

5.8 Impact acoustique et vibratoire

En phase d'exploitation, le convoyeur à bande, la salle des compresseurs, les surpresseurs pour le transport de charbon, et le canon à air comprimé de la tour de précalcination sont considérés comme des sources probables de bruit. Les équipements bruyants seront capotés et/ou situés dans une enceinte close bardée.

Situé au centre de la cimenterie à plus de 100 m des limites de propriété, les nouveaux équipements ne sont pas susceptibles d'engendrer un impact acoustique supplémentaire perceptible par rapport à l'environnement global de la cimenterie.

5.9 Impact sur la production de déchets

La mise en place des nouveaux équipements ne générera pas de déchets supplémentaires.

5.10 Impact sur la consommation énergétique

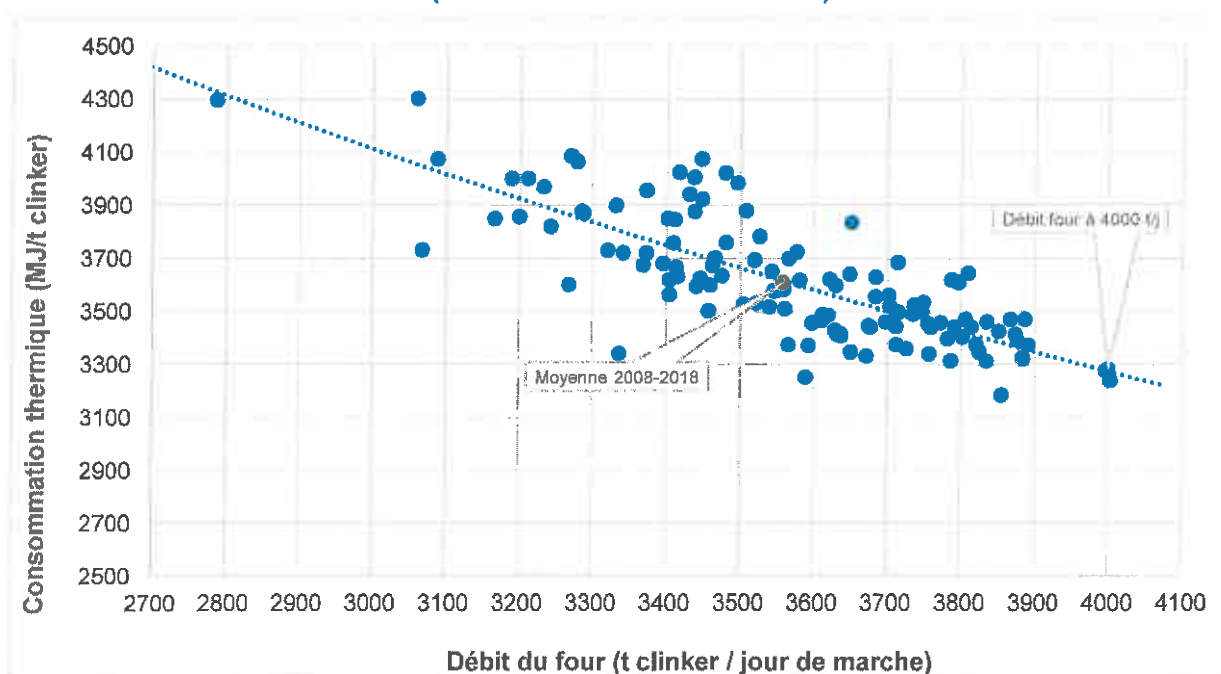
Consommation thermique

Le BREF cimentier mentionne le système de cuisson avec précalcination comme la meilleure technique disponible :

Choix du procédé (MTD 5, section 1.5.3.1 du BREF)	<ul style="list-style-type: none"> • Pour les installations nouvelles et les mises à niveau majeures, utiliser un système de four à voie sèche avec préchauffeur à cyclones et précalcinateur. En conditions d'exploitation normales ou optimisées, la valeur de bilan thermique associée à la MTD est comprise entre 2900 et 3300 MJ/tonne de clinker (MTD 5, section 1.5.3.1).
---	---

L'analyse des données de production montre également que la consommation thermique spécifique décroît avec l'augmentation du débit du four, comme présenté sur la figure suivante.

Figure 16 : Evolution de la consommation thermique spécifique en fonction du débit du four (données mensuelles 2008-2018)

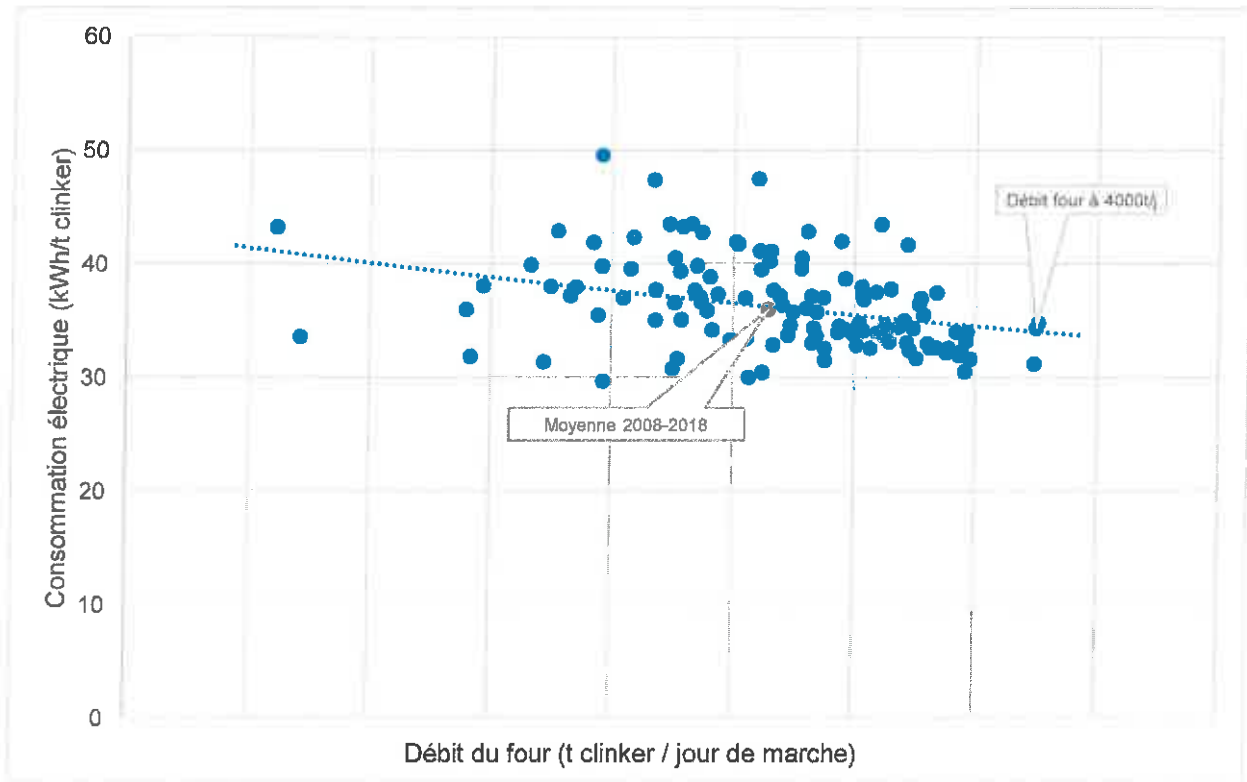


Le projet aura donc un impact positif sur la consommation thermique.

Consommation électrique

L'analyse de nos données de production montre également que la consommation électrique spécifique décroît avec l'augmentation du débit du four :

Figure 17 : Evolution de la consommation électrique spécifique en fonction du débit du four (données mensuelles: 2008-2018)



Cependant, l'ajout de la tour de précalcination apportera une perte de charge supplémentaire au niveau de la ligne de cuisson. Cette perte de charge provoquera une légère augmentation de la consommation électrique. Au global, l'impact du projet sur la consommation électrique sera quasiment nul.

5.11 Synthèse des impacts

Tableau 7 : Synthèse des impacts liés à la demande de modification de CIMENTS CALCIA

Thématique		Pas de modification d'impact	Impact Positif	Impact Négatif	Nature de l'impact/Mesures compensatoires
§ 5.1	Topographie, paysage, contexte humain	X			La tour de précalcination sera accolée à la tour de préchauffage existante.
§ 5.2	Géologie - Hydrogéologie			X	Le nouveau silo de charbon pulvérisé et la tour de précalcination seront installés au niveau de la tour de préchauffage existante, où les sols sont déjà bétonnés.
§ 5.3	Eaux superficielles – Hydrologie : - ruissellement - qualité des eaux superficielles	X		X	Imperméabilisation de 500 m ² supplémentaires. Le bassin de collecte des eaux pluviales est suffisamment dimensionné.
§ 5.4	Trafic routier	X			La nouvelle installation ne génère pas de modification du trafic routier du site.
§ 5.5	Qualité de l'air		X		La nouvelle installation SCNR permettra de diminuer les rejets atmosphériques.
§ 5.6	Les odeurs	X			L'activité ne générera pas d'odeurs
§ 5.7	Risque sanitaire		X		La modernisation de l'installation n'engendrera pas d'impact sanitaire significatif.
§ 5.8	Environnement acoustique et vibratoire	X			Les équipements bruyants seront capotés. Pas de vibration particulière associée au projet.
§ 5.9	Production de déchets	X			Les nouveaux équipements ne généreront pas de déchets.
§ 5.10	Consommation énergétique	X			La précalcination permettra de réduire la consommation thermique. Elle n'aura pas d'impact sur la consommation électrique.

6. Modification des dangers

Le projet induit une modification des risques pour les équipements alentours. Ils sont détaillés ci-après.

L'installation d'un silo de charbon pulvérisé et de cuves d'eau ammoniacale nécessite des moyens de prévention et de protection de manière à réduire la probabilité d'occurrence et la gravité d'un accident. Ils sont exposés ci-après.

6.1 Analyse préliminaire des risques (APR)

Objectifs et principes de l'APR

Dans le cadre de la présente étude, une situation de danger est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée peut provoquer des blessures ou des dommages matériels.

L'objectif de l'APR est de déterminer les dangers qui pourraient conduire à l'exposition d'enjeux du voisinage externe à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

L'Analyse Préliminaire des Risques/des Dangers (APR) est définie en particulier dans le rapport INERIS - DRA 067 du 13/10/2006 - Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle dont nous reproduisons ci-après quelques extraits.

Cette méthode (APR) ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée. Dans le cas d'une installation complexe existante, comme l'indique son nom, l'APR constitue une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyses de risques plus détaillées.

L'Analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent :

- des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités...
- des équipements dangereux comme, par exemple, des stockages, zones de réception-expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...),
- des opérations dangereuses associées au procédé.

L'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode. A partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs situations de danger.

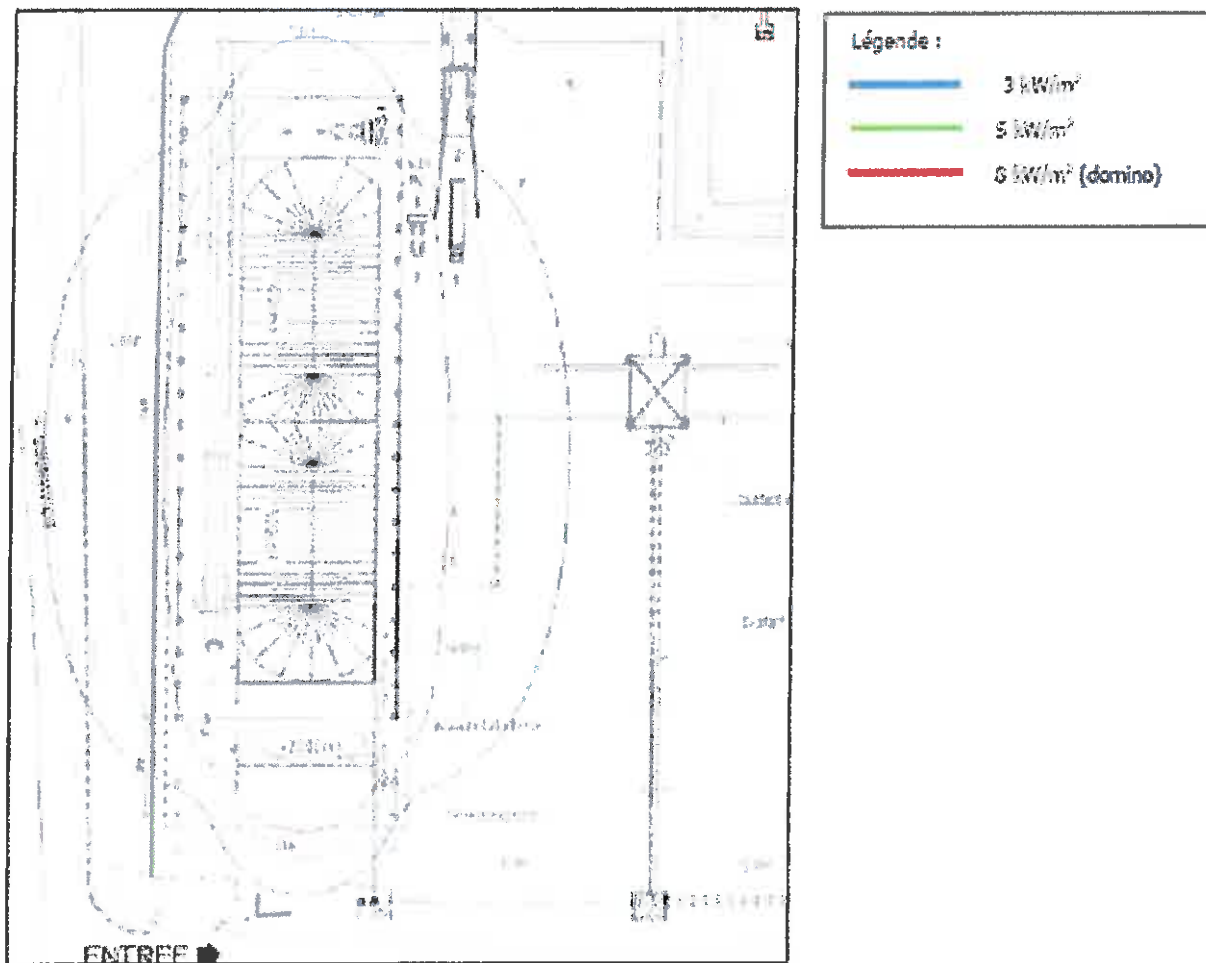
Méthode retenue pour l'APR

L'APR est effectuée en six étapes :

- Etape 1 : identification des dangers des substances. Il s'agit des substances présentes ou susceptibles d'apparaître sur le site ;
- Etape 2 : connaissance des dangers par le retour d'expérience ;
- Etape 3 : éléments dangereux et MMR. Il s'agit de l'identification des éléments dangereux des installations et de l'environnement, et des mesures de maîtrise des risques (MMR) préventives d'événements dangereux ;
- Etape 4 : réduction des potentiels de danger. Il s'agit de vérifier si les potentiels de danger peuvent encore être réduits ;
- Etape 5 : tableaux de synthèse de l'APR. Il s'agit de procéder à la classification des éléments dangereux ;
- Etape 6 : conclusion de l'APR : sélection des situations de danger pouvant conduire à des phénomènes dangereux pour les enjeux externes.

- Le stockage de matière brute (charbon et coke de pétrole) est situé 350 m au sud-ouest de l'installation SNCR et du précalcinateur ;

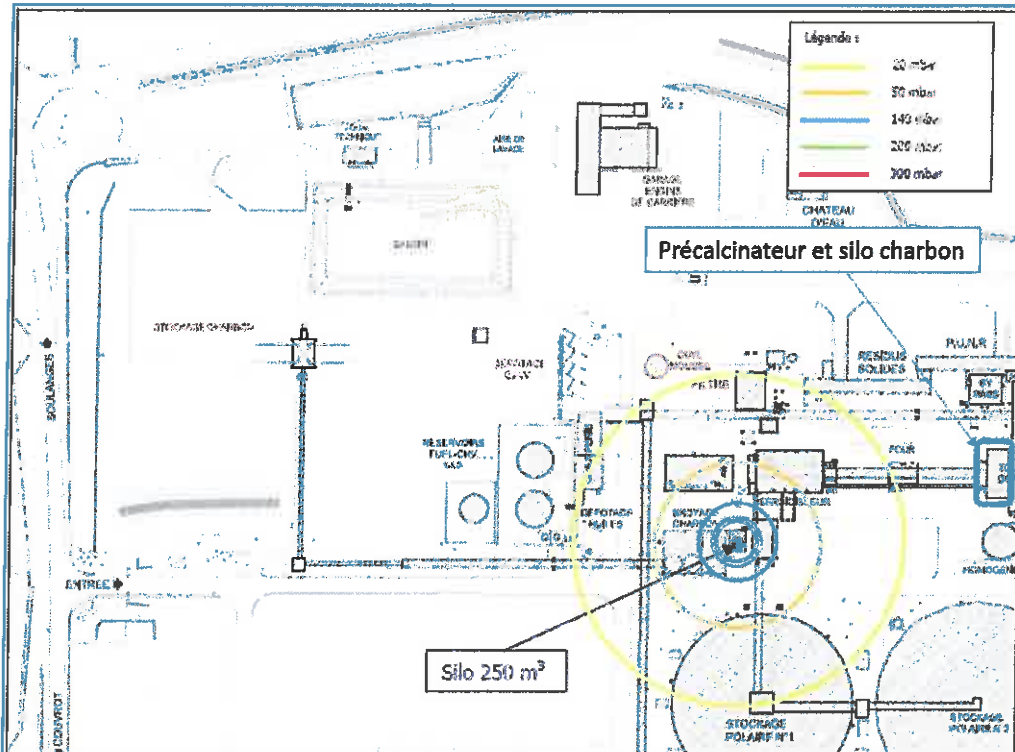
Figure 20 : Représentation graphique à 1,5 m du sol de l'incendie de matière brute sans mur coupe-feu (source Etude de dangers de la cimenterie 2011)



Les futures installations ne sont pas dans la zone d'effets dominos.

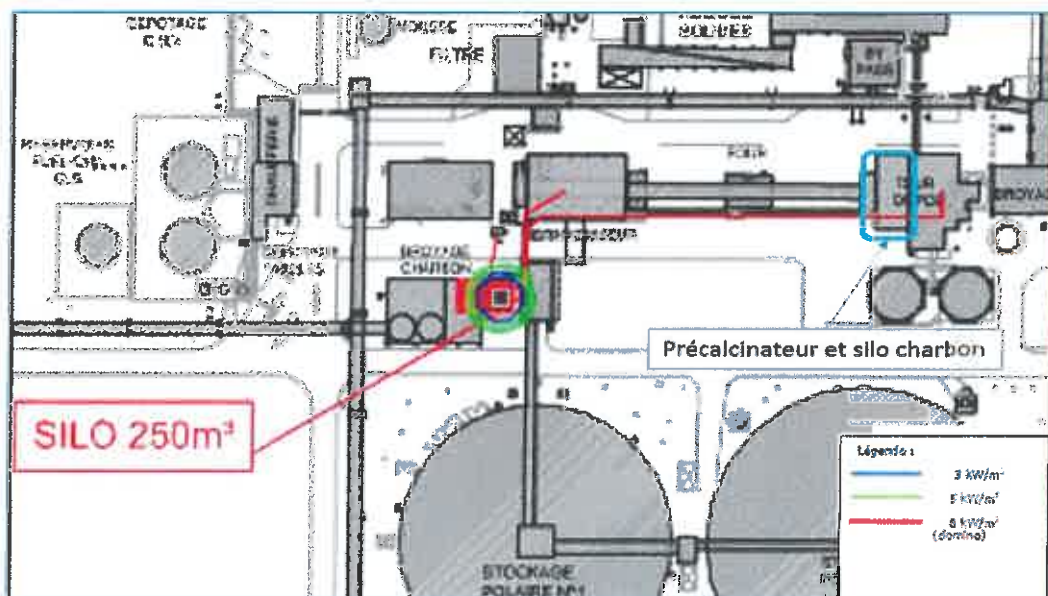
- Le silo de combustible pulvérisé est situé 100 m au sud-ouest de l'installation SNCR et du précalcinateur.

Figure 21 : Représentation graphique au sol des zones d'effets de l'explosion du silo de combustibles pulvérisés (source Etude de dangers de la cimenterie 2011)



Les futures installations ne sont pas dans la zone d'effets dominos.

Figure 22 : Représentation graphique à 1,5 m du sol de l'incendie de silo de combustibles pulvérisés (source Etude de dangers de la cimenterie 2011)



Les futures installations ne sont pas dans la zone d'effets dominos.

Les modélisations réalisées dans le cadre de l'étude de dangers de 2011 montrent que les cuves d'eau ammoniacale et le nouveau silo de charbon pulvérisé projetés ne sont pas touchés par des effets dominos si un accident survient au sein d'une installation listée ci-avant.

6.2.3 Potentiels de dangers liés à l'installation SNCR

6.2.3.1 Potentiels de dangers liés aux caractéristiques de l'eau ammoniacale

Le tableau ci-après présente les caractéristiques physico-chimiques de l'eau ammoniacale. Sa FDS est présentée en annexe 4.

	Caractéristiques de l'ammoniaque < 25 %
Numéro CAS	1336-21-6
pH	12
Densité à 20°C	0,91 g/cm ³
Couleur	Incolore
Point de fusion	-57,5°C
Point d'ébullition	37,7°C
Température d'auto-inflammabilité (°C)	Non applicable
Point d'éclair	Non applicable
Température d'inflammation	630°C
LIE	15 %
LSE	28 %
Quantité présente	80 m ³
Mention de danger	H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves H335 : Peut irriter les voies respiratoires.
Pictogrammes	SGH05 : Corrosif SGH07 : Nocif ou irritant
Matières à éviter	Aluminium, zinc, argent Iode, oxydes mercure Acides forts Halogènes Peroxydes
Produit de décomposition en cas d'incendie ou d'échauffement	Dégagement d'ammoniac au-delà de 40°C

Une mauvaise manipulation, un stockage inadapté, choc ou usure sur la cuve / les canalisations associées, peut entraîner les accidents suivants :

- pollution lors des opérations de dépotage ;
- perte de confinement de la cuve ;
- émissions de vapeurs toxiques d'ammoniac par l'évent de la cuve en cas de température trop élevée ;
- émissions de vapeurs toxiques d'ammoniac en cas d'incendie à proximité ;
- fuite au niveau des circuits de transfert.

6.2.3.2 Potentiels de dangers liés à l'explosivité des vapeurs d'ammoniac

La tension de vapeur de l'ammoniac est fonction de sa température (source : INERIS) :

Température (°C)	- 77,71	- 33,4	- 18,7	0	4,7	20	25,7	30	50,1	78,9
Pression absolue (bar)	0,06077	1,013	2	4,29	5	8,56	10	11,66	20	40

Un litre de liquide libère 947 litres de gaz (détendu à 15°C, sous 1 bar de pression).

La température d'auto inflammation de l'ammoniac est de 630°C. La dissociation en azote et hydrogène commence vers 450-500°C.

L'ammoniac brûle très difficilement dans l'air sans l'aide d'un hydrocarbure ou d'un catalyseur, mais il peut former avec l'air des mélanges explosibles entre 16% et 25% en volume dans l'air. Même s'il n'est pas classé comme un gaz inflammable, son potentiel d'inflammabilité n'est que légèrement inférieur à celui de certains gaz qui répondent aux critères officiels d'inflammabilité.

Pratiquement ces conditions ne peuvent exister qu'en ambiance confinée.

L'énergie minimale d'inflammation par une étincelle est de 680 MJ, soit 10 000 fois l'énergie d'inflammation de l'hydrogène.

En présence d'air, sans catalyseur et au contact d'une flamme, la combustion donne selon la température de la flamme, de l'azote et ses composés oxygénés (N₂O, NO, NO₂) et H₂O.

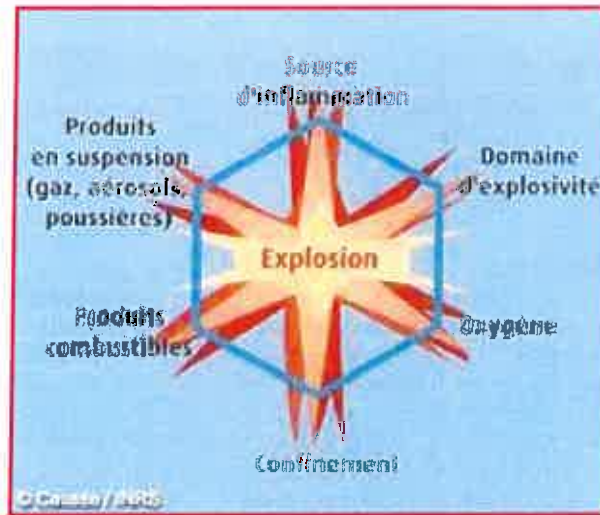
Le phénomène d'explosion survient lorsque des gaz inflammables ou des poussières en suspension sont enflammés par une source d'inflammation d'énergie suffisante.

Pour qu'une explosion de gaz se produise, il est indispensable de réunir simultanément les conditions d'occurrence suivantes :

- Présence d'un produit combustible (gaz) ;
- Présence d'un gaz comburant, comme, par exemple, l'oxygène de l'air ;
- Création d'une source d'inflammation d'énergie suffisante ;
- Formation d'un nuage de gaz combustible ;
- Teneur en combustible comprise entre la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) et la Limite Supérieure d'Explosivité (LSE) ;
- Mélange suffisamment confiné.

On parle d'hexagone de l'explosion (cf figure ci-après).

Figure 23 : Hexagone d'explosion



La solution d'eau ammoniacale va libérer de l'ammoniac gazeux dès 40°C. Cependant, au vu des caractéristiques physiques de l'ammoniac, l'eau ammoniacale (à 25%) va libérer de l'ammoniac en quantité supérieure à la limite supérieure d'explosivité.

Ainsi, le risque d'explosion interne de la cuve par atteinte de la limite d'explosivité (et en présence d'une source d'ignition) est très improbable.

En outre, le phénomène d'explosion de vapeurs d'ammoniac libérées dans une cuve d'eau ammoniacale n'est pas un phénomène rencontré dans l'accidentologie (cf § 6.4).

6.2.3.3 Potentiels de dangers liés à la cuve de stockage vis-à-vis du phénomène de pressurisation

Pour une cuve à toit fixe, la formation de gaz va entraîner une montée en pression de la cuve (phénomène de pressurisation). Pour l'ammoniac, comme détaillé au paragraphe précédent, la pression absolue augmente rapidement avec la température.

Si l'augmentation de pression dépasse la pression de rupture de la cuve, on va assister à un éclatement de celle-ci.

Ce phénomène peut toutefois être évité si la cuve est pourvue d'un événement suffisamment dimensionné pour empêcher la surpression.

- **Méthode de calcul de la surface d'évent**

La méthode de dimensionnement des événements de pressurisation est fournie à l'annexe I de l'arrêté du 3 octobre 2010 relatif au stockage en réservoirs aériens manufacturés de liquides inflammables exploités dans un stockage soumis à autorisation au titre de la rubrique 1432 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Elle consiste en un premier lieu à calculer le débit de vaporisation du bas pris dans un incendie, puis à calculer la surpression interne et déduire la section minimale d'évent nécessaire pour évacuer cette surpression.

Le débit de vaporisation se calcule suivant la formule suivante :

$$U_{FB} = 70900 \cdot A_W^{0,82} \cdot \frac{Ri}{Hv} \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}$$

Où :

U_{FB} : débit de vaporisation (en Nm³/h d'air)
 A_W : surface de robe (en m²) en contact du liquide avec une hauteur plafonnée à 9 m
 Ri : coefficient de réduction pour prendre l'isolation thermique (1 si aucun isolant)
 Hv : Chaleur de vaporisation (en kJ/kg)
 T : température d'ébullition (en K)
 M : masse molaire en kg/kmole

La section minimale S_e est calculée suivant la relation suivante :

$$S_e = \frac{U_{FB}}{3600 C_d} \sqrt{\left(\frac{\rho_{air}}{2\Delta P}\right)}$$

Avec :

S_e : section d'évent
 U_{FB} : débit d'évaporation en Nm³/h d'air
 C_D : coefficient aéraulique de l'évent (entre 0,6 et 1)
 ρ_{air} : masse volumique de l'air, soit 1,3 kg/m³
 Δp : surpression devant être évacuée en pascals, assimilée à la pression de design du bac.

Les cuves seront équipées d'évent de pressurisation permettant d'évacuer la surpression créée en cas de montée en pression d'une des cuves d'eau ammoniacale. La cuve gardera ainsi son intégrité. Le phénomène d'éclatement par pressurisation n'est donc pas retenu car jugé physiquement non possible.

6.2.4 Potentiels de dangers liés au silo de charbon pulvérisé

6.2.4.1 Rappel sur le phénomène d'explosion

L'explosion est le phénomène le plus redouté pour un équipement de type silo. Le paragraphe 6.3.4.2 reprend le principe de ce phénomène et les paramètres engagés dans sa survenance.

Les potentiels de dangers associés aux produits stockés dans les silos sur le site CIMENTS CALCIA de Couvrot et aux équipements techniques qui s'y rapportent sont ensuite étudiés respectivement aux paragraphes 6.3.4.3 et 6.3.4.4.

6.2.4.2 Principe

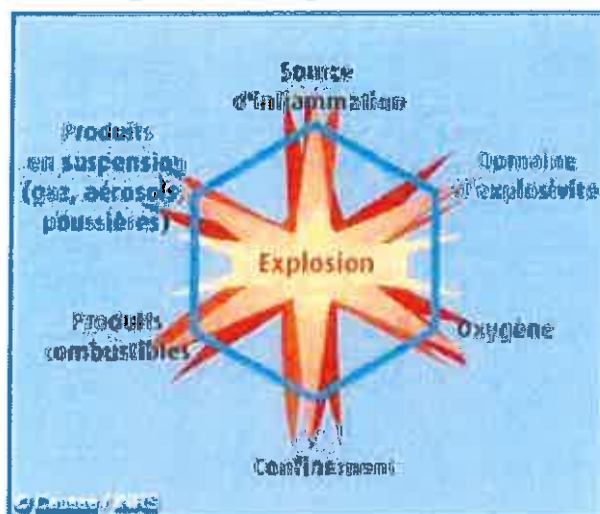
Le phénomène d'explosion survient lorsque des poussières en suspension ou des gaz inflammables (issus de la fermentation anaérobie, de l'auto-échauffement) sont enflammés par une source d'inflammation d'énergie suffisante.

Pour qu'une explosion de poussières se produise, il est indispensable de réunir simultanément les conditions d'occurrence suivantes :

- Présence d'un produit combustible (poussières) ;
- Présence d'un gaz comburant, comme, par exemple, l'oxygène de l'air ;
- Création d'une source d'inflammation d'énergie suffisante ;
- Formation d'un nuage de gaz combustible, ou de poussières combustibles en suspension ;
- Teneur en combustible comprise entre la Concentration Minimale d'Explosion (CME) et la Concentration Supérieure d'Explosibilité (CSE) ;
- Mélange suffisamment confiné.

On parle d'hexagone de l'explosion.

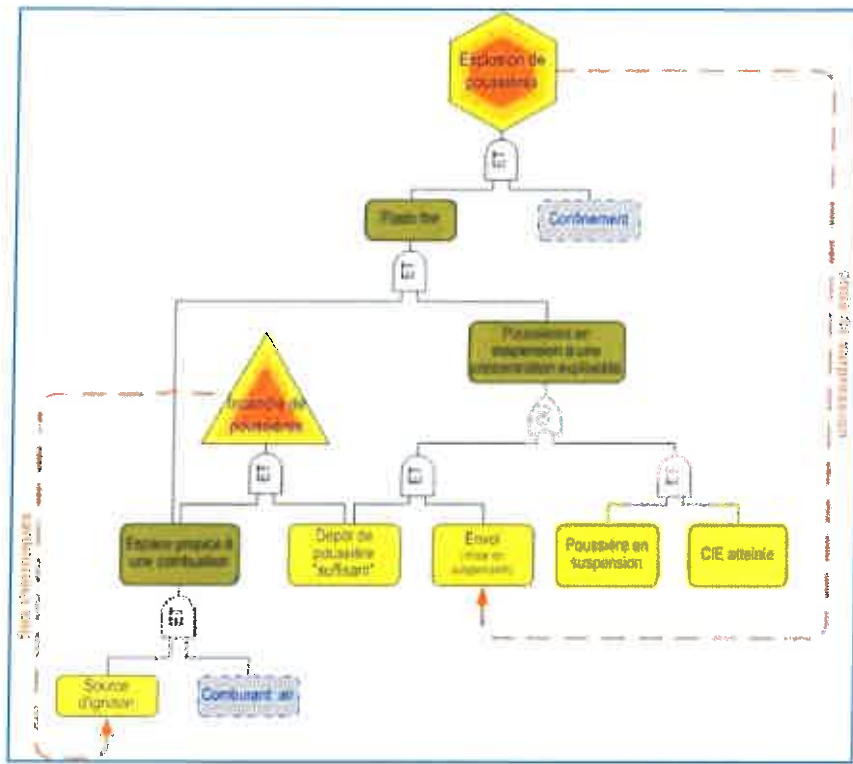
Figure 24 : Hexagone d'explosion



La réaction se traduit par une transformation très rapide de poussières solides à température ambiante en gaz chaud à 1000-2000°C.

Le volume subit donc une expansion très importante (d'un facteur de l'ordre de 50 à 100), responsable d'effets de pression en milieu confiné. C'est cette expansion thermique qui crée les effets mécaniques de surpression dans l'enceinte au sein de laquelle a lieu l'explosion de poussières.

Figure 25 : Diagramme des incidents et accidents liés aux poussières (source : guide-silo.com)



Les différentes conditions nécessaires à l'apparition d'un risque d'explosion sont développées ci-dessous.

Nota : La suite de l'étude de dangers démontrera que les conditions nécessaires au phénomène d'explosion ne peuvent pas être remplies simultanément.

► Oxygène

Lorsque la teneur en oxygène dans le nuage est inférieure à une valeur critique, l'explosion ne peut pas se développer. Cette teneur seuil en oxygène est appelée Concentration Limite en Oxygène (CLO). La CLO est de l'ordre de 10 % pour la plupart des poussières organiques.

Il est possible d'influer sur la CLO par inertage. En effet, l'ajout d'un gaz inerte avec l'air abaisse la teneur en oxygène de l'atmosphère, et de ce fait rend la combustion du mélange air-poussières impossible.

► Poussières combustibles

On désigne par poussières combustibles des matières solides divisées en particules de diamètre inférieur à 0,5mm.

La probabilité d'une explosion devient très faible pour des dimensions supérieures à un diamètre moyen de 300-400 µm et quasi nulle pour un diamètre de 500 µm. Le nuage s'effondre et l'explosion s'étouffe d'elle-même.

Pour exploser, les poussières doivent être des poussières combustibles. C'est le cas de nombreux produits naturels (souvent d'origine organique) ou synthétiques.

La puissance de combustion développée par la poussière dépend de :

- Sa granulométrie (la vitesse de combustion est d'autant plus grande que les particules de poussières sont petites donc nombreuses et qu'en conséquence la surface en contact avec l'air est importante) ;
- Son humidité.

► **Mise en suspension**

La stabilité d'un nuage peut être définie comme sa capacité à rester en suspension dans l'air. Elle est caractérisée par le pouvoir de re-suspension.

Plus ce paramètre est grand, plus le nuage a tendance à rester en suspension.

Le pouvoir de re-suspension dépend de :

- La densité du nuage de poussières (concentration de la poussière dans l'air) ;
- La masse, la forme et la taille des particules ;
- Le degré de compactage, d'agglomération des particules entre elles (qui est fonction de leur propre teneur en humidité) ;
- Des conditions ambiantes (humidité relative, température et effets électrostatiques).

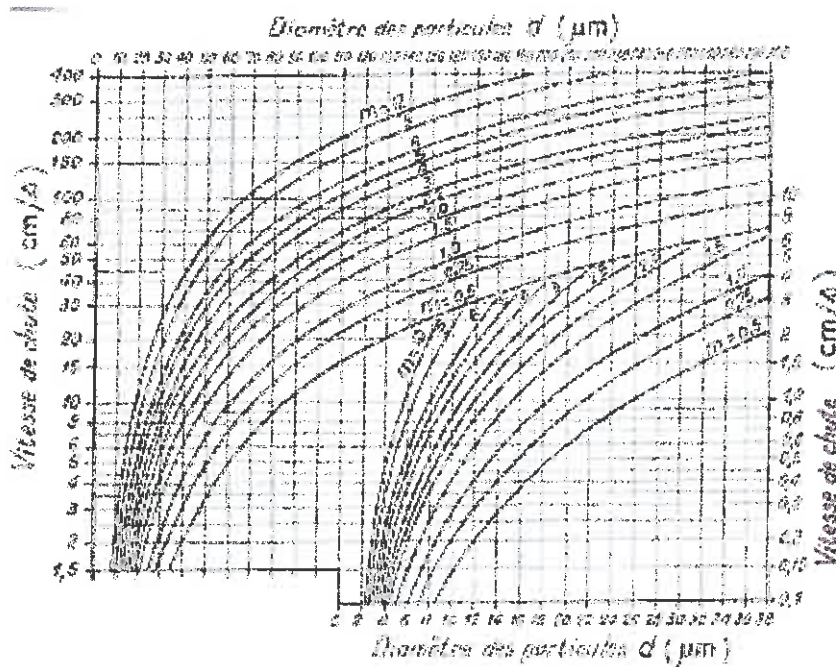
La poussière peut être mise en suspension :

- Dans les transporteurs verticaux ;
- Dans les dispositifs de nettoyage ;
- Au niveau de la chute des produits (sur un transporteur à bande notamment) ;
- Lors du traitement des poussières (filtre, cyclone, cyclo-filtre) ;
- Lors de la mise en suspension, par un souffle, de poussières initialement en dépôt (sous l'effet d'un courant d'air ou d'un front de pression généré par une explosion).

Figure 26 : Vitesse de sédimentation en fonction de la taille des particules (source : INRS – ED944 - les mélanges explosifs, Poussières combustibles – 2006)

Diamètre des particules (en microns)	Vitesse de sédimentation (en m/s)
200	1,2
100	0,3
50	0,03
10	0,003
5	0,0007
1	0,00003

Figure 27 : Vitesse de chute des particules en fonction de leur taille et de leur masse volumétrique (source : guide-silo.com)



m = masse volumétrique (kg/dm^3) à 20°C

► Domaine d'explosivité

Pour qu'un nuage de poussières soit un « nuage explosible », la concentration de poussières dans l'air doit être située entre 2 valeurs : la CIE (concentration inférieure d'explosivité) et la CSE (concentration supérieure d'explosivité).

Pour les poussières les plus courantes, la CIE (concentration inférieure d'explosivité) est le plus souvent comprise entre 20 et $100 \text{ g}/\text{m}^3$ et la CSE (concentration supérieure d'explosivité) est souvent de l'ordre de 1 à $3 \text{ kg}/\text{m}^3$.

► Sources d'ignition

Si les sources d'ignition peuvent être d'origines multiples, l'empoussièrement est la cause initiale de ces accidents. Des systèmes de dépoussiérage compliqués et insuffisants créent les conditions idéales pour la survenue d'explosions.

Les sources d'inflammation potentielles sont :

- Les flammes et feux nus (travaux par point chaud, feu, matière incandescente)
- Les échauffements (surfaces chaudes, flux thermiques, réaction exothermique)
- Les étincelles (origine mécanique, origine électrique, décharge d'électricité statique, foudre).

► Puissance d'explosion : P_{max} , K_{st} et K_{g}

Chaque poussière peut être caractérisée par la puissance maximale d'explosion qu'elle développe dans des conditions optimales à travers deux paramètres : la P_{max} (pression maximale d'explosion) et le K_{st} , constante d'explosion de poussières ou le K_{g} , constante caractéristique du gaz combustible (vitesse maximale d'augmentation de la pression dans une enceinte de 1 m^3).

Kst

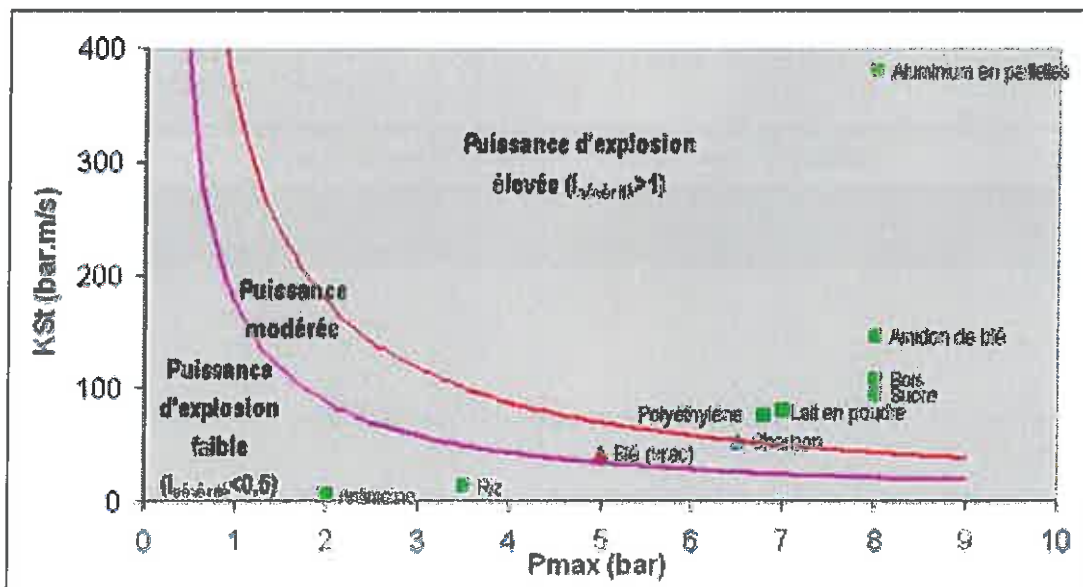
Les valeurs de Kst peuvent être ainsi comparées entre elles, ce qui permet de classer les poussières en 3 catégories :

Figure 28 : Définition des classes d'explosion des poussières (source : VDI 3673 :2002)

Classe d'explosion	Kst
St1	$\leq 200 \text{ bar.m.s}^{-1}$
St2	$\leq 300 \text{ bar.m.s}^{-1}$
St3	$> 300 \text{ bar.m.s}^{-1}$

Pour comparer les poussières entre elles, un autre indice peut être utilisé : l'indice de sévérité d'explosion. Cet indice est défini comme le rapport des produits $P_{max} \cdot K_{st}$ du produit considéré et du charbon.

Figure 29 : Puissances d'explosion de différentes poussières (source : INRS – ED944 - les mélanges explosifs, Poussières combustibles – 2006)



Kg

Les gaz combustibles sont classés en, fonction de leur Kg en 4 catégories représentées par 4 gaz caractéristiques :

- Méthane : $K_g = 55 \text{ bar.m.s}^{-1}$;
- Propane : $K_g = 100 \text{ bar.m.s}^{-1}$;
- Gaz de cokerie : $K_g = 140 \text{ bar.m.s}^{-1}$;
- Hydrogène : $K_g = 550 \text{ bar.m.s}^{-1}$.

► Récapitulatif des facteurs principaux influençant le risque d'explosion

Comme précisé au 6.3.4.1, pour qu'une explosion se produise, il est indispensable de réunir simultanément les conditions d'occurrence suivantes :

- Présence d'un produit combustible (poussières),
- Présence d'un gaz comburant, comme par exemple l'air,
- Création d'une source d'inflammation d'énergie suffisante,
- Formation d'un nuage de gaz combustibles ou de poussières combustibles en suspension,
- Atteinte du domaine d'explosivité,
- Confinement du mélange.

Les facteurs principaux concernant la composition des poussières influençant le risque d'explosion sont :

- La granulométrie¹ ;
- Le taux d'humidité¹ ;
- La concentration de poussières dans l'atmosphère (domaine d'explosivité) ;
- Les paramètres Pmax / Kst / Kg ;
- La température minimale d'inflammation en nuage ou en couche.

6.2.4.3 Produits mis en œuvre

Le charbon pulvérisé est susceptible de générer des poussières explosibles. Leurs caractéristiques sur lesquelles se base cette étude sont les suivantes :

Figure 30 : Caractéristiques générales et d'explosivité du charbon pulvérisé (source : INRS - Les mélanges explosifs 2. Poussières Combustibles)

Silo charbon pulvérisé	Taille mm	Diamètre médian mm	Densité t/m ³	Kst	Kg	Pmax
150 m ³	0-80	0,135	0,7-0,85	90	non pertinent	6

Nota : La compatibilité de ces produits avec le dimensionnement des événements des silos est étudiée au paragraphe 6.3.4.4

Une synthèse des risques associés au charbon pulvérisé, est fournie dans le tableau page suivante.

¹ En dehors de la nature de la poussière, sa granulométrie et son taux d'humidité influent sur la puissance de l'explosion : une explosion est plus puissante lorsque la poussière est fine et sèche (la propagation de particule à particule s'effectuant plus rapidement).

Tableau 8 : Risques associés au charbon pulvérisé

Produit	Phrase de risque	Propriétés dangereuses	Conditions à éviter	Conséquences possibles sur l'environnement
Charbon pulvérisé ²	<p>Dans certaines conditions, la combustion brutale du charbon peut se produire au-dessus d'un certain seuil (échauffement spontanément jusqu'au déclenchement de l'auto-inflammation). La température d'auto-inflammation est supérieure à 300°C ou 350°C selon le produit.</p> <p>Poussières de charbon : poussières susceptibles de former des atmosphères explosibles (pour un nuage de charbon de référence Pittsburg : concentration minimale d'explosion : 55g/m³ et énergie minimale d'inflammation : 60mJ).</p> <p>En milieu confiné, il existe un risque d'accumulation de méthane et monoxyde de carbone (lors de sa combustion et y compris en combustion lente à l'air). Risque de pollution du milieu naturel associé aux eaux de ruissellement chargées en poussières de charbon.</p>	<p>Produit stable aux conditions de stockage, de manipulation et d'emploi. Le produit n'est pas classé par la Directive Substances Dangereuses 67/548/CEE modifiée.</p> <p>Phénomène d'auto-échauffement favorisé par l'augmentation de la température ambiante, qui accélère la réaction, la reprise de l'humidité avec le dégagement de chaleur latente, la formation d'une circulation d'air qui s'accroît par effet de tirage (effet cheminée). Le processus apparaît comme suivant les étapes ci-dessous (source : FDS HOUILLE - COMBUSTIBLE SOLIDE FOSSILE- BITUMINOUS COAL, BULK TESTING Int. SAS) :</p> <ul style="list-style-type: none"> a) le charbon commence à s'oxyder lentement jusqu'à ce qu'une température de 50° C soit atteinte, b) l'oxydation s'amplifie entretenue par des températures en élévation jusqu'à ce que le charbon soit approximativement entre 100 et 140° C, c) à 140° C environ, le charbon libère de l'oxyde de carbone et de la vapeur d'eau, d) la production d'oxyde de carbone s'accroît rapidement jusqu'à ce qu'une température de 240° C environ soit atteinte. A ce stade, l'auto-combustion peut se déclencher. e) autour de 350° C (jusqu'à 600° C pour les rangs supérieurs), le charbon brûle vigoureusement. <p>Des vapeurs soufrées, voire des fumées jaunes âcres peuvent se dégager du tas. L'apparition de traces blanchâtres et jaunâtres sur le charbon sera aussi la marque d'un auto-échauffement avancé.</p> <p>Matières incompatibles : Matières oxydantes favorisant une réaction exothermique.</p> <p>Conditions à éviter : source d'inflammabilité.</p>	<p>Effet domino</p> <p>Pollution de l'eau et des sols par les eaux d'extinction d'incendie</p>	

² Fiche de données de sécurité charbon actif en poudre très pur MERCK

6.2.4.4 Descriptif de l'exploitation du silo de charbon pulvérisé

Il est envisagé par CIMENTS CALCIA de stocker le charbon pulvérisé dans un silo 150 m³. Celui-ci sera approvisionné depuis le hall de broyage existant.

Le silo projeté sera équipé :

- d'un clapet d'explosion,
- d'un système d'arrosage des parois extérieurs,
- d'un analyseur O₂/CO avec prélèvement en ciel de silo.

Le silo charbon sera isolé des parties chaudes du four et de la tour de précalcination par 2 murs en béton.

Une Cuve CO₂ (environ 3.5m³) permettra d'inertiser le haut et le bas du silo ainsi que la trémie du doseur.

Divers capteurs de niveau, pression et température seront installés au niveau du silo, du doseur et de la tuyauterie de transport.

► Méthodologie pour le calcul de la surface d'événements en fonction des produits stockés

En milieu confiné, le charbon présente toutefois un risque d'accumulation de méthane et un risque d'explosion de fines en suspension aérienne avec ignition à température supérieure à 190°C.

Le silo sera équipé d'événements d'explosion dont les dimensions seront calculées conformément aux normes en vigueur :

Surface d'événement vis-à-vis du risque d'explosion de poussières

La norme NF EN 14491 « Systèmes de protection par événement contre les explosions de poussières » permet de calculer la surface d'événement requise en cas de stockage d'un tel produit pour les silos objet de l'étude.

Surface d'événement vis-à-vis du risque d'explosion de phase gazeuse

Le « Guide for venting of deflagrations » du NFPA 68 permet de vérifier la surface d'événement requise en cas de formation d'atmosphère gazeuse explosible.

► Transfert du charbon pulvérisé sur le site

Le charbon pulvérisé est acheminé depuis l'atelier de broyage vers le nouveau silo charbon équipé d'un filtre par l'intermédiaire d'une trémie ATEX, d'un surpresseur et d'une tuyauterie de transport pneumatique.

L'extraction du nouveau silo charbon se fera soit par gravité (silo conique) soit par gravité avec un activateur comme pour le silo charbon à fond plat présent actuellement au niveau de l'atelier de broyage. Le type d'extraction sera déterminé par le fournisseur afin de garantir l'absence de voutage à l'extraction.

Le charbon pulvérisé est ensuite envoyé à la tour de précalcination par l'intermédiaire d'un doseur ATEX, d'un surpresseur et d'une tuyauterie de transport pneumatique

Flux générés.

La mise en place du projet n'aura pas d'impact sur le trafic du site. Ainsi, le risque de collision des camions sur site n'est pas pris en compte.

► Alimentation électrique des silos

Les silos sont alimentés en électricité à l'aide du réseau de distribution du site. Les dangers induits par l'alimentation électrique de l'installation et de ses différents équipements sont liés aux risques de courts-circuits et de surchauffes qui peuvent entraîner des départs de feu.

La conformité des installations électriques est vérifiée une fois par an par un organisme agréé.

6.2.4.5 Conclusion

Les risques associés au transfert et au stockage du charbon pulvérisé sont induits par la présence du charbon pulvérisé (risque d'incendie par échauffement notamment ou présence de source d'ignition et risque d'explosion) et par le caractère explosible de leurs poussières mises en suspension.

Les événements du silo seront suffisamment dimensionnés pour que les conditions d'une explosion des poussières ou de gaz ne puissent être réunies dans le silo et que ce risque puisse être écarté.

CIMENTS CALCIA visera à supprimer à la source le risque d'explosion en maîtrisant certaines des 6 conditions dressées précédemment, soit en :

- évitant la rétention de poussières sur les profils de structure ;
- limitant la concentration de poussières et de gaz dans l'air ambiant grâce au système d'aspiration d'air au niveau de la zone de dépotage et de dépoussiérage par filtre à manches ;
- supprimant la présence de source d'inflammation (zonage ATEX notamment) ;
- mesurant le CO dans le silo avec inertage curatif au CO₂ en cas d'échauffement ;

Ces moyens sont développés aux paragraphes 6.8.

Au vu des dispositions préventives, le risque d'explosion de poussières et de gaz est maîtrisé comme nous l'avons détaillé dans la suite de l'étude.

6.2.5 Réduction des potentiels de dangers

L'étude réalisée dans les paragraphes précédents fait ressortir la présence de situations, d'installations et de produits comportant un potentiel à générer des dommages aux personnes, à l'environnement ou aux biens des tiers.

Tableau 9 : Potentiels de dangers identifiés autour du silo étudié

POTENTIELS DE DANGERS	
POTENTIELS DE DANGERS INTERNES AUX CUVES D'EAU AMMONIACALE	
Risques d'accidents associés au transport de l'eau ammoniacale	
	Renversement d'un camion-citernes
Risques d'accidents associés opération de dépotage d'eau ammoniacale	
	Rupture d'une canalisation lors des opérations de dépotage
	Surremplissage de la cuve de stockage
Risques d'accidents associés au stockage d'eau ammoniacale	
	Perte de confinement de la cuve
	Emanation de vapeur d'ammoniac par l'évent de la cuve liée à une élévation de température
	Emanation de vapeurs d'ammoniac suite à un incendie à proximité de la cuve
Risques d'accidents associés au transfert d'eau ammoniacale	
	Fuite sur le circuit de transfert
POTENTIELS DE DANGERS INTERNES AU SILO DE CHARBON PULVERISE (150 M3)	
Risques d'accidents associés au stockage et au surremplissage du silo de charbon pulvérisé	
	Incendie
	Explosion des poussières

POTENTIELS DE DANGERS	
	Explosion de gaz
	Pollution du milieu naturel par les eaux d'extinction d'incendie (suite à explosion)
Risques d'accidents associés au transfert du charbon pulvérisé en silo	
	Incendie par échauffement / source d'ignition
	Explosion de gaz
	Pollution du milieu naturel par les eaux d'extinction d'incendie
Risque électrique	
	Incendie suite à un court-circuit
	Pollution du milieu naturel par les eaux d'extinction d'incendie

Des mesures sont prises par l'exploitant afin d'assurer un mode de fonctionnement sur site qui permettra de réduire à la source ces potentiels. De par l'activité du site, la suppression à la source de certains potentiels de dangers est toutefois impossible si ces équipements sont indispensables à l'activité du site.

Le tableau suivant précise les moyens de réduction s'ils existent, et justifie l'absence de réduction à la source sur les produits/équipements/utilités indispensables à l'activité du site.

Les mesures de réduction à la source qui sont mises en place sont inscrites dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Justification de réduction ou d'absence de réduction des potentiels de dangers à la source

POTENTIELS DE DANGERS	
POTENTIELS DE DANGERS INTERNES AU SILO DE CHARBON PULVERISE (150 M3)	
Risques d'accidents associés au stockage du charbon pulvérisé	
	Le silo de charbon du précalcinateur sera alimenté depuis le silo actuel de 200t par transport pneumatique. Le mode marche/arrêt du transfert d'alimentation d'un silo à l'autre se fera sur le niveau bas/niveau haut du futur silo de 150t.
Risques d'accidents associés au transfert du charbon pulvérisé	
	Le transfert du charbon est indispensable pour l'alimentation du précalcinateur de la cimenterie. Le transport se fait par système pneumatique depuis le silo de 150t.
Risque électrique	
	L'apport d'électricité sur le site est indispensable pour le fonctionnement des équipements. Il ne peut être supprimé. Les équipements électriques font l'objet d'un contrôle annuel.
POTENTIELS DE DANGERS INTERNES AUX CUVES D'EAU AMMONIACALE	
Risques d'accidents associés au transport et au dépotage de l'eau ammoniacale	
	La réception de l'eau ammoniacale sur le site est indispensable pour l'activité de la cimenterie. Les fréquences de livraisons sont minimisées de manière à limiter les risques induits par cette phase de dépotage.
Risques d'accidents associés au stockage de l'eau ammoniacale	
	La limitation des potentiels de dangers passe par un volume de stockage strictement limité aux besoins.
Risques d'accidents associés au transfert d'eau ammoniacale	
	Les cuves d'eau ammoniacale seront situées au plus proche du four afin de limiter le circuit de transfert et le risque de fuite.

6.3 Enseignements tirés du retour d'expérience (accidentologie)

6.3.1 Accidents survenus sur les autres sites de CIMENTS CALCIA

De nombreux sites du groupe exploitent ou ont exploité pendant plusieurs années des installations fonctionnant au charbon ainsi que des systèmes SNCR avec de l'eau ammoniacale.

Les accidents relatifs à la gestion et l'emploi de ces matières dans le groupe ont été recensés dans le tableau ci-après pour la période de 2002 à 2017.

Aucun accident n'est recensé concernant l'usage d'eau ammoniacale.

Tableau 11 : Accidentologie spécifique à l'exploitation de charbon et coke de pétrole brut dans le groupe CIMENTS CALCIA de 2002 à 2017

Date	Usine	Catégorie	Description	Causes
2015	Beaucaire	Incendie	Plusieurs élévations de température dans le silo nécessitant l'intervention des pompiers	Fines de charbon introduites dans ce silo par manque d'étanchéité des vannes d'isolement.
2010	Gargenville	Incendie	Incendie dans la trémie de charbon brut suite à un changement du tas de charbon	Surchauffe liée à l'utilisation prolongée d'un chauffage rayonnant mobile pour dégeler le charbon. Facteur aggravant : trémie brute remplie au maximum.
2008	Beaucaire	Incendie	Début d'incendie au niveau de l'extraction du silo de charbon brut	Livraison de charbon chaud par le sous-traitant
2008	Bussac	Emission	Emission de poussières diffuses de charbon broyé	Echappement du charbon par le haut du silo lors de son remplissage (dysfonctionnement des niveaux haut et très haut)
2002	Beaucaire	Epanchage	Accumulation de charbon moulu sur le canal	Echappement du charbon par le haut du silo lors de son remplissage (dysfonctionnement des niveaux haut et très haut)

Ainsi il est observé plusieurs incidents survenus sur les autres sites de CIMENTS CALCIA associé au stockage de charbon.

6.3.2 Accidentologie concernant l'emploi et le stockage d'eau ammoniacale

La base de données « Inventaire des Accidents Technologiques et Industriels » publiée par le Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles (BARPI) de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (D.P.P.R.) a été consultée sur le site internet : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>.

Un inventaire des accidents survenus en France et à l'étranger entre 1999 et 2018 a été réalisé concernant l'utilisation d'eau ammoniacale et d'ammoniaque.

31 accidents impliquant l'emploi ou le stockage d'ammoniaque sont recensés dans la base de données du BARPI. Ces accidents se répartissent de la façon suivante :

- 5 cas de déversement d'ammoniaque dans le milieu naturel ayant entraîné la mort de faune aquatique ;
- 3 cas de projection d'ammoniaque lors des opérations de dépotage ayant entraîné des interruptions du temps de travail ;

- 2 cas de déversement d'ammoniaque liés à une collision entre des bidons d'ammoniaque et des engins de manutention ;
- 3 cas de fuite d'ammoniaque stocké en bidon ou conteneur plastique ;
- 2 cas de fuite d'ammoniaque stocké en cuve ;
- 5 cas de fuite d'ammoniaque liés à des erreurs humaines ;
- 1 cas d'émanation d'une bouffée d'ammoniac liés à la vidange d'une cuve) d'ammoniaque lors de température caniculaire ;
- 1 cas de déversement d'ammoniac lié au renversement d'un camion-citerne ;
- 4 cas d'émission de vapeurs d'ammoniac consécutive à une fuite d'ammoniaque (2 cas), une stagnation d'ammoniaque en fosse (1 cas), un bouchon mal vissé (1 cas) ;
- 1 cas lié à la chute d'un bidon d'ammoniaque ;
- 1 cas lié à un effondrement d'une cuve d'ammoniaque suite à une dépression générée par le mauvais sens de positionnement d'une soupape ;
- 1 cas de déversement dans le bassin de décantation de l'usine ;
- 1 cas de déversement sans atteinte au milieu naturel ;
- 1 cas de projection d'ammoniac liée à une rupture du laveur de gaz.

L'accident principal susceptible de se produire au niveau d'une cuve d'eau ammoniacale est la fuite ou le déversement accidentel.

6.3.3 Accidentologie concernant le stockage de charbon pulvérisé en silo

La base de données ARIA recense un accident concernant un stockage de poussière de charbon en silo. La synthèse de cet accident est détaillée ci-après.

N° 45335 - 06/06/2014 - FRANCE - 18 - VIERZON - Incendie d'un silo de charbon actif

- Description de l'accident :

A 6h15, un incendie est détecté lors du chargement d'un silo de 150 m³ contenant 150 t de charbon actif dans une usine en produisant. Aucune fumée ni dégagement toxique ne sont observés. Les pompiers refroidissent le silo par l'extérieur avec des lances à eau (t° interne silo = 380 °C à 10h30), les fluides sont coupés. Le silo est inerté en fin d'après-midi avec de l'azote acheminé par camion.

- Causes possibles

L'enquête interne privilégie 2 phénomènes possibles expliquant l'inflammation :

- Un produit stocké dans le silo : les poussières de charbon actif (solide inflammable), sujettes à inflammation spontanée ;
- L'effet de la pression sur le charbon actif à l'intérieur du silo. Celle-ci aurait pu favoriser le départ de feu, bien qu'aucune augmentation de pression n'ait été enregistrée dans le silo avant l'accident.
- Mesures prises suite à l'accident :
 - Pour éviter le 1er phénomène, le silo n'est plus alimenté en poussières. Celles-ci sont stockées directement en GRV. Le volume de poussières résiduelles dans le silo sera limité à 25 t. Le stockage en GRV a conduit à un effort de réduction des poussières formées en modifiant le système de broyage du charbon actif qui en est la source principale. Ce système est équipé d'un

circuit de recyclage des poussières issues du dépoussiérage du broyeur sans stockage intermédiaire ;

- Pour éviter les surpressions à l'origine du 2ème phénomène, le capteur de mesure de pression dans la tuyauterie du circuit d'aspiration des poussières du silo est déplacé. Celui-ci était mal localisé, au niveau du dépoussiéreur lui-même. Sa position optimale est en amont de cet équipement. En parallèle, le système d'alerte en cas de surpression dans le silo est optimisé par le déclenchement d'une alarme de surpression dans l'interface de l'automate de conduite et un ajustement automatique du débit de l'aspiration jusqu'à l'arrêt du dépoussiéreur.

Si les incendies sont les phénomènes dangereux les plus fréquents, les explosions sont les plus à craindre. Les effets mécaniques générés entraînent des projections d'éclats, des écroulements de structure, une onde de souffle et peuvent blesser ou tuer les agents d'intervention.

Comme évoqué précédemment, les accidents susceptibles de se produire au niveau du silo de charbon pulvérisé de 150 m³ sont l'incendie et l'explosion.

6.4 Analyse préliminaire des risques

Le tableau de hiérarchisation des risques page suivante récapitule l'ensemble des scénarios d'accident possibles liés aux potentiels de dangers retenus dans la présente étude de dangers. Il évalue, pour chaque scénario, selon la méthode définie précédemment, le niveau de risque final.

Tableau 12: Tableau d'analyse des risques

n° du scénario	Potentiel de danger	Localisation sur site	Accident potentiel	Probabilité et gravité avant prise en compte des moyens du site		Cronique C1 d'apparition	Cronique C2 d'évolution du phénomène	Mesure de maîtrise d'occurrence existantes sur le site (mesures préventives)	Vérifications périodiques et maintenance	Procédures ou instructions écrites	Formations	Mesures de maîtrise des effets existantes sur le site (mesures de protection)	Probabilité et gravité après prise en compte des moyens du site	
				Probabilité P (de A à E)	Gravité G (de 1 à 5)								Probabilité P' (de A à E)	Gravité G' résiduelle (de 1 à 5)
SIL0 DE CHARBON PULVÉRISÉ (100 m3)														
7	Transfert du charbon pulvérisé depuis le site de 250 m3 dans le silo de 150 m3	Circuit d'alimentation du silo de 150 m3	Perte de confinement du charbon pulvérisé pendant le transfert	B	2	Rapide	Lente	-	Surveillance visuelle des circuits	- Procédure de contrôle et entraînement des bandes transporteurs	Formations opérateurs	- déversement sur site - Isolation des ruisselements vers le bassin naturel)	D	1
8			Explosion de poussières (concentration très élevée) en présence d'une source d'ignition	D	2	Rapide	Rapide	-	Surveillance visuelle des circuits	- Zone ATEX - Interdiction de fumer - Permis feu	Sécurité incendie et manipulation des extincteurs	- En cas d'accident, abaissement de la vanne manuelle d'alimentation du silo - Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage, poteau incendie à proximité)	D	2
9			Fissure et effondrement de silo	D	2	Lente	Rapide	-	-	-	-	Vidange du silo	D	2
10			Explosion de poussières (concentration très élevée) en présence d'une source d'ignition	C	3	Lente	Rapide	-	-	-	Sécurité incendie et manipulation des extincteurs	- Evénements d'explosion - Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage, poteau incendie à proximité)	C	2
11	Stockage de charbon pulvérisé	Silo de stockage de charbon pulvérisé	Explosion de gaz en présence d'une source d'ignition	C	3	Lente	Rapide	-	-	-	Sécurité incendie et manipulation des extincteurs	- Evénements d'explosion - Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage, poteau incendie à proximité)	C	2
12			Auto-inflammation du charbon pulvérisé par élévation de la température	B	2	Lente	Rapide	-	-	-	Sécurité incendie et manipulation des extincteurs	- Envoi de la matière vers le four - Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage, poteau incendie à proximité) - évacuation des lieux	C	2
13			Perte de confinement du charbon pulvérisé pendant le transfert	B	2	Rapide	Lente	-	Surveillance visuelle des circuits	- Procédure de contrôle et entraînement des bandes transporteurs	Formations opérateurs	- Mesures d'intervention pour confiner le déversement sur site - Isolation des ruisselements vers le bassin naturel)	D	1
14	Transfert du charbon pulvérisé vers le four	Circuit d'alimentation du four	Explosion de poussières (concentration très élevée) en présence d'une source d'ignition	C	2	Rapide	Rapide	-	Surveillance visuelle des circuits	- Zone ATEX - Interdiction de fumer - Permis feu	Sécurité incendie et manipulation des extincteurs	- En cas d'accident, abaissement de la vanne manuelle d'alimentation du silo - Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage, poteau incendie à proximité)	D	1
15			Courts électriques entraînant le fonctionnement du silo et l'alimentation du four	A	1	Rapide	Lente	-	Vérifications périodiques des installations électriques	-	Habilitation aux interventions sur le matériel électrique	-	B	1
16			Incendie par court-circuit	C	3	Rapide	Lente	-	Vérifications périodiques des installations électriques	-	Habilitation aux interventions sur le matériel électrique	- Intervention des salariés (extincteurs, couronne d'arrosage)	D	2

6.5 Analyse résiduelle des risques




Les deux paramètres P et G sont évalués avant et après mise en place des moyens de prévention et de protection du site de CIMENTS CALCIA de Couvrot et illustrés dans les grilles de cotation suivantes.

Les numéros bleus n°1 à n°25 font référence à un scénario identifiable dans le tableau d'analyse des risques (tableau format A3 ci-joint).

Les cases vertes et jaunes indiquent que le risque est maîtrisé. Les scénarios placés dans les cases orange et rouges sont des scénarios majeurs pour lesquels des moyens doivent être mis en place pour réduire soit la probabilité, soit la gravité, soit les 2.

Tableau 13 : Grille de cotation avant mise en place des moyens disponibles




		Probabilité P				
		E : extrêmement peu probable	D : très improbable	C : improbable	B : probable	A : courant
Gravité G	5 : Désastreux					
	4 : Catastro- phique					
	3 : Important			10, 11, 16		
	2 : Sérieux		3, 8, 9	1, 2, 4, 5, 6, 14	7, 12, 13	
	1 : Modéré					15

	Zone dans laquelle le risque est qualifié d' <u>inacceptable</u> et devra faire l'objet de mesures compensatoires
	Zone dans laquelle le risque est <u>toléré</u> si la réduction des risques est impossible ou si les coûts seraient disproportionnés par rapport à l'amélioration obtenue
	Zone dans laquelle le risque est <u>acceptable</u>

Cette précédente grille de cotation représente les scénarii identifiés lors de l'analyse des risques et cotés sans tenir compte des barrières de prévention et de protection à l'exception des barrières dites passives.

Tableau 14 : Grille de cotation résiduelle (i.e. en tenant compte des nouvelles barrières de prévention et de protection qui seront mises en place)

		Probabilité P				
		E : extrêmement peu probable	D : très Improbable	C : Improbable	B : probable	A : courant
Gravité G	5 : Désastreux					
	4 : Catastro- phique					
	3 : Important					
	2 : Sérieux		4, 8, 9, 16	10, 11, 12		
	1 : Modéré		1, 2, 3, 5, 6, 7, 13, 14		15	

-  Zone dans laquelle le risque est qualifié d'inacceptable et devra faire l'objet de mesures compensatoires
-  Zone dans laquelle le risque est toléré si la réduction des risques est impossible ou si les coûts seraient disproportionnés par rapport à l'amélioration obtenue
-  Zone dans laquelle le risque est acceptable

Cette dernière grille de cotation représente les risques identifiés lors de l'analyse et cotés en tenant compte des barrières de prévention et de protection du site (évaluation du risque résiduel).

Aucun scénario d'accident majeur n'a ainsi été identifié. Nous avons néanmoins modélisé les scénarii 10 à 12, relatifs à l'explosion et l'incendie de charbon pulvérisé.

6.6 Modélisation des scénarii accidentels

6.6.1 Scénario d'explosion du silo de charbon

6.6.1.1 Valeurs seuils retenues pour l'estimation des effets de surpression

Les démarches d'évaluation des dangers liés à l'explosion permettent de caractériser la gravité du phénomène par comparaison à des valeurs seuils.

Dans le cadre de la législation des ICPE, l'annexe II de l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation énonce les valeurs seuils retenues pour l'estimation des effets de surpression.

Ces valeurs seuils sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15 : Valeurs seuils retenues pour l'estimation des effets de surpression

Pour les effets sur l'homme		Pour les effets sur les structures	
Seuils des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	20 hPa ou mbar	Seuil des destructions significatives de vitres	20 hPa ou mbar
Seuils des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »	50 hPa ou mbar	Seuil des dégâts légers sur les structures	50 hPa ou mbar
Seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement	140 hPa ou mbar	Seuil des dégâts graves sur les structures	140 hPa ou mbar
Seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement	200 hPa ou mbar	Seuil des effets domino	200 hPa ou mbar
		Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 hPa ou mbar

La méthodologie de calcul utilisée dans la présente étude est issue du **guide de l'état de l'art sur les silos** (Version 3, 2008). Elle repose :

- sur l'équation de Brode pour déterminer l'énergie disponible d'explosion ;
- sur la méthode multi-énergie pour évaluer l'atténuation des effets de pression.

Le **guide de l'état de l'art sur les silos** (Version 3, 2008) décline d'une part les moyens permettant d'atteindre les objectifs fixés par l'arrêté ministériel du 29 mars 2004 modifié (relatif aux risques présentés par les silos et les installations de stockage de céréales, de grains, de produits alimentaires ou de tout autre produit organique dégageant des poussières inflammables), et d'autre part énonce les éléments méthodologiques pour l'élaboration et la lecture critique des études de dangers.

Ce document a été rédigé par le groupe de travail national sur les silos du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, suite à des discussions entre les

pouvoirs publics (Ministère chargé de l'Environnement, Ministère chargé de l'Agriculture, Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, Ministère chargé du Travail, DRIRE), des représentants d'organismes professionnels (COOP de France-Métiers du Grain, FNA, SNFS, USIPA, ANIA, ANMF) et d'experts (INERIS, TECHNIP, CEDERIT GIAT Industries, SME Environnement, ENSIC Nancy).

6.6.1.2 Energie de l'explosion de poussières

On peut déterminer l'énergie de l'explosion de poussières à partir de l'équation de Brode simplifiée (en J) :

$$E = 3.V.(P_{ex} - P_{atmosphérique})$$

avec V = volume de l'enceinte considérée (en m^3), soit ici $150 m^3$

$P_{ex} - P_{atmosphérique}$ = Pression relative de l'explosion (en Pa),

P_{ex} = pression absolue de l'explosion (en Pa).

Dans le cas d'un volume éventé :

$$P_{ex} - P_{atmosphérique} = P_{rupture}$$

avec $P_{rupture}$ = pression de rupture statique (en Pa)

Ici la pression de rupture retenue est celle du toit du silo qui sera ruiné en priorité. Nous avons retenu :

$$P_{rupture} = 200 \text{ mbar} = 2 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Ainsi, l'énergie d'explosion des poussières équivaut à :

$$E = 3 \times 150 \times (2 \times 10^4) = 3.10^7 \text{ J.}$$

L'énergie d'explosion des poussières est $E = 9.10^6 \text{ J}$

6.6.1.3 Détermination des distances des effets de surpression

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la **méthode multi énergie**. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie précédemment.

Cette méthode considère un indice de violence de l'explosion de 10, bien qu'il soit majorant, c'est le seul indice adapté à un phénomène d'éclatement et de propagation de l'onde de choc.

Les formules associées aux effets de surpression (pour un indice de violence de 10) sont les suivantes :

- Distance d'effets à 300 mbar $D_{300\text{mbar}} = 0,028.E^{1/3}$
- Distance d'effets à 200 mbar $D_{200\text{mbar}} = 0,032.E^{1/3}$
- Distance d'effets à 140 mbar $D_{140\text{mbar}} = 0,05.E^{1/3}$
- Distance d'effets à 50 mbar $D_{50\text{mbar}} = 0,11.E^{1/3}$

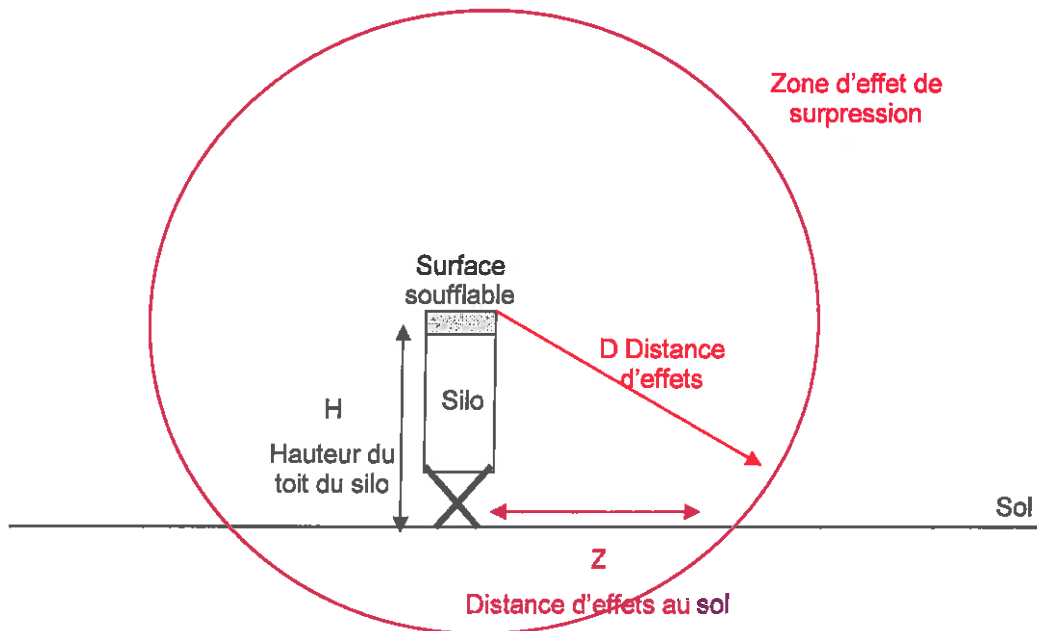
Source : « Guide de l'état de l'art sur les silos pour l'application de l'arrêté ministériel relatif aux risques présentés par les silos et les installations de stockage de céréales, de grains, de produits alimentaires ou de tout autre produit organique dégageant des poussières inflammables, Version 3 ».

Selon l'arrêté du 29 septembre 2005 et compte tenu des dispersions de modélisation pour les faibles surpressions, il peut être adopté pour la surpression de 20 mbar une distance d'effets égale à deux fois la distance d'effet obtenue pour une surpression de 50 mbar.

Ainsi la distance d'effet à 20 mbar est $D_{20\text{mbar}} = 2.D_{50\text{mbar}} = 0,22. E^{1/3}$

Le schéma ci-dessous présenté la zone d'effet de surpression suite à l'explosion du silo de charbon.

Figure 31 : Schéma de la zone d'effet de surpression



Le toit du silo est environ à 40 m de hauteur.

6.6.1.4 Résultats de simulation

A l'issue des calculs, on obtient les résultats suivants :

Tableau 16 : Effets de surpression du silo de charbon de 150 m³ au sol

Distance	Effets de surpression à partir du centre du silo				
	300 mbar	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
Distance d'effets D	Non atteint	6,7 m	10,4 m	22,9 m	45,8 m
Distance d'effets au sol Z	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	22 m

Du fait de la hauteur du toit du silo, seuls les effets de surpression de 20 mbar atteignent le niveau du sol (voir représentation graphique). Le précalcinateur sera endommagé en cas d'explosion car impacté par les 140 mbar.

Figure 32 : Représentation des effets de surpression au niveau du toit du silo de charbon de 150 m³

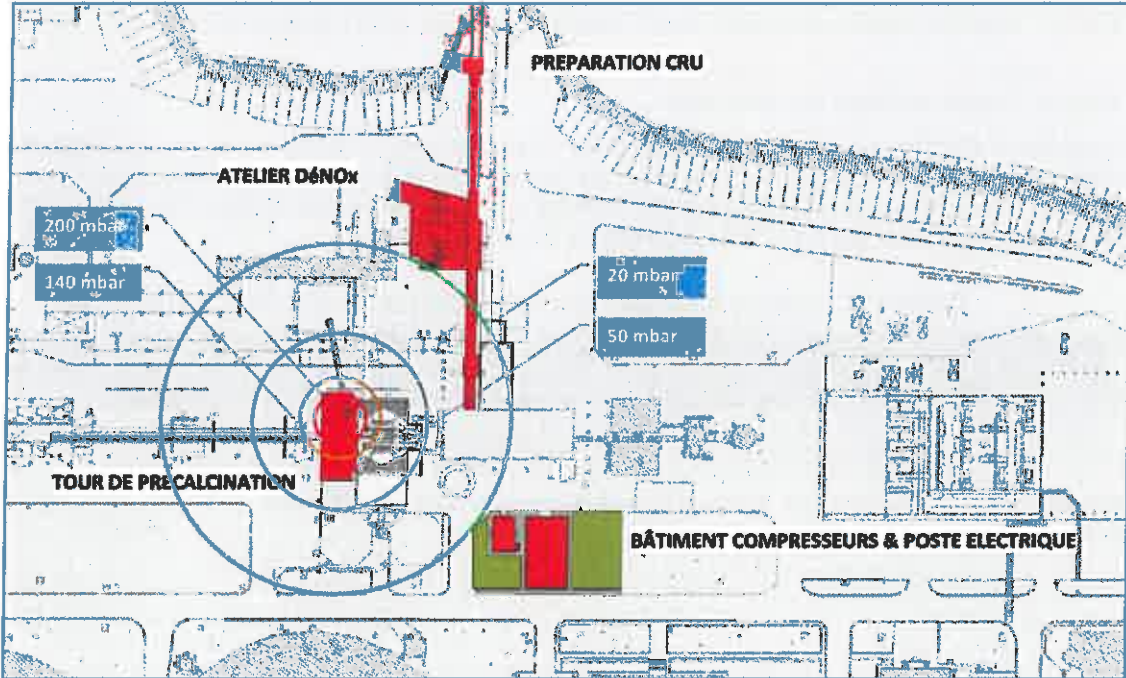
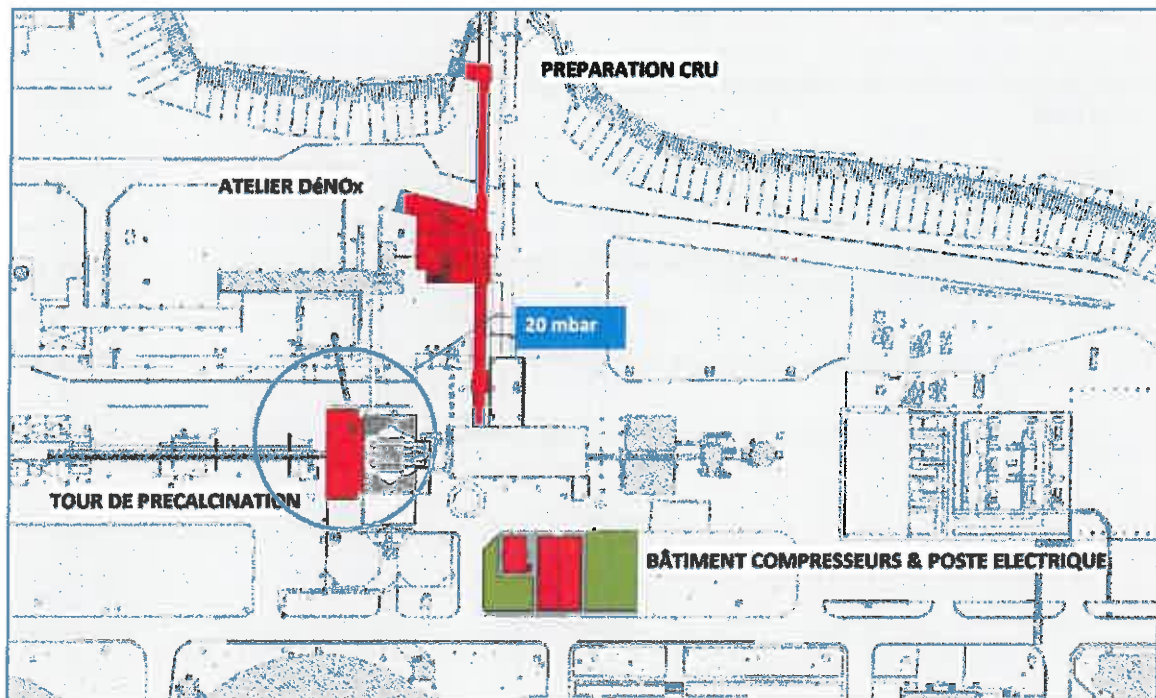


Figure 33 : Représentation des effets de surpression au niveau du sol en cas d'explosion du silo de charbon de 150 m³



6.6.2 Scénario d'incendie induit par l'explosion préalable du silo de charbon

6.6.2.1 Valeurs seuils retenues pour l'estimation des effets thermiques

6.6.2.2 Seuils d'effets de référence

L'annexe II de l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation fixe les valeurs seuils suivantes retenues pour l'estimation des effets thermiques.

Tableau 17 : Valeurs seuil retenues pour l'estimation des effets thermiques

Effets	Rayonnement thermique associé
Effets sur les personnes	
Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondants à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	3 kW/m ² Ou (600 kW/m ²) ^{4/3} .s
Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondants à la zone de dangers graves pour la vie humaine	5 kW/m ² Ou (1000 kW/m ²) ^{4/3} .s
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondants à la zone de dangers très graves pour la vie humaine et seuil des effets domino	8 kW/m ² Ou (1800 kW/m ²) ^{4/3} .s
Effets sur structures	
Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²
Seuil des effets domino ⁽¹⁾ et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²
Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	16 kW/m ²
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²
Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	200 kW/m ²

⁽¹⁾ : Seuil à partir duquel les effets dominos doivent être examinés. Une modulation est possible en fonction des matériaux et structures concernés.