INERIS

INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Explosion d'un silo de céréales BLAYE (33)

Rapport de synthèse

Ministère de l'Aménagement du Territoire
et de l'Environnement

F. MASSON

juillet 1998

Explosion d'un silo de céréales

BLAYE (33)

Rapport de synthèse

Ministère de l'Aménagement
du Territoire et de l'Environnement

F. MASSON

Département Evaluation, Modélisation et Analyse des Risques

Personnes ayant participé à l'étude

F. MASSON - J.F. LECHAUDEL

juillet 1998

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

INTRODUCTION

Le mercredi 20 août 1997, un accident survenait au sein des installations de stockage de céréales de la Société d'Exploitation Maritime Blayaise (SEMABLA), à Blaye (département de la Gironde). Cet accident a affecté principalement un silo vertical de stockages de céréales. L'effondrement d'une grande partie de cette installation, notamment sur des locaux administratifs et techniques, a fait 12 victimes (11 morts et 1 blessé).

Dans le cadre de l'enquête administrative inhérente à tout accident de ce type, l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) a été chargé par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de produire une expertise en appui de la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) Aquitaine.

Pour mémoire, le rapport INERIS relatif à cette expertise, intitulé « Explosion d'un silo à céréales - Blaye (33) », est daté du 27/04/1998.

Le présent document constitue une synthèse de l'analyse de cet accident. Il se présente ainsi :

- Principales caractéristiques des installations de la SEMABLA (chapitre 1),
- Dommages observés et constats (chapitre 2),
- Scénarios envisageables, recherche des causes (chapitre 3),
- Enseignements issus de l'analyse de l'accident de Blaye (chapitre 4).

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

TABLE DES MATIÈRES

1. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS 4

1.1. Le site SEMABLA et son environnement 4

1.2. Description des installations de la SEMABLA 4

1.3. Description du silo vertical 6

2. DOMMAGES OBSERVÉS ET CONSTATS 8

2.1. Bilan humain 8

2.2. Dommages matériels 9

2.3. Projectiles 11

2.4. Constats relatifs a l'activité au moment du sinistre 11

3. SCÉNARIOS ENVISAGEABLES, RECHERCHE DES CAUSES 11

3.1. Contexte d'exploitation du silo 11

3.2. Déroulement du phénomène d'explosion 12

3.3. Recherche des causes du sinistre 14

4. ENSEIGNEMENTS ISSUS DE L'ANALYSE DE L'ACCIDENT 14

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

1. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS

1.1. LE SITE SEMABLA ET SON ENVIRONNEMENT

Les installations de la SEMABLA sont implantées sur le domaine portuaire de la commune de Blaye, situé sur la rive droite de l'estuaire de la Gironde, à une cinquantaine de kilomètres au nord-ouest de Bordeaux. Il s'agissait de l'un des plus importants complexes de stockage de céréales du département de la Gironde. La capacité totale de stockage était d'environ 130 000 tonnes de céréales, 90 000 tonnes en stockage à plat dans des hangars et 40 000 tonnes en silo vertical.

Sur ce même domaine portuaire, la SCREG (Société Chimique Routière et d'Entreprise Générale) dispose de bacs de stockage qui contiennent notamment de la soude caustique, de l'huile aromatique et de la mélasse. En terme d'éloignement vis-à-vis du silo vertical, la limite de propriété de la SCREG, matérialisée par une murette, se situait à 25 m des cellules, le bac le plus proche à environ 40 m et les bâtiments administratifs à quelques 210 m.

Par ailleurs, les premières habitations se situaient à environ 230 m du silo.

1.2. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA SEMABLA

La société SEMABLA a comme principale activité la manutention et le stockage des céréales destinées à l'exportation maritime, la réception étant assurée par camions de façon quasi exclusive. Elle disposait, pour ce faire, d'un silo vertical et de magasins de stockage à plat (hangars à ossature métallique).

Le silo vertical comportait notamment un ensemble compact constitué de 3 rangées de cellules de section circulaire, en béton armé. Le nombre total de ces cellules était de 44. La capacité totale de stockage de cet ensemble était de 47 240 m^3, soit environ 37 200 tonnes en blé.

Deux appendices verticaux en béton, qui culminaient à environ 53 m au dessus du niveau du sol, étaient disposés à chaque extrémité du silo. L'appendice nord était la partie sommitale de la tour de manutention de ce silo. L'appendice sud, quant à lui, était installé au sommet des cellules de l'extrémité sud du silo. Il abritait principalement un calibreur et un ensemble de deux nettoyeurs-séparateurs. Ces deux appendices étaient reliés par une galerie sur-cellules, à parois béton. En partie basse, l'ensemble des fûts des cellules sous musoirs constituait l'espace sous-cellules.

Une tour d'ossature métallique abritant des séchoirs à maïs se trouvait au sud du silo vertical, à quelques mètres des dernières cellules.

Le stockage de céréales pouvait se faire également dans différents hangars à charpente métallique répartis sur le site. Un de ces hangars (hangar FGH) était relié au silo vertical. La liaison avait été mécanisée avec la mise en place, notamment, de deux transporteurs à bande (repérés TB5 et TB6) fonctionnant dans les deux sens.

Un abri, construit au pied des cellules verticales du silo, côté Gironde, abritait des opérations d'ensachage, spécialité de ce site (envois notamment dans le cadre d'opérations humanitaires).

Les locaux administratifs et techniques, qui abritaient notamment la salle de contrôle, étaient situés au nord, en grande partie dans le prolongement des cellules de stockage et de la tour de manutention nord.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

L'implantation des différents bâtiments et installations mentionnés précédemment (silo vertical, hangars,...) est représentée sur la figure 2.

Sur le site de Blaye, la SEMABLA disposait d'un effectif de 21 personnes attachées au fonctionnement des installations.

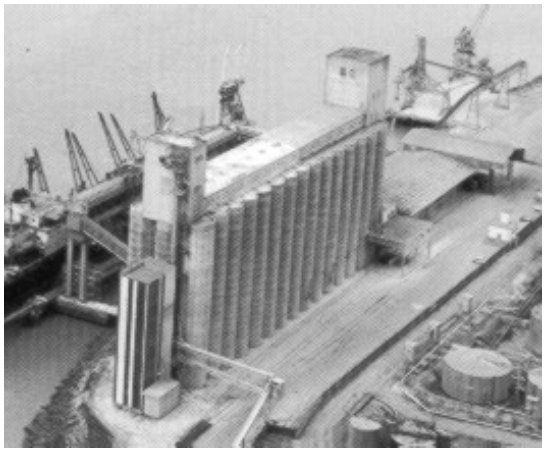


Figure 1 : Vue du silo vertical avant l'accident

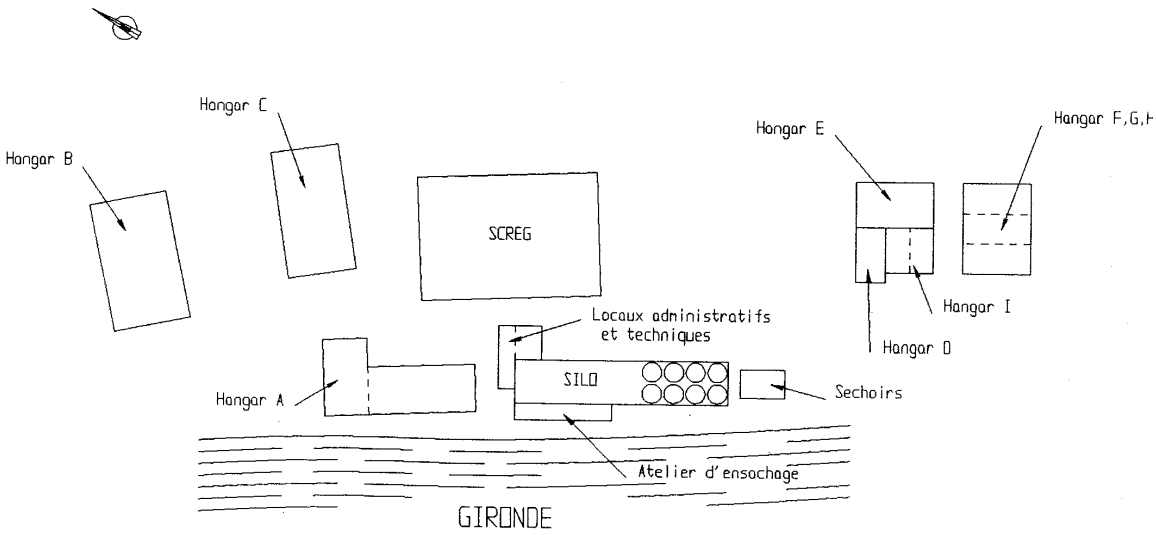


Figure 2 : Schéma d'implantation des différents bâtiments et installations (schéma non à l'échelle)

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

1.3. DESCRIPTION DU SILO VERTICAL

Ce silo était composé de deux ensembles d'unités de stockage verticales, construits successivement à quatre années d'intervalle dans les années 70. Ces deux ensembles formaient un volume compact d'environ 100 m de long, 20 m de large et 40 m de haut.

Chaque ensemble d'unités de stockage, communément appelé tranche, était constitué de cellules verticales en béton de section circulaire accolées sur trois rangées. Elles avaient un diamètre intérieur de 6,20 m et présentaient une hauteur totale de stockage de l'ordre de 33 m en moyenne. Les 2 files de parties vides entre les parois des cellules formaient des unités de stockage appelées boisseaux intercalaires. Ils offraient une hauteur totale pour le stockage de l'ordre de 32 m en moyenne et disposaient d'une plus grande dimension diamétrale intérieure d'environ 4,20 m.

La première tranche était constituée de 20 cellules et de 12 boisseaux intercalaires. Elle offrait un volume de stockage total de 20 904 m^3. La seconde tranche, quant à elle, comportait 24 cellules et 14 boisseaux intercalaires pour un volume de stockage total de 26 336 m^3.

Les deux boisseaux intercalaires situés à la jonction des deux tranches n'étaient pas utilisés pour le stockage de céréales ; ils étaient ouverts, en partie basse, sur l'espace sous-cellules mais obturés, en partie haute, par le plancher de la galerie sur-cellules.

Le schéma reporté en figure 3 ci-après présente une vue en coupe de l'ensemble du silo et permet de visualiser notamment le repérage mis en place par la SEMABLA pour les cellules et les boisseaux intercalaires.

Les cellules de la seconde tranche se distinguaient de celles de la première tranche par le fait qu'elles pouvaient être ventilées par injection d'air en pied de cellule, qu'elles étaient équipées d'un extracteur d'air en partie haute (à l'exception toutefois de trois cellules situées à l'extrémité sud du silo) et qu'elles disposaient d'une vanne de vidange à commande pneumatique, en plus de celle à commande manuelle.

La réception des céréales en vrac se faisait par l'intermédiaire de deux fosses accolées. Une galerie enterrée, abritant des transporteurs à chaîne, assurait la liaison entre ces fosses de réception et la fosse des élévateurs, infrastructure de la tour de manutention nord.

La tour de manutention nord se situait dans la continuité des cellules verticales et son architecture s'appuyait en partie sur ces dernières. Cette tour abritait notamment des moyens de manutention verticale des céréales (élévateurs à godets) et des éléments du circuit central de dépoussiérage (ventilateur, groupe filtrant et réserve à poussières). Il convient de noter que les passages pour le matériel réalisés dans les différents planchers pouvaient mettre en communication les différents étages de cette tour et que celle-ci communiquait directement avec la galerie sur cellules, en partie haute, et avec l'espace sous-cellules, en partie basse.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

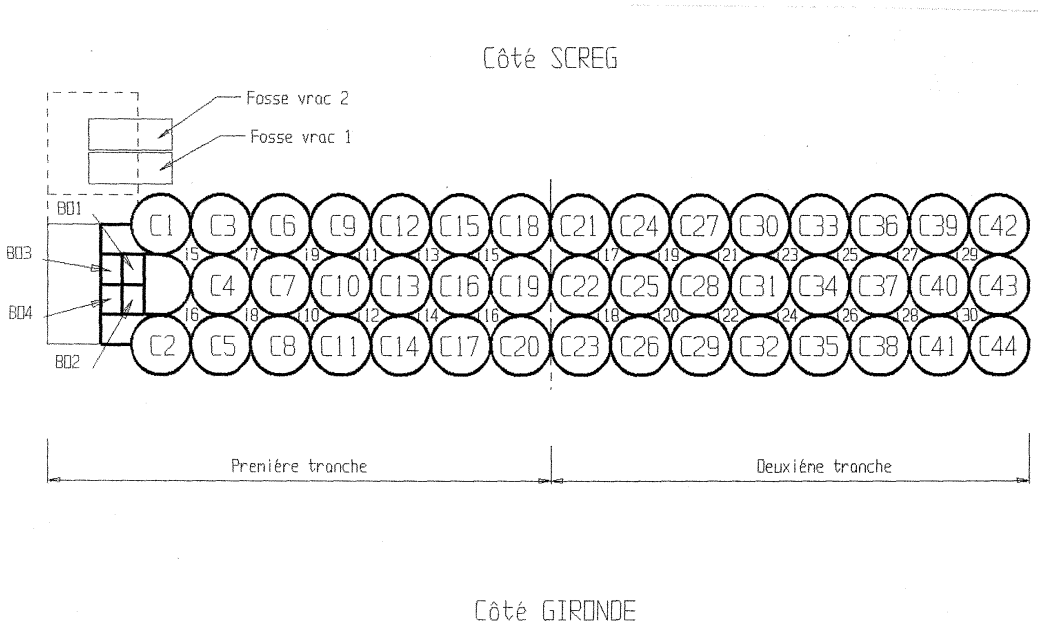


Figure 3 : Repérage des unités de stockage mis en place par la SEMABLA

La tour sud abritait notamment un ensemble de deux nettoyeurs-séparateurs et un calibreur, utilisés respectivement pour le maïs vert et l'orge.

La galerie sur-cellules reliait la tour sud et la tour de manutention nord. Elle abritait principalement des moyens de manutention horizontale des céréales, c'est-à-dire 4 bandes transporteuses dont 3 tapis d'ensilage et un de manutention assurant la liaison entre le silo vertical et le hangar FGH.

L'espace sous-cellules, non enterré, était constitué par l'ensemble des fûts des cellules sous musoirs. Cet espace abritait principalement les musoirs coniques des cellules, des moyens de manutention horizontale des céréales (transporteurs de reprise à chaîne communément appelés « redlers ») et les équipements du dispositif de soufflage d'air en pied des cellules de la deuxième tranche.

Le schéma reporté en figure 4 précise le positionnement des principaux équipements dédiés à la manutention des céréales. Ainsi, sur ce schéma sont représentés :

- les transporteurs de reprise à chaîne situés dans l'espace sous-cellules (repérés de TR1 à TR10),
- trois des quatre élévateurs à godets situés dans la tour de manutention (repérés de E1 à E3),
- les élévateurs à godets disposés à l'extérieur du silo, en partie sud, et assurant notamment la liaison du silo vertical avec les installations de séchage ou le hangar FGH (élévateurs repérés E5, E6, E7 et E9),
- les bandes transporteuses faisant partie de la liaison mécanisée avec le hangar FGH (repérées TB5 et TB6).

A l'intérieur du silo, le dépoussiérage était assuré de plusieurs manières et grâce notamment à un réseau centralisé. Ce réseau assurait une aspiration de l'air à plusieurs endroits du circuit

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

des céréales au moyen d'un ventilateur situé en partie haute de la tour de manutention nord. La filtration était réalisée dans un filtre à manches non capoté, les poussières étant récupérées dans une réserve à poussières. Le ventilateur était situé en amont du filtre à manches.

Un système de scrutation automatique assurait un contrôle de la température dans toutes les cellules. Les boisseaux intercalaires n'étaient pas équipés de ce dispositif.

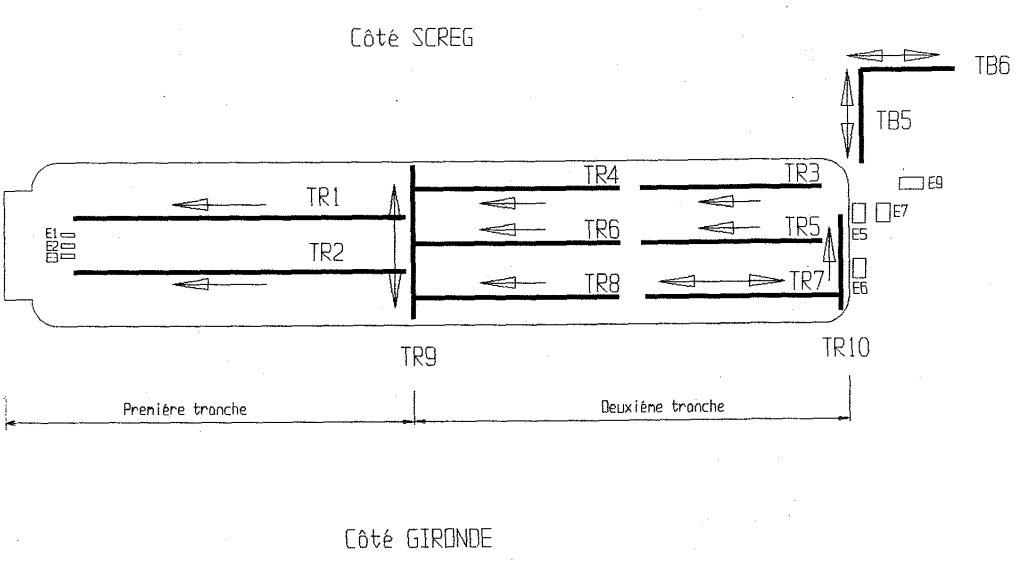


Figure 4 : Schéma de positionnement des principaux équipements dédiés à la manutention des céréales

De façon générale, le silo n'était pas équipé de moyens de protection tels que des détecteurs d'incendie ou des évents d'explosion. De la même façon, il n'y avait pas de dispositif de détection et de collecte de corps étrangers, à la réception des produits, ni de dispositif magnétique permettant de recueillir tout élément métallique exogène ou endogène dans le circuit des céréales.

2. DOMMAGES OBSERVÉS ET CONSTATS

2.1. BILAN HUMAIN

Le bilan de l'accident s'établit à 11 morts et 1 blessé.

Parmi la liste des personnes décédées se trouve sept employés de la société SEMABLA, trois personnes dont l'activité était liée à celle de la SEMABLA et un pêcheur.

Les corps de dix victimes ont été retrouvés dans les locaux administratifs et techniques implantés au pied du silo, ou à proximité immédiate de ceux-ci. Les personnes situées dans les locaux administratifs et techniques ont été retrouvées à leur poste de travail, apparemment sans avoir eu le temps de réagir à ce qui se passait. Ce point témoigne du caractère soudain de l'accident et de la probable absence d'événement précurseur ou d'une situation dégradée

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

identifiée. Les corps des personnes situées à l'extérieur des locaux administratifs et techniques au moment de l'accident, à l'exception du pêcheur, présentaient des traces de brûlures légères.

La onzième victime, le pêcheur, a été retrouvée plusieurs jours après les autres victimes, ensevelie sous les décombres, côté berges de la Gironde.

2.2. DOMMAGES MATÉRIELS

2.2.1. Dommages aux installations SEMABLA

façon générale, le silo vertical s'est effondré en partie centrale et en partie nord. Sur les 44 cellules, seules 16 semblaient encore en grande partie en place après le sinistre, soit 9 en partie sud du silo et 7 en partie nord (ces chiffres correspondent au nombre de cellules qui ont conservé leur géométrie cylindrique sur au moins les deux tiers de leur hauteur initiale). Ainsi, une caractéristique de cet accident est d'avoir deux ensembles de cellules effondrées : un premier ensemble de cellules situé au nord et accolé à la tour de manutention ; un second ensemble de cellules dans la partie centrale du silo.

a tour de manutention nord, ainsi que les cellules immédiatement adjacentes, ont été quasi totalement détruites. Seule subsiste, sur environ la moitié de sa hauteur initiale, une partie du demi-voile courbe de l'architecture de cette tour, dont les parties latérales formant parois des boisseaux intercalaires adjacents (I5 et I6) ont été plaquées en arrière, sur le fût de la cellule C4. Ce constat témoigne d'une explosion au sein de la tour de manutention, explosion qui se serait produite après d'éventuelles explosions au sein des unités de stockages voisines.

La galerie sur-cellules a été totalement détruite.

La tour sud semble s'être affaissée sur le sommet des cellules. Des éléments des nettoyeurs-séparateurs (billes en caoutchouc des tamis) retrouvés calcinés en surface témoignent du passage d'une flamme ou de l'expansion de gaz brûlés dans cette tour.

En partie nord du silo, l'espace sous cellules (principalement constitué par le fût des cellules centrales) présente peu de traces pouvant attester du passage d'une flamme ou de l'expansion de gaz brûlés. En revanche, sous le bloc compact des 9 cellules encore en place dans la zone sud du silo, de nombreuses traces de combustion ont pu être observées (éléments en matière plastique fondus, dépôts de poussières calcinés...), notamment sous les cellules centrales (C34, C37 et C42). De plus, dans cette partie de l'installation, les gaines de soufflage d'air en pied de cellules ont été retrouvées disloquées, en grande majorité, avec une projection dans le sens nord-sud. Ceci a mis en évidence l'empoussiérage du circuit.

Aucune trace de combustion n'a pu être observée à l'intérieur de la fosse des élévateurs, des fosses de réception des céréales et de la galerie enterrée de liaison.

En ce qui concerne les moyens de manutention des céréales, les tambours d'entraînement des élévateurs situés dans la tour de manutention ne présentaient pas de traces de patinage, les axes de ces élévateurs ne semblaient pas bloqués dans leurs paliers, les morceaux de gaines métalliques retrouvés n'étaient ni gonflés ni éclatés et les tronçons de sangles à godets récupérés ne présentaient pas de traces de combustion. Les transporteurs de reprise situés dans l'espace sous-cellules ont été endommagés par l'effondrement des unités de stockage, tout particulièrement les transporteurs TR4, TR6, TR8 et TR9. De nombreux capots supérieurs des caissons abritant les transporteurs de reprise ont été soufflés. Dans la partie nord du silo (première tranche), le transporteur TR2 présentait des traces marquées de frottement en tête (partie menante) et de nombreuses ailettes de la chaîne de convoyage étaient manquantes.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

De façon générale, des équipements de l'installation, notamment des éléments du circuit centralisé de dépoussiérage qui, pour certains, étaient de grandes dimensions, n'ont pas été retrouvés malgré les travaux de terrassement réalisés au lieu-dit « Naviplane » (lieu de dépose des décombres évacués lors des premières heures après le sinistre) et les opérations de dragage de la Gironde.

Par ailleurs, certaines installations situées à proximité du silo (hangars et installations de séchage) ont été endommagées à des degrés divers, principalement par la chute ou la projection d'éléments du silo.

Figure 5 : Vue du silo vertical après l'explosion

2.2.2. Dommages aux tiers

Concernant les dommages aux tiers, la SCREG a subi les dommages les plus importants. De nombreux projectiles ont atteint différents bacs de stockage et des canalisations de transfert entre les bacs et l'appontement public ont été rompues.

Pour ce qui concerne les dégâts aux tiers extérieurs au site portuaire, il peut être retenu, de façon générale, des dommages aux habitations jusqu'à une distance de l'ordre de 500 m du silo, avec notamment des bris de vitres.

2.2.3. Autres dommages

Les incendies constatés au niveau des unités de stockage, juste après l'accident, étaient situés en périphérie des unités encore partiellement en place. Dans les gravats, aucun amas de céréales incandescentes, chaudes ou brûlées qui aurait pu indiquer la présence d'un autoéchauffement préalable à l'accident n'a été retrouvé.

Par ailleurs, juste après le sinistre, un feu couvant a été constaté (fumerolles) dans une cellule fissurée, située au sud-est du silo (cellule C42). L'examen à la caméra thermique a révélé la présence d'une zone chaude sur quelques mètres de profondeur à partir du sommet de la cellule qui était pleine d'orge. Par la suite, un feu couvant a également été détecté dans deux autres cellules.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

2.3. PROJECTILES

De façon générale, des projectiles significatifs en taille (éléments métalliques, en béton ou en verre) ont pu être observés jusqu'à une centaine de mètres du silo, soit environ 2 fois la hauteur de la tour de manutention.

Lors de l'investigation faite, pour ce qui concerne les éléments en béton, des morceaux de dimensions métriques ont été retrouvés jusqu'à environ 50 m du silo et des débris de petites dimensions (de masse inférieure au kilogramme) ont été projetés, au maximum, jusqu'à environ 140 m des cellules.

2.4. CONSTATS RELATIFS A L'ACTIVITÉ AU MOMENT DU SINISTRE

Au cours du déblaiement, un camion benne avec remorque a été retrouvé sur les fosses de réception. Cet ensemble venait décharger du maïs. La présence de cette céréale en fond d'un transporteur de liaison avec la fosse des élévateurs laisse supposer que cet ensemble avait commencé à vider son chargement dans la fosse de réception n°1 (soit la fosse la plus proche des locaux administratifs et techniques).

Par ailleurs, le camion précédent avait déchargé du blé dans la fosse de réception n°2 et venait de quitter le site de la SEMABLA. La présence d'un mélange d'orge et de blé dans un transporteur de liaison avec la fosse des élévateurs laisse supposer que celui-ci était vide au moment de l'accident et que l'opération de réception du blé était terminée.

Des constats effectués sur les transporteurs de reprise de l'espace sous-cellules, en perforant avec un espacement régulier le bas du caisson lorsque celui-ci était rempli de céréales, indiquent qu'éventuellement seuls les transporteurs à chaîne TR1 et TR2 fonctionnaient, avec de l'orge. Pour TR1, l'opération en cours était vraisemblablement une vidange de la cellule C15 pour transiler l'orge vers le hangar FGH et pour TR2, il s'agissait probablement d'un transilage interne en vue de la même opération.

De plus, les constats effectués par le personnel SEMABLA sur les bandes transporteuses TB5 et TB6 semblent indiquer qu'une opération de désilage avait lieu conduisant à transférer de l'orge du silo vertical vers le hangar FGH.

L'état de remplissage du silo a été reconstitué à partir de diverses observations. Ainsi, il peut être retenu que le silo était presque plein et que la majorité des unités de stockage vides étaient les boisseaux intercalaires.

3. SCÉNARIOS ENVISAGEABLES, RECHERCHE DES CAUSES

3.1. CONTEXTE D'EXPLOITATION DU SILO

Des constats et analyses effectués, il ressort que l'élévateur E2 était utilisé avec du maïs, l'unité de stockage de destination étant inconnue. Elle pouvait se situer aussi bien dans la première que dans la seconde tranche. Du fait de la manutention du maïs, cette première unité de stockage était ouverte sur la galerie sur-cellules. Dans la mesure où il s'agissait du premier camion, elle peut légitimement être considérée comme quasiment vide. De plus, il est vraisemblable que l'unité de stockage utilisée était un boisseau intercalaire.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

L'élévateur E3 était utilisé, au moment même de l'accident, pour effectuer la vidange de C11. Cette vidange ne semble justifiée que pour une opération de transilage d'orge à destination du hangar FGH. Dans ce cas, il est plausible et logique de transiter par la cellule C1 qui va être de ce fait également ouverte sur la galerie sur-cellules.

L'élévateur E1 permettait l'opération de transilage à destination du hangar FGH. Il est plausible de retenir qu'il était alimenté par la vidange de C15 et par jetée directe de C1.

Enfin, il est légitime de retenir que l'opération d'ensilage du blé devait tout juste venir de se terminer. Dans un tel cas, il semble éventuellement envisageable que la trappe d'accès à la cellule en cours de chargement soit encore ouverte sur la galerie sur-cellules. La localisation de la cellule de destination ne peut être précisée. Celle-ci devait être cependant au 2/3 vide.

En d'autres termes, il est possible de considérer que deux cellules, éventuellement et très temporairement 3, permettaient une communication entre le ciel d'unités de stockage et la galerie sur-cellules, dont notamment la cellule C1 (orge). Les deux autres unités de stockage devaient être quasiment vides ou au 2/3 vides respectivement de maïs et de blé.

3.2. DÉROULEMENT DU PHÉNOMÈNE D'EXPLOSION

Les témoignages recueillis permettent de déterminer le volume initial dans lequel l'explosion a pris naissance. Celle-ci s'est propagée au sein de la galerie sur-cellules, jusqu'à son extrémité sud, sans doute en raison de la remise en suspension de poussières déposées.

Les flammes de cette explosion, probablement sous la forme de jet, ont pu déboucher dans les unités de stockage qui étaient ouvertes. Celles-ci étaient probablement au nombre de 2, éventuellement de 3.

Le jet de flammes pénétrant au sein des unités de stockage, empoussiérées par les opérations d'ensilage, a engendré une violente explosion. La géométrie de ces unités de stockage, et en particulier leur forme allongée a, sans aucun doute, contribué au développement des effets de pression. Cette remarque s'applique tout particulièrement au boisseau intercalaire dans lequel pouvait être entreposé le maïs. Pour mémoire, le rapport hauteur sur diamètre hydraulique étant voisin de 10, il est possible que cet aspect, conjugué à la réactivité du maïs, explique, en grande partie, les dommages constatés dans la partie centrale du silo.

De plus, la destruction de la galerie sur-cellules et de son plancher en particulier, a rendu possible la communication entre cette galerie et l'espace sous-cellules au niveau des boisseaux intercalaires situés à la jonction des deux tranches du silo.

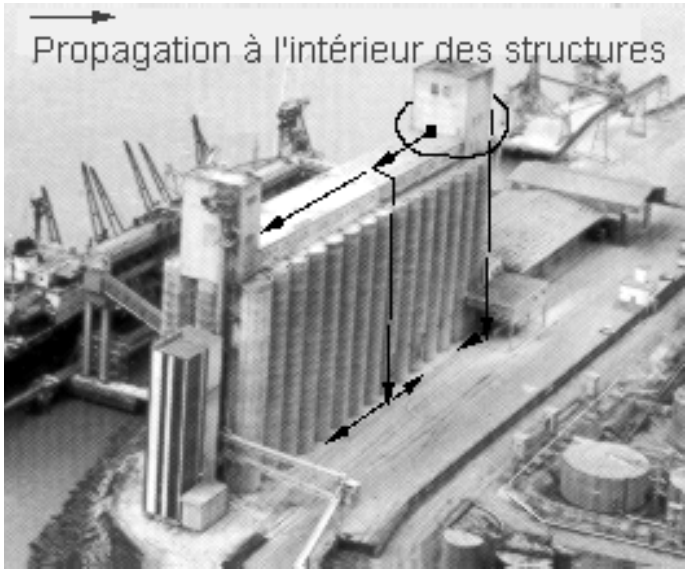
Une propagation de l'explosion par cette communication semble possible, ce volume n'ayant jamais fait l'objet d'un nettoyage particulier. Des dépôts de poussières sur les parois de ce volume sont donc probables.

Au niveau de la tour de manutention nord et de façon concomitante à l'éclatement de la cellule C1, l'explosion s'est développée de haut en bas. Le niveau de pression atteint n'a pas pu, dans ce cas également, être limité du fait de l'absence de surfaces d'évent. La tour de manutention nord a, de ce fait, été détruite. Le vecteur de propagation n'est ni les gaines des élévateurs, ni les conduites du circuit centralisé d'aspiration des poussières. Il semble raisonnable de considérer que cette propagation s'est réalisée dans le volume même de la tour de manutention. Cette conclusion partielle suppose cependant la présence d'un nuage inflammable dans ce volume. La présence d'éventuels dépôts peut raisonnablement être exclue du fait des nettoyages réguliers qui étaient pratiqués. De ce fait, seul un mécanisme accidentel d'épandage de poussières est de nature à permettre la mise en suspension de ces poussières du haut en bas de

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

la tour de manutention. Le seul processus envisageable, permettant de répandre une quantité significative de poussières du haut en bas de la tour de manutention, réside dans une rupture en aval du ventilateur d'aspiration des poussières. Ce mécanisme d'épandage est notable, en particulier dans l'hypothèse d'une rupture de la réserve à poussières.

L'explosion a débouché dans la partie sous-cellules, soit par le pied de la tour de manutention, soit plus probablement, à notre sens, par les boisseaux intercalaires situés à la jonction entre les deux tranches. Dans cette seconde hypothèse, la propagation de l'explosion via les boisseaux intercalaires est de nature à permettre à la flamme de s'accélérer notablement, du fait de leur configuration géométrique, en induisant d'importants effets de pression. Dans ces conditions, les ondes de pression émises au débouché inférieur des boisseaux intercalaires peuvent être d'une intensité largement suffisante pour détruire les unités de stockage adjacentes et, en grande partie, le voile béton séparant la galerie sous-cellules de l'extérieur. Ces ouvertures au niveau de la galerie sous-cellules, peu avant le passage de la flamme, ont pu constituer autant de surfaces d'évent, limitant de ce fait, le niveau de surpression atteint au sein même de la galerie sous-cellules.



La destruction des voiles béton de la galerie sous-cellules peut donc provenir des ondes de pression engendrées par la propagation de haut en bas de l'explosion ou de l'effondrement même des structures. Cet enchaînement est cohérent avec le fait que la destruction des voiles béton de l'espace sous-cellules intervient plutôt vers la fin du processus d'explosion, comme cela a été rapporté par des témoins. Une représentation très schématique du parcours supposé de l'explosion est fournie sur la figure 6.

Figure 6 : Parcours supposé de l'explosion

L'effondrement des structures a pu être facilité par d'éventuelles fragilités structurelles. Celui-ci et la chute des équipements ont inévitablement provoqué des courts-circuits, en particulier au niveau du local du transformateur situé à l'entresol des locaux administratifs et techniques. Ceux-ci peuvent avoir été à l'origine des incendies localisés consécutivement à l'explosion.

De façon similaire, la propagation de la flamme et l'expansion des gaz brûlés a pu permettre, en particulier, l'inflammation de matériaux combustibles ou des effets thermiques sur des matières plastiques.

Les incendies de cellules constatés après l'explosion étaient situés en particulier à la surface supérieure du stockage. Ils peuvent avoir été engendrés par la chute de matériaux combustibles enflammés suite au passage de la flamme.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

3.3. RECHERCHE DES CAUSES DU SINISTRE

Les deux points clefs dans la détermination des conditions de ce sinistre ont résidé dans la recherche des conditions de formation d'une atmosphère explosive et dans l'identification de la source d'inflammation.

Concernant la formation d'une atmosphère explosive, deux possibilités ont été envisagées. La première possibilité est relative à la formation de gaz combustibles dans le ciel d'unités de stockage, engendrée par une situation dégradée telle que, par exemple, un auto-échauffement, une fermentation ou un début d'incendie. La seconde possibilité correspond à un mélange inflammable de poussières et d'air. A la lumière des constats et témoignages, la première possibilité peut être raisonnablement exclue. La seconde possibilité, quant à elle, correspond à l'explosion d'un mélange de poussières et d'air, ce mélange pouvant exister dans des parties de l'installation. Ce type d'explosion a couramment été rencontré lors d'autres accidents. Sur la base de témoignages et de constats effectués, il est possible de considérer que l'explosion a débuté soit dans le circuit de dépoussiérage, soit au sein même des volumes de la structure du silo, dans la mesure où une origine dans le circuit "produit" peut être raisonnablement exclue. L'examen des sources d'inflammation envisageables, repris ci-après, conduit à retenir des sources d'inflammation plausibles, internes au circuit de dépoussiérage. En conséquence, seul le premier terme de l'alternative ci-dessus est à considérer.

La recherche de la source d'inflammation a été plus délicate à mener dans la mesure où les travaux par points chauds ont pu être exclus relativement rapidement. Les catégories de sources d'inflammation restant envisageables étaient les suivantes : étincelles ou échauffements mécaniques, électricité statique, étincelles électriques, auto-inflammation d'un dépôt de poussières. Dans le cas présent, les étincelles d'origine électrostatique n'ont pas été retenues comme source d'inflammation de l'explosion, compte tenu notamment de l'énergie minimale d'inflammation relativement élevée.

De l'analyse des différentes possibilités, et en tenant compte du fait que l'on n'a pas retrouvé d'élément du système de collecte des poussières, il ressort que l'inflammation génératrice de cette explosion a pour origine, de façon plausible, soit des chocs ou frottements mécaniques au niveau du ventilateur du circuit centralisé de dépoussiérage, soit un début d'incendie par auto-échauffement au niveau de la réserve à poussières.

4. ENSEIGNEMENTS ISSUS DE L'ANALYSE DE L'ACCIDENT

De l'analyse du déroulement de cet accident et en tenant compte des incertitudes qui lui sont associées, il ressort que les principaux enseignements, pour un silo de structure analogue à celle de Blaye, concernent plusieurs domaines qui peuvent être organisés en suivant le processus même d'une explosion. Ils sont énumérés ci-après, par thème.

- Prévention de la formation d'une atmosphère explosive :
  - surveiller la température au sein des boisseaux intercalaires,
  - utiliser des moyens de vidéo-surveillance, couplés ou non à des moyens de détection,
  - déterminer les limites de fonctionnement du système d'aspiration des poussières, tout particulièrement pour les systèmes de type centralisé,

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

- surveiller en permanence l'efficacité d'aspiration d'un système centralisé de dépoussiérage par le biais, par exemple, d'une mesure de dépression,
- assurer le capotage des manches filtrantes ou mettre en place tout dispositif équivalent permettant de prévenir tout risque d'épandage de poussières dans des installations largement closes. La mesure la plus adéquate consisterait à installer ces équipements hors de toute installation largement close, c'est à dire à l'air libre,
- isoler, dans la mesure du possible, les différentes parties du silo les unes des autres (le terme « parties du silo » désigne, par exemple, la tour de manutention, la galerie sur-cellules ou l'espace sous-cellules).

- Suppression des sources d'inflammation :
  - installer, sur les principaux équipements, des détecteurs d'étincelles ou tout dispositif équivalent, commandant l'arrêt de l'équipement,
  - mettre en place un système de détection d'une augmentation anormale de température de certains équipements (paliers du ventilateur du système centralisé de collecte des poussières, par exemple).

- Propagation de l'explosion :
  - séparer les différentes structures de façon à limiter la propagation de l'explosion (ce qui conduit aussi à limiter les effets),
  - installer les systèmes centralisés de collecte des poussières, dans la mesure du possible, hors de toute installation confinée, c'est à dire à l'air libre.

- Limitation des effets :
  - disposer des évents sur les structures abritant des équipements de manutention des céréales et sur les unités de stockage,
  - déterminer les modalités et limites des calculs d'évent pour des structures allongées, lors d'une inflammation par un jet de flammes,
  - interdire ou limiter l'usage de capacités dont le rapport longueur sur diamètre est élevé (c'est-à-dire supérieur à 5) et en particulier les boisseaux intercalaires.

- Limitation des conséquences :
  - étudier au cas par cas la distance d'éloignement des bâtiments occupés par des tiers[1], la valeur de 1,5 fois la hauteur du silo devant être comprise comme étant une distance minimale,
  - éloigner du silo toutes les personnes dont l'activité n'est pas utile au fonctionnement direct de celui-ci.

[1] **Tiers** : extrait de la circulaire DPPR/SEI du 16 octobre 1997 (non publiée au JO) « Pour l'administration, hormis le conjoint, les enfants de l'exploitant et ses employés logés par ses soins, toute personne étrangère à l'exploitation a la qualité de tiers par rapport à l'installation ».

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS

- Autres enseignements :
  - installer des détecteurs d'incendie dans les zones où existe un risque d'incendie dû à des matières combustibles autres que les céréales,
  - nettoyer régulièrement les conduites du circuit de soufflage d'air en pied de cellules,
  - adapter le seuil d'alarme de température de stockage aux conditions climatiques extérieures, sous réserve de justification technique tenant compte notamment de la cinétique du phénomène d'auto-échauffement.

Remarque : Dans le cadre de l'étude des dangers, chaque silo doit faire l'objet d'une analyse des risques.

Ce document peut être utilisé intégralement, ou sous forme d'extraits de manière objective et en citant la source INERIS. Tout autre utilisation, notamment sous forme de synthèse, ne peut se faire sans l'autorisation expresse de l'INERIS