

**PROJET D'IMPLANTATION D'UNE USINE DE
SILICIUM MÉTAL À PORT-CARTIER, QUÉBEC**

ANALYSE QUANTITATIVE DE RISQUES TECHNOLOGIQUES

Rapport sectoriel



Dossier 3211-14-035

Préparé pour :



Mars 2015



Cegertec
WorleyParsons

EcoNomics

FERRO-QUEBEC

Projet d'usine de silicium à Port-Cartier

Analyse quantitative de risques technologiques

FerroQuébec

22009-202

23 janvier 2015

WorleyParsons Canada

Suite 500, 151 Canada Olympic Rd SW

Calgary, AB T3B 6B7 CANADA

Phone: +1 403 247 0200

Toll-Free: 1 800 668 6772

Facsimile: +1 403 247 4811

www.worleyparsons.com

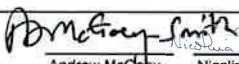
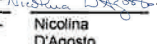
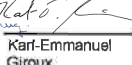
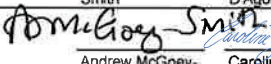

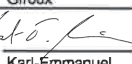
© Copyright 2014 WorleyParsons



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

PROJET - USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

RÉV	DESCRIPTION	ORIG	REVUE	APPROBATION WORLEY – PARSONS	DATE	APPROBATION CLIENT	DATE
0	Pour commentaires	 Andrew McGoeey-Smith	 Nicolina D'Agosto	 Karl-Emmanuel Giroux	18 décembre 2014		
A	Version finale	 Andrew McGoeey-Smith	 Caroline Lachance	 Karl-Emmanuel Giroux	23 janvier 2015		



Avertissement

L'information présentée dans ce rapport a été préparée par Cegertec WorleyParsons pour l'usage exclusif de Biofilia dans le seul but précité dans l'introduction du rapport. La portée des travaux commandés pour ce projet ne constitue pas une étude exhaustive, mais plutôt une enquête sérieuse, conforme aux bonnes pratiques attendues. Le présent rapport et tout autre service fournis par Cegertec WorleyParsons ne visent pas à constituer ou à remplacer un quelconque avis juridique.

Cegertec WorleyParsons décline toute responsabilité quant à l'utilisation de ce rapport à des fins autres que celle prévue et n'assume aucune responsabilité pour l'utilisation en tout ou en partie du contenu de ce rapport par une tierce partie. Toute autre utilisation incluant celle qu'une tierce partie fera de ce rapport ou toute action prise sur son fondement demeure la responsabilité de ladite partie.

Cegertec WorleyParsons a fait preuve d'habileté raisonnable, de soin, et de diligence pour évaluer l'information obtenue durant la préparation de ce rapport, mais n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou l'exhaustivité de ces informations. Toute information qui peut avoir été fournie par des tiers est présumée exacte et complète, mais Cegertec WorleyParsons n'offre aucune garantie quant à l'exactitude ou l'exhaustivité des informations fournies par des tiers.

Le présent rapport est basé sur les informations disponibles au moment de l'évaluation et est limité par les circonstances et conditions reconnues aux présentes. Il ne prétend pas aborder toutes les pratiques environnementales qui peuvent se présenter, ni à couvrir toutes les méthodes de contrôle de pollution, d'assainissement ou de remise en état.



TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION DE L'USINE.....	4
2.1	Protection incendie.....	7
3.	IDENTIFICATION DES DANGERS ET ÉLABORATION DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT	8
3.1	Scénarios d'accidents	9
3.2	Identification des éléments sensibles	10
3.3	Identification des dangers externes	11
3.4	Revue des accidents passés	11
3.5	Dangers associés à la construction	12
3.5.1	Dangers associés à l'utilisation de véhicules.....	12
3.5.2	Dangers associés au dynamitage.....	12
3.6	Dangers associés à l'exploitation.....	13
3.6.1	Dangers associés aux véhicules	13
3.6.2	Explosion – Contact silicium liquide et eau.....	14
3.6.3	Explosions de poussières	16
3.6.4	Incendie de matières premières	16
3.6.5	Incendie et explosion de carburant (propane)	17
3.6.6	Explosion de réservoir d'oxygène.....	18
3.7	Résumé des paramètres de risques	19
4.	ANALYSE DE FRÉQUENCES.....	22
4.1	Incendie aux lieux de stockage des matières premières	22
4.2	Incendie causé par une collision de véhicules.....	22
4.3	Explosion de poussières et poudres de silicium et de poussières de charbon de bois.....	23
4.4	Incendie ou explosion causé par un déversement de propane	23
4.5	Déversement de réservoir d'oxygène	23



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

4.6	Contact entre le silicium en fusion et l'eau (explosion).....	24
5.	ANALYSE DE CONSÉQUENCES	25
5.1	Incendie de pile de billots de bois	27
5.2	Incendie de piles de houille et de coke	27
5.3	Incendie causé par une collision de véhicules.....	27
5.4	Explosion de poussières et poudres de silicium et de poussières de charbon de bois.....	29
5.5	Rupture du réservoir d'oxygène	30
5.6	Incendie et explosion de réservoir de propane	31
5.7	Explosion causée par le contact entre du silicium en fusion et de l'eau.....	33
5.8	Résumé des risques individuels	34
6.	ESTIMATION ET ÉVALUATION DES RISQUES	36
6.1	Estimation des risques individuels	36
6.2	Estimation du risque pour les infrastructures.....	42
6.3	Estimation de risques de l'effet domino	43
6.3.1	Effets domino internes	43
6.3.2	Effets domino externes	44
7.	TRAITEMENT DU RISQUE	46
8.	CONCLUSION	50
9.	RÉFÉRENCES.....	51

TABLEAUX

Tableau 1 liste des produits associés à la production de silicium

tableau 2 accidents/incidents

tableau 3 liste des paramètres de risques

tableau 4 probabilités d'un feu en nappe (véhicule)

tableau 5 taux d'explosion de réservoir de propane

tableau 6 taux d'explosion de canalisations de propane



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

tableau 7 taux de déversement de réservoir d'oxygène

tableau 8 liste des paramètres d'entrée des modèles de conséquence

tableau 9 distances pour flux de radiation thermique pour une pile de billots de bois

tableau 10 distances estimées des flux de radiation thermique pour des piles de houille et coke

tableau 11 hypothèses de départ pour l'estimation des explosions de poussières

tableau 12 surpression versus distance pour une explosion causée par le contact entre le silicium en fusion et l'eau

tableau 13 résumé des distances dangereuses et des fréquences

tableau 14 valeurs limites de conséquences d'incendies et d'explosions

tableau 15 échelle de conséquences du scgch pour les risques aux personnes

tableau 16 échelle de probabilités du scgch (étendue pour inclure les événements rares)

tableau 17 catégories de classement du risque

tableau 18 liste des effets domino internes potentiels

tableau 19 mesures d'atténuation pour réduire la probabilité et les conséquences des risques

FIGURES

Figure A Étapes d'une Analyse De Risques

Figure B Schéma De Procédé

Figure C Exemple De Diagramme De Cause-Conséquence Pour Un Déversement d'hydrocarbure

Figure D Arbre d'événements Liés Au Déversement Accidentel De Diesel De Camion Ou De Train

Figure E Arbre d'événements Pour Explosion Causée Par Le Contact Entre Le Silicium En Fusion Et l'eau

Figure F Arbre d'événements Pour Explosion Causée Par Le Bris d'un Système d'eau Dans Le Four

Figure G Arbre d'événements Pour Explosions De Poussières

Figure H Arbre d'événements Pour Incendie De Matières Premières



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Figure I Arbre d'événements Pour Déversement Accidentel d'un Réservoir Ou Canalisation De Propane

Figure J Arbre d'événements Pour Déversement Accidentel d'un Réservoir d'oxygène Liquide

Figure K Résultat Phast Pour Un Feu En Nappe d'un Réservoir De Diésel d'un Train

Figure L Résultat Phast Pour Un Feu En Nappe d'un Réservoir De Diésel d'un Camion

Figure M Supression Du Souffle Vs Distance Pour Le Silo De Stockage De Poudres De Silicium

Figure N Concentration d'oxygène En Aval d'une Rupture Du Réservoir

Figure O Résultat De Modélisation Phast Pour Un Incendie De Réservoir De Propane

Figure P Résultat De Modélisation Phast Pour Une Explosion De Réservoir De Propane

Figure Q Résultat De Modélisation Phast Pour Un Incendie De Canalisation De Propane

Figure R Résultat De Modélisation Phast Pour Une Explosion De Canalisation De Propane

Figure S Vérification Indépendante Du Profil Du Souffle De Supression Pour Une Explosion Causée Par Le Contact Silicium En Fusion Et Eau

Figure T Matrice Montrant l'acceptabilité De Risques

Figure U Matrice De Risque Pour Incendie De Pile De Billots De Bois

Figure V Matrice De Risque Pour Incendie De Pile De Houille

Figure W Matrice De Risque Pour Incendie De Pile De Coke

Figure X Matrice De Risque Pour Un Incendie De Collision De Véhicules

Figure Y Matrice De Risque Pour Un Incendie De Collision De Trains

Figure Z Matrice De Risque Du Dynamitage Durant Construction

Figure AA Matrice De Risque d'explosion De Poussières De Charbon De Bois Accumulées

Figure AB Matrice De Risque d'explosion De Réservoir De Propane

Figure AC Matrice De Risque d'explosion De Canalisation De Propane

Figure AD Matrice De Risque d'explosion De Propane Dans Un Bâtiment

Figure AE Matrice De Risque d'explosion De Réservoir d'oxygène

Figure AF Matrice De Risque d'explosion Suivant Le Contact Silicium En Fusion Et Eau

Figure AG Matrice De Risque d'explosion De Poudres De Silicium Accumulées Au Dépoussiéreur Ou Dans Un Silo De Stockage



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

ANNEXES

ANNEXE 1 TABLEAU DÉTAILLÉ



1. INTRODUCTION

Cette évaluation quantitative des risques constitue un outil permettant une quantification et une estimation du risque découlant de la conception, de l'acquisition d'équipements, de la construction et de l'exploitation d'une usine de silicium. Le risque est évalué mathématiquement comme la mesure de la probabilité et des conséquences des impacts sur l'homme et sur l'environnement basés sur l'exposition aux dangers résultants de l'exploitation (Bedford et Cooke, 2000).

Une analyse des risques porte sur :

- Qu'est-ce qui peut arriver?
- Quelle est la probabilité que ça se produise? et
- Si cela survient, quelles sont les conséquences?

Cette définition quantitative du risque provient de l'ouvrage (Kaplan et Garrick, 1981) qui caractérisent le risque en fonction d'un ensemble de scénarios, chacun ayant une probabilité et une conséquence. Ils interprètent la probabilité d'un événement en fonction de sa fréquence. Nous utiliserons ces notions de risque tout au long de cette analyse. Aussi, nous suivrons l'approche systématique à l'évaluation des risques tels qu'énoncés dans le guide d'analyse de risques technologiques majeurs du ministère de l'Environnement du Québec (MENV, 2002) et la récente norme internationale pour la gestion des risques (ISO 31000, 2009).

L'analyse de risques des accidents technologiques majeurs couvre les installations qui présentent des risques susceptibles de causer des impacts fréquents et immédiats sur la population ainsi que les éléments environnementaux sensibles. Ces deux normes définissent une méthode à partir de l'identification des dangers, l'élaboration de scénarios d'événements accidentels grâce à l'analyse de dangers afin de permettre l'estimation des risques et finalement, la gestion des risques. Cette approche systématique est également compatible avec des approches reconnues par des organisations comme « l'American Society of Chemical Engineers Center » dans leur série de publications de lignes directrices pour la sécurité publique ; à titre d'exemple, l'édition CCP, 2000.

Puisque cette analyse se préoccupe de la sécurité publique, de la qualité de l'environnement et de l'intégrité des structures, les dangers associés à la conception, à l'acquisition d'équipement, à la construction et l'exploitation sont généralement issus de déversements accidentels de matières dangereuses ou d'allumage de matériel présent sur le site de l'usine. Ces événements accidentels peuvent entraîner les résultats suivants :

- impact négatif sur l'environnement;
- toxicité dans l'atmosphère;
- radiation thermique d'incendie; et
- surpression causée par explosion.

L'évaluation des risques s'aligne selon le niveau de détail formulé dans le document provincial « *Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs* » (Guide, MENV 2002) relatif aux accidents



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

technologiques majeurs et qui se préoccupe des événements accidentels souvent de nature soudaine et immédiate ainsi que de leur impact sur les personnes et les éléments sensibles de l'environnement.

Ce document se limite aux événements à caractère majeur. Cette évaluation de risques majeurs souscrit aux étapes décrites dans le Guide du MENV du Québec pour l'analyse de risques technologiques majeurs (Guide, 2002) montrées à la figure A, qui est également conforme à la récente norme internationale sur la gestion des risques (ISO, 2009) et à l'approche adoptée tant par la Société canadienne de génie chimique pour la gestion de la sécurité des procédés chimiques (CSChE, 2004) et par le Centre pour la sécurité des procédés chimiques de l'Institut américain des ingénieurs chimistes (CCP, 2000).

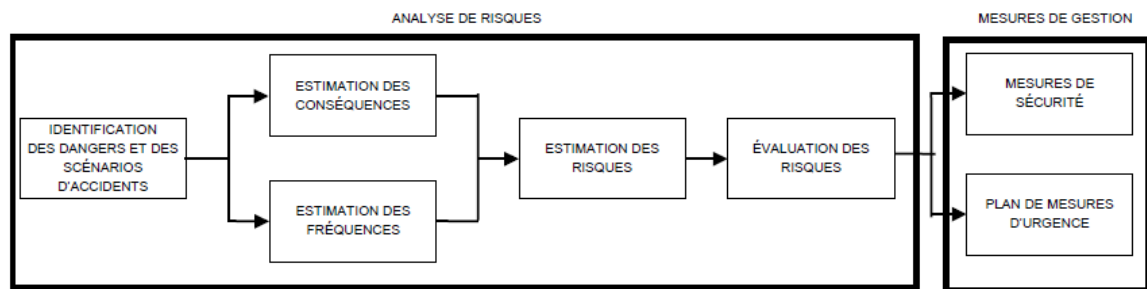


Figure A Étapes d'une analyse de risques

Le contenu de la présente étude de risques comprend les sections suivantes :

- Introduction;
- Description du projet;
- Identification des dangers et élaboration de scénarios d'accidents;
- Analyse de la fréquence;
- Analyse des conséquences;
- Estimation et évaluation du risque;
- Traitement du risque; et
- Conclusions

Cette évaluation des risques majeurs fournira également des paramètres pour la planification d'urgence (montrée sur la figure A), laquelle sera présentée dans un document distinct.

L'analyse des causes et conséquences (ACC) est utilisée comme principale méthodologie du risque, une pratique courante pour l'analyse quantitative des risques chimiques. L'ACC sert autant à l'identification des événements accidentels qu'à l'évaluation des conséquences et l'analyse de fréquence. Les méthodes de modélisation sont utilisées pour estimer les conséquences des événements accidentels identifiés dans l'analyse de scénarios, en particulier au niveau de l'impact des résultats sur les personnes et/ou l'environnement. Cette modélisation de conséquences est assurée par l'utilisation du logiciel « Phast (Process Hazards Analysis Software Tools) » de la firme DNV,



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

logiciel de pointe dans le domaine, mais aussi par des outils complémentaires de modélisation de conséquences pour incendies et explosions développés à l'origine par l'Organisation néerlandaise des recherches scientifiques appliquées (Livre jaune TNO, 2005) tel que précisé dans le document sur la sécurité des procédés chimiques (Crowl et Louvar, 2001) et du récent Guide de CCP sur les incendies et explosions (CCP2010). L'estimation des conséquences utilise les critères de valeurs pour blessures documentés par CCP et les auteurs Crowl et Louvar. Le traitement du risque implique de proposer des méthodes d'atténuation des risques afin de réduire la probabilité et la conséquence des accidents en utilisant le principe « ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*) » c.-à-d. aussi faible que raisonnablement réalisable, méthode décrite dans le document « *Les pratiques recommandées pour les municipalités et l'industrie au Canada* » de la Société canadienne d'ingénieurs chimiques (CSChE, 2004). L'analyse de sensibilité sera traitée selon la conséquence modélisée afin de déterminer l'effet des incertitudes sur les impacts estimés pour la sécurité et l'environnement.

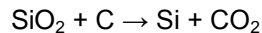
Cette évaluation quantitative des risques s'appuie également sur des travaux antérieurs effectués en France pour FerroPem pour une usine similaire de silicium (Anglefort), laquelle avait utilisé les évaluations de risques effectuées par le gouvernement français pour l'industrie papetière (INERIS, 2006) et les industries agricoles (ministère de l'Écologie, 2008).



2. DESCRIPTION DE L'OPÉRATION DE L'USINE

Le schéma de procédé, illustré à la figure B, montre les principales étapes de production de silicium et les infrastructures nécessaires à la production des produits à base de silicium. Le silicium est produit dans des fours à arc à partir d'un mélange de quartz, de calcaire, de houille (charbon), de coke de pétrole, de charbon de bois et de copeaux de bois acheminés. Le mélange (quartz, calcaire et réducteur) est acheminé par le dessus des fours. Un équipement mobile vient ensuite répartir la charge sur le dessus du four. Le site comporte aussi des installations de séchage de copeaux de bois, de production de charbon de bois et de cogénération.

L'énergie électrique est transmise dans le four à l'aide de trois électrodes situées au centre du four qui permettent d'atteindre une température de 2500°C nécessaire à la réaction de carboréduction de la silice. Les électrodes de graphite sont consommées et ajoutées en continu par le dessus du four. Lorsqu'une nouvelle section d'électrodes est installée, un tube d'acier doit en même temps être ajouté et soudé au tube existant (virole). La silice contenue dans le quartz est réduite à l'aide des composés réducteurs pour produire du silicium selon la réaction suivante :



À partir du four, le silicium est coulé dans des poches et ensuite affiné pour séparer les oxydes du métal. Le silicium est ensuite coulé en lingots, ce qui permet en même temps de le séparer du laitier (crasses), un sous-produit. Une fois solidifié, le silicium est concassé et tamisé (étape de conditionnement) selon les spécifications des clients.

Les fumées générées dans le four sont captées par une hotte située au-dessus du four. Des hottes secondaires sont installées au-dessus des poches à la coulée ainsi qu'à la station d'affinage. Les fumées captées des différentes hottes sont dirigées dans un conduit principal et acheminées vers les dépoussiéreurs situés à l'extérieur. Avant d'atteindre les dépoussiéreurs, elles passent par un préséparateur afin de retirer les plus grosses particules, car celles-ci peuvent contenir du charbon ou du bois encore en combustion (tisons) qui pourraient enflammer les manches filtrantes des dépoussiéreurs.

La production de silicium métallique génère des sous-produits comme de la fumée de silice, nommée sous l'appellation commerciale Microsil et du laitier (crasse).

L'usine produit aussi de la poudre de silicium dont la granulométrie est inférieure à 1 mm (en moyenne de 300 microns). Pour atteindre cette granulométrie plus fine, des étapes de broyage supplémentaires du produit concassé sont nécessaires. Il est important de souligner que la poudre et les poussières de silicium présentent un risque d'explosion, donc un système à l'azote est nécessaire pour rendre inerte l'atmosphère des réservoirs fermés afin de prévenir le risque d'explosion. De plus, les dépoussiéreurs des lignes de conditionnement et de production de poudres sont protégés par des événements d'explosion ou des procédures de prévention d'explosion seront mises en place.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Des particules de fines de bois et de charbon de bois sont générées dans les différentes transformations et manipulations et sont utilisées pour alimenter la chaudière de l'usine de cogénération.

Les matières premières, les sous-produits et les produits associés à la production du silicium sont présentés au tableau 1. Dans le cadre de cette analyse de risques, la présente liste sera considérée dans les chapitres suivants afin de développer les scénarios d'accidents de même que le processus d'identification des dangers.

Tableau 1 Liste des produits associés à la production de silicium

Catégorie de matière	Matière
Matières premières	Silice (Quartz) (préparation du mélange pour les fours) Billots de bois (Grumes) (Production de copeaux de bois et de charbon de bois) Houille (Charbon) (Agent réducteur dans la préparation du mélange pour les fours) Coke de pétrole (Agent réducteur dans la préparation du mélange pour les fours) Calcaire (préparation du mélange pour les fours) Noyau graphite (Fabrication des électrodes) Virole (Fabrication des électrodes) Pâte Soderberg (Fabrication des électrodes)
Combustibles	Propane (cuisson et préchauffage des poches et initiation réaction de carbonisation) Oxygène (affinage du métal) Diesel (alimentation des engins)
Produits fabriqués	Poudre de silicium Silicium concassé
Matières premières transformées	Copeaux de bois (moyens) (Agent réducteur dans la préparation du mélange pour les fours) Copeaux de bois (particules fines : biomasse) (Alimentation de la chaudière de cogénération) Copeaux de bois (grossiers) (Production de charbon de bois) Charbon de bois (Agent réducteur dans la préparation du mélange pour les fours) Fines de charbon de bois (Alimentation de la chaudière de cogénération)
Sous-produits	Poussières de silicium Fumées de silice Laitier Vapeur (cogénération)
Produits de maintenance	Solvant de dégraissage Dégrippants Aérosols Colle Huile et graisse



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Catégorie de matière	Matière
Produits connexes	Azote (inertage, installation broyage et transport poudre silicium) Acétylène Béton Réfractaire Masses de bouchage Pâte à damer fond de four Cartouches de tir au canon Air comprimé (Compresseurs, bâtiments et dépoussiéreurs)
Produits de laboratoire	Acide nitrique Aide chlorhydrique Acide fluorhydrique Argon Argon-méthane

Un tableau détaillé est présenté en annexe 1.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

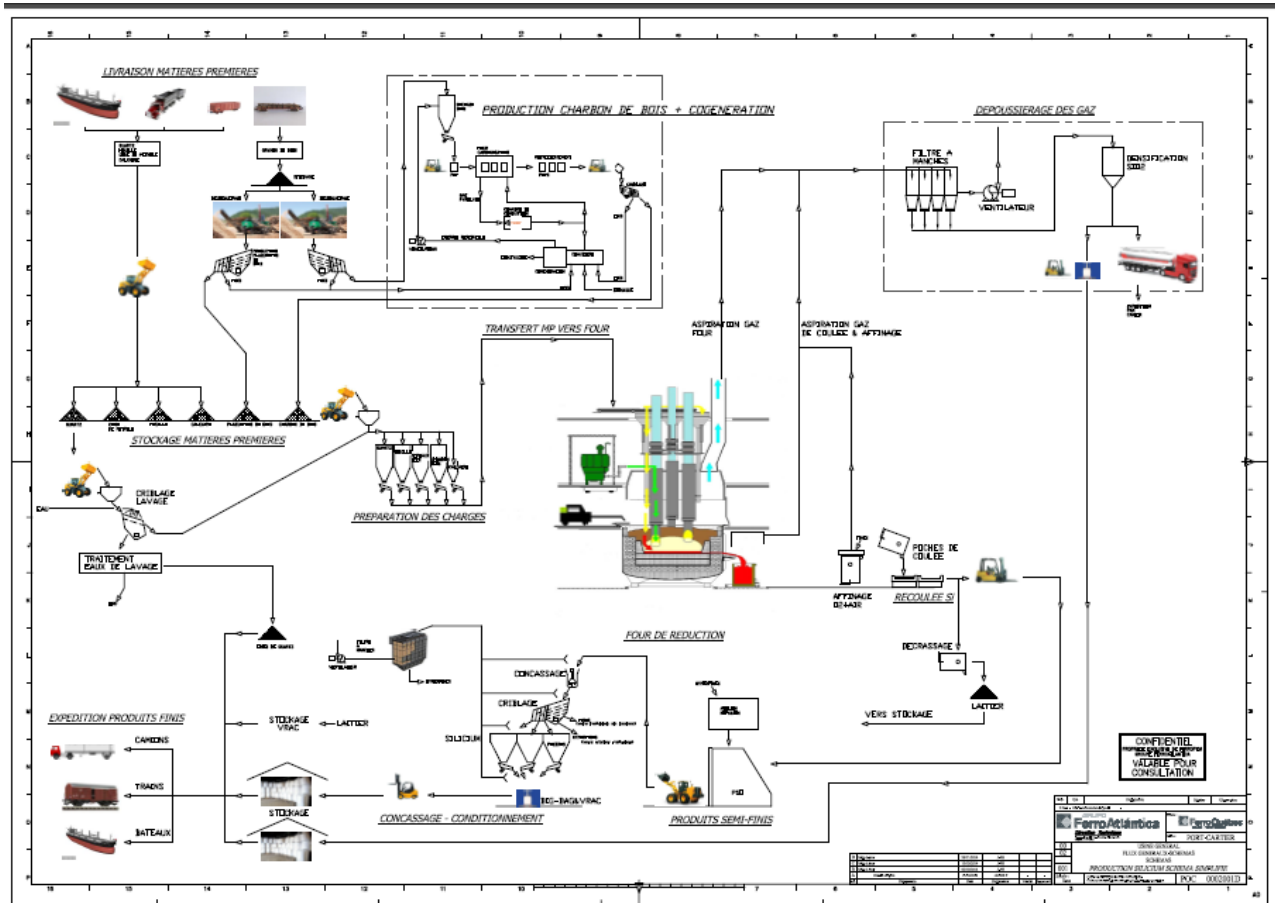


Figure B Schéma de procédé

2.1 Protection incendie

Les équipements de protection incendie seront conçus selon les normes de *National Fire Protection Association (NFPA)*.



3. IDENTIFICATION DES DANGERS ET ÉLABORATION DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT

Le guide du MENV (Guide, 2002) pour l'analyse des risques technologiques majeurs identifie trois catégories de danger :

1. dangers liés aux matières dangereuses;
2. dangers liés aux activités et conditions d'opération de l'installation; et
3. dangers externes.

Dans cette section, nous décrivons la démarche utilisée de l'ACC pour l'élaboration de scénarios d'accident et la méthodologie qui permet d'identifier les risques d'accidents technologiques majeurs pour les catégories (1) et (2) qui découlent de l'évaluation quantitative des risques de procédés chimiques (CCP, 2000) et (CSChE, 2004). En particulier, les dangers sont associés à l'acquisition, la construction et l'exploitation du projet ainsi qu'à l'entreposage et le transport des matières premières et des produits fabriqués, l'entreposage de carburant sur le site et les procédés chimiques impliqués. Les scénarios d'accident dépendent aussi de l'aménagement du site et de la localisation géographique du projet.

La plupart des événements associés aux accidents technologiques majeurs pour une installation de procédé métallurgique similaire à l'usine de silicium située à Port-Cartier impliquent les déversements de matières dangereuses. Ceci peut à son tour entraîner des impacts :

- Au près des personnes sous les formes de :
 - exposition toxique;
 - radiation thermique lors d'un incendie; ou
 - souffle de surpression d'une explosion.
- Sur l'environnement.

Les matières dangereuses visées par le *Guide d'analyse de risques technologiques majeurs (MENV 2002)* diffèrent des matières dangereuses visées par le *Règlement québécois sur les matières dangereuses*. Cette analyse se préoccupe de la sécurité publique, la qualité de l'environnement et l'intégrité des structures. Certaines de ces matières dangereuses, stockées ou présentes sur le site, sont sensibles à l'allumage, ce qui présente un potentiel d'incendie et, conséquemment, peut exposer des personnes à des impacts négatifs.

Selon les produits associés au projet décrits dans la liste au chapitre 2, les spécifications fournies par FerroQuébec (Dossier technique, 2014) et la revue de projet transmise par Biofilia (Avis, 2014), nous pouvons identifier les matières dangereuses considérées dans le cadre de cette analyse et regrouper les dangers principaux selon l'ACC comme ci-dessous :

- Risques potentiels d'incendie et d'explosion afférents à la présence de matières dangereuses sur le site;



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

- Défaillance pendant l'opération d'équipements de l'usine pouvant provoquer un déversement accidentel de matières, un incendie et une explosion;
- Entreposage de combustibles et de matières premières; et
- Accumulation de poussières à des niveaux critiques dans des espaces confinés.

Les matières dangereuses visées par cette analyse sont les suivantes :

- Charbon de bois (poussières explosives);
- Silicium (contact métal liquide et eau, en poussières ou en poudres explosives);
- Matières premières (houille, coke, billots de bois);
- Combustible (diesel, propane, oxygène).

La *Loi canadienne de protection de l'environnement (LCPE 1999)* par son *Règlement sur les urgences environnementales* présente une liste de matières dangereuses avec quantités seuils et concentrations de références toxicologiques retenues aux fins de gestion des risques d'accident industriel majeur. Dans le cadre du projet, aucune substance répertoriée dans le *Règlement sur les urgences environnementales* n'est utilisée en quantités excédant les quantités seuils présentées dans ce règlement.

Comme nous le verrons ci-dessous, les causes des dangers pour les personnes et l'environnement sont identifiées comme une série d'événements accidentels dans l'ACC. Ceux-ci proviennent de défaillances ou d'événements accidentels associés aux réservoirs de stockage, canalisations, camions et trains ou à l'allumage de produits combustibles, de matières premières, de produits transformés ou de produits finis.

3.1 Scénarios d'accidents

Cette section décrit des scénarios d'accident selon la méthodologie normalisée de l'ACC pour l'évaluation quantitative de risques (Guide, 2000) dans le domaine chimique. Les scénarios d'accidents détaillent la chronologie d'événements basés sur un ensemble de causes initiales d'événements accidentels jusqu'aux résultats de risques (de droite à gauche dans chaque diagramme). Un diagramme de référence est montré en figure C.

La section du graphique à la gauche de l'événement accidentel forme un arbre de fautes qui illustre un ensemble d'événements reliés par une logique binaire. Le symbole « OU » précédant immédiatement à gauche de l'événement accidentel suggère une alternative puisque n'importe laquelle des causes initiales peut causer l'événement accidentel. L'autre symbole « ET » est un second type d'alternative. Il exige que cette matière première soit présente dans le réservoir ou la canalisation pour qu'un déversement survienne. Le graphique à la droite de l'événement accidentel constitue une arborescence de l'événement qui est un ensemble d'événements reliés par une logique binaire comprenant le « OUI » ou « NON » binaire.

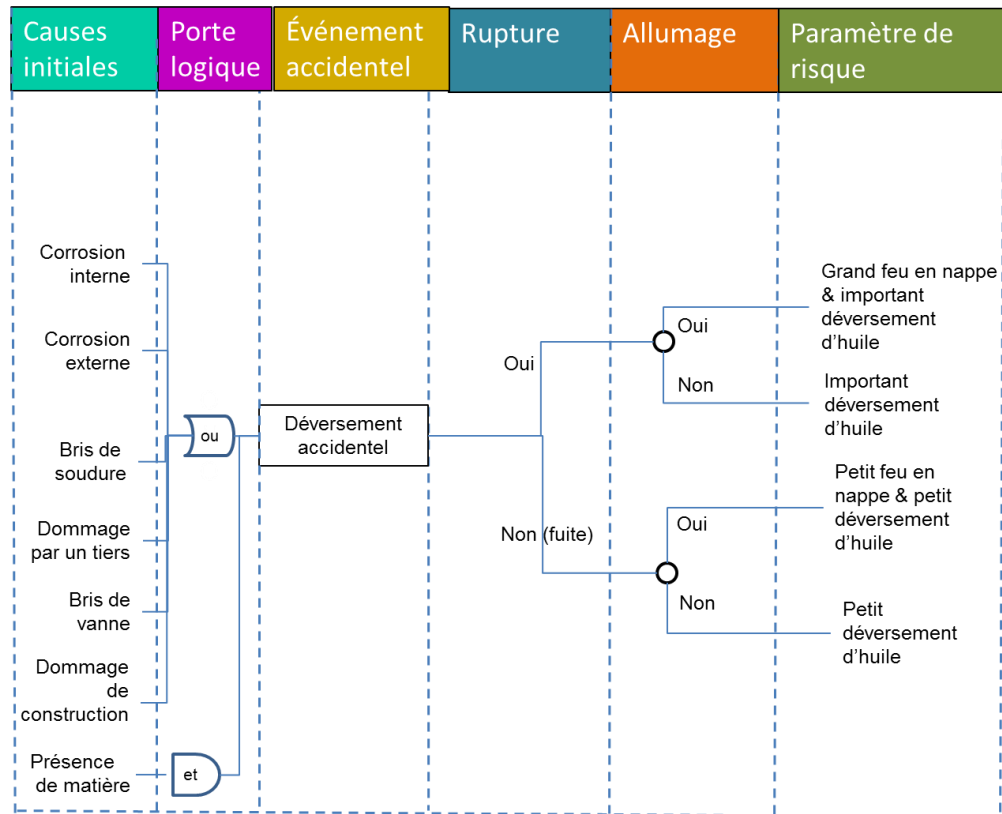


Figure C Exemple de diagramme de cause-conséquence pour un déversement d'hydrocarbure

Prise comme un tout, la figure C forme une boucle (effet papillon). Le diagramme cause-conséquence est utilisé pour estimer les probabilités événementielles relatives aux paramètres de risques. Dans le cas où la probabilité d'un événement peut être estimée directement à partir de bases de données publiques, telles que des déversements accidentels d'un réservoir ou d'une canalisation, il n'est pas nécessaire d'inclure la portion de l'arbre de fautes de la boucle papillon; il est cependant nécessaire d'inclure l'arbre d'événements.

3.2 Identification des éléments sensibles

Selon le guide du MENV (Guide, 2002), l'analyse de risques consiste à porter une attention particulière aux conséquences importantes, surtout celles associées à des récepteurs sensibles comme :

- les quartiers résidentiels avoisinants;
- les hôpitaux;
- les milieux environnementaux sensibles tels que des terres humides; et
- des sites d'importance culturelle autochtone et des sites à signification historique.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Si un événement indésirable devait survenir tel qu'un déversement d'une matière dangereuse dans un plan d'eau causant une atteinte aux habitats naturels, qu'un incendie ou qu'une explosion causant des pertes de vies ou provoquant la destruction d'habitations, ceci résulterait en un impact important.

Dans le cas des installations proposées à Port-Cartier, l'aménagement est situé à quelques kilomètres de la ville de Port-Cartier et le site est déjà à vocation industrielle. En outre, le site de FerroQuébec est adjacent à d'autres sites occupés par des industries. Ainsi, une attention est accordée à toutes les conséquences qui pourraient nuire aux sites adjacents. Aussi, puisqu'il y a des possibilités d'événements accidentels technologiques majeurs au sein du site, une vigilance est exercée sur les effets domino possibles parmi ces événements accidentels. Par exemple, si un réservoir d'oxygène explosait, il est important que cet événement ne provoque pas une explosion du réservoir de propane. Deux installations industrielles sont adjacentes au site FerroQuébec: Produits forestiers Arbec et ArcelorMittal Mines. Si un événement indésirable se produisait à l'installation de FerroQuébec, il pourrait avoir un impact sur une ou sur les deux installations voisines.

3.3 Identification des dangers externes

Des dangers externes peuvent engendrer des sources d'accidents sur le site de l'installation industrielle. Le Guide du MENV (Guide, 2002) regroupe dans cette catégorie des phénomènes naturels, des sources ponctuelles, des sources linéaires et autres. Les sources naturelles incluent les tremblements de terre, inondations, glissements de terrain, la foudre et les fortes précipitations. Étant donné que la foudre est une source d'allumage pour les matières dangereuses stockées sur le site, elle est présentée dans l'élaboration de scénarios d'accidents. L'effet des sites industriels voisins est considéré dans le cadre de l'analyse des effets domino. Étant donné que le quartz et la houille seront importés vers le site par bateau sur le fleuve St-Laurent, ils auront un effet mineur sur les dangers externes, puisque l'augmentation du trafic de bateaux le long de la voie maritime sera négligeable.

3.4 Revue des accidents passés

FerroAtlantica, dont FerroQuébec fait partie, a un historique de production de métaux par l'utilisation de fours à arc dans le monde entier. Le tableau 2 présente un registre des accidents et des incidents impliquant la production de métaux dans le groupe international des sociétés de FerroPem depuis quatre décennies.



Tableau 2 Accidents/Incidents

Date	Description d'accident/incident
1979, 2005, 2006	Explosion de la charge d'un four suite à une fuite d'eau
1980, 1984, 2004, 2006	Explosion métal/eau
1980, 2001, 2002, 2003	Projection de métal
1990, 1998	Ricochet lors du tir au canon - Individu
1990, 1999, 2004	Collision engin/piétons
1999, 2002	Chute de hauteur - Individu
1992, 2004	Manutention de métal liquide en poche
2004, 2005, 2007	Manutention au pont ou chariot
1972	Explosion de poussières (dépoussiérage au conditionnement)
1978, 2009	Risques électriques

3.5 Dangers associés à la construction

Pendant la construction, des dangers sont envisagés en raison du déplacement des matériaux de construction sur le site et en périphérie, et ce, avec l'utilisation de camions et autres machineries lourdes (Biofilia, 2014). De plus, les opérations de dynamitage serviront à excaver un secteur pour l'assise de la dalle de béton sur laquelle reposeront les fours à arc.

3.5.1 Dangers associés à l'utilisation de véhicules

Des camions et autres machineries lourdes, alimentés au diesel, seront utilisés sur le site pour le transport des différents matériaux et activités de construction. Les scénarios pour les dangers associés à l'utilisation de véhicules sont détaillés à la section 3.6.1.

3.5.2 Dangers associés au dynamitage

Il y a deux scénarios d'événements accidentels possibles associés aux opérations de dynamitage. Le premier consiste en pierres projetées par le souffle d'une explosion. L'autre est le sautage non contrôlé dû au non-respect des procédures de dynamitage. Le scénario le plus critique est la grande vitesse des particules de pierres suite à une opération de dynamitage causant la mort ou blessant du personnel de construction et des animaux sauvages. Une détonation inattendue peut également



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

causer la mort ou blesser un membre du personnel de la construction si la personne a été exposée accidentellement à cette détonation.

3.6 Dangers associés à l'exploitation

Les événements accidentels provenant des dangers associés à l'exploitation des installations de production de silicium, de production de charbon de bois et de cogénération découlent du stockage et du transport sur le site des combustibles, des matières premières, des produits finis et des matières impliquées dans le procédé de l'usine. Ces dangers liés à des événements accidentels technologiques majeurs ont été précédemment identifiés et analysés pour l'usine Anglefort (Dossier 3, 2009).

Ils incluent les dangers suivants qui seront décrits dans les sous-sections suivantes.

- dangers associés au carburant des véhicules (diesel);
- explosion causée par le contact entre du silicium en fusion et de l'eau;
- explosion de poussières et de poudres de silicium et de poussières de charbon de bois confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage;
- incendie de matières premières (bois, houille, coke);
- incendie et explosion de réservoir et de canalisations de propane; et
- explosion d'un réservoir d'oxygène.

3.6.1 Dangers associés aux véhicules

Des engins alimentés au diésel, camions et transport ferroviaire, seront utilisés sur le site pour transporter les matières premières du quai de déchargement (bateaux) jusqu'aux piles de stockage et, de ces piles, jusqu'aux opérations de l'usine. L'arbre d'événements pour un déversement accidentel est illustré à la figure D. Des véhicules pourraient être impliqués dans des collisions ou des déraillements susceptibles de mener à un déversement de diésel dont l'allumage pourrait entraîner des blessés ou des morts par exposition à une radiation thermique. Les conséquences de collisions de véhicules impliquent non seulement des incendies et des explosions, mais également des blessures potentielles ou la perte de vie d'opérateurs de véhicule et de piétons dans le cas d'une collision véhicule/piéton.

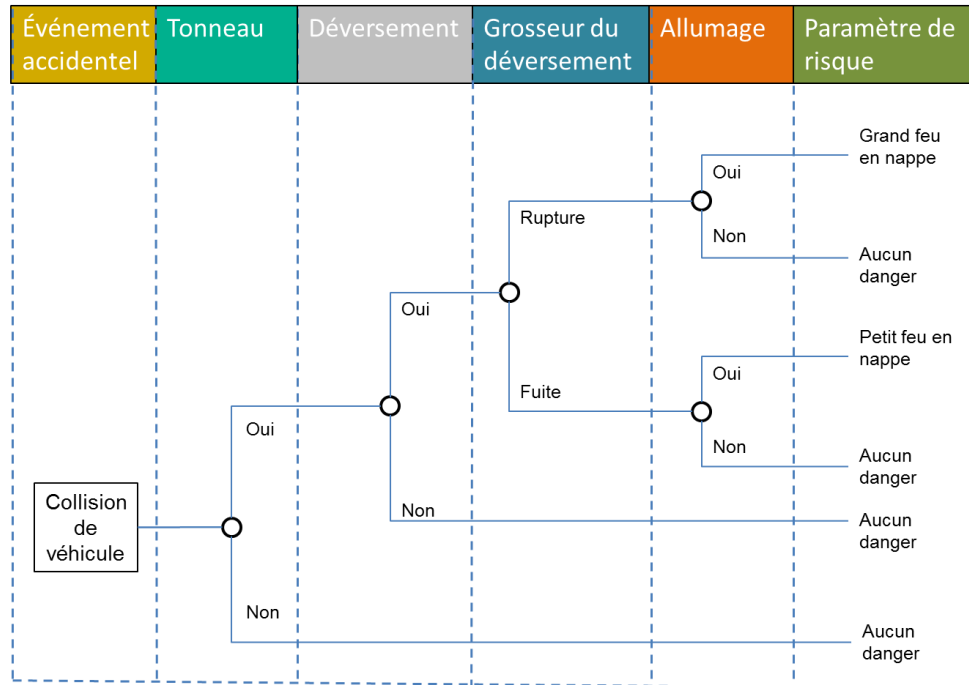


Figure D Arbre d'événements liés au déversement accidentel de diesel de camion ou de train

Les collisions de véhicule ont été considérées dans la récente évaluation de risques de sécurité pour la construction du pipeline du « West Coast Gas Connector » par le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique (Spectra, 2013).

3.6.2 Explosion – Contact silicium liquide et eau

Le silicium en fusion (sous forme liquide) est produit par des fours à arc. S'il se produit une rupture d'une poche ou d'une cuve d'un four, il s'en suivra un contact entre le silicium en fusion et l'eau. Si la coulée très chaude de silicium en fusion (1500 – 2500°C) entre accidentellement en contact avec de l'eau, cela peut causer une explosion. L'étude de risques d'Anglefort (Dossier 3, 2009) a identifié deux risques associés au contact silicium liquide et eau qui sont : le déversement accidentel de silicium en fusion sur un sol humide et une grande quantité d'eau accidentellement présente dans le four.

Le déversement accidentel de métal en fusion sur l'eau entraîne un changement de phase de l'eau du stade liquide à vapeur. L'augmentation rapide du volume (liquide à vapeur) produit une augmentation rapide de la pression du gaz (vapeur) et du métal en fusion sera projeté. L'arbre d'événements est illustré à la figure E.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

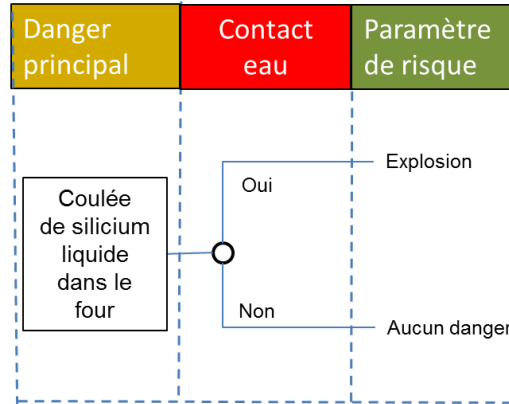


Figure E Arbre d'événements pour explosion causée par le contact entre le silicium en fusion et l'eau

Dans le cas d'une défaillance provoquant une fuite du système de refroidissement, une grande quantité d'eau peut pénétrer dans le four en opération. Cependant, étant donné la présence d'une couche de matières premières, l'eau ne passera pas en phase vapeur immédiatement mais pénétrera dans cette couche. Cette eau passera ensuite en phase vapeur ce qui entraînera une explosion dans le four, provoquant l'éclatement de la paroi et transmettant une onde de choc pouvant infliger une blessure ou causer la mort d'une personne exposée à cette onde ou à des fragments projetés à grande vitesse. L'arbre d'événements est illustré à la figure F.

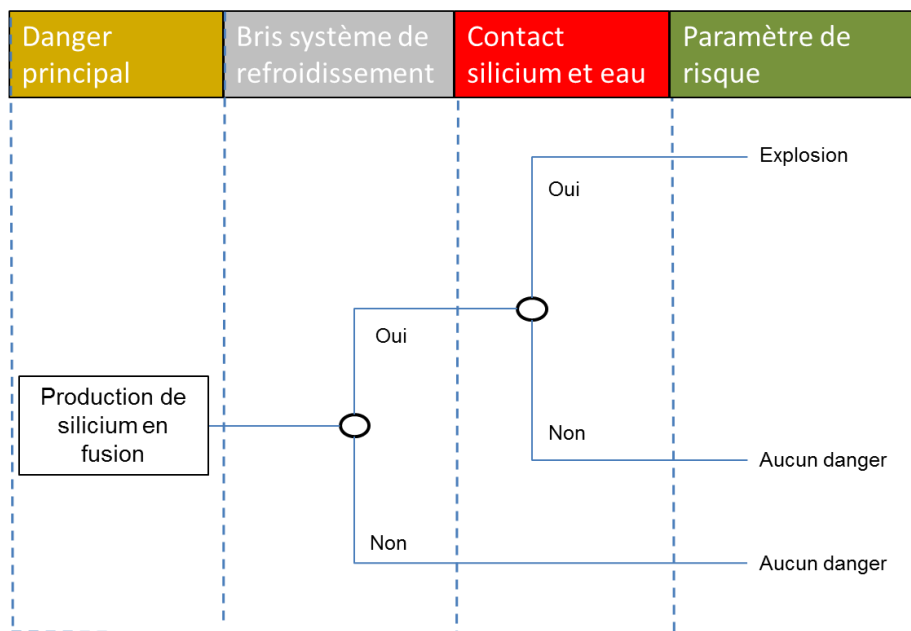


Figure F Arbre d'événements pour explosion causée par le bris d'un système d'eau dans le four



3.6.3 Explosions de poussières

Des nuages de poussières peuvent être confinés dans des dépoussiéreurs ou dans des silos de stockage présents sur le site de l'usine de Port-Cartier. Des explosions peuvent se produire dans le cas de confinement de poussières. Les risques d'explosion de poussières confinées sont principalement localisés aux dépoussiéreurs traitant les poussières de charbon de bois (manutention) ou de silicium (conditionnement, production de poudres). Dans le cas d'une explosion assez forte pour faire éclater un silo, si les personnes à l'extérieur sont assez proches du cœur de l'explosion, elles seront exposées à des blessures et décès. L'analyse de risques de l'usine Anglefort (Dossier 3, 2009) a identifié la présence de poussières confinées de silicium dans l'usine de broyage, de concassage et dans le silo de stockage comme des dangers potentiels. Le scénario d'événement accidentel d'explosion de poussières est présenté à la figure G.

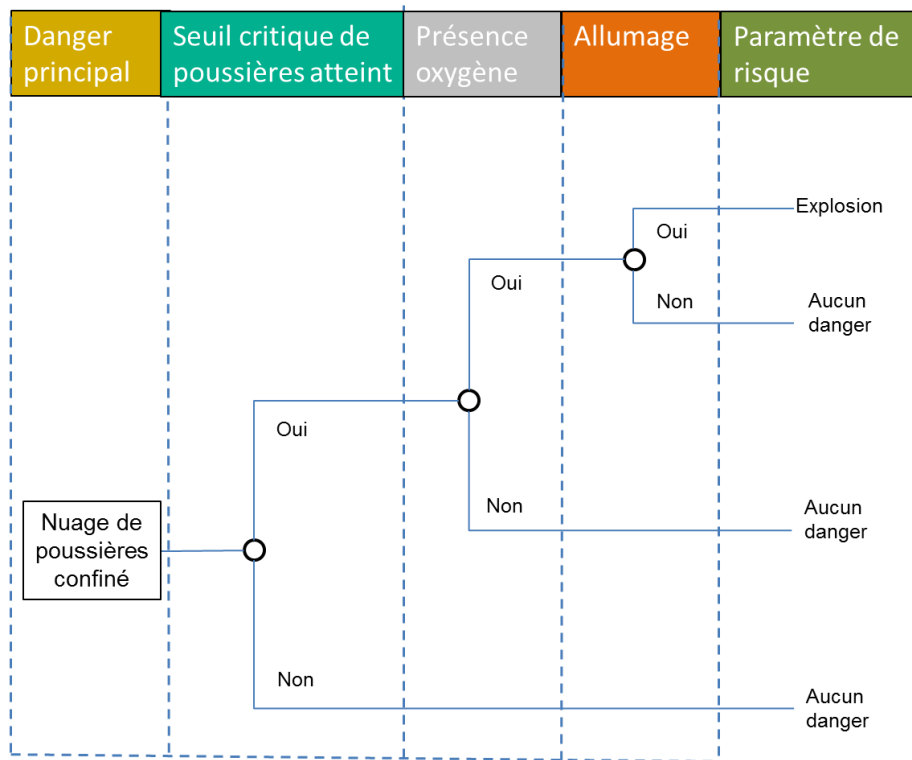


Figure G Arbre d'événements pour explosions de poussières

3.6.4 Incendie de matières premières

Les matières premières inflammables entreposées sur le site comprennent des piles de billots de bois, de copeaux de bois, de houille et de coke. Ces piles peuvent être enflammées par un éclair (foudre),



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

par des causes reliées au comportement humain ou au fonctionnement de la machinerie. Crowl et Louvar listent les principales causes d'incendies industriels. INERIS identifie les causes d'allumage pour l'industrie papetière en France (INERIS, 2006), ce qui est pertinent ici parce qu'elles comprennent les piles de billots de bois exposées à l'air libre. Nous avons adapté le schéma de l'ACC illustré à la figure H à partir de la source de pile de billots de l'étude de l'INERIS.

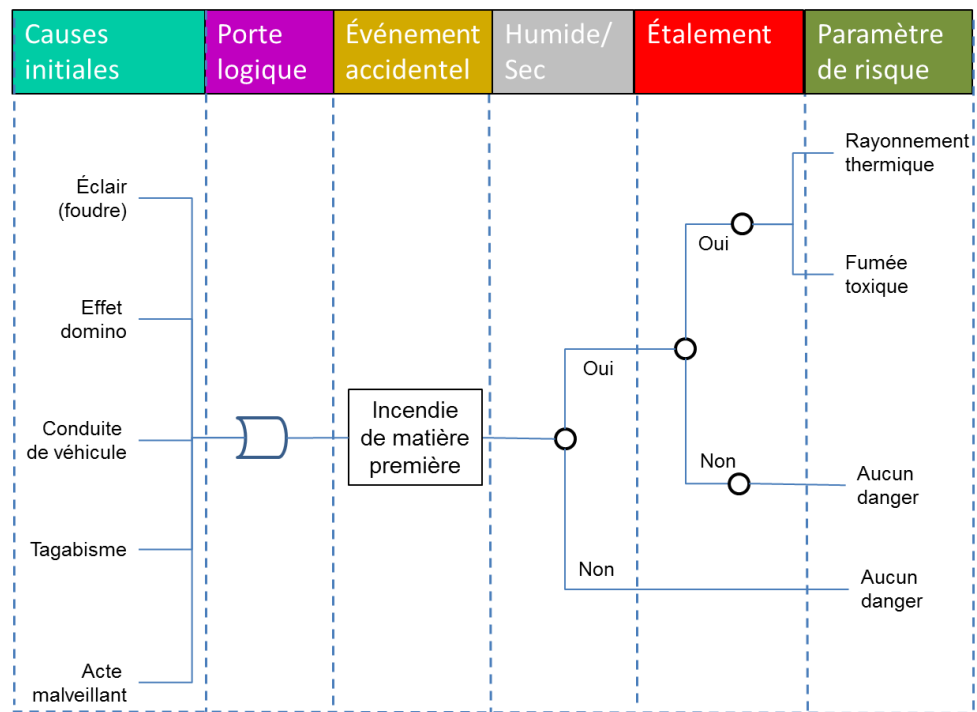


Figure H Arbre d'événements pour incendie de matières premières

La présence ou non d'un danger, pour la sécurité, dépend du niveau d'humidité de la matière première et de la propagation par le vent d'un incendie.

3.6.5 Incendie et explosion de carburant (propane)

Le propane sera utilisé sur le site pour fournir de la chaleur pour le déclenchement de la réaction de carbonisation à l'usine de production de charbon de bois ainsi que pour le préchauffage et la cuisson du réfractaire. Les déversements accidentels de gaz propane liquide (GPL) provenant du réservoir, de canalisations et du propane présent dans le bâtiment de l'usine de charbon de bois constituent des dangers potentiels bien connus dans l'industrie des procédés chimiques.

Dans l'étude de risques d'Anglefort (Dossier 3, 2009), ces éléments à risque ont également été identifiés. L'allumage de propane à l'état gazeux émis dans l'atmosphère après un déversement d'un



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

réservoir ou d'une canalisation est connu comme un BLEVE. Un tel incident peut causer des blessures, une radiation thermique ou une surpression pour les personnes exposées. La figure I montre un arbre d'événements pour un déversement accidentel d'un réservoir ou d'une canalisation de GPL. Puisque les taux d'événements accidentels des réservoirs et canalisations sont disponibles à partir de bases de données publiques, il n'est pas considéré comme nécessaire d'illustrer la boucle papillon complète. Les paramètres de risque résultant d'un déversement accidentel de propane suivi par l'allumage et la dispersion atmosphérique sont : radiation thermique et souffle de surpression. Parce que le propane est non toxique, aucune victime n'est susceptible d'apparaître à la suite d'exposition au gaz propane non enflammé une fois libéré à l'atmosphère.

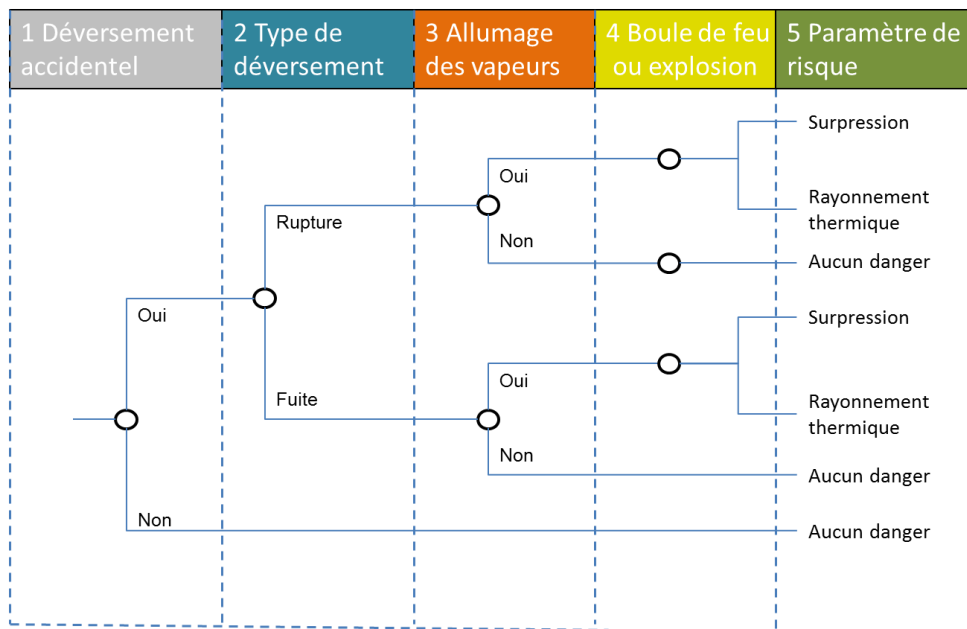


Figure I Arbre d'événements pour déversement accidentel d'un réservoir ou canalisation de propane

3.6.6 Explosion de réservoir d'oxygène

L'oxygène est utilisé pour l'affinage du silicium en fusion. La libération soudaine d'oxygène en raison d'une rupture de son réservoir peut causer des niveaux élevés d'oxygène dans l'atmosphère (la suroxygénation). La suroxygénation a été identifiée comme un danger potentiel dans l'étude de risques d'Anglefort (Dossier 3, 2009). L'arbre d'événements pour la rupture de réservoir d'oxygène est représenté à la figure J.

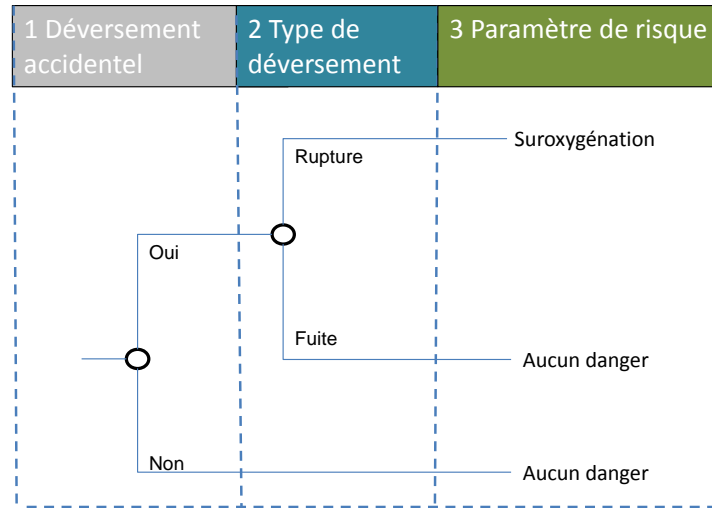


Figure J Arbre d'événements pour déversement accidentel d'un réservoir d'oxygène liquide

3.7 Résumé des paramètres de risques

Le tableau 3 résume tous les dangers liés à des scénarios d'événements accidentels technologiques majeurs qui sont considérés dans l'analyse de risques tels que définis par l'événement accidentel et les paramètres de risques.

Tableau 3 Liste des paramètres de risques

Nombre	Événement accidentel principal	Paramètre de risques pour la sécurité publique	Paramètre de risques pour l'impact environnemental	Phase du projet
1	Incendie de pile de billots de bois	Radiation thermique	Aucune	Exploitation
2	Incendie de pile de houille	Radiation thermique	Aucune	Exploitation
3	Incendie de pile de coke	Radiation thermique	Aucune	Exploitation
4	Collision de véhicules	Radiation thermique	Perte mineure de l'habitat	Construction et Exploitation
5	Collision/déraillement sur voie ferrée	Radiation thermique	Perte mineure de l'habitat	Exploitation
6	Dynamitage	Fragments projetés à grande vitesse	Fragments projetés à grande vitesse	Construction
7	Déversement et incendie d'un réservoir de propane	Radiation thermique/ Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
8	Déversement et incendie de canalisation de propane	Radiation thermique/ Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
9	Déversement de propane confiné dans un bâtiment (usine de charbon de bois)	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Nombre	Événement accidentel principal	Paramètre de risques pour la sécurité publique	Paramètre de risques pour l'impact environnemental	Phase du projet
10	Déversement de réservoir d'oxygène	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
11	Explosion four - Contact accidentel entre le silicium en fusion et l'eau	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
12	Explosion de poussières de charbon de bois confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
13	Explosion de poussières de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation
14	Explosion de poudres de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Souffle de surpression	Aucune	Exploitation

Étant donné que la quasi-totalité des risques implique soit une radiation thermique à la suite d'un incendie ou un souffle de surpression, nous passons en revue les caractéristiques des incendies et des explosions.

Un incendie est une réaction exothermique rapide de carburant enflammé. Trois conditions doivent être remplies pour qu'un incendie se produise. Il doit y avoir :

- Comburant (oxygène);
- Combustible; et
- Source d'allumage.

Le combustible peut se retrouver sous les phases : solide, liquide ou vapeur. Par exemple, les billots de bois, la houille, le coke, les poussières de charbon de bois et les poussières et poudres de silicium sont des combustibles sous forme solide. Le propane et le diesel sont des combustibles sous forme de vapeur (après sortie et évaporation). Les sources d'allumage comprennent les étincelles, les flammes, l'électricité et la chaleur. L'existence d'un incendie peut se résumer avec le triangle de feu.

À la différence de l'incendie, l'explosion est une combustion quasiment instantanée. Il ne peut y avoir explosion qu'après formation d'une atmosphère explosive. Celle-ci résulte d'un mélange d'air et de substances combustibles dans des proportions telles qu'une source d'inflammation d'énergie suffisante produise une explosion. Une explosion est due à une réaction entre plusieurs substances, dont aucune prise indépendamment ne peut exploser. Cette réaction rapide donne lieu à une augmentation brutale de pression qui provoque un effet de souffle et une onde de pression, accompagnée de flammes et de



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

chaleur. Typiquement, les explosions libèrent leur énergie dans l'espace en millisecondes et impliquent l'expansion rapide de gaz aboutissant à une onde de choc.

Six conditions doivent être réunies simultanément pour qu'une explosion se produise :

- Présence d'un combustible;
- Confinement suffisant;
- Présence d'un comburant (en général l'oxygène de l'air);
- Présence d'une source d'inflammation;
- État particulier du combustible, qui doit être sous forme gazeuse, de brouillard ou de poussières en suspension; et
- Obtention d'un domaine d'explosivité (domaine de concentration du combustible dans l'air à l'intérieur duquel son explosion est possible).



4. ANALYSE DE FRÉQUENCES

Cette section traite de la fréquence d'occurrence des scénarios d'accidents identifiés dans le chapitre 3. Habituellement, la probabilité est exprimée sous la forme d'une fréquence annuelle d'événements.

4.1 Incendie aux lieux de stockage des matières premières

Les paramètres du risque reliés l'exposition aux radiations thermiques ou aux fumées toxiques se situent selon la probabilité d'un incendie de matières premières (piles de bois, de charbon et de coke). La probabilité d'un incendie de matières premières est signalée dans l'étude d'Anglefort comme étant de 8.8×10^{-4} événement par année basée sur les données du « Livre violet » de TNO. Cette probabilité sera réduite davantage du fait que les piles de coke et de houille seront couvertes. Nous supposons que la probabilité d'allumage est réduite de l'ordre d'au moins deux.

4.2 Incendie causé par une collision de véhicules

Les paramètres de risque reliés à l'exposition de personnes aux radiations thermiques provenant d'incendie d'un réservoir de carburant de véhicule (camion et train) se situent selon la probabilité de feu en nappe. La probabilité d'un feu en nappe peut être estimée en multipliant les probabilités identifiées dans l'arbre d'événements; elles sont présentées au tableau 4.

$$P_{fire} = P_{va} \cdot P_{ro} \cdot P_{rel} \cdot P_{rup} \cdot P_{ig}$$

Où :

P_{va} est la probabilité d'un accident de véhicules

P_{ro} est la probabilité conditionnelle d'un tonneau du véhicule pendant l'accident

P_{rel} est la probabilité conditionnelle d'un déversement d'un réservoir de carburant diesel pendant un tonneau de véhicule

P_{rup} est la probabilité conditionnelle d'une rupture du réservoir de carburant causant un déversement de diesel

P_{ig} est la probabilité d'allumage

Tableau 4 Probabilités d'un feu en nappe (véhicule)

Type	Taux accident (év/km/an)	HAZMAT Prob	Prob rupture	Prob grand dévers.	Prob allumage	Fréq boule feu (év/km/an)	Longueur transport (km)	Prob boule feu (év/an)
Route	$2,30 \times 10^{-6}$	0,087	0,04	0,03	0,3	$7,2 \times 10^{-11}$	5	$1,5 \times 10^{-10}$
Rail	$9,53 \times 10^{-7}$	1	0,8	0,03	0,3	$1,4 \times 10^{-7}$	5	7×10^{-7}



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Les statistiques relatives aux accidents de véhicules sont accessibles au public par le biais de Transports Canada, par les bases de données provinciales ainsi que par des sources telles que (Alp, 1993).

4.3 Explosion de poussières et poudres de silicium et de poussières de charbon de bois

Nous supposons que la probabilité d'une explosion est la même que celle d'un grand appareil à température et à pression atmosphériques. Ceci s'applique aux poussières confinées dans les dépoussiéreurs et les silos dans les zones où le charbon de bois et le silicium seront manipulés, traités et stockés. La probabilité est de 5×10^{-6} événements/an. (SSE, 2012)

4.4 Incendie ou explosion causé par un déversement de propane

Les incendies ou explosions causés par des fuites provenant de canalisations ou de réservoirs de propane sont estimés à partir de l'arbre d'événements.

$$P_{exp} = P_{rel} \cdot P_{rup} \cdot P_{ig}$$

Les statistiques (événement/an) de déversements de réservoirs de propane liquide, fournies par (UK HSE, 2012) sont montrées au tableau 5 avec la probabilité de petites et grosses explosions dans les événements/an.

Tableau 5 Taux d'explosion de réservoir de propane

Taux fuite ou dévers. (év/an)	Taux dévers. rupture (év/an)	Prob allumage	Taux petite explosion (év/an)	Taux grande explosion (év/an)
1×10^{-5}	1×10^{-5}	0,02	2×10^{-7}	2×10^{-7}

Les statistiques (événement/an) de déversements de canalisations de propane, telles que fournies par (AER, 2013), sont montrées au tableau 6 avec la probabilité de petites et grosses explosions selon les événements/an.

Tableau 6 Taux d'explosion de canalisations de propane

Taux dévers. (év/km/an)	Taux fuite (év/km/an)	Taux rupture (év/km/an)	Prob allumage	Petite boule de feu (év/km/an)	Grosse boule de feu (év/km/an)
$4,3 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-5}$	0,02	$7,7 \times 10^{-6}$	$5,1 \times 10^{-7}$

4.5 Déversement de réservoir d'oxygène

Le tableau 7 montre le taux de déversements de réservoir réfrigéré d'oxygène liquide selon (UK HSE, 2012), pouvant entraîner comme conséquence une suroxygénation des personnes dans le cas où il est présumé que les réservoirs d'oxygène sont par groupes de deux. Il est à noter que les estimations



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

correspondent à d'anciennes données provenant d'INERIS, comme rapporté dans l'étude d'Anglefort (Pièce 3, 2009).

Tableau 7 Taux de déversement de réservoir d'oxygène

Taux fuite ou dévers. (év/an)	Taux dévers. rupture (év/an)	Taux petite suroxygénation (év/an)	Taux grande suroxygénation (év/an)
5×10^{-5}	2×10^{-6}	5×10^{-5}	2×10^{-6}

4.6 Contact entre le silicium en fusion et l'eau (explosion)

Une explosion à la suite du contact entre le silicium en fusion et l'eau peut être causée par la rupture d'une poche ou d'une cuve d'un four. UK HSE estime que le taux de rupture catastrophique d'une poche ou d'une cuve de four est de l'ordre de 1×10^{-5} événements/an. Pour le cas d'une défaillance de la tuyauterie entraînant une fuite d'eau dans le four en opération, UK HSE estime que le taux de bris de tuyauterie est de l'ordre de 1×10^{-5} événements/an.



5. ANALYSE DE CONSÉQUENCES

Dans cette section, nous documentons les résultats des modèles de conséquences qui évaluent l'impact de chaque risque sur les personnes, l'environnement et les structures lorsqu'ils sont exposés aux événements associés à ces paramètres de risques.

Pour les réservoirs et les canalisations de propane et d'oxygène, nous utilisons le logiciel Phast de DNV pour modéliser les conséquences. Phast est l'un des outils de modélisation de conséquence standards de l'industrie utilisé par les professionnels de la sécurité des procédés chimiques. Il comprend une version intégrée et peut modéliser la dispersion atmosphérique, l'incendie et l'explosion. D'autres modèles, comme le SLAB d'EPA qui est utilisé pour la dispersion des gaz denses, ne contiennent pas un modèle d'émission et ne sont donc pas aussi souples lors de modélisation de temps d'émission de matières provenant de canalisations ou de réservoirs. Bien que Phast soit un outil de modélisation de pointe pour les procédés chimiques industriels, il modélise seulement les conséquences d'émissions de gaz et de liquides tels que les hydrocarbures ou les matières toxiques comme le chlore ou l'ammoniaque.

Des modèles de simulation de conséquences tirés d'études de procédés chimiques ont été utilisés pour les éléments suivants :

- matières solides (bois, houille et coke);
- particules de solides (poussières et poudre de silicium et poussières de charbon de bois);
- contact entre le silicium en fusion et l'eau.

Un des modèles standards (CCPS, 2000) pour prédire le flux de rayonnement thermique Q_x à une distance x d'un incendie est

$$Q_x = \tau E F_a$$

Où :

τ est la transmissivité atmosphérique (sans dimension);

E est le flux d'énergie émise par unité de surface (kW/m^2); et

F_a est le facteur de vue géométrique de la surface enflammée de la cible (sans dimension).

Parce qu'une personne exposée à un incendie de matières premières sera dans le voisinage immédiat et que l'incendie ne peut être considéré comme une source ponctuelle, nous modélisons l'incendie comme un émetteur vertical et utilisons les facteurs de forme du A-2 de (CCPS, 2010).

Pour modéliser les explosions, nous utilisons la méthode multiénergie de la TNO. L'équation de Brode est utilisée pour estimer l'énergie E de l'explosion.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

$$E = \frac{2(P_2 - P_1)V}{\gamma - 1}$$

Où :

P_2 est la pression d'éclatement dans un réservoir ou un bâtiment

P_1 est la pression ambiante

V est le volume d'expansion du gaz, et

γ est le rapport des chaleurs spécifiques (C_p/C_v) du gaz

Considérant E et la surpression $P_2 - P_1$ à la cuve d'un four, de la poche, d'un réservoir ou au bâtiment, la surpression à une distance de la cuve d'un four, de la poche, d'un réservoir ou du bâtiment à un endroit où une personne peut être située, est extraite d'un graphe bilogarithmique montré dans la Figure 6-24 de (Crowl et Louvar, 2002). Les hypothèses utilisées sont présentées au tableau 8.

Tableau 8 Liste des paramètres d'entrée des modèles de conséquence

Numéro	Événement accidentel	Hypothèse de départ
1	Incendie de pile de billots de bois	Dimensions de la pile de billots de bois : Long. 120 m Larg. 60 m
2	Incendie de pile de houille	Dimensions d'une pile houille : Long. 120 m Larg. 60 m
3	Incendie de pile de coke	Dimensions d'une pile de coke : Long. 120 m Larg. 60 m
4	Collision de véhicules	Volume d'un réservoir de carburant : 300 gal US
5	Collision/déraillement sur voie ferrée	Volume d'un réservoir de carburant : 2200 gal US
6	Dynamitage	-
7	Déversement et incendie d'un réservoir de propane	Masse : 50 t Pression : 17,2 bar Temp : 51,7°C
8	Déversement et incendie de canalisation de propane	Diamètre 10 cm Long. 500 m Pression 3,5 MPa
9	Déversement de propane confiné dans un bâtiment (réfection des poches)	Volume du bâtiment : 55 0000 m ³ Pression de rupture : 1080 mbar
10	Déversement d'un réservoir d'oxygène	Masse : 63 t Pression 10 bar Liquide saturé
11	Explosion four - Contact accidentel entre le silicium en fusion et l'eau	2 kg d'eau
12	Explosion de poussières de charbon de bois confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Volume des sacs filtrants variables : 15 à 120 m ³ Pression de rupture : 1200 mbar pour boîtier de métal
13	Explosion de poussières de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Volume des sacs filtrants variables : 15 à 120 m ³ Pression de rupture : 1200 mbar pour boîtier de métal
14	Explosion de poudres de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Volume des sacs filtrants variables : 15 à 120 m ³ Pression de rupture : 1200 mbar pour boîtier de métal



5.1 Incendie de pile de billots de bois

L'étude de l'usine d'Anglefort (pièce 3, 2009) a estimé les conséquences d'un incendie d'une pile de bois basé sur l'humidité du bois. Ils ont présumé le pire cas avec 50 % d'humidité pour une pile de bois ayant pour résultat un flux émis sur une surface de 20 kW/m² selon les estimations de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) dans leur rapport sur l'industrie papetière (INERIS 2005).

L'étude de l'usine d'Anglefort a ensuite utilisé la méthode de propagation de la radiation thermique de feu en nappe de la TNO (l'Organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée) dans le célèbre « Livre jaune » (Livre jaune, 2005). Ils ont estimé le flux de radiation en fonction de la distance de la pile de bois pour les dimensions de pile de billots de bois 60 x120 m tel qu'indiqué au tableau 9.

Tableau 9 Distances pour flux de radiation thermique pour une pile de billots de bois

Flux radiation thermique	Longueur 60 m	Longueur 120 m
8000 W/m ²	14 m	14 m
5000 W/m ²	25 m	22 m
3000 W/m ²	40 m	34 m

5.2 Incendie de piles de houille et de coke

Nous n'avons aucune donnée sur les émissions de houille et de coke. Nous supposons donc comme estimation plus élevée une radiation d'émissions de 20 kW/m². La chaleur de combustion moyenne de la houille est proche de celle du combustible de bois à environ 24 MJ/kg (NIST¹, 2014).

Nous pouvons utiliser au tableau 10, les mêmes distances de seuil de radiation que celles du tableau 9.

Tableau 10 Distances estimées des flux de radiation thermique pour des piles de houille et coke

Flux radiation thermique	Longueur 60 m	Longueur 120 m
8000 W/m ²	14 m	14 m
5000 W/m ²	25 m	22 m
3000 W/m ²	40 m	34 m

5.3 Incendie causé par une collision de véhicules

Les conséquences ont été modélisées à l'aide de Phast 6.7 de DNV. Le volume de carburant diesel a été estimé à 2200 gallons US à une pression de 1 bar pour une rupture en catastrophe du réservoir de carburant. La figure K montre le profil de radiation thermique par rapport à la distance comme extrait de Phast pour un train et la figure L présente le même profil, mais pour un camion.

¹ <http://webbook.nist.gov/chemistry/>



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

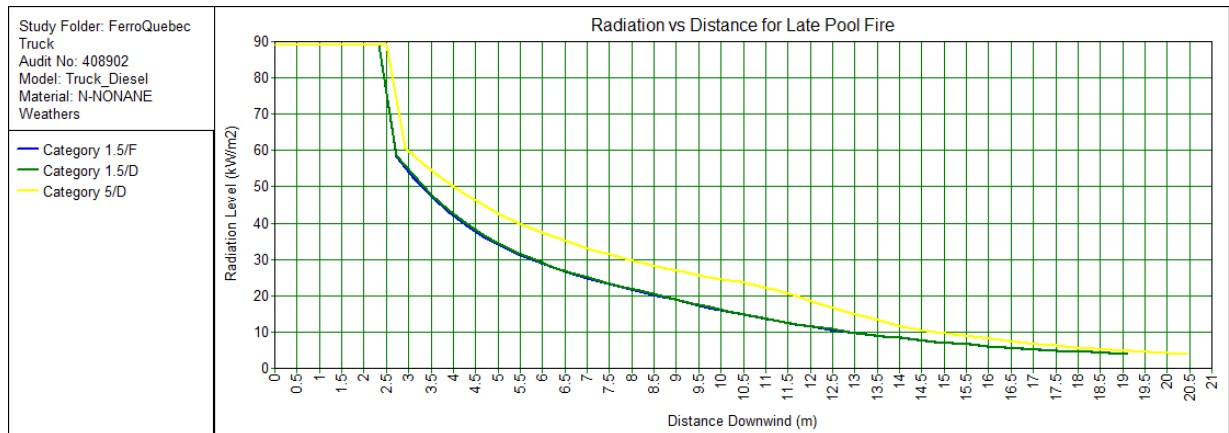


Figure K Résultat Phast pour un feu en nappe d'un réservoir de diésel d'un train

Les conséquences ont été modélisées à l'aide de Phast 6.7 de DNV. Le volume de carburant a été estimé à 300 gallons US à une pression de 1 bar pour une rupture en catastrophe du réservoir de carburant. Il y a constatation de blessure à 4700 W/m^2 à une distance de 20 m; il y a mortalité à $37,5 \text{ W/m}^2$ à une distance de 7 m.

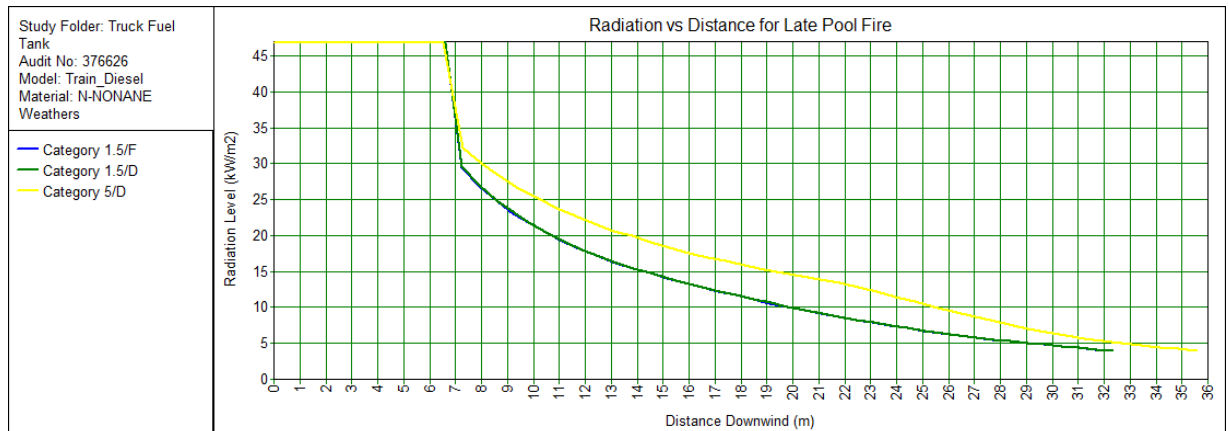


Figure L Résultat Phast pour un feu en nappe d'un réservoir de diésel d'un camion



5.4 Explosion de poussières et poudres de silicium et de poussières de charbon de bois

Les poussières et poudres de silicium et les poussières de charbon de bois sont sensibles aux explosions. Si une explosion de poussières confinées se produit dans un dépoussiéreur ou dans un silo, le changement rapide de pression de l'air cause l'affaiblissement de la structure du dépoussiéreur ou du silo, ce qui envoie une onde de pression dans l'atmosphère qui peut causer des pertes de vies humaines et des dommages aux bâtiments en raison de la surpression du souffle même ou de fragments projetés à grande vitesse.

La méthode standard pour évaluer la surpression du souffle en fonction de la distance du centre d'un volume de stockage est tout d'abord d'utiliser l'équation de Brode (Crowl et Louvar, 2002) pour estimer l'énergie libérée par le souffle qui doit être assez grande pour pénétrer dans la paroi du réservoir de stockage. Selon le tableau 6-9 de Crowl et Louvar, une surpression de 1 à 2 lb/po² (138 à 207 mbar) est nécessaire pour endommager des murs de béton et une surpression de 1 à 2 lb/po² (69 à 138 mbar) est nécessaire pour endommager des parois en acier ondulé. Ces plages de valeurs sont cohérentes avec les valeurs de 200 mbar et 80 mbar de surpression de rupture utilisées dans l'étude d'Anglefort.

Puisque les données détaillées de conception des dépoussiéreurs sont inconnues au moment de la préparation de ce document, une échelle de distance sécuritaire selon les volumes est analysée. Nous supposons que les volumes des dépoussiéreurs varient de 15 à 120 m³ et que les filtres seront munis de boîtier de métal. Les hypothèses de départ sont présentées au tableau 11.

Tableau 11 Hypothèses de départ pour l'estimation des explosions de poussières

Installation	Surpression de rupture (mbar)	V (m ³)	E (MJ)
Accumulation de poussières au dépoussiéreur	200	15 à 120	9,0 à 72,0
Silo de stockage de poudres de silicium	80	144	77,76
Silo de stockage de charbon de bois	80	144	77,76

La baisse du souffle de surpression selon la distance est estimée à l'aide de la procédure par étapes détaillée au paragraphe 7.4.3 de (AIChE, 2010). Pour les dépoussiéreurs, des distances sécuritaires peuvent également être calculées en utilisant l'équation de Brode et les résultats sont les suivants. Pour des sacs filtrants avec boîtier de métal, les distances sans danger sont : 16, 13, 10 et 8 m pour des volumes de sacs respectivement de 120, 60, 30 et 15 m³.

La figure M montre le profil de surpression du souffle par rapport à la distance pour un silo de stockage de poudres de silicium.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

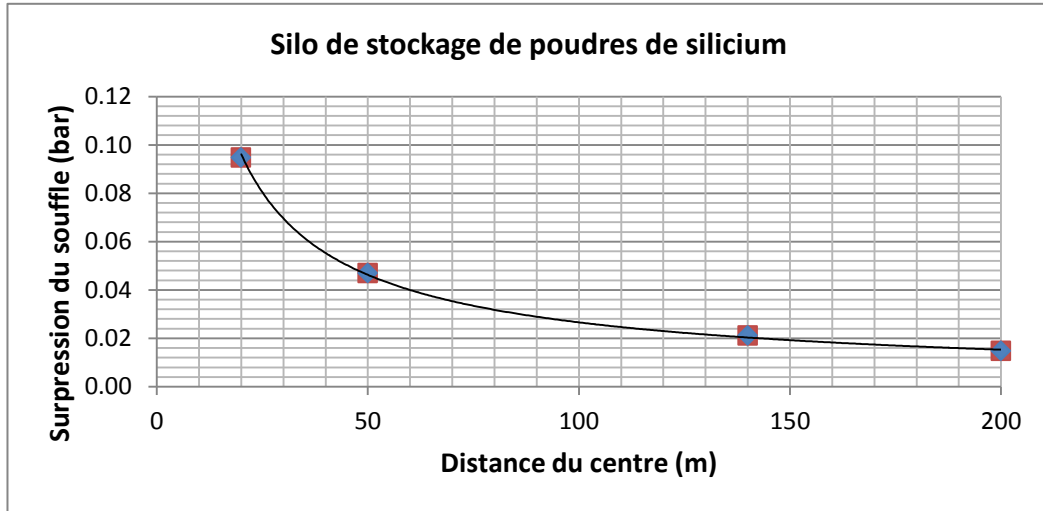


Figure M Surpression du souffle vs distance pour le silo de stockage de poudres de silicium

5.5 Rupture du réservoir d'oxygène

Une libération soudaine d'oxygène due à la rupture d'un réservoir de stockage d'oxygène peut causer une exposition à des niveaux d'oxygène hautement concentrés (suroxygénation). Des niveaux d'oxygène élevés, supérieurs à 25 % (250 000 ppm), peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé. La figure N montre le résultat de Phast calculé pour la rupture d'un réservoir d'oxygène dont on présume que le contenu est de l'oxygène à l'état liquide saturé à 10 bar.

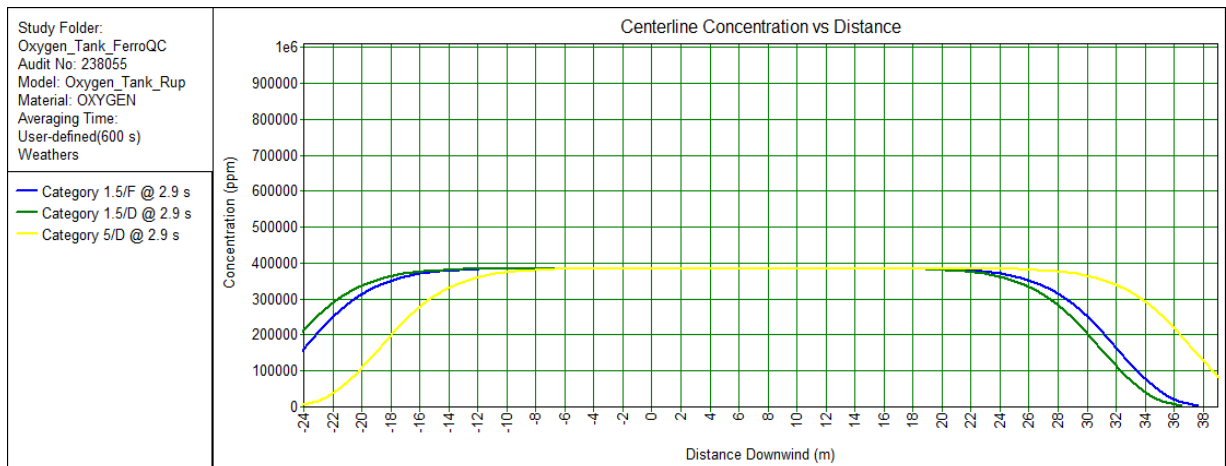


Figure N Concentration d'oxygène en aval d'une rupture du réservoir



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

5.6 Incendie et explosion de réservoir de propane

Les conséquences de boule de feu (incendie) d'un réservoir de propane sont modélisées à l'aide de Phast 6.7 de DNV. Le résultat de la modélisation d'un incendie avec Phast présente à la figure O, le flux de radiation thermique par rapport à la distance du réservoir. La distance dangereuse pour des lésions est de 650 m avec une exposition à une radiation thermique de 4700 W/m^2 ; la distance dangereuse des décès est 170 m avec une exposition à une radiation thermique de $37,5 \text{ kW/m}^2$.

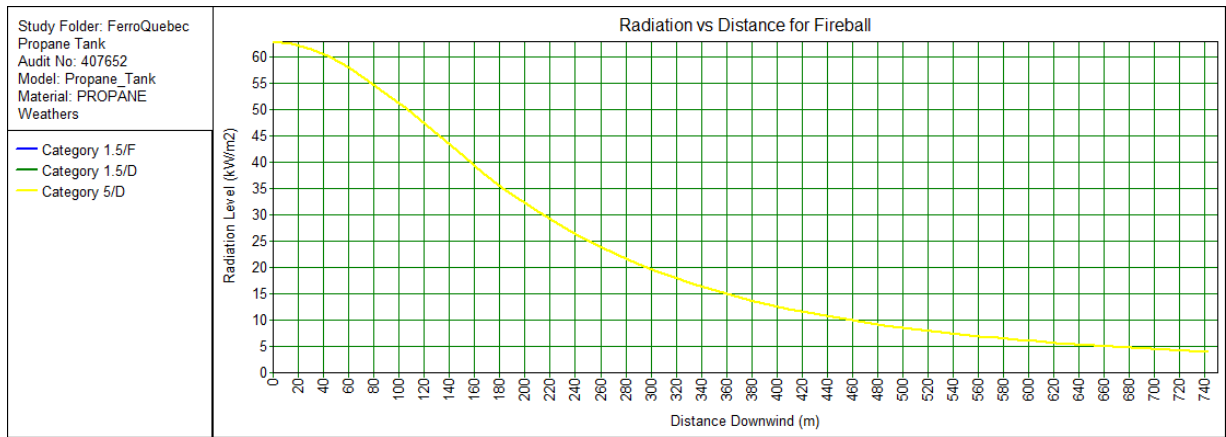


Figure O Résultat de modélisation Phast pour un incendie de réservoir de propane

Le résultat de la modélisation d'une explosion avec Phast présente à la figure P, le souffle de surpression par rapport à la distance. Une surpression de 0,14 bar peut causer des blessures et une surpression de 0,2 bar peut causer un accident mortel (NIOSH, 1990). Les distances dangereuses pour causer des blessures par explosion sont de 300 m et sont de 250 m pour causer un accident mortel.

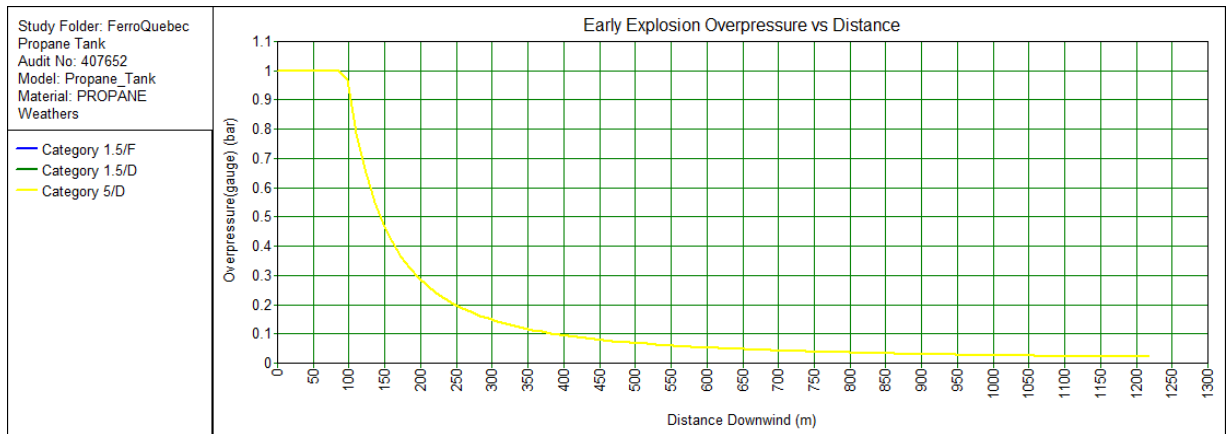


Figure P Résultat de modélisation Phast pour une explosion de réservoir de propane



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Le résultat de la modélisation d'un incendie de canalisation de propane avec Phast présente à la figure Q, le souffle de surpression par rapport à la distance. Une surpression de 0,14 bar peut causer des blessures et une surpression de 0,2 bar peut causer un accident mortel (NIOSH, 1990). Les distances dangereuses pour causer des blessures par explosion sont de 300 m et sont de 250 m pour causer un accident mortel.

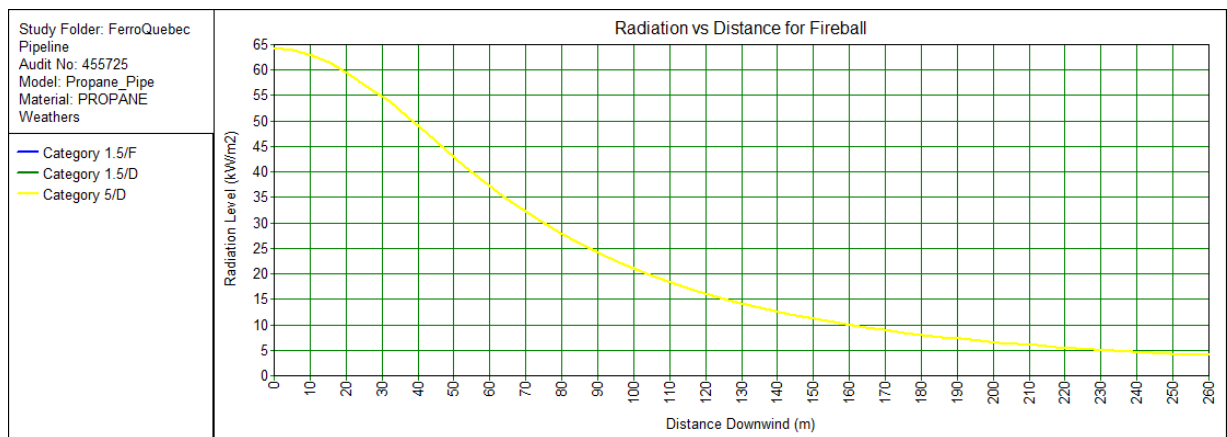


Figure Q Résultat de modélisation Phast pour un incendie de canalisation de propane

Le résultat de modélisation pour une explosion de canalisation de propane avec Phast présente à la figure R, le souffle de surpression versus la distance. Une surpression de 0,14 bar peut causer des blessures et une surpression de 0,2 bar peut causer un accident mortel (NIOSH, 1990). Les distances dangereuses pour causer des blessures par explosion sont de 300 m et sont de 250 m pour causer un accident mortel.

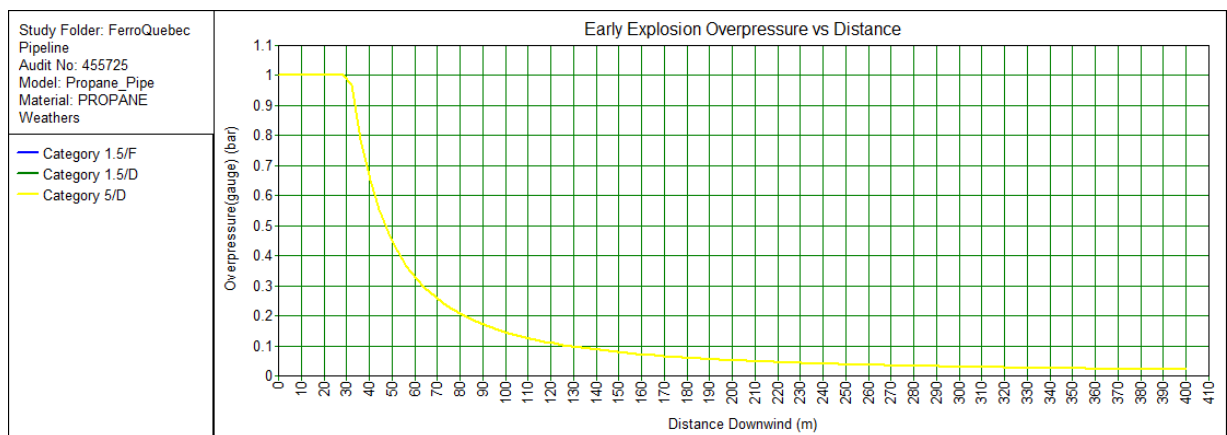


Figure R Résultat de modélisation Phast pour une explosion de canalisation de propane



5.7 Explosion causée par le contact entre du silicium en fusion et de l'eau

Si du silicium en fusion, produit dans un four à arc à haute température (environ 2500°C), est accidentellement déversé sur de l'eau présente sur un sol humide par exemple, l'eau liquide est alors surchauffée au-delà du point d'ébullition et s'évapore rapidement. Dans le cas d'une défaillance provoquant une fuite du système de refroidissement, une grande quantité d'eau peut pénétrer dans le four. Cependant, l'eau ne peut passer en phase vapeur étant donné la présence d'une couche de matières premières. L'eau pénètre plutôt dans la couche de matières premières à l'intérieur du four.

Dans le cas du contact entre le silicium en fusion et l'eau, l'expansion rapide du volume d'eau (liquide à vapeur) cause une explosion dans le four qui peut projeter des fragments de métal en fusion à grande vitesse et souffler la paroi du four. Le souffle de surpression versus la distance est mentionné dans l'étude d'Anglefort et les résultats sont montrés au tableau 12. Une vérification indépendante de la surpression a été validée en utilisant Phast de DNV et est montrée à la figure S.

Tableau 12 Surpression versus distance pour une explosion causée par le contact entre le silicium en fusion et l'eau

Surpression (bar)	Distance (m)
0,2	5
0,14	7
0,05	12
0,02	24

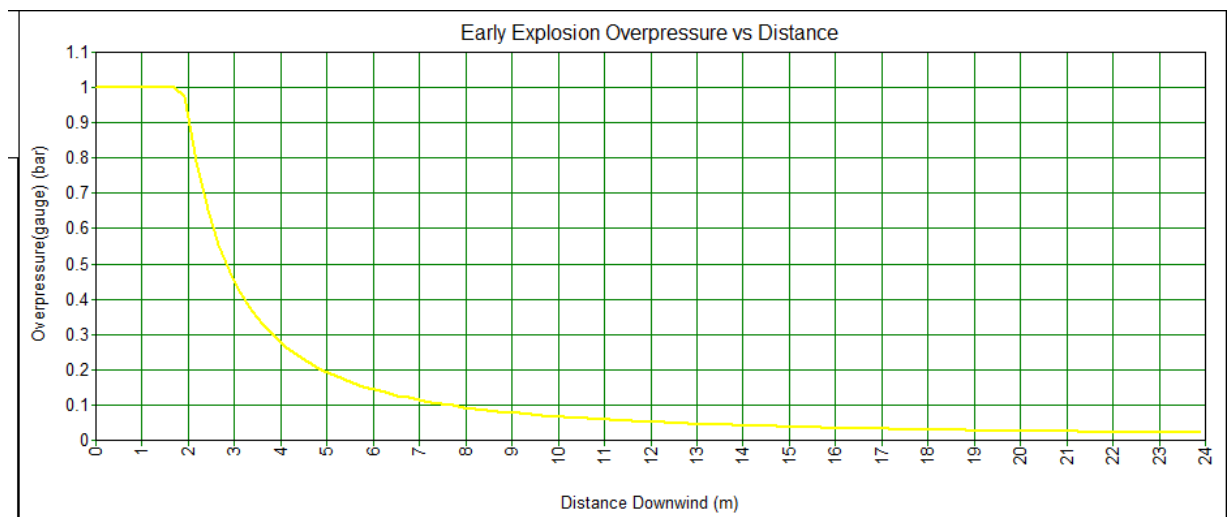


Figure S Vérification indépendante du profil du souffle de surpression pour une explosion causée par le contact silicium en fusion et eau



5.8 Résumé des risques individuels

Le tableau 13 présente un résumé de tous les événements accidentels identifiés au chapitre 3 selon les distance et fréquence estimés pour les deux conséquences. Le tableau 14 du chapitre 6 a été utilisé pour déterminer : soit que l'événement causera une blessure individuelle ou soit que l'événement conduira à un accident mortel. Il est à noter que pour les piles de billots de bois, de houille et de coke, la distance dangereuse se rapporte à 8 kW/m² correspondant à l'apparition de blessures graves.

Tableau 13 Résumé des distances dangereuses et des fréquences

Numéro	Risque principal	Conséquence du risque	Distance dangereuse (m)	Fréquence (év/an)
1	Incendie de pile de billots de bois	Radiation thermique causant une blessure individuelle	14 (larg.) 14 (long.)	9 x 10 ⁻⁴
2	Incendie de pile de houille	Radiation thermique causant une blessure individuelle	14 (larg.) 14 (long.)	9 x 10 ⁻⁴
3	Incendie de pile de coke	Radiation thermique causant une blessure individuelle	11 (larg.) 14 (long.)	9 x 10 ⁻⁴
4	Collision de véhicules	Radiation thermique causant une blessure individuelle	4,5	2 x 10 ⁻¹⁰
5	Collision/déraillement sur voie ferrée	Radiation thermique causant une blessure individuelle	29	1 x 10 ⁻⁶
		Radiation thermique causant un accident mortel	7	
6	Dynamitage durant construction	Fragments projetés causant un accident mortel	-	-
7	Déversement et incendie d'un réservoir de propane	Souffle de surpression causant un accident mortel	250	2 x 10 ⁻⁷
8	Déversement et incendie de canalisation de propane	Souffle de surpression causant une blessure individuelle	80	5 x 10 ⁻⁷
9	Déversement de propane confiné dans un bâtiment (bâtiment de réfection des poches)	Souffle de surpression causant un accident mortel	49	5 x 10 ⁻⁷
10	Déversement de réservoir d'oxygène	Toxicité causant une blessure individuelle	30	2 x 10 ⁻⁶
11	Explosion - Contact accidentel entre le silicium en fusion et l'eau	Souffle de surpression causant une blessure individuelle	12	1 x 10 ⁻⁵



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Numéro	Risque principal	Conséquence du risque	Distance dangereuse (m)	Fréquence (év/an)
12	Explosion de poussières de charbon de bois confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Souffle de surpression causant une blessure individuelle	8 à 16 (avec boîtier de métal/15 à 120 m ³)	5 x 10 ⁻⁶
13	Explosion de poussières de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Souffle de surpression causant une blessure individuelle	8 à 16 (avec boîtier de métal/15 à 120 m ³)	5 x 10 ⁻⁶
14	Explosion de poudres de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans le silo de stockage	Souffle de surpression causant une blessure individuelle	8 à 16 (avec boîtier de métal/15 à 120 m ³)	5 x 10 ⁻⁶



6. ESTIMATION ET ÉVALUATION DES RISQUES

Cette section vise à évaluer l'importance des fréquences et des conséquences des risques.

6.1 Estimation des risques individuels

Les valeurs limites pour les conséquences sur les individus exposés à une radiation thermique et pour les dangers provenant des incendies et des explosions sont présentées au tableau 14.

Tableau 14 Valeurs limites de conséquences d'incendies et d'explosions

Paramètre du risque	Valeur	Source	Conséquence sur les individus exposés ou sur les structures
Radiation thermique causée par un incendie	5 kW/m ²	CCPS	Apparition de blessure humaine
	37,5 kW/m ²	CCPS	Apparition de mortalité
Souffle de surpression causé par une explosion	0,1 bar	CCPS	Bris de verre
	0,14 bar	CCPS	Blessure humaine
	0,5 bar	CCPS	Domages mineurs aux structures de bâtiments
	1,0 bar	CCPS	Accident mortel
	2,0 bar		Déformation de bâtiments en panneaux d'acier
	5,0 bar	CCPS	Destruction presque complète de bâtiments

Les tableaux 15 et 16 montrent respectivement les échelles de catégories de conséquences et de fréquences du SCGCh.

Tableau 15 Échelle de conséquences du SCGCh pour les risques aux personnes

Catégorie n°	Description	Conséquences
1	Aucun	Aucun effet
2	Mineur	Blessure mineure
3	Modéré	Blessure
4	Sévère	Mortalité

Tableau 16 Échelle de probabilités du SCGCh (étendue pour inclure les événements rares)

Catégorie n°	Description	Conséquences
1		<10 ⁻⁷
2	Peu fréquent	10 ⁻⁷ à 10 ⁻⁶ év/an
3	Occasionnel	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁵ év/an
4	Peu probable	10 ⁻⁵ à 10 ⁻⁴ év/an.
5	Probable	> 10 ⁻⁴ év/an



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

La figure T montre une matrice de risque du SCGCh qui présente l'acceptabilité de risques selon les codes montrés au tableau 17.

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	N	U	U	U
	4	A	N	U	U
	3	A	C	N	U
	2	A	A	C	N
	1	A	A	A	C

Figure T Matrice montrant l'acceptabilité de risques

Tableau 17 Catégories de classement du risque

Code	Catégorie	Description
U	Inacceptable	Sera atténué avec des contrôles pour un classement de risque C ou moins à l'intérieur de 6 mois
N	Non désirable	Sera atténué avec des contrôles pour un classement de risque C ou moins à l'intérieur de 12 mois
C	Acceptable sous conditions	S'assurer que des contrôles sont en place
A	Acceptable tel quel	Aucune autre mesure d'atténuation n'est requise

Les figures U à AH montrent les matrices utilisant l'échelle de CSCE pour les risques listés au tableau 13 du chapitre 5. La lettre **I** désigne le risque inhérent et la lettre **R** désigne le risque résiduel après la mise en place de mesures d'atténuation. Les mesures d'atténuation pour les incendies et les explosions, qui seront présentées au chapitre 7, proposent généralement, pour réduire la probabilité d'exposition, une zone d'exclusion afin que les personnes demeurent hors de la zone à risque. Les mesures d'atténuation pour réduire le risque d'explosion de poussières confinées incluent une ventilation des poussières hors de l'espace de confinement et de procéder régulièrement à une surveillance et un entretien des dépoussiéreurs. Ces dépoussiéreurs peuvent être munis d'évents d'explosion pour éviter de détruire l'équipement. Une prévention contre les explosions consiste aussi à éviter que les six conditions pour la production d'une explosion, tel qu'énoncé précédemment, ne soient réunies.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R		I	
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure U Matrice de risque pour incendie de pile de billots de bois

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R		I	
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure V Matrice de risque pour incendie de pile de houille

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R		I	
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure W Matrice de risque pour incendie de pile de coke



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3				
	2				
	1	R		I	

Figure X Matrice de risque pour un incendie de collision de véhicules

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3				
	2	R		I	
	1				

Figure Y Matrice de risque pour un incendie de collision de trains

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3				
	2	R		I	
	1				

Figure Z Matrice de risque du dynamitage durant construction



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3			I	
	2				
	1	R			

Figure AA Matrice de risque d'explosion de poussières de charbon de bois accumulées

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R	I		
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure AB Matrice de risque d'explosion de réservoir de propane

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R	I		
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure AC Matrice de risque d'explosion de canalisation de propane



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5	R	I		
	4				
	3				
	2				
	1				

Figure AD Matrice de risque d'explosion de propane dans un bâtiment

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3	R	I		
	2				
	1				

Figure AE Matrice de risque d'explosion de réservoir d'oxygène

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3	R			I
	2				
	1				

Figure AF Matrice de risque d'explosion suivant le contact silicium en fusion et eau



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

		Conséquence			
		1	2	3	4
Probabilité	5				
	4				
	3	R			I
	2				
	1				

Figure AG Matrice de risque d'explosion de poussières de silicium accumulées au dépoussiéreur ou dans un silo de stockage

6.2 Estimation du risque pour les infrastructures

Des dommages aux bâtiments sont possibles compte tenu des risques d'explosion dans l'usine. En fait, c'est le confinement même du bâtiment qui devient une cause probable d'explosion. En général, des dommages aux bâtiments peuvent se produire à des surpressions de 0,2 bar. Ces risques d'explosion comprennent :

- explosion causée par le contact entre du silicium en fusion et de l'eau dans le four à arc;
- explosion causée par un réservoir de carburant et la canalisation (propane);
- explosion causée par un réservoir d'oxygène;
- explosion à la suite de collision de véhicules;
- explosion causée par le confinement de poussières de charbon de bois dans les dépoussiéreurs (manutention);
- explosion causée par le confinement de poussières de silicium dans les dépoussiéreurs ou dans un silo de stockage (conditionnement);
- explosion causée par le confinement de poussières de silicium dans le dépoussiéreur ou dans le silo de stockage.

Une explosion découlant d'une de ces causes est suffisante pour endommager des structures de bâtiments causant : gondolage de plaques d'acier, verre brisé et bris de structures de bois ainsi que d'autres équipements.

Les risques d'explosion d'un réservoir de propane sont considérés comme un effet domino et sont abordés dans la section suivante. Des risques d'incendie de piles de billots de bois, de houille et de coke créent également des effets domino.



6.3 Estimation de risques de l'effet domino

Un effet domino implique une action issue d'un phénomène accidentel sur un site qui peut déclencher un deuxième phénomène accidentel sur le même site ou sur un site proche. Les effets domino peuvent conduire à une aggravation générale des conséquences d'un événement à une fréquence donnée ou aggraver la fréquence de défaillance d'un événement donné selon des conséquences fixes. Des effets domino ont été montrés dans l'étude d'Anglefort (pièce 3, 2009).

Par exemple, un incendie ou une explosion se produisant dans un secteur du site peut affecter d'autres récepteurs à proximité tels que d'autres bâtiments, des piles de matières premières ou des véhicules se déplaçant à proximité de l'emplacement de ces événements. Également, les récepteurs d'un effet domino (entraînement) sont eux-mêmes susceptibles de subir un incendie ou une explosion. Un incendie peut provoquer un effet d'entraînement seulement si son gradient thermique est supérieur à un seuil de 8 kW/m et une explosion peut provoquer un effet d'entraînement seulement si sa pression est supérieure à 0,2 bar. De même pour une suroxygénation, ceci peut augmenter le risque d'un incendie à proximité si l'augmentation de la concentration en oxygène est supérieure à 25-30 %.

6.3.1 Effets domino internes

La méthodologie est basée sur les événements accidentels qui sont situés à proximité les uns des autres. Chaque phénomène dangereux peut provoquer un effet cumulatif ou être généré après un effet cumulatif. Une liste des effets dominos internes potentiels est présentée au tableau 18.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Tableau 18 Liste des effets domino internes potentiels

Événement accidentel	Évaluation des effets cumulatifs
Incendie dans une pile de billots de bois, une pile de houille ou une pile de coke	Les bâtiments sont situés à l'extérieur de la zone à risque et ne subiront aucun effet.
Rupture d'un réservoir d'oxygène	Le risque principal d'effet domino proviendrait d'une rupture du réservoir d'oxygène et d'une rupture subséquente du réservoir de propane.
Rupture et explosion du réservoir de propane	Le risque principal d'effet domino proviendrait d'une rupture du réservoir de propane et, en cas d'explosion suite à un incendie, le réservoir d'oxygène pourrait se rompre ce qui augmenterait la sévérité de l'incendie du réservoir de propane.
Explosion due au contact entre du métal liquide et de l'eau	Aucune installation ayant un potentiel de subir des phénomènes dangereux significatifs n'est située dans la zone d'effets domino.
Explosion de poussières confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Aucune installation ayant un potentiel de subir des phénomènes dangereux significatifs n'est située dans la zone d'effets domino.
Explosion de poussières de silicium confinées dans un dépoussiéreur ou dans un silo de stockage	Aucune installation ayant un potentiel de subir des phénomènes dangereux significatifs n'est située dans la zone d'effets domino.

6.3.2 Effets domino externes

L'usine de Produits Forestiers Arbec est située près du site de l'usine de FerroQuébec. Selon l'aménagement du site de FerroQuébec, l'usine d'Arbec se situe à l'intérieur de la distance dangereuse de 250 m du réservoir de propane de FerroQuébec. Plus précisément, l'usine d'Arbec est située approximativement à 100 m du réservoir de propane. En cas d'explosion du réservoir de propane, le niveau de radiation thermique serait suffisant pour enflammer les produits du bois présents sur le site d'Arbec et causer des décès parmi les travailleurs sur le site. De même, la surpression serait suffisante pour causer des pertes de vies humaines et des dommages aux bâtiments. Bien qu'un effet domino impliquant le réservoir de propane soit possible, il serait considéré comme un événement très rare avec une fréquence estimée à 5×10^{-7} événements par an. Cette valeur se situe bien au-dessous de la fréquence minimale pour une installation industrielle recommandée par SCGCh (2004). Puisque la fréquence d'un événement impliquant le réservoir de propane reflète qu'un tel événement est très rare, le risque d'un effet domino impliquant le réservoir de propane sur le site d'ArcelorMittal est peu



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

probable et ce, même si ce site industriel est situé à l'intérieur de la distance dangereuse de 250 m du réservoir de propane.

Si un incendie de bois s'allumait aux installations d'Arbec, cela pourrait en principe causer un impact sur l'usine de FerroQuébec. Cependant, la distance dangereuse dans un cas d'incendie de bois est seulement de l'ordre de 10 m, donc il est peu probable que cela ait un impact significatif sur l'usine de FerroQuébec.



7. TRAITEMENT DU RISQUE

Le traitement du risque consiste à réduire le risque en prenant certaines mesures. Des mesures d'atténuation sont résumées dans le tableau 19 et peuvent être utilisées pour réduire les risques en diminuant la probabilité d'un événement indésirable ou en considérant les conséquences d'un événement indésirable. La réduction des conséquences peut habituellement être réalisée en diminuant l'exposition, surtout pour les risques de sécurité pour la personne.

Tableau 19 Mesures d'atténuation pour réduire la probabilité et les conséquences des risques

Équipements, installations et exploitation	Danger principal Événement accidentel	Mesures d'atténuation du risque
Stockage des billots de bois, de la houille et du coke	Présence d'une grande quantité de combustible	Réduire la probabilité d'allumage en évitant l'usage de véhicules près des piles. Interdire de fumer sur le site. S'assurer que les individus demeurent hors de la zone à risque. Former et informer le personnel.
Réservoir d'oxygène	Présence d'oxygène liquide sous pression	Effectuer un entretien régulier du réservoir et des vannes de surpression. Réduire les conséquences d'un déversement accidentel en installant le réservoir à bonne distance d'un réservoir de propane. Afficher des panneaux d'avertissement. S'assurer que les travailleurs demeurent hors de la zone à risque. Interdire de fumer sur le site. Former et informer le personnel.
Entreposage du propane, transport et utilisation à l'usine de production de charbon de bois et aux opérations de cuisson et de réfection des poches	Déversement accidentel d'un réservoir de propane liquide sous pression	Effectuer un entretien régulier et une inspection des réservoirs et des canalisations. Réduire les conséquences d'un déversement accidentel en installant le réservoir à bonne distance du réservoir d'oxygène. S'assurer que le réseau de transport du propane est inaccessible aux engins et non sujet à des accrochages. Afficher des panneaux d'avertissement. S'assurer que les travailleurs demeurent hors de la zone à risque. Interdire de fumer sur le site. Former et informer le personnel.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Équipements, installations et exploitation	Danger principal Événement accidentel	Mesures d'atténuation du risque
Fours de réduction et équipements connexes de production	Contact accidentel entre le silicium en fusion et l'eau	<p>S'assurer du respect des procédures appropriées d'opération de four à arc.</p> <p>Proscrire le contact métal/eau ou une zone humide.</p> <p>Éliminer la présence d'eau au sol ou dans les équipements susceptibles de recevoir du silicium en fusion.</p> <p>Entretien rigoureux du système de refroidissement.</p> <p>Surveiller les débits d'eau dans les circuits de refroidissement.</p> <p>Surveiller les fuites d'eau dans le four (chargeurs).</p> <p>Appliquer de manière rigoureuse le mode opératoire d'intervention four (préparation du four par la fabrication et intervention par la maintenance et/ou entreprise extérieure).</p> <p>S'assurer de la réouverture de tous les circuits d'eau avant redémarrage.</p> <p>Veiller à ne jamais introduire d'eau dans une poche, notamment vérifier l'absence d'humidité dans les ajouts ainsi que les godets d'ajout.</p> <p>Contrôler l'absence d'eau dans les fosses avant la mise en place des poches.</p> <p>Contrôler l'état des lingotières et plus particulièrement l'absence d'humidité (suite au poteyage) avant la recoulée.</p> <p>Faire attention au déversement de produits chauds en extérieur (ex : lingotière de crasses).</p> <p>Signaler immédiatement la présence d'eau au sol.</p> <p>S'assurer que les travailleurs sur le site demeurent hors de la zone à risque.</p> <p>Former et informer le personnel.</p>



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Équipements, installations et exploitation	Danger principal Événement accidentel	Mesures d'atténuation du risque
Dépoussiéreurs ou silo de stockage de silicium	Allumage et explosion de poussières de silicium (principalement au dépoussiéreur)	<p>Interdire de fumer dans les bâtiments. Éviter l'utilisation de la chaleur ou des étincelles. Inertage à l'azote et utilisation de matériel approprié. Protéger le dépoussiéreur contre les risques d'explosion par des événements d'explosion ou mettre en place des procédures de prévention d'explosion. Nettoyer périodiquement les installations. Contrôler l'inertage des zones à risque. Limiter l'accès dans les locaux à risques. Signaler les zones à accès réglementé. Être vigilant lors des opérations de maintenance dans les zones avec présence de fines (filtres conditionnement). Effectuer une ventilation des poussières hors de l'espace de confinement et procéder régulièrement à la surveillance et l'entretien des dépoussiéreurs. Prévenir une explosion en évitant que les six conditions pour la production d'une explosion ne soient réunies. S'assurer que les travailleurs du site demeurent hors de la zone à risque. Former et informer le personnel.</p>
Dépoussiéreurs ou silo de stockage de poudres de silicium	Allumage et explosion de poudres de silicium (principalement au dépoussiéreur)	<p>Interdire de fumer dans les bâtiments. Éviter l'utilisation de la chaleur ou des étincelles. Inertage à l'azote et utilisation de matériel approprié. Protéger le dépoussiéreur contre les risques d'explosion par des événements d'explosion ou mettre en place des procédures de prévention d'explosion. Nettoyer périodiquement les installations. Contrôler l'inertage des zones à risque. Limiter l'accès dans les locaux à risques. Signaler les zones à accès réglementé. Être vigilant lors des opérations de maintenance dans les zones avec présence de fines. Ne pas utiliser d'extinction en jet bâton pour les feux de poudres. Effectuer une ventilation des poussières hors de l'espace de confinement et procéder régulièrement à la surveillance et l'entretien des dépoussiéreurs. Prévenir une explosion en évitant que les six conditions pour la production d'une explosion ne soient réunies. S'assurer que les travailleurs du site demeurent hors de la zone à risque. Former et informer le personnel.</p>



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Équipements, installations et exploitation	Danger principal Événement accidentel	Mesures d'atténuation du risque
Dépoussiéreurs des poussières de charbon de bois (manutention)	Allumage et explosion de poussières de charbon de bois	<p>Interdire de fumer dans les bâtiments. Éviter l'utilisation de la chaleur ou des étincelles. Protéger le dépoussiéreur contre les risques d'explosion par des événements d'explosion ou mettre en place des procédures de prévention d'explosion. Nettoyer périodiquement les installations. Limiter l'accès dans les locaux à risques. Signaler les zones à accès réglementé. Être vigilant lors des opérations de maintenance dans les zones avec présence de fines. Effectuer une ventilation des poussières hors de l'espace de confinement et procéder régulièrement à la surveillance et l'entretien des dépoussiéreurs. Prévenir une explosion en évitant que les six conditions pour la production d'une explosion ne soient réunies. S'assurer que les travailleurs du site demeurent hors de la zone à risque. Former et informer le personnel.</p>



8. CONCLUSION

Cette étude identifie et quantifie les risques technologiques majeurs associés à la construction et à l'exploitation de l'usine de silicium de FerroQuébec de Port-Cartier.

Les risques durant la construction comprennent :

- transport de carburant; et
- dynamitage.

Les risques opérationnels comprennent :

- déversement d'un réservoir de propane;
- déversement d'une canalisation de propane;
- rupture de réservoir d'oxygène;
- transport des matières premières par train et par camion;
- stockage des matières premières combustibles;
- contact entre le silicium en fusion et l'eau; et
- confinement poussières, de poudres de silicium ou de charbon de bois dans les dépoussiéreurs ou les silos.

En appliquant les mesures d'atténuation appropriées, il est possible de réduire tous ces risques à un niveau acceptable selon le barème défini par la Gestion de la sécurité des procédés de la Société canadienne du génie chimique (SCGCh, 2004).



9. RÉFÉRENCES

AER, 2013. Alberta Energy Resources Control Board (ERCB), formerly Alberta Energy and Utilities Board (EUB) Pipeline Performance in Alberta, 1980-2012, Report xx, Calgary, Alberta, December, 1998.

Alp, 1993. E Alp, RV Portelli and WP Crocker, Rail Transport Risk in the Greater Toronto Area, Transportation of Dangerous Goods: Assessing Risks, Institute for Risk Research, University of Waterloo, Ontario, 1993.

Avis, 2014. Avis de Project, Projet FerroQuébec – Usine de Port-Cartier, Biofillia Consultants en Environnement, June, 2014.

Biofillia, 2014. *Étude d'impact sur l'environnement, projet d'implantation d'une usine de silicium métal, à Port-Cartier, Québec*, préparé pour FerroQuébec, Biofillia Consultants en Environnement, Labelle, PQ, Decembre, 2014.

CCPS, 1996. *Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models*, 2nd Edition, American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Center for Chemical Process Safety, New York, 1996.

CCPS, 2000. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Assessment*, 2nd Edition, American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Center for Chemical Process Safety, New York, 2000.

CCPS, 2010. *Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BELEVE, and Flash Fire Hazards*, American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Center for Chemical Process Safety, New York, 2010.

CIC, 2014. Chemical Institute of Canada, Process Safety Management Division, <http://www.cheminst.ca/psm>.

CSCHE, 2004. *Risk Assessment – Recommended Practices for Municipalities and Industry*, Canadian Society for Chemical Engineering, 2004.

FerroPem, Department of Technical Developments, Chambéry, Technical Book, 2014. *Technical Specifications*, Quebec Port-Cartier Plant, CDC-QUE-2597F, France, 2014.

FerroPem. *Pièce 3 : Étude des Dangers Usine d'Anglefort (01) Dossier de réactualisation de l'autorisation et de demande d'autorisation d'augmentation de la puissance des fours 1 et 2*, ANTEA Document N° 51525/B, Octobre, 2009.

HSE, 2012. *Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments*, UK Health and Safety Executive, June, 2012.

INERIS, 2006. *Analyse des risques associés à l'industrie papetière, Institut National de l'environnement industriel et des risques (INERIS) Report N° 71838*, 2006.



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Ministère de L'Écologie, de L'Énergie, du Développement durable et L'Aménagement du Territoire, République Française, 2008. Guide de l'état, 2008. *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.

Ministry of Environment. Quebec Guide : *Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs, Québec Ministère de l'Environnement*, Juin, 2002. Guide, 2002. (*Guide : Major Technological Hazards*,).

NIOSH, 1990. National Institute for Occupational Safety and Health, US Centers for Disease Control, <http://www.cdc.gov/niosh/docket/archive/pdfs/NIOSH-125/125-ExplosionsandRefugeChambers.pdf>

Phast, 2011. Phast Tutorial Manual Version 6.7, Det Norsk Veritas (DNV), London, UK, 2011. www.dnv.com/software

San Ardo, 2007. Appendix H, *Final Report, Environmental Impact Review*, Chevron San Ardo to Coalinga Heated Crude Oil Pipeline Risk Assessment, Fresno and Monterey Counties, California, September, 2007.

The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO), 3rd Edition, The Hague, 2005. Committee for the Prevention of Disasters. Yellow Book, 2005. *Methods for the Calculation of physical effects due to hazardous materials (liquids and gases) 'Yellow Book'*.

WorleyParsons, 2014. Section 9, Accidents and Malfunctions, Application for Environmental Impact Assessment for Spectra Energy Westcoast Gas Connector Project, WorleyParsons Canada, March 2014.



Annexe 1

Tableau détaillé



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Produit	État physique	Catégorie: Marchandises dangereuses		Catégorie: Produit contrôlé	Mode de transport	Estimation quantité totale entreposée	Mode d'entreposage	Reglement sur les urgences environnementales Quantité seuil (tonnes)
		Classe	NIP					
Acétylène	Gaz	2.1 Gaz inflammables	1001	A: Gaz comprimé B1: Gaz inflammable F: Matière dangereusement réactive	Camion	à confirmer	Bonbonnes	---
Azote	Liquide	2.2 Gaz ininflammables, non toxiques et non corrosifs	1977	A: Gaz comprimé	Camion	10 à 20 m ³	Réservoir sous pression	---
Calcaire	Solide	---	---	D2A: Matière très toxique ayant d'autres effets toxiques	Camion	1 500 tm	Entreposage extérieure	---



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Produit	État physique	Catégorie: Marchandises dangereuses		Catégorie: Produit contrôlé	Mode de transport	Estimation quantité totale entreposée	Mode d'entreposage	Reglement sur les urgences environnementales Quantité seuil (tonnes)
		Classe	NIP					
Cartouches de tir au canon	Solide	1 EXPLOSIFS	Selon le calibre	---	Camion	Entre 1000 et 2000 cartouches	Contenant fermé entreposé à l'intérieur dans un endroit cadenassé	---
Diesel	Liquide	3 Liquide inflammable	1202	B-3: Liquide combustible D-2A: Matière très toxique causant d'autres effets toxiques D-2B: Matière toxique causant d'autres effets toxiques	Camion	500 tm	Réservoir hors sol avec cuvette de rétention pouvant contenir 110% de la capacité du réservoir	---



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Produit	État physique	Catégorie: Marchandises dangereuses		Catégorie: Produit contrôlé	Mode de transport	Estimation quantité totale entreposée	Mode d'entreposage	Reglement sur les urgences environnementales Quantité seuil (tonnes)
		Classe	NIP					
Houille (charbon)	Solide	4.2 Substances sujettes à l'inflammation spontanée Groupe d'emballage II	1361	---	Bateau	23 000 tm	Bâtiment couvert et non chauffé	---
Huiles (lubrifiante, hydraulique)	Liquide	---	---	---	Camion	variable	Divers modes	---
Graphite	Solide	---	---	D2A: Matière très toxique ayant d'autres effets toxiques	Camion	275 tm	Bâtiment chauffé avec aire bétonnée	---
Oxygène	Liquide	2.2 (5.1) Oxygène liquide réfrigéré	1073	A: Gaz comprimé. C: Substance comburante	Camion	126 tm	Citerne	---



FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE

Produit	État physique	Catégorie: Marchandises dangereuses		Catégorie: Produit contrôlé	Mode de transport	Estimation quantité totale entreposée	Mode d'entreposage	Reglement sur les urgences environnementales Quantité seuil (tonnes)
		Classe	NIP					
Pâte d'électrode (Soderberg)	Solide	---	---	D2A: Matière très toxique ayant d'autres effets toxiques	Camion	1250 tm	Bâtiment chauffé avec aire bétonnée	---
Propane	Gaz	2.1 Gaz inflammable Gaz de pétrole liquéfiés (propane)	1075	A: Gaz comprimé B1: Gaz inflammable	Camion	60 tm	Réservoir sous pression	4.5
Quartz	Solide	---	---	D2A : Matière très toxique ayant d'autres effets toxiques	Bateau	125 0000 tm	Quatre zones d'entreposage non couverte	---
Silicium	Solide	4.1 Solides inflammables Groupe d'emballage: III	1346	B4: Solide inflammable	Non applicable	10000 tm	Bâtiment couvert	---



Cegertec
WorleyParsons

EcoNomics™

FERRO-QUEBEC

USINE DE SILICIUM PORT-CARTIER - ANALYSE QUANTITATIVE DU RISQUE
