique.

Le seuil des effets létaux se trouve dans la zone Z₃.

Aucune blessure irréversible n'a été recensée dans les déclarations d'accident du travail.

Les quatre personnes décédées se trouvaient en zone Z₁ et Z₂ ; elles se trouvaient donc dans le périmètre des effets létaux définis par la réglementation ICPE.

Les quatre personnes présentes à l'atelier 47 en zone Z₃ (100 à 300 mbar), donc à la limite des effets létaux, n'ont pas déclaré de blessures.

De manière générale, les effets observés sur les personnes ne sont pas supérieurs à ceux qui pourraient être attendus en application de la réglementation ICPE.

8. CONCLUSIONS

La DPPR a sollicité l'INERIS pour lui apporter un soutien technique dans le cadre de l'enquête administrative déclenchée après le sinistre du 27 mars 2003 survenu sur le site de la société NITROCHIMIE à Billy-Berclau (62).

Dans ce cadre, l'INERIS a notamment fait un relevé de certains des dommages dus au sinistre. Ce relevé est consigné dans le présent rapport. Il permet d'établir le champ estimé des surpressions aériennes qui ont pu être ressenties dans l'environnement du site.

L'analyse du champ estimé de surpressions aériennes permet d'estimer en première approximation qu'une explosion de l'ordre d'une centaine de kilogrammes de dynamite est nécessaire pour aboutir à des effets analogues à ceux réellement ressentis.

En tout état de cause, les effets observés ne correspondraient pas à l'explosion d'une charge de plus de 300 kg de dynamite.

Cette estimation cache une forte disparité des observations :

- l'analyse des points dégâts de la dynamiterie, en prenant en compte la protection offerte par les merlons conduit à une estimation de l'ordre de 50 à 100 kg de dynamite ;
- l'analyse des points dégâts en dehors de la dynamiterie conduit à une estimation de l'ordre de 100 à 300 kg de dynamite.

Ces estimations suggèrent une autre interprétation que l'explosion unique d'une masse donnée.

En champ proche (dynamiterie), cet écart pourrait éventuellement s'expliquer par l'incertitude qui entache la prise en compte des merlons de protection dans l'estimation des niveaux de surpression associés aux dégâts observés. En effet, l'approche utilisée pour prendre en compte la présence des merlons est forcément simplifiée, au regard de la complexité de la configuration du site pyrotechnique.

En champ lointain (hors de la dynamiterie), cette disparité s'explique essentiellement à partir des difficultés d'interprétation des dommages observés qui sont des dégâts du type bris de vitre ou déplacements de tuiles et où la finesse de l'analyse est limitée. De plus, à des distances élevées, des phénomènes parasites comme l'influence du vent, de la recombinaison des ondes, de la réflexion des ondes sur les basses couches de l'atmosphère sont possibles.

Les données relatives aux distances de projection de débris n'ont pu être exploitées.

Les charges détonantes estimées d'après les dimensions de deux cratères sont en bon accord avec les charges réellement présentes d'après les témoignages recueillis.

L'étude de sécurité prévoyait des effets qui se sont révélés plus importants que ceux réellement produits par l'accident, notamment dans la dynamiterie.

Les effets observés sont inférieurs à ceux qui seraient produits par la détonation quasi-simultanée de toutes les charges présentes dans l'atelier 50 au moment de l'accident (580 kg de dynamite), en application de la réglementation pyrotechnique.

La charge totale de 580 kg est en réalité composée de cinq charges distinctes, dont les explosions successives ont, semble-t-il, été provoquées, soit par sympathie, soit par projection de fragment à la suite d'une explosion initiale dans l'alimentateur. Ces différentes explosions au sein de l'atelier 50 ont, en conséquence, émis des trains d'ondes dissociés.

Les écarts entre les effets observés en champ proche, les effets observés en champ lointain, et les charges réellement présentes dans l'atelier pourraient s'expliquer à l'aide des théories sur la propagation des ondes de choc qui prédisent que des trains d'onde dissociés en champ proche, peuvent se recomposer et conduire à des effets cumulés en champ lointain.

L'hypothèse, selon laquelle, les effets en champ proche seraient dus à l'explosion de l'une des cinq charges et les effets en champ lointain, seraient dus à la recombinaison d'au moins une partie des signaux de pression émis par les différentes charges, semble en accord avec l'analyse des dommages.

Cette hypothèse ne pourrait être validée que par la mise en œuvre d'outils d'analyse plus sophistiqués, comme des codes de calcul CFD, ou par la réalisation d'essais à échelle réduite sur maquette, ce qui sort du cadre de cette mission.

L'étude des effets sur les personnes est basée sur les treize déclarations d'accident du travail des employés de Nitrochimie.

Ce relevé permet de constater qu'en dehors des quatre opérateurs décédés dans les ateliers 49 et 50, aucun autre opérateur n'a été blessé de manière irréversible. Ce constat souligne l'efficacité de la protection apportée par les merlons.

De manière générale, les effets observés sur les personnes ne sont pas supérieurs à ceux qui étaient prévus dans l'étude de sécurité, ni à ceux qui auraient été attendus en application de la réglementation pyrotechnique à la charge réellement présente. Ils ne sont également pas supérieurs à ceux qui pourraient être attendus en application de la réglementation ICPE.

9. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baker W.E., Cox P.A., Westin P.S., Kulesz J.J., Strehlow R.A. (1983)
Explosion Hazards and Evaluation
Fundamental Studies in Engineering 5, Elsevier

BIT (1993)
La maîtrise des accidents majeurs : guide pratique
BIT, 1993, Genève

Clancy V.J. (1972)
Diagnostic Features of Explosion Damage
6 th international Meeting on Forensic Sciences, Edinburgh.

INRS (1994)
Les mélanges explosifs : gaz et vapeur ; poussières et solides
INRS ED355

INERIS (2001)
Première analyse des dommages observés à Toulouse après le sinistre du 21 Septembre 2001
survenu sur le site AZF de la société Grande Paroisse
Rapport intermédiaire pour l'Inspection Générale de l'Environnement

Lannoy A. (1984)
Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre
Bulletin de la direction des études et recherches n° 4.

Lechaudel J.F. and Mouilleau Y. (1995)
Assessment of an accidental vapour cloud explosion - A case study : Saint Herblain, October
the 7th 1991, France
Proceedings of the 8 th International Loss Prevention Symposium, pp 333-348, Antwerp,
Belgium.

Lees F.P. (1996)
Loss Prevention in the Process Industries
Butterworth-Heinemann, Oxford

Mouilleau Y. and Dechy N. (2002)
Initial analysis of the damage observed in Toulouse after the accident that occurred on 21st of
September 2001 on the AZF site of the Grande Paroisse company
Proceedings of the 2002 ESMG-Explorisk Symposium, Nuremberg, Germany

Michaëlis P., Hodin A., Lechaudel J.F., Mavrothalassitis G. and Mejean P. (1995)
Methods applied to investigate the major UVCE that occurred in the TOTAL refinery's Fluid
Catalytic Cracking Unit at La Mède, France
Proceedings of the 8 th International Loss Prevention Symposium, pp 365-376, Antwerp,
Belgium.

Winter J. (1986)

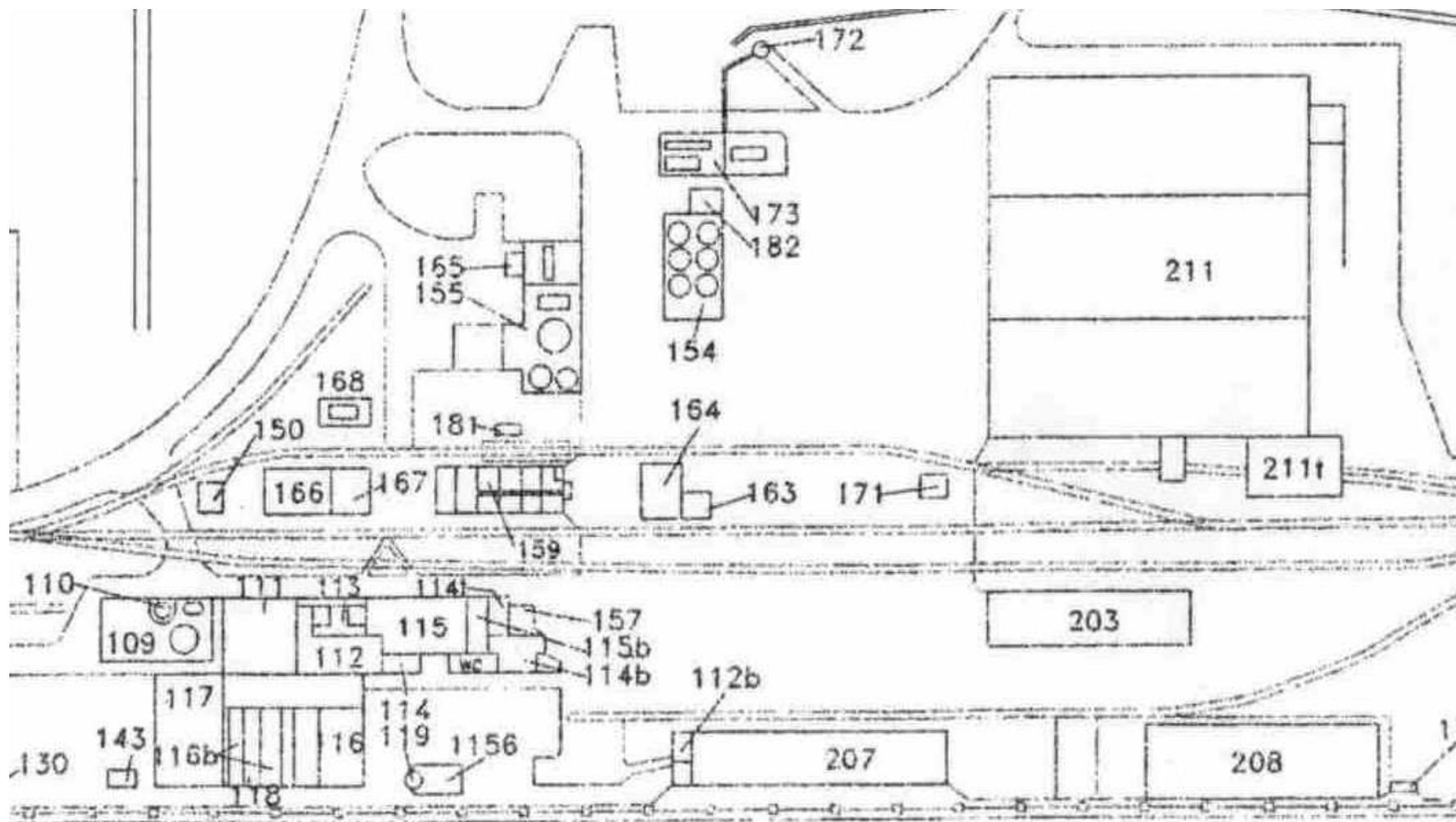
Note sur l'accident de Saint Sylvestre.

Document du CERCHAR référencé EXP-JWi/MB C 363/ ter/1 150-78-1300.

10. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
1	Plans détaillés des zones relevées	3 pages
2	Relevé complet des dommages consigné sur un CD-ROM contenant des fichiers où sont notamment reportées les prises de vue faites par les agents de l'INERIS	CD-ROM

ANNEXE 1 : PLANS DETAILLES DES ZONES RELEVÉES



Annexe 1 (3/3) : Plan détaillé d'une seconde zone de Nitrochimie hors de la dynamiterie

ANNEXE 2 : RELEVÉ COMPLET DES DOMMAGES

Cette annexe n'est pas un document papier mais un CD-ROM contenant des fichiers où sont notamment reportées les prises de vue faites par les agents de l'INERIS