



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

**Compléments du guide état de l'art.**

**ANNEXE E**

**PRINCIPES POUR L'ÉLABORATION  
ET À LA LECTURE DES ÉTUDES DE  
DANGERS RELATIVES AUX SILOS**

## TABLE DES MATIERES

1. PREAMBULE .....	2
2. PRINCIPES D'ELABORATION DES ETUDES DE DANGERS .....	2
3. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS .....	2
4. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....	5
5. CARACTERISATION ET CLASSEMENT DES PHENOMENES DANGEREUX .....	5
6. CONCLUSION .....	8

## **1. PREAMBULE**

---

La réduction du risque à la source dans les silos soumis à autorisation au titre de la rubrique 2160 de la nomenclature des installations classées constitue l'axe central et prioritaire de la maîtrise des risques d'incendie et d'explosion. Cette démarche de réduction des risques repose notamment sur les compléments d'étude de dangers des installations exigées par l'arrêté ministériel du 29 mars 2004 modifié.

Le présent document précise quelques points clés majeurs tels que la caractérisation des potentiels de dangers d'un silo et des phénomènes dangereux.

Les éléments donnés dans ce document d'aide sont d'application générale. Les rédacteurs ont eu l'ambition de recenser les éléments utilisables à leur connaissance à la date de son élaboration, sans préjuger de toute solution spécifique et locale qu'une étude de dangers peut amener à appliquer dans un cas donné. En tout état de cause, en raison de la grande diversité des situations et des structures des silos, c'est l'étude de dangers spécifique à un site donné qui doit amener à tirer les conclusions des moyens précis à mettre en œuvre sur un site.

## **2. PRINCIPES D'ELABORATION DES ETUDES DE DANGERS**

---

Cette annexe complète les principes méthodologiques décrits dans le guide de l'état de l'art et adaptés du « guide d'élaboration et de lecture des études de dangers pour les établissements soumis à autorisation avec servitudes » publié le 28 décembre 2006 et applicable aux installations autorisées en appliquant un principe de proportionnalité.

L'objet de cette annexe est de développer, dans le cas des silos de stockages de produits organiques, l'identification et la caractérisation des potentiels de dangers, l'évaluation des risques ( analyse préliminaire...) et le classement des phénomènes dangereux.

## **3. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS**

---

Le glossaire technique des risques technologiques publié en octobre 2005 précise la définition suivante du potentiel de dangers : « Système (naturel ou créé par l'homme) ou disposition adoptée et comportant un (ou plusieurs) « danger(s) » ; dans le domaine des risques technologiques, un « potentiel de danger » correspond à un ensemble technique nécessaire au fonctionnement du processus envisagé ».

Le potentiel de dangers est une « source de danger », un « élément dangereux », un «élément porteur de danger ».

La libération de tout ou partie de ce potentiel constitue un « phénomène dangereux » ; le même glossaire indique en effet que « la libération d'énergie ou de substance produisant des effets [...] susceptibles d'infliger un dommage à des cibles vivantes ou matérielles,

sans préjuger l'existence de ces dernières » est un phénomène dangereux. Le phénomène dangereux est « une source potentielle de dommage, [...] une libération de tout ou partie d'un potentiel de danger ».

L'étape d'identification et de caractérisation des potentiels de dangers, proposée par le guide traitant des principes généraux des études de dangers, consiste en l'identification et l'estimation des conséquences de la libération des potentiels de dangers des installations. Cette étape suppose qu'« avant toute analyse des risques, les conséquences de la libération des potentiels de dangers soient évaluées en terme de gravité et classées selon leurs effets». Cette estimation doit être réalisée sans tenir compte de mesures de prévention et de protection mises en œuvre ; toutefois, elle peut tenir compte « de la réalité physique du stockage, des mesures de protection physiques passives de grande ampleur qui auraient déjà été mises en œuvre pour réduire le risque à la source ».

Dans le cas des silos, il est possible d'identifier deux mesures de protection physiques de grande ampleur : le découplage et les événements (ou les surfaces soufflables) .

Le tableau suivant vise à apporter un éclaircissement sur ces définitions en identifiant différents potentiels de dangers caractéristiques des silos, et les phénomènes dangereux auxquels ils peuvent être associés. Cette liste a valeur d'illustration et doit être adaptée en fonction des spécificités des silos étudiés (nature du produit stocké, conception des installations, etc.).

Potentiel de dangers	Danger associé	Famille de phénomènes dangereux associés
Présence de produit combustible (produit organique, poussière de produit...)	Inflammabilité du produit	Incendie (suite à auto-échauffement ou apport d'une source d'énergie extérieure)
Présence d'un nuage de pulvérulent combustible en milieu confiné (poussière de produit organique, farine...)	Explosibilité du nuage	Explosion
Présence de pulvérolents combustibles en couche (dépôts de poussières au sol, stock de farine...)	Inflammabilité du produit	Incendie
	Explosibilité de pulvérulent mis en suspension	Effet de flamme (flash) Explosion
Produit retenu dans des capacités de stockage	Energie potentielle du stock de produit	Eventration de la capacité de stockage et écoulement de produit

*Tableau 1 . Exemples de potentiels de dangers et de phénomènes dangereux identifiés pour un silo.*

Les potentiels de dangers des installations sont identifiés et caractérisés dans les études de dangers, sans omettre ceux liés aux modes d'approvisionnement et d'acheminement des matières et ceux liés aux autres activités de l'établissement (installation de séchage...) susceptibles de générer des dommages par effets domino réciproques.

A titre d'illustration, le tableau suivant propose pour différents types de silos, des exemples de familles de phénomènes dangereux :

TYPE DE SILO	Exemples de familles de phénomènes dangereux	Commentaires
Tout type de silo	<p>Explosions dans les installations périphériques des silos :</p> <p>chargement / déchargement de produits, dispositifs de transport et de distribution des produits (en galerie ou en fosse : élévateur, transporteur à chaîne, transporteur à bande, transporteur magnétique)</p> <p>équipements auxiliaires (épierreurs, tarares, dépoussiéreurs, tamiseurs, séparateurs magnétiques ou tout autre dispositif permettant l'élimination des corps étrangers), trémies de vidange et de stockage des poussières, séchoirs...</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Cette liste doit être adaptée si la configuration et les équipements du silo présentent des particularités</li> <li>❑ D'autres potentiels de dangers pourront être recensés au sein d'un établissement, en fonction des spécificités des installations : il appartient à l'exploitant de recenser l'ensemble des potentiels possibles et d'étudier les effets de leur libération, ceux listés ici ne constituant qu'une indication.</li> <li>❑ L'<b>explosion primaire sans événement</b> peut ne pas être évaluée au titre de la libération des potentiels de dangers s'il y a déjà présence d'un événement (ou d'une surface soufflable) efficace <sup>1</sup>.</li> <li>❑ La <b>propagation d'explosion</b> peut ne pas être évaluée au titre de la libération des potentiels de dangers s'il existe un découplage efficace des enceintes.</li> </ul>
Silo vertical (béton, métallique...)	<p>Explosion dans la tour de manutention</p> <p>Explosion dans les galeries inférieure et supérieure</p> <p>Explosion en cellules et as de carreaux</p> <p>Propagation d'explosion</p> <p>Ensevelissement</p> <p>Incendie</p> <p>...</p>	<p><i>A noter que ces évaluations peuvent permettre de quantifier la réduction des risques à la source faite par l'exploitant</i></p> <p><i>(évaluation de la réduction des effets consécutive à la mise en place de mesures de maîtrise des risques)</i></p>
Silo comble, silo plat, ...	<p>Explosion dans la tour de manutention</p> <p>Explosion dans la galerie inférieure</p> <p>Explosion en cellules/sur-cellules</p> <p>Propagation d'explosion</p> <p>Ensevelissement</p> <p>Incendie</p>	<p><i>A noter que ces évaluations peuvent permettre de quantifier la réduction des risques à la source faite par l'exploitant</i></p> <p><i>(évaluation de la réduction des effets consécutive à la mise en place de mesures de maîtrise des risques)</i></p>

Tableau 2 . Exemples de phénomènes dangereux selon le type de silo étudié.

<sup>1</sup> Les effets résiduels de l'explosion primaire en cellule en tenant compte des événements ou des surfaces soufflables en place pourront être examinés lors de l'évaluation des phénomènes dangereux.

Par la suite, lors de l'évaluation préliminaire des risques, de l'étude détaillée de réduction et de maîtrise des risques et de la caractérisation et du classement des différents phénomènes dangereux, l'exploitant détermine les événements susceptibles de conduire à un phénomène dangereux sur lequel des études approfondies des effets sont menées et des mesures compensatoires éventuellement proposées.

#### **4. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES**

---

---

En se basant sur les potentiels de dangers identifiés et sur les données issues de l'accidentologie, une évaluation préliminaire des risques des installations est entreprise dans l'étude de dangers ; elle comprend :

- une recherche des événements pouvant conduire à la libération totale ou partielle des potentiels de dangers (ex : conditions du triangle du feu ou de l'hexagone de l'explosion) ;
- l'identification de la nature des effets potentiels (ex : surpressions, effets thermiques...)
- l'identification des premières mesures de prévention et de protection d'ordre organisationnel et technique (ex : conformité du matériel) ;
- l'évaluation préliminaire des risques correspondant aux scénarii déterminés ci-dessus : appréciation de la fréquence d'occurrence de l'événement, de l'intensité de ses effets et de sa cinétique de développement ;
- le classement des phénomènes dangereux selon la grille de criticité choisie. Ce classement permet de sélectionner les phénomènes dangereux nécessitant une analyse plus détaillée de réduction et de maîtrise des risques par la suite.

#### **5. CARACTERISATION ET CLASSEMENT DES PHENOMENES DANGEREUX**

---

---

Chaque phénomène dont les effets ou la fréquence d'occurrence peuvent être réduits fait l'objet d'une démarche itérative de réduction des risques par application de mesures de sécurité permettant d'atteindre un niveau de risque résiduel acceptable. Ainsi, en vertu de l'article 3-5 du décret du 21 septembre 1977, « l'étude de dangers [...] justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte-tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation. »

Le guide méthodologique relatif aux principes d'élaboration des études de dangers précise les objectifs de cette étape : « en tenant compte de tout ou partie de ces mesures de maîtrise des risques qui ont été identifiées, et de la cinétique des événements envisagés sur l'ensemble des scénarios résultant de l'analyse détaillée et représentatifs de la typologie des accidents possibles, l'étude de dangers :

- évalue les conséquences éventuellement réduites (effets, distances, dommages, populations affectées...) et les fréquences d'occurrence des différents scénarii correspondants ainsi que leur cinétique ;
- présente une hiérarchisation des scénarii ;
- propose les scénarii qui pourraient, le cas échéant, servir à l'élaboration des POI, des plans d'urgence de secours externes, à la maîtrise de l'urbanisation et des mesures d'urbanisme. »

Une ou plusieurs fonctions de sécurité sont ainsi définies pour chaque scénario menant à un accident identifié. Une fonction de sécurité peut être définie comme une action qui s'oppose à l'enchaînement des évènements pouvant aboutir à l'accident majeur et peut être assurée par des mesures techniques de sécurité, des mesures organisationnelles, ou plus généralement par la combinaison des deux. Une même fonction peut être assurée par plusieurs mesures de sécurité.

La détermination des fonctions et des mesures de sécurité nécessaires se fait par l'exploitant, sur la base de l'analyse de risques menée dans l'étude de dangers.

Le tableau suivant identifie des fonctions et mesures de maîtrise des risques pour différents phénomènes dangereux évoqués précédemment. Ce tableau a valeur d'illustration. Il dresse une liste non exhaustive de mesures de sécurité et doit être adapté selon les spécificités de chaque installation.

<b>Exemples de phénomène dangereux</b>	<b>Exemples de fonctions de sécurité</b>	<b>Exemples de mesures de sécurité</b>
Incendie d'un stockage de produit combustible	Eviter l'auto-échauffement du produit  Eviter toute source d'inflammation  Faciliter l'intervention des services de secours	Refroidir le produit en cas de début d'échauffement...  Etablir un permis de feu Adapter le matériel électrique...  Prévoir une méthode d'extinction (inertage notamment) et assurer la disponibilité des moyens nécessaires Disposer de procédures d'intervention...
Explosion de pulvérulents en suspension dans un volume du silo ou dans un équipement de manutention	Eviter la formation de nuage explosible	Aspirer la poussière dans les équipements où la concentration d'explosivité peut être atteinte Favoriser le capotage des équipements présents dans le volume Détection des dysfonctionnements Maintenir les trappes de cellules fermées Opter pour un stockage extérieur des poussières...

	Eviter toute source d'inflammation	<p>Limiter la présence d'équipements/matériels<sup>2</sup> au minimum</p> <p>Aspirer les équipements susceptibles d'entraîner des émissions de poussières</p> <p>Protéger les engins de manutention utilisés dans les silos plats (pare-étincelles, pas de surface chaude...)</p> <p>Etablir un permis de feu</p> <p>Adapter le matériel électrique...</p>
	Limiter les effets de l'explosion	<p>Fragiliser les surfaces des enceintes</p> <p>Protéger les filtres et les équipements (suppresseurs d'explosion...) ...</p>
Explosion secondaire de poussière mise en suspension dans un volume	Eviter la formation de dépôts de poussière significatifs	<p>Favoriser le capotage des équipements présents dans le volume</p> <p>Aspirer la poussière dans les équipements où la concentration d'explosivité peut être atteinte</p> <p>Nettoyer les surfaces horizontales (sol, machines...) dès que nécessaire...</p>
	Eviter la transmission d'un front de flamme Limiter les effets de l'explosion	<p>Découpler les volumes en communication.</p> <p>Fragiliser les surfaces des enceintes ...</p>
Eventration d'une capacité de stockage	Limiter le vieillissement de la structure	Utiliser les capacités de stockage selon leurs paramètres de conception (taux de rotation...)...
	Détecter tout début d'éventration (fissures)	Assurer un suivi de l'état de vieillissement des structures <sup>3</sup> ...
	Limiter les effets d'une éventration	Procédure d'alerte SNCF si voie ferrée voyageurs (> 30 trains / jour) à proximité .

*Tableau 3 . Exemples de fonctions et mesures de sécurité pour différents phénomènes dangereux*

<sup>2</sup> Exemples : nettoyeurs, émotteurs, tamis, etc. dans la tour de manutention limités aux besoins de l'exploitation ; cellules équipées seulement des sondes (de niveau, de température...) et d'un éventuel système de vidange ; en cellules, consignation des appareils électriques de reprise en période de chargement à l'exception des sondes de thermométrie et de niveau ; manutention et éclairage seulement dans les galeries ; etc.

<sup>3</sup> Il est important de souligner que la surveillance de l'état des structures des silos est renforcée lorsque la sécurité sanitaire des aliments l'exige. Par exemple, le Guide de bonnes pratiques d'hygiène dans l'industrie sucrière impose pour les stockages en silos :

- contrôle au moins une fois par an de l'état des parois des trémies,
- contrôle de l'état des parois des silos à sucre une fois tous les deux ans ou après déstockage complet.

Notons également dans ce cas que l'intérieur des silos est préservé par une couche de peinture dont la nature est conforme au règlement (CE) 1935/2004 du Parlement européen et du Conseil du 27 octobre 2004, concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.

## **6. CONCLUSION**

---

L'étude de dangers doit constituer de la part de l'exploitant tout à la fois un engagement et une démonstration de la maîtrise des risques d'accidents majeurs. Dans le cadre de cette démonstration, l'exploitant doit définir dans son étude de dangers les mesures de maîtrise des risques permettant de réduire les effets ou la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux recensés par l'analyse de risques, et de garantir l'atteinte des objectifs fixés par l'arrêté ministériel du 29 mars 2004 modifié.

Le présent document est une aide, sur certains points clés particuliers, à l'élaboration et à la lecture des études de dangers relatives aux silos de stockage de produits organiques ; n'a pas vocation à se substituer aux études de dangers.

Les éléments qu'il contient ont été discutés et établis au vu des données scientifiques et techniques disponibles lors de son élaboration ayant fait l'objet d'une publication reconnue ou d'un consensus entre experts, et au vu du cadre législatif, réglementaire et normatif applicable à la date de l'édition du document. Aussi, compte-tenu de l'avancée des connaissances dans le domaine des silos, ce document pourra évoluer.