



**Bureau de la Doctrine
de la Formation
et des Équipements**



Interventions dans les silos

**Guide de doctrine opérationnelle
GDO 2019
DGSCGC/DSP/SDDRH/BDFE/NP septembre 2019**



AVERTISSEMENT

Les documents de doctrine sont conçus et rédigés par un groupe de travail issu des services d'incendie et de secours, de partenaires privés ou publics, et de générateurs de risques.

D'un point de vue juridique, la doctrine relève du droit souple : elle n'a pour objet que de guider l'action et faciliter la prise de décision des sapeurs-pompiers lors de leurs interventions, à partir de la connaissance des meilleures pratiques identifiées lors de retours d'expériences, mais n'a nullement pour objet d'imposer des méthodes d'actions strictes. Chaque situation de terrain ayant ses particularités, chercher à prévoir un cadre théorique unique pour chacune serait un non-sens ; dès lors, seuls des conseils à adapter au cas par cas sont pertinents et nécessaires.

La mise en œuvre de la doctrine requiert du discernement pour être adaptée aux impératifs et contraintes de chaque situation. La décision, dans une situation particulière, de s'écartier des orientations données par les documents de doctrine relève de l'exercice du pouvoir d'appréciation, intégrée à la fonction de commandement et inhérente à la mission en cours.

Ce document a pour objet de proposer aux services d'incendie et de secours une vision harmonisée des risques dans les silos et de détailler leurs caractéristiques pour décider et agir.

En revanche, ce document n'a pas vocation :

- à proposer un dispositif opérationnel type pour la gestion de ces interventions ;
- à détailler des phénomènes opérationnels et leur stratégie de lutte ;
- à détailler des techniques opérationnelles ;
- à servir les particularités de tel ou tel service d'incendie et de secours, mais bien d'être exploitable par tous.

Le lecteur trouvera dans ce document des renvois vers les guides de doctrine ou de techniques opérationnelles détaillant les thèmes communs.



DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ CIVILE
ET DE LA GESTION DES CRISES

GDO-DSP/SDDRH/BDFE NP SEPTEMBRE 2019

GUIDE DE DOCTRINE OPÉRATIONNELLE

INTERVENTIONS DANS LES SILOS

DGSCGC/DSP/SDDRH/BDFE/NP SEPTEMBRE 2019



DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ CIVILE
ET DE LA GESTION DES CRISES

Direction des Sapeurs-Pompiers

Sous-direction de la Doctrine et des Ressources Humaines

Préface

Paris, le 23 SEP. 2019

Secours d'urgence aux personnes, incendies, accidents divers... les interventions dans les silos nécessitent une bonne appréhension de l'environnement dans lequel évolueront les secours et une réelle compréhension de l'action complémentaire des différents acteurs.

Ce guide de doctrine est destiné à offrir des notions de culture des risques et de conduite opérationnelle pour les opérations de secours dans les silos.

S'appuyant sur les travaux d'un groupe de travail issu des services d'incendie et de secours et d'industriels du secteur silo, cette production vise plus particulièrement à éclairer sur :

- l'analyse et la connaissance des risques liés aux interventions dans les silos ;
- le rôle des parties prenantes dans ce milieu opérationnel ;
- les éléments nécessaires à une montée en puissance de la réponse opérationnelle ;
- les principes de sécurité lors des diverses missions.

Ce guide a vocation à être porté à la connaissance de l'ensemble des personnels impliqués dans la gestion et l'exécution des interventions.

Je vous invite également à contribuer à la rédaction de partages d'expérience opérationnelle pour continuer d'améliorer ces éléments de doctrine.

Pour le Ministre et par délégation,
le Préfet, directeur général de la sécurité civile
et de la gestion des crises

Alain THIRION

Sommaire

CHAPITRE 1 : CONNAISSANCE DU MILIEU	9
SECTION 1 : LES SILOS ET LES DANGERS ASSOCIES.....	9
1. <i>Les différentes familles de stockage</i>	9
a. Les stockages à plat ou horizontaux.....	9
b. Les stockages verticaux	11
2. <i>Les principaux produits stockés</i>	12
3. <i>Les manifestations de l'activité vitale des matières végétales.....</i>	13
a. La respiration ou oxydation.....	13
b. La fermentation anaérobiose.....	13
c. La germination	14
4. <i>Les caractéristiques d'un site silo</i>	14
a. Présentation générale	14
b. Le stockage de la matière.....	15
c. Les équipements de transport de matière dans les sites	17
d. Les installations de séchage	21
e. Les installations de nettoyage et de tri	26
f. Les équipements de dépoussiérage	27
g. Les matériels d'aide à la conservation	28
5. <i>Les phénomènes thermiques redoutés dans les cellules</i>	29
a. L'explosion de poussières	29
b. L'auto-échauffement.....	30
c. Le feu de surface	33
d. L'explosion de gaz inflammables.....	35
6. <i>Le risque bâtimentaire</i>	35
7. <i>Les risques particuliers liés au bois</i>	36
8. <i>Les risques d'accident de personne dans les silos</i>	37
a. L'ensevelissement	37
b. Les accidents liés aux pièces en mouvement	39
9. <i>Les autres risques</i>	39
a. Le risque d'asphyxie	39
b. Le risque毒ique	39
c. Le risque biologique	39
d. Les risques liés aux particules	40
e. Les risques liés aux énergies	40
SECTION 2 : LE VOLET REGLEMENTAIRE	41
SECTION 3 : LES AUTRES PARTIES PRENANTES	43
1. <i>La direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL)</i>	43
2. <i>L'exploitant et ses partenaires</i>	43
3. <i>Le surveillant de l'exploitation</i>	43
CHAPITRE 2 : LA CONDUITE DES OPERATIONS	44
SECTION 1 : LE TRAITEMENT DE L'APPEL.....	44
SECTION 2 : LES OPERATIONS DE LUTTE CONTRE LES INCENDIES	45
1. <i>Les principes généraux de lutte</i>	45
2. <i>Les premières actions</i>	45
a. Les périmètres de sécurité réflexes.....	45
b. La prise de renseignements	46
c. La reconnaissance sur le site	46
3. <i>Les produits d'extinction</i>	47
a. L'eau.....	47
b. La mousse	48
c. L'inertage	48
4. <i>La vidange</i>	51
5. <i>Cas des feux dans une cellule de stockage</i>	55
a. Le feu à cœur	55
b. Le feu de surface	56

6.	<i>Cas des feux de séchoirs</i>	56
a.	<i>Les feux dans les colonnes d'air chaud ou usé</i>	57
b.	<i>Les feux dans la colonne de séchage</i>	58
7.	<i>Cas des feux d'organes de manutentions et des autres équipements</i>	59
	SECTION 3 : LES EXPLOSIONS DE SILOS	60
	SECTION 4 : LES OPERATIONS DE SECOURS D'URGENCE A PERSONNE.....	62
1.	<i>Cas des personnes ensevelies visibles</i>	62
2.	<i>Cas des personnes ensevelies non visibles</i>	64
3.	<i>Cas des malaises dans un silo</i>	64
	ANNEXE A : COMPOSITION DU GROUPE TECHNIQUE	65
	ANNEXE B : DEMANDE D'INCORPORATION DES MODIFICATIONS.....	66
	ANNEXE C : REFERENCES	67

Chapitre 1 : Connaissance du milieu

Lors d'une intervention, le commandant des opérations de secours recherche les informations les plus pertinentes pour construire son raisonnement tactique.

Avoir un « coup d'avance » nécessite de comprendre en amont des phénomènes possibles dans les silos. Ce chapitre a vocation à favoriser la connaissance des risques dans ce domaine complexe.

On entend par « silo » un ensemble de stockages et d'installations permettant la réception, la distribution des produits stockés et pour les matières végétales leur conservation.

Ce chapitre, tourné vers la connaissance du milieu met en avant les points suivants :

- Les différentes familles de stockages ;
- Les matières stockées ;
- Les phénomènes naturels présents dans les stockages de matières végétales ;
- La description d'un site silo ;
- Les risques présents dans ces installations.

Un éclairage est apporté sur la réglementation et sur les parties prenantes utiles à connaître pour préparer une réponse opérationnelle pour les interventions dans les silos.

Section 1 : les silos et les dangers associés

1. Les différentes familles de stockage

Il existe de nombreux modèles de silo et par conséquent de formes de stockage qui peuvent être horizontales ou verticales. Le type de stockage dépendra notamment de la matière, de sa durée et des traitements spécifiques pouvant être nécessaires. Cette partie a vocation à présenter les différentes formes de stockages, à plat (horizontaux) et verticaux.

a. Les stockages à plat ou horizontaux

Ce sont des structures pouvant avoir des parois en béton ou métallique de type palplanche. Les hauteurs de stockage sont inférieures à 10 mètres. On peut trouver les modèles suivants :

Les silos couloirs : Ils sont réservés pour les grands volumes à stocker en extérieurs. On les retrouve principalement dans les fermes ou autres installations industrielles (ex : silos propres aux méthaniseurs), recouverts de bâches ou non.	
--	--

<p>Les stockages à plat :</p> <p>Ces installations couvertes peuvent stocker dans plusieurs box des quantités de 100 à 10 000 tonnes. Elles peuvent être sans séparation.</p>	
<p>Les silos boudins :</p> <p>C'est une alternative aux silos couloirs. On retrouve ces formes de stockages dans les champs. Les boudins créés sont assez hermétiques.</p>	
<p>Les silos taupinières :</p> <p>C'est la solution la plus économique qui peut être réalisée sur une dalle béton ou à même le sol avec une bâche de protection. Le stockage créé reste peu hermétique.</p> <p>On appelle « andain » ce genre de stockage non bâché.</p>	

Nota : l'ensilage¹ et le désilage² des produits stockés dans ce type de silo se réalisent avec des engins de manutentions du type tractopelle.

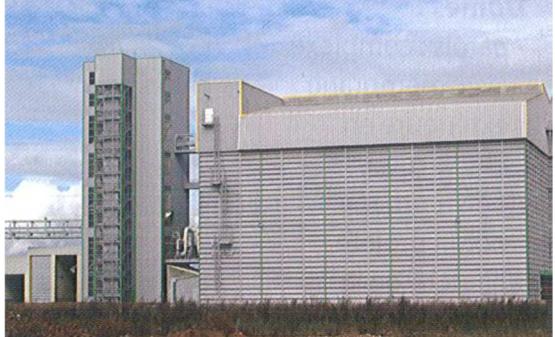
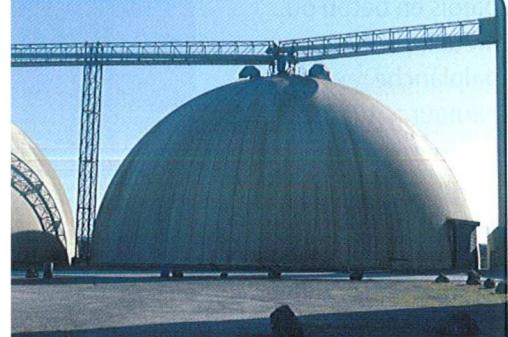


¹ L'ensilage est une opération de mise en stockage.

² Le désilage est une opération consistant à retirer une matière de son stockage.

b. Les stockages verticaux

Ce sont des structures majoritairement non hermétiques, pouvant avoir des hauteurs de plusieurs dizaines de mètres. Elles peuvent être en béton, métalliques ou en matière plastiques.

Les silos comble : Parois en béton ou métallique de type palplanche, géométrie des cellules carrées ou rectangulaires, hauteur maximale 40m.	
Les silos béton cathédrale : Parois en béton, géométrie des cellules de type cylindrique, hauteur maximale 60m.	
Les silos cylindriques métalliques : Parois métalliques de type tôle ondulée (appelés aussi Privé ou Phénix), d'un diamètre maximum de 30m et d'une hauteur maximale de 20m. Les parois peuvent aussi être constituées de plaques boulonnées Ils peuvent être à fond plat, posés et fixés dans le sol.	
Les silos dômes : Parois complexes (membrane extérieure en PVC + mousse PU + béton projeté), hauteur maximale de la voûte de 25m avec un diamètre maximum de 45m.	

<p>Les autres silos ou bacs :</p> <p>Ces stockages ont des capacités de quelques mètres cube à plusieurs dizaines. On retrouve plusieurs types de matériaux de construction (matière plastique, métallique). Ces infrastructures servent uniquement de stockage et ne comporte généralement pas de circuit de traitement des matières comme dans les autres sites silos.</p>	
<p>Les stockages en amont des chaudières collectives et individuelles :</p> <p>Les générateurs de chaleur utilisant le bois sous diverses formes (granulés, copeaux, etc.) nécessitent des stockages avec des systèmes de livraison et de transport.</p>	

Le type de structure est un élément à prendre en compte pour l'analyse d'un sinistre. Néanmoins, il n'est pas suffisant car la structure extérieure ne permet pas de déterminer la nature de la matière stockée, ni sa quantité.

2. Les principaux produits stockés

Les principaux produits **agroalimentaires** stockés sont :

- les céréales (blé tendre, blé dur, orge, maïs, seigle, avoine, sorgho, triticale et riz) ;
- les matières oléagineuses (colza, tournesol et soja) ;
- les matières protéagineuses (pois, féveroles et lupins) ;
- les graminées fourragères (dactyle, fétuque, raygrass) ;
- les produits spécifiques (œillette...) ;
- les produits déshydratés ;
- les farines ;
- les sucres.

Les autres produits stockés sont généralement :

- les produits chimiques ;
- les cendres ;
- les matériaux de construction (sables, ciment, plâtre) ;
- le bois (sciure, granulés, déchets, copeaux) ;
- les déchets de produits manufacturés ;
- les engrais et autres amendements ;
- les produits plastiques (granulés...).

En fonction des produits stockés, des phénomènes naturels pouvant donner lieu à des situations dangereuses sont possibles. C'est notamment le cas des matières végétales.



3. Les manifestations de l'activité vitale des matières végétales

Les matières végétales et plus particulièrement le grain conservent leurs propriétés une fois récoltées. Les trois formes de manifestations de l'activité vitale des grains sont les suivantes :

- la respiration ;
- la fermentation ;
- la germination.

a. La respiration ou oxydation

La respiration ou oxydation a lieu tant qu'il y a présence d'oxygène ; c'est l'amidon du grain qui se dégrade :



C'est le cas dans les couches superficielles d'un tas de grain, dans les zones proches d'entrée d'air ainsi qu'à l'intérieur du tas jusqu'à ce que le gaz carbonique produit ait remplacé l'oxygène de l'air.

Pour tous les grains, la production de chaleur double pour une élévation de leur température de 5°C ou pour une augmentation de 2% d'humidité.

b. La fermentation anaérobie

La fermentation anaérobie est une réaction chimique qui se produit en absence d'oxygène et en particulier dans les zones du tas de grain où l'oxygène a déjà été absorbé. Il s'agit généralement d'une fermentation alcoolique au cours de laquelle l'amidon se dégrade comme suit :

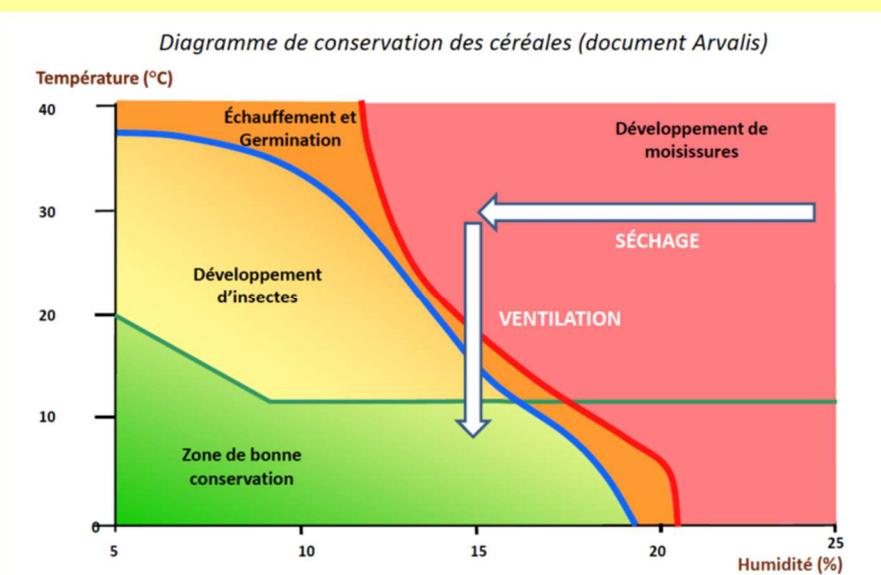


La fermentation produit moins de chaleur que la respiration ; elle peut être accompagnée par un développement de moisissures.

c. La germination

La germination constitue l'aboutissement naturel de l'activité vitale du grain et peut se produire lorsque le grain est maintenu à une humidité et une température suffisante. Elle constitue une altération grave, car cela entraîne de profondes modifications dans le grain (dégradation de l'amidon, perte de matière sèche, coagulation des protéines, etc.) qui sont irréversibles.

C'est pourquoi la conservation dans un site silo des matières végétales est un véritable enjeu avec une surveillance constante de paramètres et en particulier la température.



4. Les caractéristiques d'un site silo

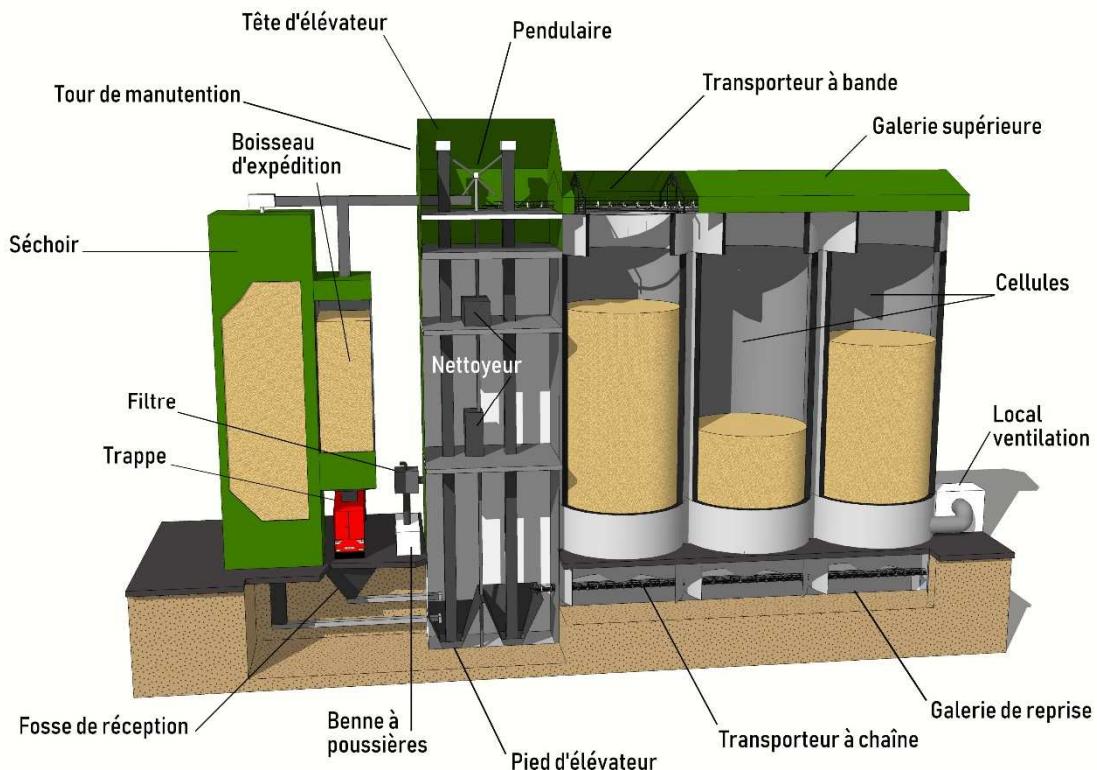
a. Présentation générale

Les sites silos sont des environnements complexes. Pour analyser une problématique opérationnelle, les éléments décrits ci-après doivent être connus.

Les différents équipements rencontrés dans les silos ont pour fonction :

- le stockage de la matière ;
- le transport de la matière (transporteur, élévateur) ;
- le séchage de la matière si nécessaire ;
- le nettoyage et/ou le tri de la matière (nettoyeur, calibreur...) ;
- le dépoussiérage de l'air (système d'aspiration de type filtre ou cyclone) ;
- l'aide à la conservation de la matière (sondes de silothermométries et ventilation).

Ces différents équipements et stockages se retrouvent sur le schéma de principe d'un site céréalier suivant :



Le vocabulaire technique employé sur ce schéma se retrouve également dans d'autres filières industrielles.

Lors d'une opération de secours, il sera nécessaire d'avoir à disposition les plans spécifiques (procédure d'intervention silos) et plans de l'installation afin d'identifier les modes de transport des flux de matières.

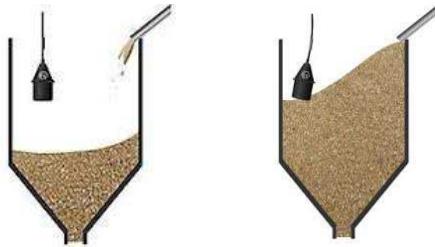
b. Le stockage de la matière

Les cellules :

Ce sont des accumulateurs de matière permettant de la conserver à moyen ou long terme.

Une cellule est **fermée** lorsqu'elle est surmontée d'un plancher permettant la séparation de la cellule et de l'espace sur cellule.



<p>Une cellule est ouverte lorsqu'elle communique directement avec l'espace sur cellule.</p>	
<p>L'as de carreau ou le $\frac{1}{2}$ as de carreau :</p> <p>Ce sont des accumulateurs de matière situés entre 4 cellules rondes pour un as de carreau et entre 2 cellules rondes et une paroi pour un $\frac{1}{2}$ as de carreau.</p>	
<p>Les boisseaux :</p> <p>Ce sont des capacités de stockage provisoires avant expédition.</p>	
<p>Les capteurs de niveau</p> <p>Afin d'exploiter les capacités des cellules, il existe des capteurs de niveaux. Les plus courants sont représentés ci-contre. Il en existe d'autres avec différentes technologies de mesure.</p>	

c. Les équipements de transport de matière dans les sites

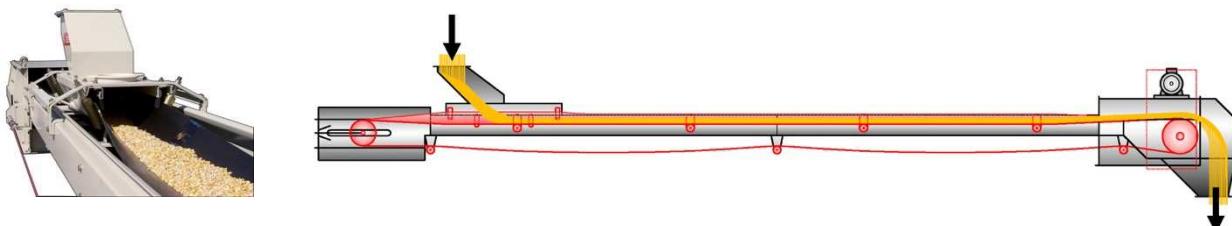
Depuis son arrivée dans un site silo, la matière va être transportée dans l'ensemble du silo jusqu'à son expédition. A ce titre, on peut trouver aussi des silos sur des sites portuaires dans le cadre des transports fluviaux et maritimes.



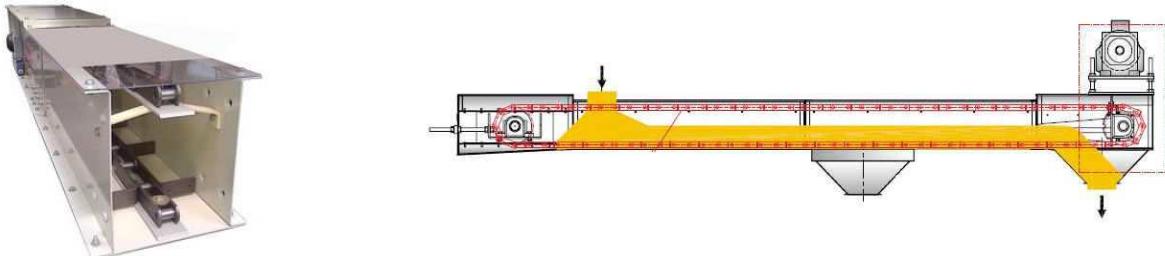
Les accidents sont fréquents avec les équipements de transport. Il convient donc de comprendre et d'appréhender les divers modes de fonctionnement utilisés.

Ces équipements permettent les transports de matières dans les sites silos. Ils sont horizontaux, obliques ou verticaux. Ils permettent l'ensilage et le désilage selon les modèles.

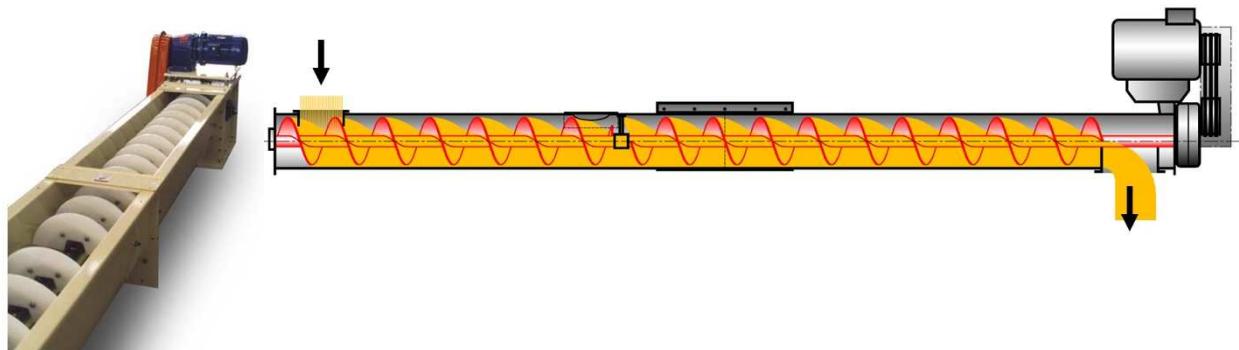
Le transporteur à **bande** est aussi appelé bande transportuse, tapis ou convoyeuse à bande. La matière transportée est souvent à l'air libre (visible ou capotée).



Le transporteur à **chaîne** est aussi appelé « Redler » (un nom commercial). La chaîne est munie de racleurs dans une enceinte fermée. La matière transportée n'est donc pas visible.



Le transporteur à **vis** est utilisé généralement pour les matières pulvérulentes (poudres et poussières).



Le principe de la vis sans fin est largement utilisé pour l'extraction de matière dans les cellules.



Vis de vidange rotative de fond de silo

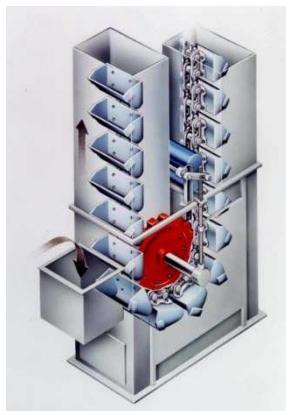
L'extraction de matière peut aussi être réalisée par le haut de la cellule avec des systèmes de vis ou de griffes.



Le transporteur à **air comprimé** est utilisé pour le convoyage des poudres et des granulés. Ce système fonctionne soit par aspiration, soit par soufflage.



L'élévateur est un dispositif de manutention permettant le transport vertical de la matière. Cette élévation se fait grâce à une sangle caoutchouc ou une chaîne sur laquelle sont fixés des godets métalliques ou plastiques.

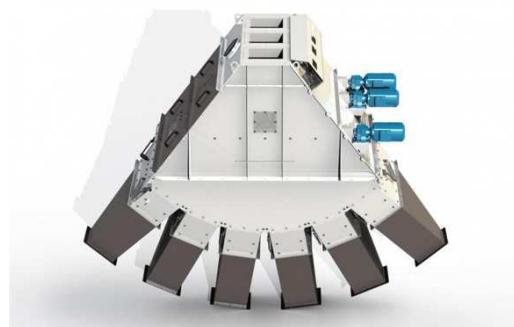


Ces matériels sont munis de dispositifs de protection et d'accès en tête et en pied d'élévateur.

L'élévateur est l'un des plus dangereux au regard du risque « explosion de poussières ».



On trouve aussi le distributeur pendulaire comme outil de manutention et de transport des matières. Il permet d'orienter plusieurs flux de produits (pulvérulents ou granuleux) vers différents circuits. Il est généralement placé en partie haute des installations.

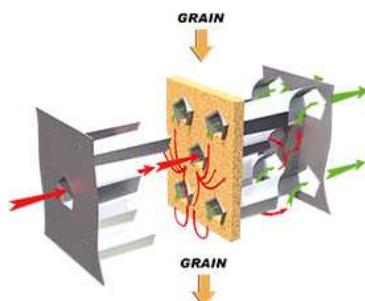


d. Les installations de séchage

Il existe plusieurs technologies d'installations de séchage.

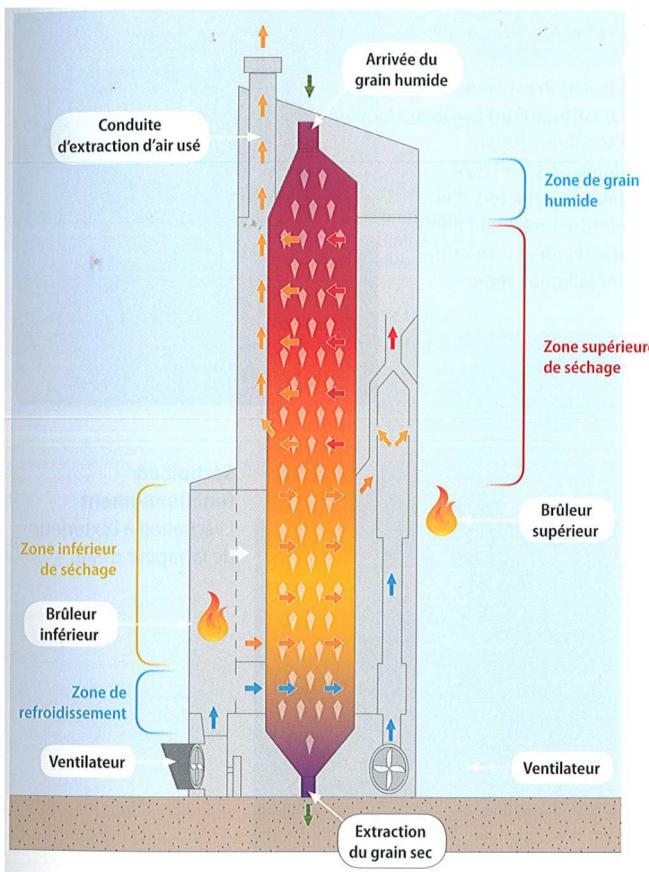
Le séchage par colonne :

Principalement présent dans les organismes stockeurs de céréales, ces séchoirs utilisent la technologie particulière du chauffage direct en veine d'air : le brûleur à flamme nue se situe dans la colonne de séchage, proche des grains à sécher. Ainsi la masse de grain humide passe entre de multiples dièdres³ dans lesquelles circulent de l'air chaud.



Principe de fonctionnement du séchage par colonne avec une entrée d'air chaud (flèches rouges) et une sortie d'air usé (flèches vertes)

La température du produit va augmenter jusqu'à ce que l'eau qu'il contient soit entraînée en surface du grain où elle se vaporise. Il existe des séchoirs à 1, 2 ou 3 étages. Le concept de séchoir le plus courant est donné ci-dessous.



Séchoir en fonctionnement avec émission de vapeur d'eau.

³ Les dièdres ou canaux d'air chaud sont des gaines en tôle permettant l'arrivée de l'air chaud et son évacuation après avoir séché le grain.

Le séchoir est une structure autoporteuse accolée ou non au silo. L'isolation est en général constituée d'un bardage métallique isolant qu'il faut dégarnir le cas échéant lors d'un sinistre important, afin d'atteindre la structure métallique « mère ».

Ils peuvent être alimentés au fioul ou au gaz. Pour le gaz, l'alimentation est réalisée soit :

- à l'aide d'un réseau de type « gaz de ville » ;
- à l'aide d'une cuve de stockage de GPL (propane ou butane).

L'alimentation au fioul est utilisée en proportion réduite dans le domaine agricole et dans les petites installations. L'usage du gaz est privilégié aussi en milieu agricole et surtout dans les installations industrielles. A ce titre, la présence de réseau de gaz de ville à ciel ouvert et de cuve de stockage est à prendre en compte dans le cas des effets domino d'un sinistre.



Exemple de rupture d'une capacité de stockage ayant entraîné une rupture de canalisation sur une citerne de gaz.

Les points de vigilance sont multiples lors d'un sinistre sur un séchoir, notamment du fait du transport de particules incandescentes et du risque de ruine de ces installations généralement métalliques.



Les installations de séchage se retrouvent aussi dans les exploitations agricoles. Elles peuvent être mobiles, permanentes, ou intégrées directement dans une cellule de stockage.

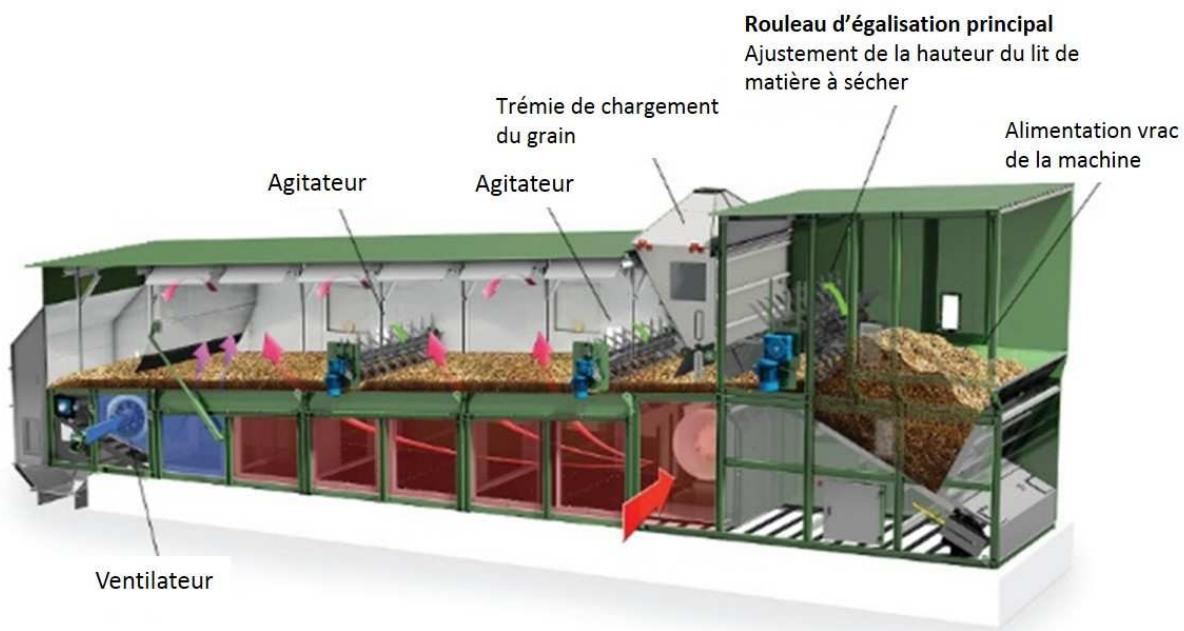
Le séchage en recirculation :

Le grain descend lentement dans le séchoir, par gravité sur des trémies dans lesquelles circulent de l'air chauffé (thermique ou électrique). Ce modèle se retrouve dans des versions mobiles :



Le séchage en continu à convoyeur :

La matière à sécher est placée sur un tapis, soit par un système à godet, ou soit par gravité. Le lit de matière est traversé par de la chaleur (d'origine thermique, électrique) et convoyé vers un organe de stockage.

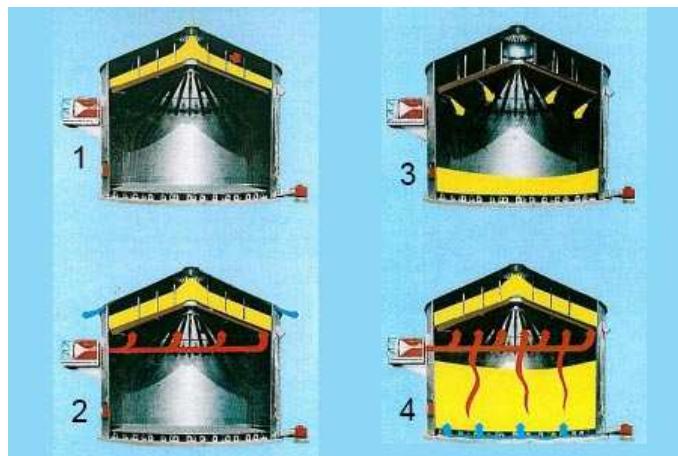


Dans le domaine agricole et plus particulièrement dans les fermes, on trouve des concepts qui sèchent et stockent à la fois, tels que les silos avec séchage en toit et les cellules sécheuses.

Les cellules sécheuses :

Le séchage en toit :

Le grain humide est chargé dans le haut de la cellule sur un faux plafond (1). Une fois la couche uniforme de grain formée sur ce faux plafond perforé, le ventilateur-brûleur envoie de l'air chaud au travers de la couche de grain humide (2).

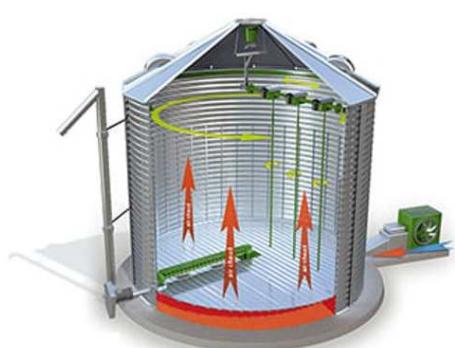


L'humidité est évacuée vers l'extérieur, par des ouvertures à la base du toit. Lorsque le grain atteint la température de consigne, qui correspond au taux d'humidité résiduel défini recherché du grain, il est évacué automatiquement par des trappes de vidange vers le niveau inférieur de la cellule (3), laissant place à un nouveau chargement de grain humide. Un nouveau cycle de séchage peut alors démarrer, pendant qu'un ventilateur faisant circuler l'air extérieur au travers d'un plancher perforé refroidit le grain sec dans la chambre de stockage en bas (4). La chaleur de celui-ci est recyclée pour faciliter le séchage du nouveau lot.

Le séchage en pied de cellule :

La matière humide est injectée par le haut du silo. Un système de brassage avec des vis sans fin permet le mélange de la matière et son séchage pendant que de l'air chaud est insufflé par le bas de la cellule. L'humidité est évacuée par des ouvertures.

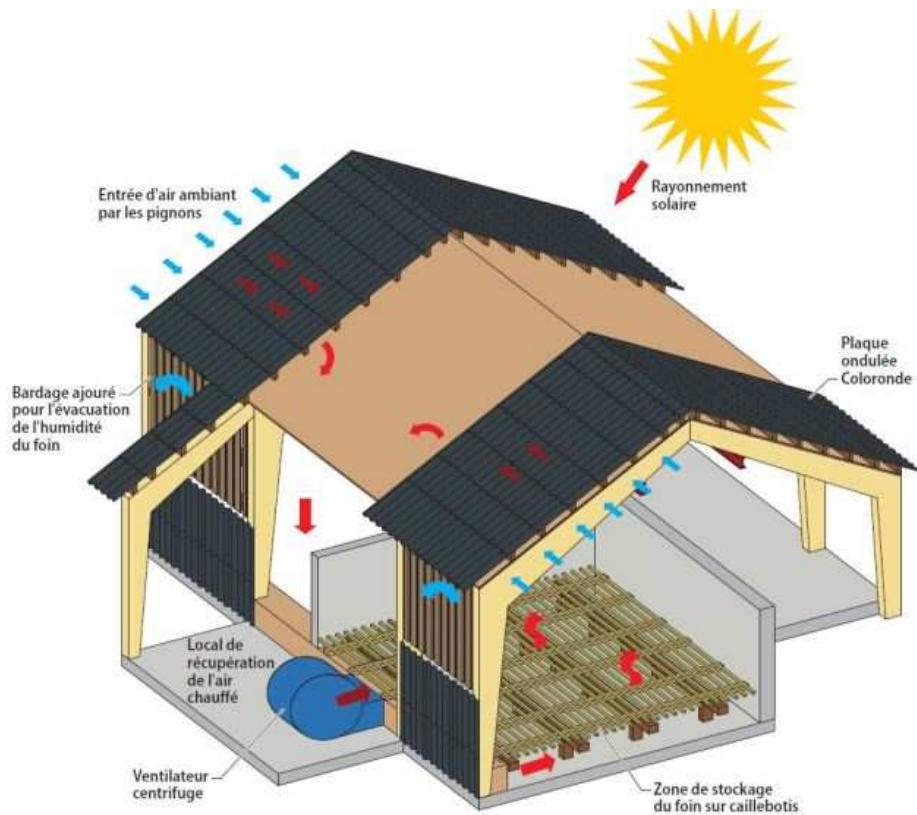
La cellule peut servir de stockage à l'issue.



Les cellules horizontales de séchage :

Principalement utilisé pour le séchage du foin et du bois, ce concept permet également le séchage et le stockage de matières agricoles et sylvicoles.

L'air est chauffé via le rayonnement solaire en toiture pour être injecté dans la zone de stockage.



e. Les installations de nettoyage et de tri

Ces matériels sont surtout présents pour le traitement des céréales.

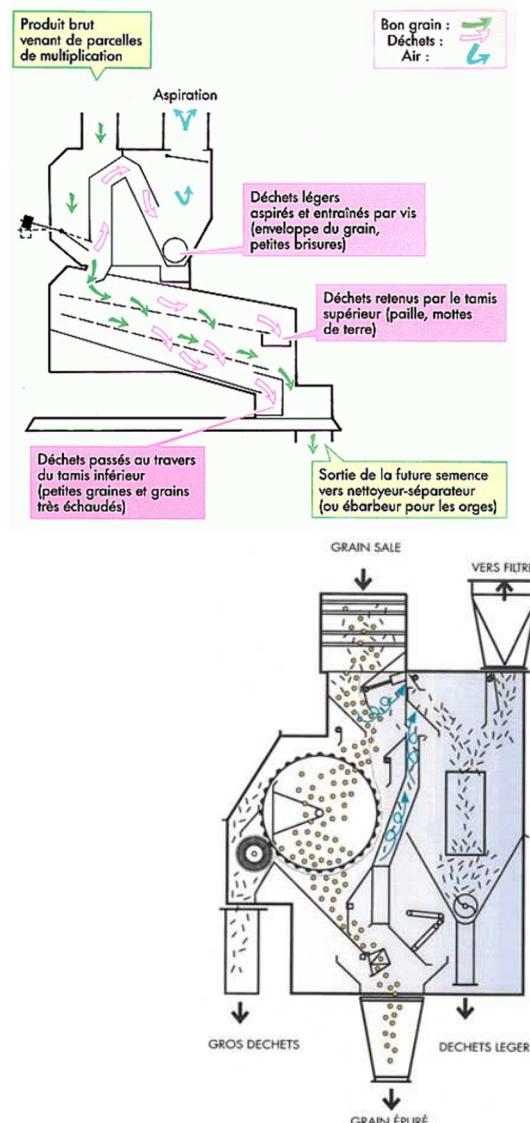
Le nettoyeur séparateur :

Il existe deux grands principes de fonctionnement.

Le tri est réalisé à l'aide de grilles avec plusieurs calibrages.

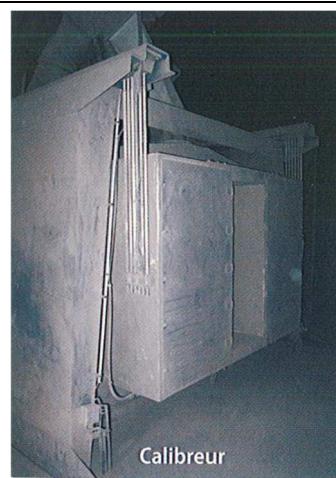
On parle d'émottage pour retirer les gros déchets et de criblage pour les plus petits.

Les poussières sont éliminées par de la circulation d'air qui les entraîne généralement vers un filtre.

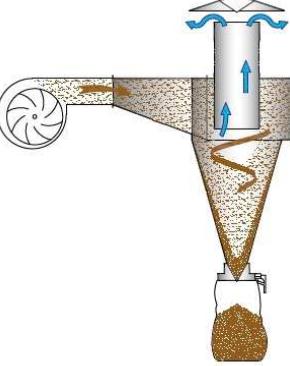


Le calibreur :

Le calibrage permet de réaliser un triage qualitatif du grain et peut se faire au travers de machines telles qu'un trieur alvéolaire, un calibreur ou bien encore une table densimétrique. Les impuretés les plus légères sont aspirées et les autres (grains cassés...) sont tamisées au travers de grilles métalliques. Ces machines sont reliées en amont et en aval au circuit de transport du grain (transporteur à chaîne, tapis, vis...).



f. Les équipements de dépoussiérage

<p>Le filtre à manche :</p> <p>Un filtre à poussières a pour objectif de nettoyer de l'air dit « sale » ou « chargé » en particules en traversant une toile, appelée « filtre », pour donner un air dit « propre ».</p> <p>Ces poussières ou déchets retenus par les manches filtrantes tombent de celles-ci grâce au décolmatage pneumatique. Cela consiste à envoyer un jet d'air comprimé pour chasser les poussières de la toile en la gonflant.</p> <p>Ces déchets sont ensuite stockés dans une benne à poussières (caisson externe, boisseaux déchets, sacs). Ces dispositifs peuvent être équipés d'évents de surpression.</p>	
<p>Le cyclone :</p> <p>Le cyclone est également un élément du système d'aspiration régulièrement rencontré dans les installations de stockage de grains.</p> <p>À leur arrivée dans le cyclone, les poussières sont séparées du flux d'air par effet centrifuge (vortex) puis tombent dans le cyclone par gravité.</p>	

On trouve aussi comme outil de nettoyage, le cyclo-filtre qui est un dispositif couplant à la fois un filtre à manche et un cyclone.

Différents équipements peuvent être reliés au système d'aspiration. Il faut être particulièrement vigilant quant à la propagation d'un incendie par ce système. En effet une particule incandescente peut être aspirée et être à l'origine d'un incendie ou d'une explosion dans le filtre et/ou dans le stockage de poussières associé



g. Les matériaux d'aide à la conservation

Le stockage de matières végétales va générer des phénomènes naturels qu'il convient de contrôler pour optimiser la conservation.

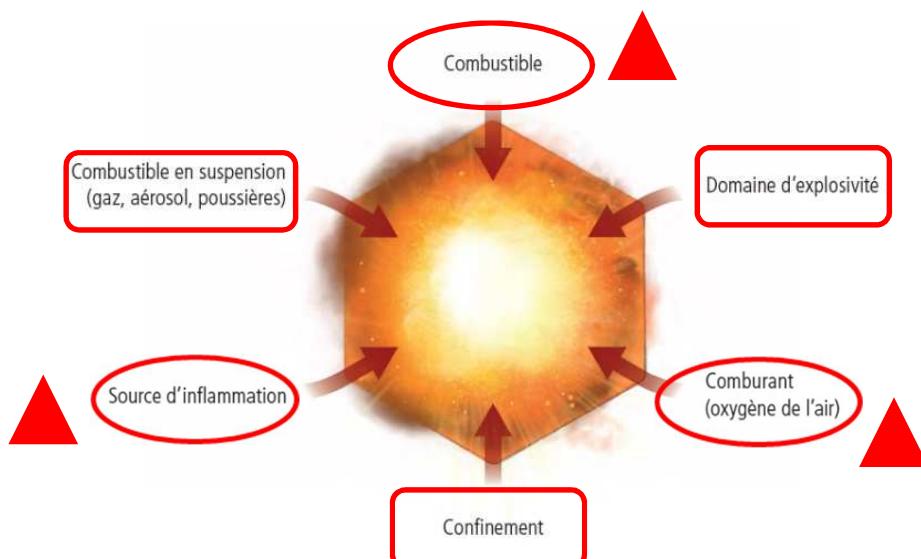
<p>La ventilation :</p> <p>De l'air est pulsé dans la cellule par des tuyauteries ou par la mise en surpression d'une galerie afin de balayer la totalité du grain. Cette ventilation permet de baisser la température pour une meilleure conservation du grain.</p>	 
<p>La silothermométrie :</p> <p>Le contrôle de la température des stocks de grain garantit leur bonne conservation. Les capacités de stockage peuvent être équipées d'un système de thermométrie fixe ou mobile. Les relevés automatiques ou manuels permettent un suivi régulier des températures.</p> <p>Dans le cas d'installations équipées d'une supervision, des seuils d'alarme sont paramétrables pour détecter toute élévation anormale de la température. Les câbles des systèmes automatiques sont alimentés en très basse tension. Les sondes peuvent donner une mesure de température à différentes hauteurs mais n'ont pas de résistance au feu et ne résistent pas à la température d'un foyer.</p> <p>Le grain étant un bon isolant thermique, une lecture de température peut être faussée si un point chaud est au-delà d'un mètre de la sonde.</p>	 

5. Les phénomènes thermiques redoutés dans les cellules

Plusieurs phénomènes sont possibles. Dans cette partie, les plus fréquents sont expliqués, en reprenant pour chacun, les conditions nécessaires et les effets.

a. L'explosion de poussières

Les poussières combustibles d'un diamètre inférieur à 500 µm voire 1000 µm peuvent exploser si les conditions de l'hexagone d'explosion de poussières sont réunies. Cette représentation⁴ reprend le triangle du feu, complété par trois autres sommets spécifiques aux silos : des poussières combustibles en suspension, un nuage de poussière dans son domaine d'explosivité et du confinement.



L'explosion de poussières s'accompagne d'une propagation de front de flamme avec un rayonnement thermique intense et une onde de surpression pouvant conduire à la rupture des contenants et à la projection de fragments. Il peut s'agir d'une explosion primaire ou secondaire (soulèvement de poussières suite à une première explosion).

Afin d'éviter ce scénario, la surpression est canalisée via des surfaces soufflables (évents) et des parois de découplage résistantes. Dans un site silo, certaines portes participent à ce découplage.

⁴ Le phénomène est visible sur la vidéo suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=jpz8oYTd1SA>



Porte de découplage dans un silo

Attention : lors de reconnaissances, il est important de refermer ces portes après chaque passage.



Les conséquences d'une explosion de poussières sont souvent catastrophiques.

Les distances atteintes par les effets de pression⁵ seront fonction de nombreux facteurs notamment :

- la nature des poussières ;
- l'homogénéité du mélange explosif ;
- le degré de confinement de la structure ;
- le type de structure (volume, hauteur des événements, etc.).

b. L'auto-échauffement

L'auto-échauffement non maîtrisé peut conduire à l'auto-inflammation des matières combustibles présentes dans le silo.

Ce phénomène peut se produire dans différentes configurations de stockage. Ainsi, on peut retrouver ce phénomène aussi bien dans des silos couloirs ouverts que dans des silos verticaux fermés.

⁵ Pour aller plus loin sur ce phénomène :

https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/explosion_poussieres_web.pdf

Les mécanismes internes de génération de chaleur peuvent être les suivants :

- une oxydation chimique lente (charbon, bois, etc.) ;
- une activité biologique comme la fermentation (souvent le cas si la teneur en eau est supérieure à 15%) ;
- une condensation d'humidité sur un matériau sec.

La respiration du grain (phénomène naturel) est accompagnée d'un dégagement de chaleur qui lui-même réchauffe le grain. Ce phénomène a tendance à accélérer la respiration et à créer ainsi une réaction en chaîne de plus en plus rapide si cette chaleur n'est pas convenablement évacuée. L'intensité de cette réaction respiratoire est d'autant plus importante que la température et l'humidité sont élevées.

Toutefois, cet auto-échauffement a des limites puisque l'oxygène devient très rapidement un facteur limitant. En l'absence de dioxygène, la respiration est remplacée par la fermentation qui se caractérise par un plus faible dégagement de chaleur. Il y a donc auto-échauffement lorsque la vitesse de production de la chaleur est supérieure à celle de sa dissipation.

La durée (souvent quelques jours), l'humidité, la température et la taille du stockage sont des paramètres importants à prendre en compte. Une augmentation de l'un de ces paramètres accroît le risque d'auto-échauffement.

Sans flamme visible, le processus d'auto-échauffement conduit généralement au dégagement de :

- ✓ monoxyde de carbone ;
- ✓ dioxyde de carbone et d'alcools ;
- ✓ chaleur conduisant à une augmentation de la température limitée dans les premières heures, qui est difficilement décelable par une caméra thermique en l'absence de sonde de température.

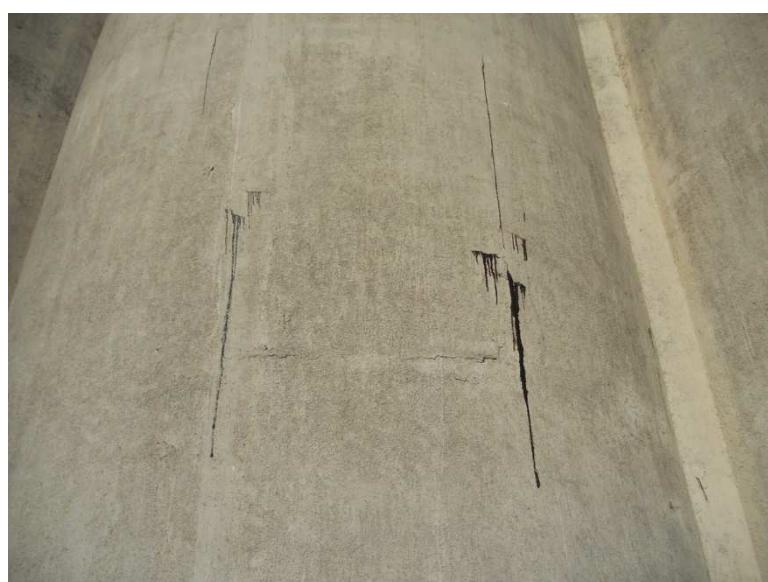


D'autres effets sont possibles :

- ✓ en structures fermées ou pour des matériaux peu poreux, le développement du feu peut être limité par le manque de dioxygène. La position du point chaud dépend donc de son accès à l'oxygène. Le processus de combustion pourra donc être réactivé lors de la vidange ou de l'ouverture d'une trappe de visite ;
- ✓ le feu couvant va progressivement et localement sécher les poudres et faire migrer l'humidité en partie haute du silo. Une forte condensation d'eau sur les parois du ciel gazeux du silo peut être un indicateur ;



- ✓ en cas d'auto-inflammation ou de fort échauffement (dès 200°C) des gaz de pyrolyse peuvent être générés. Des goudrons ou composés lourds peuvent alors être visibles sur les parois du silo.



c. Le feu de surface

Ce phénomène peut se produire dans différents types de stockages. Là encore, on peut retrouver ce phénomène aussi bien dans des silos couloirs ouverts que dans des silos verticaux fermés. Non enfoui, il est en revanche rapidement détecté.



Feu de surface

Les conditions

Des incendies liés aux activités de stockage de matériaux en silo peuvent se développer en surface dès que les trois conditions du triangle du feu sont réunies :

- un combustible (céréales, sciures de bois, fibres textiles, poussières métalliques, etc.) ;
- un comburant (oxygène de l'air mais aussi les substances oxydantes comme les ammonitrates et les peroxydes) ;
- une source d'inflammation externe (étincelle, surfaces chaudes, feu, etc.).

Les principaux effets sont les suivants :

- fort dégagement de chaleur, flammes visibles, rayonnement thermique intense ;
- génération de fumées, voire de gaz de pyrolyse en cas de combustion incomplète (méthane, éthylène, monoxyde de carbone, dihydrogène, composées organiques volatiles, goudrons) ;
- diminution de la résistance mécanique des structures (surtout celles métalliques).

Bien évidemment, ces évènements peuvent se produire à ciel ouvert dans d'autres conditions d'ensilage.



Feu de biomasse⁶ à ciel ouvert

Dans le cas des feux de sucres ou de polymères à bas point de fusion (PEHD, PS, PVC, etc.), l'incendie se développe principalement avec de la matière sous forme liquide assimilable à un feu d'hydrocarbure.



⁶ Dans le domaine de l'énergie, la biomasse est la matière organique d'origine végétale, animale, bactérienne ou fongique utilisable comme source d'énergie.

d. L'explosion de gaz inflammables

En plus du dioxyde de carbone, des gaz combustibles et/ou toxiques (méthane, éthylène, monoxyde de carbone, hexane, dihydrogène, composés organiques volatiles, goudrons, etc.) peuvent être générés lors du stockage ou de la dégradation de matériaux stockés, selon les mécanismes suivants :

- la fermentation ;
- la pyrolyse ;
- la désorption ;
- l'action de l'eau sur les poudres métalliques à hautes températures ;
- la réaction du gaz à l'eau⁷.

Les conditions de survenue d'une explosion de gaz sont les suivantes :

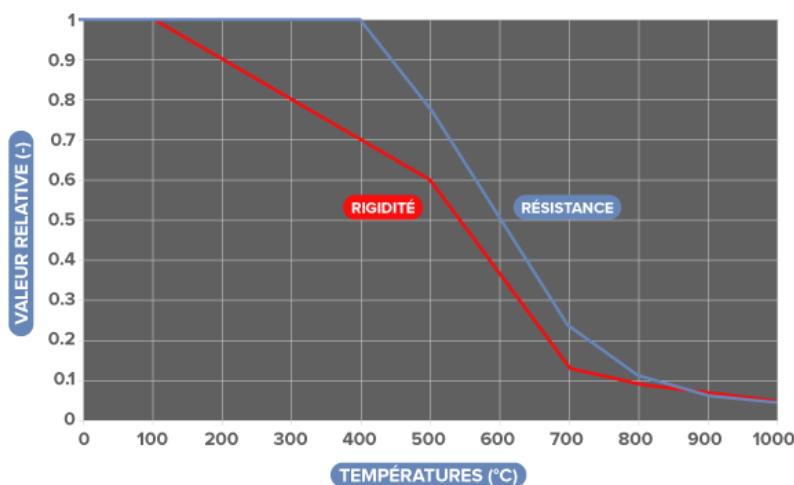
- présence de gaz combustible dans des proportions comprises entre la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la limite supérieure d'explosivité (LSE) ;
- présence d'un comburant ;
- présence d'une source d'ignition.

Il faut noter qu'en plus des risques toxiques et/ou d'anoxie créés par la présence de ces gaz, les risques d'explosion sont importants. Une explosion primaire de ces gaz peut alors engendrer la mise en suspension de poussières et une explosion secondaire.

6. Le risque bâimentaire

Lors d'un incendie, la stabilité de la structure peut être fortement sollicitée et réduite, notamment en fonction des matériaux de construction.

A ce titre, il est rappelé que la rigidité et la résistance d'une structure acier diminuent avec l'augmentation de la température comme le montre le graphique suivant :



⁷ La réaction du gaz à l'eau, ou réaction de Dussan, est une réaction chimique convertissant un mélange de monoxyde de carbone (CO) et de vapeur d'eau (H₂O) en un mélange de dioxyde de carbone (CO₂) et d'hydrogène (H₂)

En cas de surcharge, sur-remplissage, d'ajout d'eau de manière excessive ou suite à une explosion, la rupture mécanique des parois d'un silo peut générer la projection de fragments ainsi que l'ensevelissement des personnes présentes aux alentours.

Les distances correspondant au risque d'ensevelissement dépendent de la géométrie du silo et de l'angle de talutage⁸ du grain.



Produit	Angle de talutage
Blé	20° - 26°
Maïs	21° - 24°
Orge	27°
Farine	20°
Sucre	30° - 33°

L'apparition de fissures sur les structures béton est fréquente et devront éveiller l'attention du COS.

7. Les risques particuliers liés au bois

Lors d'une intervention sur une installation de stockage de coproduit⁹ de la filière bois il est primordial de connaître les caractéristiques des produits concernés.

La taille des particules :

- sciure, particules fines ;
- copeaux, particules moyennes ;
- plaquettes, grosses particules.

Le niveau de transformation du produit :

- 1^{ère} transformation = bois brut ;
- 2^{ème} transformation = bois qui a subi un traitement (colle, vernis, solvant...) ;
- 3^{ème} transformation = bois constituant les produits finis (meubles, équipements, etc.).

⁸ L'angle de talus naturel ou angle de talutage est l'angle que fait la pente du tas sous lequel s'accumule un matériau que l'on déverse. Il est caractéristique du matériau en œuvre.

⁹ Un coproduit est une matière qui est créée au cours même du processus de fabrication d'un produit, que ce soit de façon intentionnelle ou non. Le coproduit est destiné à un usage particulier, distinct de celui du produit dont il est issu.

Plus le bois concerné par le sinistre a un niveau de transformation élevé, plus la dégradation thermique va générer des gaz toxiques (acide cyanhydrique notamment pour des bois de 2^{ème} et 3^{ème} transformation).



Unité de transformation de bois

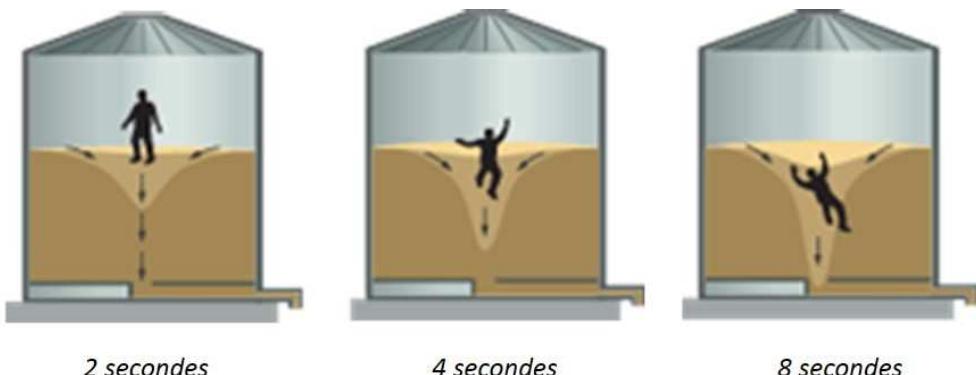
8. Les risques d'accident de personne dans les silos

a. L'ensevelissement

Le grain en mouvement

Les grains sont une matière à écoulement libre et ils sont facilement mis en mouvement dès qu'une vis de vidange démarre ou qu'une trappe est ouverte. Ils agissent alors comme des sables mouvants, et dès qu'on est enfoncé à la hauteur des genoux, il devient pratiquement impossible de se dégager soi-même.

Temps d'ensevelissement dans un stockage de grains.

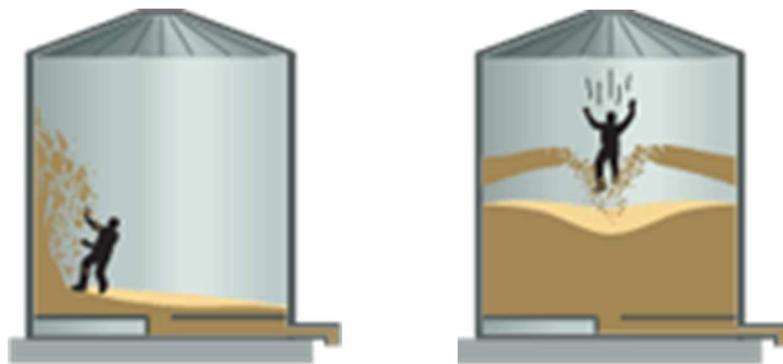


Les ensevelissemens peuvent se produire dans les silos, mais aussi dans d'autres endroits où des grains sont accumulés (par ex. : trémie, benne de camion, entrepôt, etc.).

L'agglomération des grains

Lorsque les grains montent en température ou s'humidifient, ils se détériorent et peuvent s'agglomérer, puis :

- former une colonne qui peut s'écrouler sur une personne ;
- former un pont de grains (effet voûte) qui peut céder soudainement et ensevelir une personne.



Le glissement de grains

Lorsque la pile est plus haute qu'une personne, le glissement d'une masse de grains peut survenir et l'ensevelir.

Une pente supérieure à l'angle de repos naturel du type de grain (angle de talutage) empilé augmente le risque de glissement.



Si une opération de secours nécessite d'accéder à l'intérieur d'une cellule, le COS doit appeler à la plus grande vigilance les personnels. Les conditions d'engagement sont reprises en page 62, notamment la notion de stabilisation et de protection contre les chutes.



b. Les accidents liés aux pièces en mouvement

Chaque année, des travailleurs subissent des blessures graves causées par des pièces en mouvement, notamment par les vis balais et les vis de plancher des silos.



Les bandes transporteuses sont aussi la source d'accidents graves dans ces installations. En effet, mise sous tension pour leur utilisation courante, il faut anticiper une rupture possible notamment lors d'incendie.

9. Les autres risques

a. Le risque d'asphyxie

L'anoxie peut être créée par la génération de gaz tel que le dioxyde de carbone lors de la pyrolyse ou de la combustion des poudres ou poussières, mais aussi par l'injection de gaz inerte (diazote) lors de l'intervention.

b. Le risque toxique

La dégradation thermique de certains produits peut conduire à la libération de composés gazeux toxiques comme le monoxyde carbone et l'acide cyanhydrique.

c. Le risque biologique

Dans les stations d'épuration, certains composés, notamment les boues séchées, peuvent présenter des risques biologiques (infectieux).

La mise en œuvre d'eau dans le stockage de boues « déshydratées » risque de « réveiller » ce milieu de culture biologique (levures, moisissures, bactéries...) et engendre la libération de gaz de fermentation: dioxyde et monoxyde de carbone, méthane, dihydrogène notamment.

Une zone de décontamination des tenues devra alors être mise en œuvre.



d. Les risques liés aux particules

Lors de la vidange du silo ou de sa rupture, des poussières fines peuvent être mises en suspension. Leur inhalation doit-être évitée à l'aide de masques de type FFP2 ou FFP3. Pour rappel les poussières dites alvéolaires ont un diamètre < 10 µm.

e. Les risques liés aux énergies

Les nombreux équipements présents dans les silos nécessitent la présence de source d'énergie. L'électricité est un risque bien présent sur ces sites. Pour autant, son usage pour gérer des problématiques reste nécessaire.

Section 2 : Le volet réglementaire

L'installation d'un silo ou d'une installation de stockage est soumise à plusieurs réglementations, auxquelles s'ajoutent les dispositions du code du travail.

Les silos relèvent principalement de la rubrique 2160 de la nomenclature des installations classées (silos et installation de stockage de céréales, grains, produits alimentaires ou tout produit organique dégageant des poussières inflammables)

A ce titre, plusieurs régimes sont possibles¹⁰, la déclaration, l'enregistrement ou l'autorisation pour cette rubrique.

Silots plats	
Volume total de stockage	Régime d'exploitation
Inférieur à 5000 m ³	Sans objet
Entre 5 000 et 15 000 m ³	Déclaration avec contrôle périodique
Supérieur à 15 000 m ³	Enregistrement

Autres installations	
Volume total de stockage	Régime d'exploitation
Inférieur à 5000 m ³	Sans objet
Entre 5 000 et 15 000 m ³	Déclaration avec contrôle périodique
Supérieur à 15 000 m ³	Autorisation

D'autres rubriques sont aussi concernés en fonction des produits stockés (ex : 2225 dans les sucreries) ou des activités menées sur le site (ex : 2260 pour broyage, concassage, criblage, etc.)

Dans le cadre d'un projet de silo et sa demande d'autorisation environnementale unique, les services d'incendie et de secours peuvent être consultés.

Les éléments fournis permettent aux SIS de disposer de nombreuses données comme :

- les fiches de données de sécurité ;
- la localisation des zones dangereuses ;
- les volumes de stockages ;
- les caractéristiques des infrastructures ;
- étude de danger ;
- etc.

Ces données sont consultables dans les DREAL ou DRIEE pour l'île de France.

En retour, un ensemble de prescriptions peut être formulé afin d'améliorer l'intervention des secours et sa sécurité, en particulier :

- les procédures d'intervention ;
- l'accessibilité ;
- les conditions d'accueil des secours ;

¹⁰ <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Test-agriculture.html>

- l'installation de colonne(s) sèche(s) ;
- les conditions d'inertage ;
- les zones d'épandage ;
- la défense extérieure contre l'incendie ;
- etc.

Section 3 : Les autres parties prenantes

Les interventions dans les silos nécessitent un partenariat opérationnel qui se construit en amont des opérations de secours. Ces rencontres sont nécessaires tout comme les exercices en commun.

Les opérations dans les silos sont généralement de longue durée. La disponibilité des autres partenaires intégrés dans cette section est nécessaire tout au long de l'intervention.

1. La direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL)

L'exploitation de certains sites silos relève de la législation des installations classées. Dans ce cadre, la DREAL¹¹ est un partenaire privilégié des services d'incendie et de secours, notamment lors des phases de consultation.

A cette occasion, le SIS peut recommander des mesures organisationnelles et techniques à mettre en œuvre pour faciliter l'action des secours.

2. L'exploitant et ses partenaires

L'exploitant recense, sous sa responsabilité, les parties de l'installation qui, en raison des caractéristiques qualitatives et quantitatives des matières mises en œuvre, stockées, utilisées ou produites, sont susceptibles d'être à l'origine d'un sinistre (incendie, explosion) pouvant avoir des conséquences directes ou indirectes sur l'environnement, la sécurité publique ou le maintien en sécurité de l'installation.

L'exploitant détermine pour chacune de ces parties de l'installation la nature du risque (incendie, atmosphères explosives ou émanations toxiques). Ce risque est signalé. Les aires de manipulation, manutention et stockage des produits font partie de ce recensement.

L'exploitant dispose d'un plan général des installations indiquant ces différentes zones.

L'exploitant a la connaissance de ses installations, il est l'interlocuteur et le référent technique pour l'entreprise. Les échanges avec lui permettent de mettre au point la ou les stratégies d'intervention.

3. Le surveillant de l'exploitation

L'exploitant est chargé de faire surveiller ses installations par la présence directe ou indirecte d'un surveillant. Nommé par l'exploitant, ce surveillant (ou personne référente) doit être formé à la connaissance des risques de l'installation.

Le surveillant de l'exploitation a la connaissance précise de son installation, des circuits, des produits entreposés, il est l'interlocuteur et le référent technique pour le site. Les échanges avec lui permettent de mettre au point la ou les stratégies d'intervention.

¹¹ Appelé DRIEE en Ile de France (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie)

Chapitre 2 : La conduite des opérations

Section 1 : Le traitement de l'appel

La conduite des opérations trouve son efficience dès la prise d'appel. Ainsi, un questionnement adapté est nécessaire pour permettre à la fois l'envoi des secours et des conseils pour l'appelant.

Les éléments clés sont les suivants :

- la localisation (commune, accès pour atteindre le sinistre, etc.). La géolocalisation en amont des sites peut être utile pour les situer en fonction de l'environnement proche dans le cadre de travaux de planification ;
- la description de la problématique (type de sinistre, le nombre de personnes en difficulté et leur pathologie ainsi que leur localisation, etc.) ;
- la nature du requérant (témoins, surveillant du site, exploitant, etc.) auquel il est nécessaire de donner des consignes avant l'arrivée des secours ;
- la notion de facteurs aggravants (nombreux appels, heure, localisation, contexte, etc.) est aussi à prendre en compte.

La réponse opérationnelle d'un service d'incendie et de secours peut prévoir le déclenchement d'équipes spécialisées (milieux périlleux, sauvetage déblaiement, risque chimique, etc.) au départ des secours. Si la spécialité nécessaire n'est pas développée localement, le recours au renfort zonal est à anticiper et à prévoir.

Les principaux conseils à donner aux témoins peuvent être notamment :

- se tenir à distance en fonction de la situation ;
- prodiguer si possible des gestes de premiers secours ;
- assurer un balisage pour protéger les tiers et matérialiser le sinistre ;
- guider les secours.

Section 2 : Les opérations de lutte contre les incendies

Dans le cadre des opérations de lutte contre l'incendie, les éléments de marche générale des opérations développés dans le GDO « incendie de structures » restent les actions globales à mener.

Cependant, le milieu opérationnel des silos nécessite la connaissance de principes particuliers.

Comme pour les incendies de structures, chaque sinistre est différent, notamment au regard des conceptions variées des sites silos. Il n'est donc pas proposé un dispositif type, mais un champ des possibles opérationnels. Les idées de manœuvres seront adaptées au contexte.

1. Les principes généraux de lutte

Un feu dans un silo nécessite la réalisation de trois grandes actions globales simultanément ou successivement, et sans hiérarchisation :

- arrêter les flux de produit (matière, poussières et ventilation) ;
- isoler les différentes parties hautes et basses des installations pour éviter le risque de propagation de l'incendie ;
- couper les énergies dans la cellule sinistrée, de manière concertée avec l'exploitant.

Dans le cadre des actions de mise en sécurité des installations, l'exploitant veillera à ce que seuls les circuits non nécessaires soient arrêtés. Il sera vigilant, en particulier, à ce que les automates et les circuits d'air comprimé, qui pourraient être nécessaires à l'intervention, ne soient pas systématiquement mis hors service. L'exploitant doit faire un état des lieux de la nature et de la quantité des produits stockés, de leurs caractéristiques et de la durée de stockage.

2. Les premières actions

a. Les périmètres de sécurité réflexes

Les périmètres préconisés dans cette partie sont au titre des réactions immédiates. Il s'agit de valeurs a minima, qui devront être réévaluées par la suite par le COS, en fonction des circonstances du sinistre et de ses effets possibles.

Zone d'exclusion	
silo plat	25 m
silo vertical	50 m

Dans une phase plus réfléchie, on retient la réalisation d'un périmètre d'exclusion porté à $1,5 \times$ la hauteur de l'installation ou ceux prévus dans des plans d'aide à l'intervention si le

site en fait l'objet. Les autres zones (contrôlée et de soutien) seront réalisées et affinées suivant le contexte opérationnel.

b. La prise de renseignements

Cette phase de collecte de renseignements est incontournable ; elle va permettre de prendre en compte l'évènement, en étroite collaboration avec l'exploitant. Les principales questions à poser sont :

- quelle est la nature du produit, la quantité de produit concerné par le sinistre, la capacité de la cellule ?
- quelle est la situation actuelle (relevés thermométriques, évacuations, nombre de personnes dont entreprise(s) extérieure(s), etc.) ?
- depuis combien de temps le sinistre a débuté ?
- quelles opérations (manutention, ventilation, etc.) étaient en cours ?
- quelles circonstances ont conduit au sinistre ?
- quel est l'historique du stockage depuis son ensilage ?
- quelles actions de lutte ont été réalisées ou sont en cours ?
- quels sont les moyens d'observation, de mesures ou de prélèvements disponibles sur le silo ?

La coupure des flux

Dans le cas spécifique d'un sinistre dans un silo, la coupure de l'électricité ne doit-être que partielle. Il est impératif de conserver les possibilités de manutention, d'éclairage du site, de thermométrie ou d'automatisme.

En collaboration avec l'exploitant, le COS doit s'assurer de la coupure des flux suivants :

Flux	Objectifs de la coupure
La manutention	Ne plus alimenter le foyer/cellule impacté(e) en produit et ne pas en soutirer
L'aspiration des poussières	Couper le circuit et le désolidariser physiquement du reste des installations
La ventilation de conservation	Ne plus alimenter le foyer/cellule impacté(e) en air frais

c. La reconnaissance sur le site

Elle doit être réalisée dans la mesure du possible avec l'exploitant, les cheminements à l'intérieur des structures devront être réalisées avec les équipements de protection textile, les moyens de détection et une protection respiratoire adaptée aux risques (poussières, fumées, etc.). Dans ce contexte, l'appareil respiratoire isolant offre le spectre le plus large de protection, notamment lors des opérations de lutte contre l'incendie.

3. Les produits d'extinction

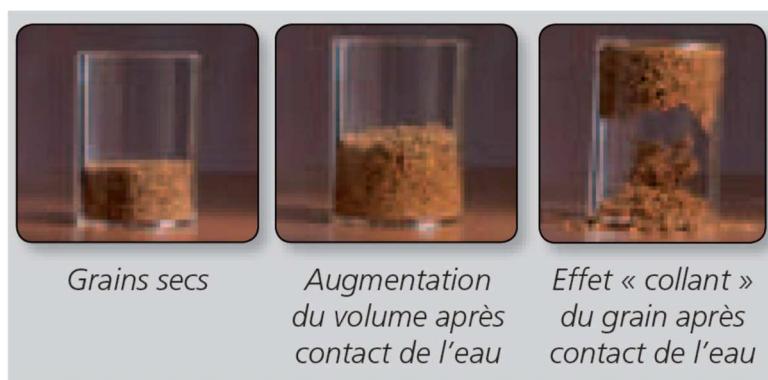
L'intervention sur un sinistre entraînera généralement la vidange de la cellule. Celle-ci sera réalisée sous protection hydraulique et avec des moyens d'extinction. Il existe plusieurs solutions techniques qu'il convient de décliner.

En fonction de l'analyse des éléments relatifs au sinistre, les techniques d'interventions suivantes pourront être envisagées :

- l'utilisation d'eau ;
- l'utilisation de mousse ;
- l'inertage.

a. L'eau

En cas d'utilisation excessive, l'eau représentera une problématique majeure voire irréversible (augmentation du poids en cellule et risque d'éclatement du silo, manutention difficile, inertage délicat, etc.). Les photos ci-dessous présentent le phénomène d'accroissement du volume du grain par le contact de l'eau.



Dans le cadre d'un sinistre en cellule de stockage de grains, l'eau peut être utilisée durant l'intervention, notamment pour :

- fixer les poussières et éviter leur mise en suspension ;
- maîtriser un début d'incendie ;
- protéger les structures voisines ;
- protéger les équipements menacés (manutention en particulier) ;
- protéger la structure porteuse.

L'utilisation de l'eau pour maîtriser un sinistre ne devra être envisagée que dans le cadre de l'extinction d'un feu directement accessible sur le grain et être utilisée en très faible quantité, en jet diffusé. En revanche, lors d'un feu au cœur, l'eau sera, a priori, à proscrire pour l'extinction.



b. La mousse

L'objectif général de la mousse est de créer un tapis isolant entre le combustible et l'air. Il permet d'éviter l'arrivée d'air et la mise en suspension des fines poussières.

La mousse pourra être employée :

- pour fixer les particules fines en haut de la cellule, en particulier lors de mouvements de grains ;
- pour maîtriser un feu de surface ;
- pour limiter la formation de mélanges explosifs.

Il est préférable d'utiliser de la mousse à moyen foisonnement. La mousse à bas foisonnement nécessite une utilisation importante d'eau et la mousse à haut foisonnement est trop « légère » pour progresser dans les cellules. La mousse devra être déposée à la surface des grains, répartie de manière uniforme pour éviter la mise en suspension des poussières. Ce tapis devra être entretenu tout au long de l'intervention.

Les contraintes associées à cette technique sont notamment :

- la hauteur des installations qui entraîne des pertes de charge ;
- la projection de la mousse qui pourra en fonction du diamètre de la cellule être difficile à réaliser ;
- la tenue de la mousse dans le temps ;
- la détection des gaz qui sera limitée du fait du caractère isolant de la mousse ;
- l'ajout de poids lié à l'eau et une possible prise en masse du produit.

Les émulseurs synthétiques multi-foisonnements sans fluor FFF (Fluorine Free Foam) présentent une mousse particulièrement stable et homogène adaptée à ce type d'intervention.

Les mouillants-moussants sont également parfaitement adaptés avec la capacité de réaliser le mélange depuis la pompe de l'engin.

L'utilisation de la mousse est à privilégier dans le cadre d'un feu de surface d'oléagineux (colza, tournesol et soja) dont le comportement est identique celui d'un feu d'hydrocarbures.



c. L'inertage

Cette technique consiste à injecter un gaz inerte (dioxyde de carbone ou diazote) pour faire baisser le taux de dioxygène. Cette technique est très longue à mettre en place (acheminement des camions, mise en œuvre du dispositif, etc.) et suppose la réunion de plusieurs paramètres (étanchéité du silo, présence de raccords adaptés, etc.).



Raccord pour inertage en pied de cellule.

L'objectif de l'inertage, est à la fois de réduire la combustion en le privant de comburant, et de prévenir le risque d'explosion. La réduction d'intensité d'un sinistre par injection de gaz inerte dans les cellules concernera des produits tels que les céréales, la luzerne, les produits oléo-protéagineux, etc. L'inertage n'est pas une technique adaptée pour le sucre, la farine et l'amidon (absence de porosité).

L'inertage n'est optimale lorsque les deux conditions suivantes sont réunies :

- feu à cœur (avec point chaud >60°C pour céréales) ;
- cellule fermée et étanche.

Les conditions suivantes doivent en général être remplies pour envisager un inertage :

- le silo doit être suffisamment étanche ;
- les points d'injection doivent être facilement accessibles et l'ensemble de la masse doit pouvoir être balayée.

Le gaz inerte doit être injecté en deux points distincts :

- dans le ciel du silo pour éviter une éventuelle explosion de gaz inflammables (il est possible d'injecter de la mousse à la place) ;
- à la base du silo pour balayer l'ensemble de la masse stockée.

L'injection doit être régulière pour éviter de mettre en suspension des poussières. L'opération peut parfois durer plusieurs jours.

Il conviendra en cas d'inertage de :

- s'équiper d'EPI adaptés ;
- ne pas s'introduire à l'intérieur des cellules ;
- ne pas ouvrir d'orifices pour éviter l'arrivée d'air ;
- assurer un suivi avec un oxymètre à proximité immédiate des intervenants ;
- éviter d'injecter du gaz à l'état liquide pour limiter les risques électrostatiques, le givrage et une expansion rapide du liquide.

Le suivi du traitement de l'incendie nécessite la surveillance du ciel de la cellule. Celle-ci consiste non seulement à mesurer la température, le taux de CO (évolution de l'incendie) et d'O₂ (efficacité et degré d'inertage) dans la cellule mais aussi veiller à l'évacuation de ces gaz sans risque pour le personnel.

L'inertage d'une cellule de stockage nécessite une quantité importante de gaz. Pour faciliter la mise en œuvre de cette opération, il est souhaitable qu'un échange préalable soit réalisé avec un fournisseur pour définir le type de gaz inerte à utiliser, les conditions d'une livraison rapide d'une quantité de gaz suffisante ainsi que les caractéristiques techniques telles que les pressions d'alimentation, les types de raccord à mettre en place sur l'installation, la longueur des tuyaux...

L'utilisation d'eau en amont de l'inertage peut entraîner des complications lors de l'intervention rendant l'inertage délicat voire inopérant du fait de la prise en masse du grain. La vidange devient alors impossible.



Différents paramètres devront être pris en compte avant de procéder à l'inertage. À ce titre, les éléments suivants sont à considérer :

- plus le volume à inertier est important, plus la quantité de gaz à prévoir est importante ;
- la porosité de l'ouvrage : plus les parois sont poreuses, plus les pertes sont importantes. L'efficacité s'en trouve donc amoindrie ;
- la température de la masse du grain : plus la température du grain est élevée, plus cette technique semble adaptée ;
- le risque de prise en masse du grain : si de l'eau a été préalablement introduite, l'inertage peut être compromis du fait de la possible prise en masse du produit ;
- pour lutter contre les feux à cœur, le taux d'oxygène doit être si possible inférieur à 8%.

Les contraintes associées à cette technique sont :

- le délai d'approvisionnement parfois important du matériel ;
- la mise en œuvre du réchauffeur¹² et son maintien dans la durée ;
- la capacité limitée des camions (de l'ordre de 30 m³) ;
- le risque cryogénique (brûlure par le froid) ;
- le risque d'asphyxie ;
- le risque électrostatique ;
- la longueur de tuyaux nécessaires.



Pour toutes ces raisons, **l'inertage ne doit pas systématiquement être mis en œuvre.**

¹² L'azote injectée ne doit pas être en phase liquide. Elle est transformée en vapeur avec le réchauffeur.

4. La vidange

La vidange est la phase la plus longue et la plus délicate d'une intervention sur un silo.

La vidange d'un silo plat ou d'un ensilage extérieur en tas, peut être réalisée à l'aide d'engin de manutention. Entrainant un risque pour le manutentionnaire et le matériel (flexibles, etc.), elle impose une protection complète adaptée à la situation.



Pour les silos verticaux, la vidange consiste à acheminer la matière stockée vers l'extérieur (goulettes extérieures de chargement, système de manutention : transporteurs, appareil de manutention). Elle permet une action directe sur la matière.

Si la vidange de la cellule sinistrée est souvent envisagée, la vidange de capacités de stockage adjacentes peut également l'être. L'objectif est d'extraire et d'éteindre la partie qui brûle et d'empêcher les propagations par conduction de la chaleur.

La vidange doit être réalisée soit sous atmosphère appauvrie en oxygène, soit en veillant au maintien d'un tapis de mousse sur les produits. La chute possible des poussières accrochées sur les parois et la mise en suspension d'une partie des poussières est à redouter. En effet, en présence d'une source d'inflammation, la manœuvre présente un risque d'explosion.



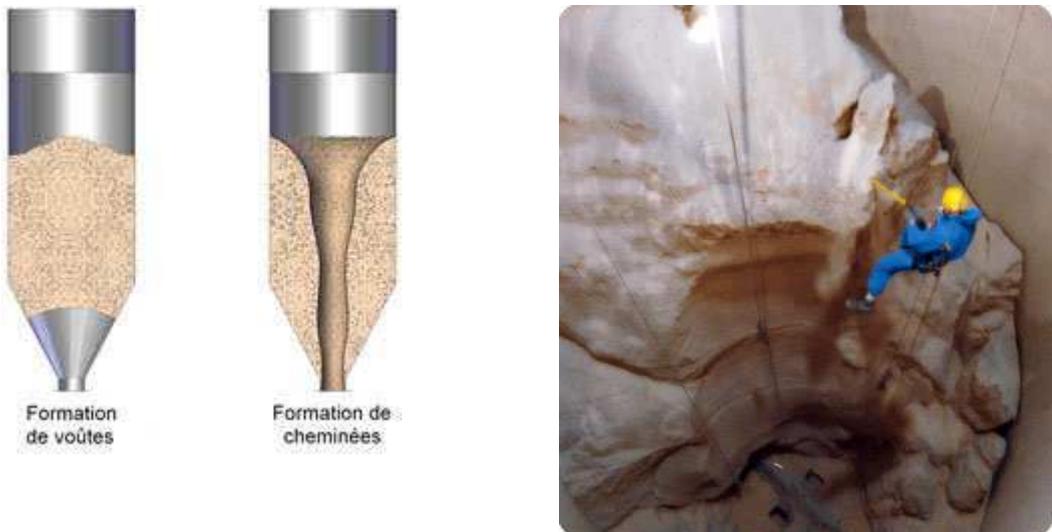
Vidange par aspiration

Il convient de noter que :

- la vidange du silo ne peut se faire que :
 - si l'état de la matière et les éléments de détection (caméra thermique, détecteur air) permettent de penser que tout risque d'explosion est minimisé ;
 - lorsqu'un réseau de mesures est mis en place, et surveillé en permanence (il s'agira d'un dialogue entre le COS et l'exploitant) ;
- la surveillance visuelle du produit en sortie permet d'en parfaire l'extinction. Il conviendra d'arroser éventuellement le produit en jet diffusé si le risque d'incendie demeure ;
- l'inflammation des particules extraites du silo peut être observée, car elles se trouvent, brutalement, en présence d'une grande quantité d'air.

Lors de la vidange, la vitesse de manutention doit être maîtrisée et le circuit de vidange doit être le plus court possible, afin de limiter la mise en suspension de poussières et le risque de propagation de l'incendie.

De plus, des situations de colmatage peuvent se produire, avec des phénomènes de voûte et de cheminée, illustrés par les schémas et photographie suivants :

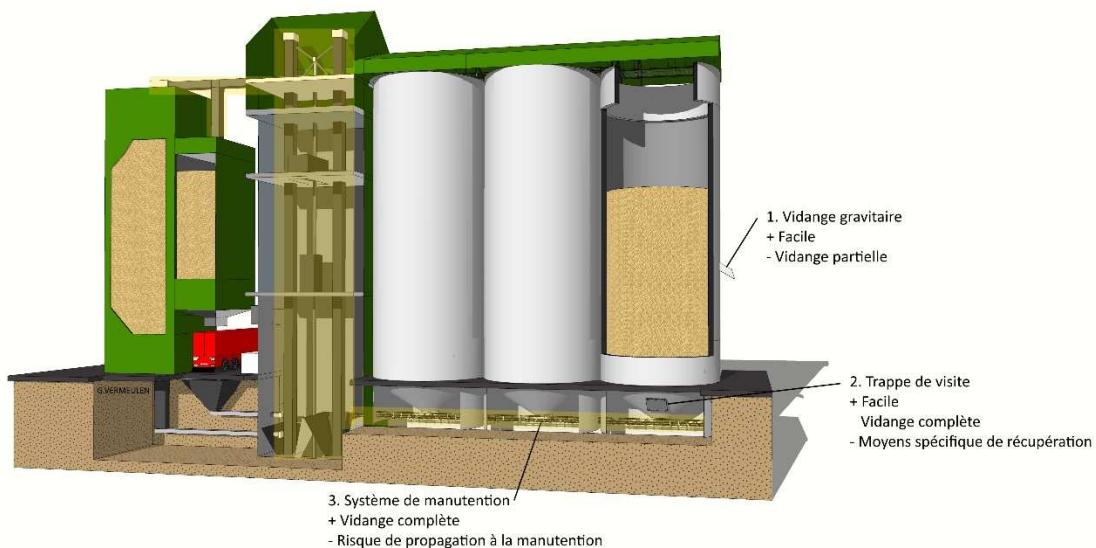


Le COS doit prendre en compte ces phénomènes et s'assurer d'une vérification visuelle des installations pour employer la notion de silo « vide ou vidangé ». La rupture de ces voûtes et cheminées peut créer des conditions de mises en suspension de poussières qu'il faut anticiper. Ces manipulations sont possibles et nécessitent le savoir-faire de professionnels de ce milieu et l'utilisation d'outils spécifiques.



Trois localisations d'accès de vidange sont possibles et indiquées sur le tableau et le schéma suivants :

Accès vidange	Méthodologie opérationnelle	Risques liés aux infrastructures	Risques pour les intervenants
Le long du silo (1)	Nécessite la création d'un accès par découpe ou carottage si absence d'une trappe de visite ¹³ . La surface de l'accès créée doit être limitée. Ne permet la vidange que jusqu'au niveau de l'accès. Vidange non intégrale	Effets de voûte et de cheminée. Risque de déséquilibre de la structure de la cellule.	Exposition du personnel lors de la réalisation de la percée. Effet de poussée du grain. Ruine de la structure. Chute de hauteur. Flash thermique possible.
En partie basse (2)	Nécessite la création d'un accès par découpe ou carottage si absence d'une trappe de visite. La surface de l'accès créée doit être limitée. Vidange intégrale	Effets de voûte et de cheminée. Risque de déséquilibre de la structure.	Exposition du personnel lors de la réalisation de la percée. Effet de poussée du grain. Ruine de la structure. Chute de hauteur. Flash thermique possible.
Système de manutention (3)	Nécessite une succession de précautions car de la matière incandescente est renvoyée dans le dispositif de manutention existant. Solution à ne mettre en œuvre qu'en dernier recours.	Propagation des points chauds. Effet de voûte. Risque d'incendie ou d'explosion au niveau des filtres (si non isolés physiquement). Explosion de gaz.	Accumulation de gaz de combustion.



¹³ Toute ouverture dans une paroi doit faire l'objet d'une note de calcul de structure afin de vérifier sa faisabilité et garantir une stabilité.

La vidange du silo doit être complète jusqu'à extraction de la masse incandescente.



La vidange étant un acte courant. Aussi, l'exploitant doit anticiper la mise à disposition des matériels de transport, afin d'acheminer les matières évacuées vers un autre lieu de stockage.

Cas particulier de la vidange via le système de manutention :

Ce principe de vidange doit être envisagé en dernier recours au regard des risques qu'il induit. En effet, ce mode de traitement impose de remettre les matières brûlées dans le circuit de manutention.

Il est alors nécessaire de disposer d'agents extincteurs dans des endroits où une propagation du sinistre est prévisible.

C'est pourquoi des points de surveillance, armés de dispositifs d'extinction adaptés, doivent être placés judicieusement. La démarche sera partagée entre le COS et le responsable d'exploitation. On peut néanmoins envisager les lieux suivants :

- la partie haute de la cellule concernée dans laquelle la mise en suspension des poussières sera empêchée avec de la mousse moyen foisonnement ;
- le bas de la cellule au niveau de l'extraction de la matière stockée ;
- le pied de l'élévateur ;
- la tête de l'élévateur ;
- la sortie du système de manutention.



L'utilisation du jet diffusé pour les lances à main est recommandée afin d'éviter une remise en suspension de poussières.

Le COS doit veiller à ne pas interrompre la continuité de la vidange et du transport des matières évacuées.

Habituellement mis hors service lors de ce type d'opérations, les systèmes de manutention resteront actifs avec cette idée de manœuvre. C'est pourquoi, outre le port des équipements de protection individuelle de lutte contre les feux de structures, une attention particulière doit être portée sur les risques d'accident possibles avec des accessoires éventuellement flottants pouvant être happés par un mécanisme de manutention.

La vidange d'une cellule de stockage est un choix tactique partagé entre le responsable des installations et le COS.

Une différence devra être faite entre un échauffement normal contrôlable et un auto-échauffement irréversible qui conduira à une auto-inflammation.

La mesure de température est alors une clé de lecture qui dépendra de la matière stockée. Si le phénomène n'est pas maîtrisable avec les installations de conservation, la vidange sera mise en œuvre.



5. Cas des feux dans une cellule de stockage

a. Le feu à cœur

Après la mise en œuvre des actions réflexes et de reconnaissance, ces interventions doivent faire l'objet d'une large réflexion et d'une planification du fait de leur cinétique lente.

Le COS et l'exploitant doivent, en fonction des enjeux, définir une stratégie d'extinction. Deux points ne doivent jamais être perdus de vue :

- pas d'eau (directement dans le stockage de grain) ;
- pas de poussière en suspension.

L'extinction complète ne peut être réalisée que par la vidange totale de la cellule. Le mode opératoire le plus judicieux sera choisi en concertation entre le COS et l'exploitant.

Nota : les retours d'expérience montrent clairement l'intérêt de créer un secteur dédié à la vidange.

Les opérations d'extinction de feux à cœur dans les silos sont des interventions longues et complexes. A ce titre, le COS doit conserver une vigilance permanente sur la sécurité des personnels engagés.



b. Le feu de surface

Très comparable à celle d'un feu « à cœur », la conduite d'une intervention pour un feu de surface est néanmoins facilitée par :

- la visibilité du sinistre ;
- l'efficacité d'une action d'extinction directe avec de l'eau pulvérisée ou de la mousse.

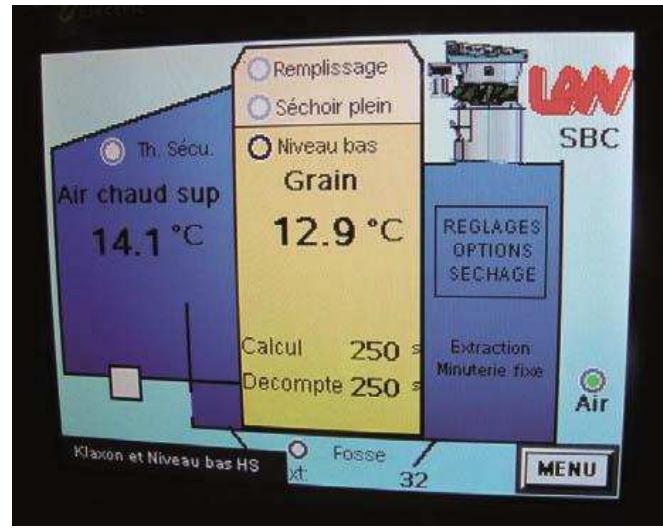
6. Cas des feux de séchoirs

40% des feux dans les installations concernent les séchoirs.



Les mêmes principes opérationnels s'appliquent pour ces feux, dans lesquels il faut prendre en compte la présence de générateurs de chaleurs (gaz ou fioul).

Les actions réflexes et de reconnaissance doivent à ce titre prendre en compte les générateurs de chaleurs présents et veiller à mettre en sécurité la distribution des fluides concernés. Parmi elles, la surveillance de la température du grain dans la zone de séchage est nécessaire.

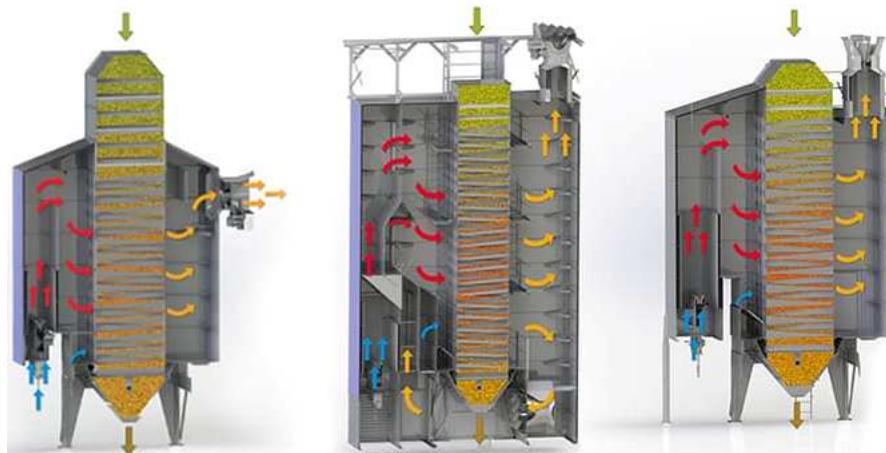


Une action doit aussi être menée pour agir sur les flux de matière entrant et sortant du séchoir.

En dehors du cas d'incendie en libre propagation dans l'ensemble du séchoir, deux cas sont possibles : les feux dans les colonnes d'air chaud ou usé et les feux dans la colonne de séchage.

a. Les feux dans les colonnes d'air chaud ou usé

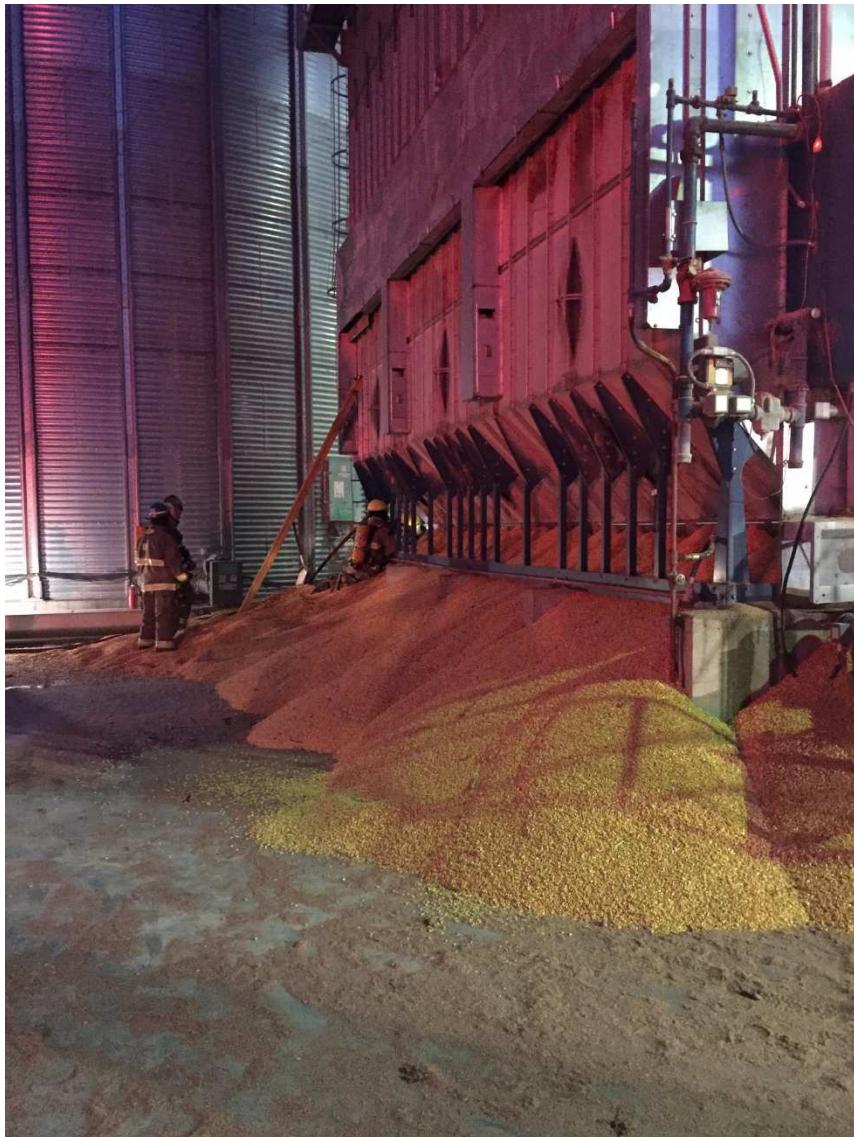
Le départ de feu a lieu dans les zones de circulation d'air chaud (flèches rouges) ou usé (flèche orange).



Il convient d'arrêter les brûleurs et de vidanger le séchoir le plus rapidement possible afin d'accéder en toute sécurité aux trappes ou portes de visite de la colonne d'air.

b. Les feux dans la colonne de séchage

La vidange à l'extérieur du séchoir est impérative. L'objectif consiste à éteindre le produit incandescent au fur et à mesure de l'extraction.



Dans le cas contraire, la méthode à mettre en œuvre sera la même que pour un feu à cœur d'une cellule de stockage, avec en complément, un dispositif de refroidissement du séchoir afin d'éviter la ruine de celui-ci sous l'effet de la chaleur (la résistance mécanique du séchoir métallique est fortement diminuée lorsqu'il est soumis à de fortes températures).

Si le séchoir tout entier est en combustion et qu'il est impossible de le vidanger, alors la seule solution est le noyage massif de celui-ci. Les points d'attaque et de vidange devront être percés au travers des tôles.

Toute découpe du séchoir devra être validée en concertation avec l'exploitant. En parallèle des opérations sur celui-ci, il faut maintenir une vigilance accrue sur l'évolution de la température dans la cellule de grain sec.



7. Cas des feux d'organes de manutentions et des autres équipements

Les actions opérationnelles réflexes et de reconnaissance doivent prendre en compte un risque à la fois local d'incendie et aussi de propagation rapide avec des équipements de manutention en mouvement.



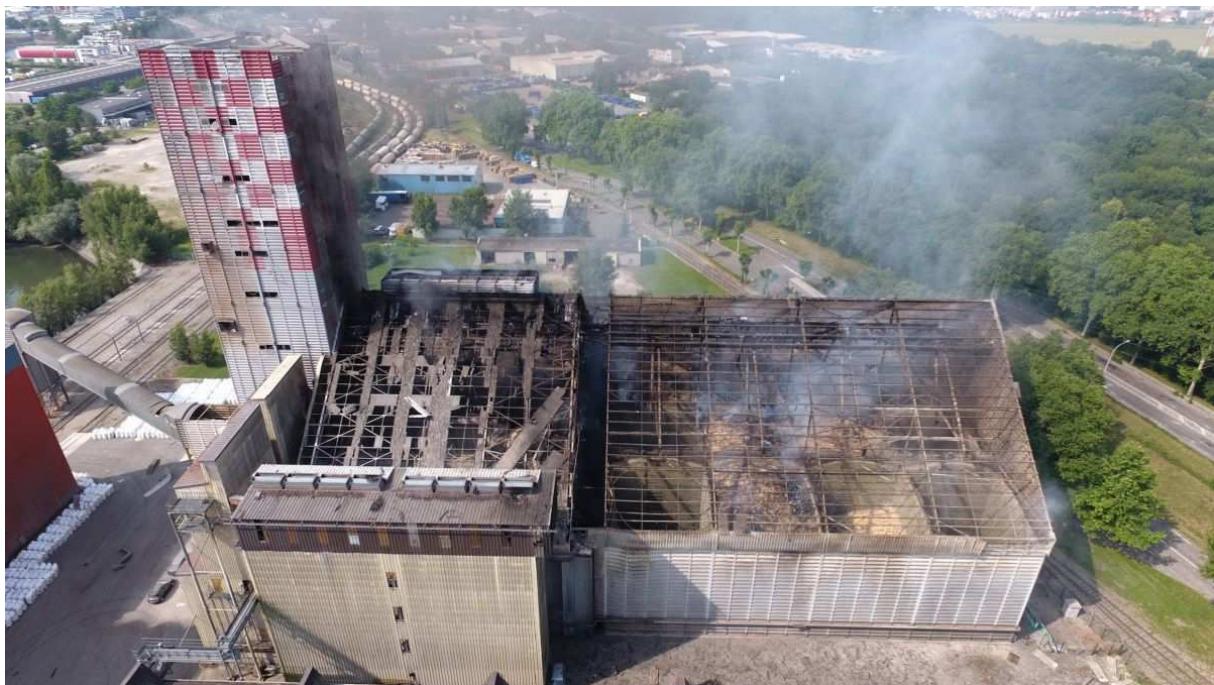
© UDR SDIS45 Florian AECK

Le COS doit veiller à faire stopper au plus vite la bande transporteuse impactée, afin de ne pas propager le sinistre, notamment vers des stockages.

Le COS doit garder à l'esprit que ces équipements lors de leur utilisation sont sous tension. En cas d'incendie ; les risques de ruptures sont possibles. A ce titre, le COS veillera à faire détendre ces matériels en lien direct avec le responsable d'exploitation.



Section 3 : Les explosions de silos



En fonction du contexte, et notamment en cas d'effondrement, la marche générale des opérations de lutte contre les feux de structures sera mise en œuvre. En complément, les actions nécessaires dans les milieux effondrés devront être menées avec les équipes spécialisées.

Ce type d'opération rappelle à plusieurs évènements majeurs du même type parmi lesquels on retiendra Metz en 1982 (12 DCD) et Blaye en 1998 (11 DCD).

Outre les dégâts sur le site, des effets sont observés jusqu'à 200 mètres autour du sinistre avec des projections de matériaux et des bris de vitre.

Les retours d'expérience de ces deux évènements mettent particulièrement en avant les actions essentielles suivantes :

- contrôler les accès au site par des points d'engagement ;
- limiter le nombre de sauveteurs au juste besoin ;
- définir les lieux de stockage des déblais ;
- définir les accès pour les noria de chargement et déchargement ;
- contrôler en continue la stabilité des structures résiduelles par des points de visée croisés tenus par des géomètres ;
- disposer de matériels de pompage pour les matières stockées ;
- mettre en place un soutien sanitaire opérationnel ;
- anticiper la longue durée de l'opération.

Section 4 : les opérations de secours d'urgence à personne

1. Cas des personnes ensevelies visibles

En complément des primo-intervenants, ces situations opérationnelles nécessitent l'engagement de spécialistes en milieu périlleux et/ou de sauvetage déblaiement. Les grands principes opérationnels sont les suivants :

- Sécurisation « victime et sauveteurs »

L'engagement dans de telles conditions nécessitera des moyens de protection individuelle à la fois contre les chutes et aussi pour les voies respiratoires et oculaires. Les mêmes protections sont à prévoir pour la victime. Une vigilance sera apporté sur un effet voute possible.



- Stabiliser la zone de travail

La zone de travail doit être stabilisée avec la mise en place de structures planes posées sur les grains et permettant aux sauveteurs d'évoluer en sécurité et sans s'enfoncer dans la matière piégeant la victime.



- Coffrer autour de la victime au fur et à mesure que le grain est retiré

Cette action permet de créer un espace stabilisé autour de la victime et permettra un début de dégagement dès que la victime sera entourée d'une structure de coffrage.



L'extraction du grain tout en continuant à coffrer va faciliter le dégagement de la victime. Elle peut être réalisée avec des seaux ou un moyen d'aspiration adapté (ex : vis de déblaiement).



- Retrait de la victime

La victime est extraite et dégagée du silo avec les techniques adaptées à la situation.



Avec l'aide des spécialistes présents, le COS veillera à choisir le point de sortie le plus approprié.

2. Cas des personnes ensevelies non visibles

Dans ce contexte, l'opération sera traitée avec les techniques opérationnelles de sauvetage déblaiement.

Plusieurs options de dégagement sont possibles :

- évacuation des matières par le haut jusqu'à découverte de la victime ;
- vidange douce de la cellule par gravité sans usage des outils saillants de désilage ;
- création d'une ouverture.

3. Cas des malaises dans un silo

Le risque principal pour une victime prise de malaise dans un silo est celui de l'anoxie, et notamment du fait de la présence de CO₂ ou d'autres gaz toxiques.

Ainsi, ce type d'opération nécessite une extraction rapide de la victime et une recherche des causes possibles.

Annexe A : Composition du groupe technique

NOM PRENOM	SERVICE
DUMONT Philippe	SDIS 95
ESLAN Sylvain	SDIS 81
FRADIN Benoit	SDIS 77
GRAS Arnaud	SDIS 72
HOREAU Sébastien	SDIS 974
MENA Bertrand	SDIS 65
MONTEIRO Olivier	SDIS 26
MONTES Mickael	SDIS 28
PETIT Christophe	SDIS 02
POICHOTTE François	SDIS 51
RETHORET François	SDIS 19
SELLIER Jean Marc	SDIS 01
SEFFRAY Nicolas	DGSCGC - BDFE
VERDIER Florent	COOP de France

Annexe B : Demande d'incorporation des modifications

Le lecteur d'un document de référence de sécurité civile ayant relevé des erreurs, ou ayant des remarques ou des suggestions à formuler pour améliorer sa teneur, peut saisir le bureau en charge de la doctrine en les faisant parvenir (sur le modèle du tableau ci-dessous) au :

- **DGSCGC/DSP/SDDRH/BDFE**
Bureau en charge de la doctrine, de la formation et des équipements
Place Beauvau, 75 800 PARIS cedex 08
- ou à l'adresse dgscgc-bdfe@interieur.gouv.fr

N°	PROPOSITION DE MODIFICATION	ORIGINE	DATE

Les modifications validées par le bureau en charge de la doctrine seront répertoriées en rouge dans le tableau de la présente annexe.

Annexe C : Références

De nombreux ressources ont servi de base de travail à ce GDO, mais les principales sont :

Connaître et faire face aux risques des organismes stockeurs de la filière agricole,
Tomes 1 et 2, 2010-2011 ;

Note de doctrine opérationnelle du SDIS de la Drôme du 30/07/2018

Partage d'expérience du SDIS 67 2018

Mémoire RCH4, « explosion de poussières », 2010 ;

Guide de l'état de l'art sur les silos V3 :

www.guide-silo.com

www.csst.qc.ca/prevention/secteur/agriculture/semaine-prevention/pages/2016-silos-grains.aspx

www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20944

www.ineris.fr/fr/omega-21-explosions-poussieres-phenomenologie-modelisation-effets

<https://www.udr45.fr/>

<https://www.youtube.com/watch?v=DT014E-aQQ4>

Illustrations :

SDIS 80 (Guillaume VERMEULEN)

Résumé

Secours d'urgence aux personnes, incendies, accidents divers... les interventions dans les silos nécessitent une bonne appréhension de l'environnement dans lequel évolueront les secours et une réelle compréhension de l'action complémentaire des différents acteurs.

Ce guide de doctrine est destiné à offrir des notions de culture des risques et de conduite opérationnelle pour les opérations de secours dans les silos.

S'appuyant sur les travaux d'un groupe de travail issu des services d'incendie et de secours et d'industriels du milieu silo, cette production vise plus particulièrement à éclairer sur :

- l'analyse et la connaissance des risques liés aux interventions dans les silos ;
- le rôle des parties prenantes dans ce milieu opérationnel ;
- les éléments nécessaires à une montée en puissance de la réponse opérationnelle ;
- les principes de sécurité lors des diverses missions.



09/2019

Téléphone : 01 72 71 66 32

Ces guides ne sont pas diffusés sous forme papier. Les documents réactualisés sont consultables sur le site du ministère. Les documents classifiés ne peuvent être téléchargés que sur des réseaux protégés.

La version électronique des documents est en ligne à l'adresse :

<http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Documents-techniques/DOCTRINES-ET-TECHNIQUES-OPERATIONNELLES>

à la rubrique Opérations avec des risques locaux spécifiques.