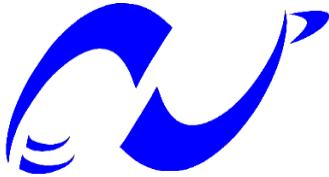


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Maitrise des Risques
Industriels et Environnementaux

Filière : QHSE-GRI



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

**Maitrise des risques d'explosion d'une atmosphère explosive
(ATEX) au niveau de Danone Djurdjura Blida Spa**

BENTERKIA YUCEF

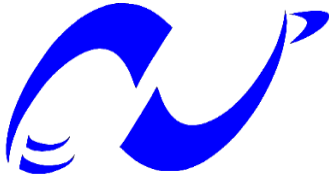
Sous la direction de :

M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP
M. M'hamed BOUSBAL	Maître de Conférences B	ENP
M. Soufiane BENYAHIA	Responsable-HSE	Danone Djurdjura

Présenté et soutenu publiquement le **09/07/2019**

Composition du Jury :

Président	M. Abdelmalek CHERGUI	Professeur	ENP
Examineurs	M. Aboubakr KERTOUS	Maitre Assistant A	ENP
	M. Mohamed BOUBAKEUR	Maitre Assistant A	ENP
Rapporteurs	M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP
	M. M'hamed BOUSBAL	Maître de Conférences B	ENP
	M. Soufiane BENYAHIA	Responsable-HSE	Danone Djurdjura



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Maitrise des Risques
Industriels et Environnementaux

Filière : QHSE-GRI



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI

**Maitrise des risques d'explosion d'une atmosphère explosive
(ATEX) au niveau de Danone Djurdjura Blida Spa**

BENTERKIA YUCEF

Sous la direction de :

M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP
M. M'hamed BOUSBAL	Maître de Conférences B	ENP
M. Soufiane BENYAHIA	Responsable-HSE	Danone Djurdjura

Présenté et soutenu publiquement le **09/07/2019**

Composition du Jury :

Président	M. Abdelmalek CHERGUI	Professeur	ENP
Examineurs	M. Aboubakr KERTOUS	Maitre Assistant A	ENP
	M. Mohamed BOUBAKEUR	Maitre Assistant A	ENP
Rapporteurs	M. Bouzid BENKOUSSAS	Professeur	ENP
	M. M'hamed BOUSBAL	Maître de Conférences B	ENP
	M. Soufiane BENYAHIA	Responsable-HSE	Danone Djurdjura

Dédicaces

À mon père,

À ma mère,

À mes frères,

À ma famille,

À Mes amis les plus chers,

Et à tous ceux que je garde dans mon cœur,

Je dédie ce travail.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation du mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Qualité Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques Industriels (QHSE-GRI)."

Mes remerciements s'adressent en premier lieu aux membres du jury, Monsieur CHERGUI, Professeur à l'ENP, qui m'a fait l'honneur de présider ce Jury, Monsieur KERTOUS, ainsi que Monsieur BOUBAKEUR, Maitres Assistants A à l'ENP, qui ont bien voulu accepter d'examiner et de juger ce travail.

A Monsieur BENKOUSSAS, Professeur à l'ENP pour sa disponibilité et son aide qui a contribué à l'exceptionnel encadrement dont j'ai bénéficié.

A Monsieur BOUSBAL, Maître de conférences B à l'ENP pour son encadrement et ses précieux conseils qui m'a aidé à la réalisation de ce rapport.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de notre année universitaire.

A Monsieur BENYAHIA, mon promoteur de l'entreprise, pour m'avoir fait confiance et mis à ma disposition toutes les ressources nécessaires pour l'accomplissement de mon projet.

Mes remerciements s'adressent également à toute la jeune équipe de DANONE Djurdjura Blida, ce fut un plaisir de travailler avec eux.

Mes gratitudes se destine également à tous les enseignants du Département MRIE de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à notre formation et notre suivi durant notre cursus.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو السيطرة على مخاطر انفجار الغاز والغبار في شركة دانون جرجرة الواقعة بالبلدية، مكنتنا طريقة التحليل الأولي للمخاطر APR من تحديد الأماكن المعنية بانفجار الجو وأيضاً تقييم جديتها. قمنا بعمل دراسة مفصلة لكل مكان على حدا اعتماداً على طرق تحليل المخاطر (شجرة الفشل Add, تحليل أوضاع الفشل, اثارها واسبابها AMDEC) باتباع نهج ATEX. خولتنا النتائج المتحصل عليها من تقييم خطر انفجار الجو داخل كل مكان في الشركة. في نهاية هذا العمل اقترحنا تدابير للوقاية والحماية بغية تحقيق معايير السلامة والامن في مختلف هياكل الشركة.

كلمات مفتاحية: ATEX، انفجار الجو، تحليل أولي للمخاطر، تحليل أوضاع الفشل، اثارها واسبابها، شجرة الفشل، دانون.

Abstract

The aim of this work is to ensure the risks of explosion of gas and dust (ATEX) at the level of the company Danone Djurdjura Blida. preliminary hazard analysis allowed us to identify the places and the areas concerned with atmosphere explosion also their impacts, our detailed study of each place based on the methods of risk analysis (fault tree analysis, Failure mode, effects and criticality analysis FMECA) by referring to ATEX standards and regulations. The results allowed us to evaluate the risk of atmosphere explosion in each place in the company. At the end of this work preventive and protective measures has been proposed for the aim of maintaining all the structures at the level of the company secured and at the same time comply with regulations and standards.

Keywords: ATEX, atmosphere explosion, PHA, FMECA, FTA, Danone

Résumé

Le but de ce travail est une contribution à l'étude de la maîtrise des risques d'explosion d'une atmosphère explosive (ATEX) au niveau de l'entreprise Danone Djurdjura Blida. L'analyse préliminaire des risques (APR) nous a permis d'identifier les lieux concernés par l'ATEX et de déterminer la criticité de ces explosions. L'étude détaillée pour chaque local a été réalisée à l'aide des méthodes d'analyse des risques à savoir l'arbre de défaillance (Add), l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) en se basant sur une démarche réglementaire et normative sur les ATEX. Le résultat nous a permis d'évaluer le risque d'explosion dans chaque local de l'entreprise. A l'issue de ce travail, des propositions et des mesures de prévention et de protection ont été élaborées afin de mettre en conformité vis-à-vis de la sécurité des différentes structures de l'entreprise.

Mots clés : ATEX, explosion d'atmosphère, APR, AMDEC, Add, Danone

Table des matières

Listes des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale	14
1 Présentation de l'entreprise.....	17
1.1 Introduction	17
1.2 Présentation du secteur d'activité.....	17
1.3 Présentation de groupe Danone.....	18
1.3.1 Historique.....	18
1.3.2 Missions et activité de DANONE.....	20
1.3.3 Principaux marchés.....	22
1.4 Matière premières et ingrédients entrant dans la composition de la spécialité laitière..	23
1.4.1 L'eau de reconstitution	23
1.4.2 La poudre de lait (26%-0%).....	24
1.4.3 Le sucre.....	25
1.4.4 L'amidon.....	25
1.4.5 Les ferments.....	26
1.4.6 Les arômes	27
1.5 Processus de fabrication des produits laitiers.....	28
1.5.1 Traitement de l'eau	28
1.5.2 La filtration (dessablage)	28
1.5.3 Adoucissement.....	28
1.5.4 Chloration (traitement antimicrobien)	28
1.5.5 La déchloration (charbon actif).....	28
1.5.6 Reconstitution	29
1.5.7 Traitement thermique.....	29
1.6 Conclusion.....	37
2 ATEX : Généralités, Règles et Démarches d'analyse.....	39
2.1 Introduction	39
2.2 Les explosions	39
2.2.1 Définition d'une explosion	39

2.2.2	Les types d'explosions.....	39
2.2.3	Phénoménologie des explosions de poussières.....	40
2.2.4	Phénoménologie d'explosion de gaz	46
2.2.5	Différence entre les explosions de gaz et de poussières	47
2.3	Aspect réglementaire et normatif.....	49
2.3.1	Contexte réglementaire	49
2.3.2	Normes et directives	50
2.4	Démarche appliquée au zonage.....	52
2.4.1	Introduction.....	52
2.4.2	Déroulement de la démarche	52
2.5	Les méthodes d'analyse de risques utilisées	63
2.5.1	L'analyse préliminaire des risques.....	64
2.5.2	L'arbre de défaillance AdD	66
2.5.3	Analyse de mode défaillance et leur effet criticité (AMDEC)	67
2.6	Conclusion.....	69
3	Accidentologie et retour d'expérience	71
3.1	Introduction	71
3.2	L'industrie agroalimentaire et le risque d'explosion d'atmosphère.....	71
3.3	Le Retour d'expérience	71
3.3.1	Analyse du retour d'expérience concernant les explosions de poussières.....	72
3.3.2	Analyse du retour d'expérience concernant les explosions de gaz.....	76
3.4	Conclusion.....	80
4	Maitrise des risques liés aux atmosphères explosives.....	82
4.1	Introduction	82
4.2	Evaluation des risques.....	82
4.2.1	Application de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR)	82
4.3	Maitrise de risque ATEX	84
4.3.1	Le local des chaudières	85
4.3.2	Local de chargement des batteries des chariots de manutention	102
4.3.3	Atelier de poudrage.....	120
4.3.4	Magasin des matières premier	148
4.4	Conclusion.....	165

5 Mesures et moyens de prevention et de protection	167
5.1 Introduction	167
5.2 Démarche	167
5.2.1 Empêcher la formation d'une atmosphère explosive.....	168
5.2.2 Éviter les sources d'inflammation	168
5.2.3 Limiter les effets d'une explosion.....	171
5.3 Application à l'Entreprise Danone Djurdjura Blida.....	172
5.3.1 Local des chaudières	172
5.3.2 Le local de chargement des batteries	178
5.3.3 Atelier de poudrage.....	185
5.3.4 Magasin des matières premières	191
5.4 Conclusion.....	197
Conclusion générale	199
Bibliographie	202
Annexe A	206
Annexe B	220
Annexe C	223
Annexe D	228

Listes des tableaux

Tableau 1.1: Dix principaux pays en termes de chiffre d'affaires Danone 2018	23
Tableau 2.1: Les Danger relatif des explosions de poussières	46
Tableau 2.2: Les propriétés physico chimiques nécessaires	53
Tableau 2.3: Classement fondamental de zone vapeur selon la norme EN60079-10	60
Tableau 2.4: Classement fondamental de zone poussière selon la norme	61
Tableau 2.5: Echelle de probabilité de l'APR	64
Tableau 2.6: Echelle de gravité de l'APR	65
Tableau 2.7: Tableau type, utilisé pour l'APR	65
Tableau 2.8: La matrice de criticité des risques	66
Tableau 2.9: Modes de défaillances les plus répandus [selon l'AFNOR]	68
Tableau 3.1: Dénombrement d'explosion de poussière, décès et blessures par type d'industrie concernée (source : NFPA, AIRA et IFA)	73
Tableau 3.2: Fréquence d'explosion par type d'installation et industrie concernée	74
Tableau 3.3: Fréquence d'explosion par source d'ignition et industrie concernée	74
Tableau 3.4: Le nombre d'accident d'explosion de gaz causé par des chaudières et des chaufferies	77
Tableau 3.5: Représentation des typologies des accidents et ces pourcentages	78
Tableau 3.6: Les Conséquences recensées des accidents	79
Tableau 4.1: Appréciation du risque (APR)	83
Tableau 4.2: Résultats de l'APR	83
Tableau 4.3: Le pouvoir combustible des produits dans le local des chaudières	85
Tableau 4.4: Les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel	86
Tableau 4.5: Les zones ATEX présentes dans le local des chaudières	90
Tableau 4.6: Les portes logiques de l'AdD	94
Tableau 4.7: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	94
Tableau 4.8: Les coupes minimales classées par ordre décroissant	95
Tableau 4.9: Les portes logiques de l'AdD	97
Tableau 4.10: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	99
Tableau 4.11: Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant	100
Tableau 4.12: Le pouvoir combustible des produits dans le local des chaudières	103
Tableau 4.13: Les caractéristiques physico-chimiques du gaz d'hydrogène	103
Tableau 4.14: Les zones ATEX présentes dans le local des chaudières	107
Tableau 4.15: Les portes logiques de l'AdD	110
Tableau 4.16: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	110
Tableau 4.17: Les coupes minimales classées par ordre décroissant	111
Tableau 4.18: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	115
Tableau 4.19: Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant	116

Tableau 4.20: Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant	117
Tableau 4.21: Liste des produits présents dans l'atelier	122
Tableau 4.22: Les propriétés physico-chimiques des produits utilisés dans l'atelier de poudrage	123
Tableau 4.23: Appréciation du risque (AMDEC)	127
Tableau 4.24: Application de l'AMDEC	128
Tableau 4.25: Les résultats de l'AMDEC	130
Tableau 4.26: Délimitation des zones ATEX dans l'atelier de poudrage	133
Tableau 4.27: Liste des portes logiques de l'AdD	139
Tableau 4.28: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	138
Tableau 4.29: Les coupes minimales classées par ordre décroissant	139
Tableau 4.30: Les portes logiques de l'AdD	142
Tableau 4.31: Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	144
Tableau 4.32: Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant	145
Tableau 4.33: Quantités des matières premières stockées au niveau du magasin des matières premières	149
Tableau 4.34: Liste des produits stockés et son pouvoir combustible	150
Tableau 4.35: Les propriétés physico-chimiques des produits utilisés dans l'atelier de poudrage	151
Tableau 4.36: Délimitation des zones ATEX dans le magasin des matières premières	153
Tableau 4.37: Liste des portes logiques de l'AdD	155
Tableau 4.38: Liste des événements élémentaire de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant	155
Tableau 4.39: Les coupes minimales classés selon leur probabilité	157
Tableau 4.40: Les portes logiques de l'AdD	161
Tableau 4.41: Liste des événements élémentaire de l'AdD classé par ordre décroissant	162
Tableau 4.42: Les coupes minimales classées par ordre décroissant	163
Tableau 5.1: Les classes des températures acceptées pour les équipements dans l'atelier de poudrage	189
Tableau 5.2: Les classes des températures acceptées pour les équipements dans le magasin des matières premières	194
Tableau A.1: Application de l'Analyse Préliminaire des Risques	206
Tableau B.1: Les paramètres des batteries nécessaires pour le calcul de débit	220
Tableau C.1: Les modes de protection gaz	223
Tableau C.2: Les modes de protection poussières	226
Tableau D.1: Classification de certaines sources de dégagement de poussière combustible dans des espaces clos	228

Liste des figures

Figure 1.1 : Les principales régions où Danone est présente	19
Figure 1.2 : Localisation géographique du groupe Danone Djurdjura Blida	20
Figure 1.3 : Chiffre d'affaire Danone 2018 en pourcentage par Pôle	21
Figure 1.4 : Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone Pôle	21
Figure 1.5: Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone géographique	23
Figure 1.6: Le locale de stockage de l'entreprise Danone Djurdjura Blida	24
Figure 1.7: La poudre de lait 26% et 0%	25
Figure 1.8: Le Sucre cristallisé	26
Figure 1.9: Le stock d'amidon dans le locale des matières premières	26
Figure 1.10: Les ferments utilisés chez Danone	27
Figure 1.11: Le stock des arômes chez Danone	27
Figure 1.12: Le mélangeur dans la salle de reconstitution	29
Figure 1.13: La cuve de dégazage	30
Figure 1.14: L'homogénéisateur	30
Figure 1.15: Le pasteurisateur tubulaire	31
Figure 1.16: L'échangeur de chaleur	31
Figure 1.17: La cuve d'injection des ferments	32
Figure 1.18: L'étape de brassage	33
Figure 1.19: Conditionnement des bouteilles	34
Figure 1.20: Des bouteilles de petit lait stockés dans le frigo	35
Figure 1.21: Un Schéma récapitulatif de la chaîne de production de yaourt pot	35
Figure 1.22: Diagramme de fabrication de la spécialité laitière à boire aromatisée	36
Figure 2.1: Hexagone d'explosion de poussière	42
Figure 2.2: Le triangle de feu	43
Figure 2.3: Courbe de pression (P)/temps(t)	45
Figure 2.4: Les limites d'inflammabilité de certains gaz combustible	49
Figure 2.5: Schéma de probabilité d'une explosion dans une atmosphère ATEX	54
Figure 2.6: Matrice d'évaluation de risque d'explosion	56
Figure 2.7: Classification des emplacements d'atmosphère explosive gazeux	59
Figure 2.8: Qualification du degré et de la disponibilité de la ventilation	59
Figure 2.9: Panneau d'avertissement ATEX	61
Figure 3.1: Répartition du nombre d'accident par secteur d'activité	73
Figure 3.2: Histogrammes groupés des installations concernées par type d'industrie	75
Figure 3.3: Histogrammes groupés des sources d'ignition concernées par type d'industrie	76
Figure 3.4: Répartition des accidents par secteur d'activité	77
Figure 3.5: Histogramme de nombre d'accidents selon leur type	78
Figure 3.6: Les Conséquences recensées des accidents	79
Figure 4.1: Résultats de l'APR	84
Figure 4.2: La chaudière active dans le locale des chaudières	86
Figure 4.3: Chaudière à tube de fumée et ses composants	89
Figure 4.4: Fuite probable autour les brides et la vanne	89
Figure 4.5: Zonage ATEX du local des chaudières	91
Figure 4.6: AdD de création d'une atmosphère de gaz dans le local des chaudières	93
Figure 4.7: Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage	95
Figure 4.8: AdD création d'une source d'ignition	98
Figure 4.9: Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage	99
Figure 4.10: Local de chargement des batteries	102

Figure 4.11: Schéma général d'une batterie accumulateur plomb	106
Figure 4.12: Zonage du local de chargement des batteries	107
Figure 4.13: AdD création d'atmosphère d'hydrogène	109
Figure 4.14: Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage	111
Figure 4.15: AdD création d'une source d'ignition	114
Figure 4.16: Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage	115
Figure 4.17: Atelier de poudrage	121
Figure 4.18: Le mélangeur dans l'atelier de poudrage	125
Figure 4.19: Dessin générale de mélangeur	125
Figure 4.20: Croquis dimensionnels du mélangeur	127
Figure 4.21: Résultats de l'AMDEC	130
Figure 4.22: Répartition du niveau de risque	131
Figure 4.23: Délimitation des zones ATEX dans l'atelier de poudrage	134
Figure 4.24: Les éléments entrés dans le dessin de zonage	134
Figure 4.25: Exemple d'une zone 20 dans l'atelier de poudrage	135
Figure 4.26: AdD sur l'atelier de poudrage	137
Figure 4.27: Les coupes minimales et leurs pourcentages	139
Figure 4.28: AdD création d'une source d'ignition	143
Figure 4.29: Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage	146
Figure 4.30: Les différentes matières stockées dans le magasin	149
Figure 4.31: Opération de gerbage	151
Figure 4.32: Zonage ATEX du magasin des matières premières	153
Figure 4.33: AdD pour le magasin des matières premiers	156
Figure 4.34: Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage	157
Figure 4.35: AdD création une source d'ignition pour le magasin des matières premiers	160
Figure 4.36: Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage	164
Figure 5.1: Illustration des plages d'EMI	169
Figure 5.2: Affichage de sécurité à l'entrée du local des chaudières	176
Figure 5.3: Ensemble des mesures de prévention et de protection pour le local des chaudières	177
Figure 5.4: Affichage de sécurité à l'entrée du local de chargement des batteries	183
Figure 5.5: Ensemble de mesures de prévention et de protection pour le local de chargement des batteries	184
Figure 5.6: Aspirateur industriel KEVAC SILVER	185
Figure 5.7: Affichage de sécurité à l'entrée de l'atelier de poudrage	190
Figure 5.8: Affichage de sécurité à l'entrée de magasin des matière premiers	195

Liste des abréviations

ADD : Arbre de défaillance

AFNOR : Association française de normalisation

AMDEC : Analyse de mode défaillance et leur effet criticité

APR : Analyse première de risques

ARIA : Analyse, Recherche et Information sur les Accident

ATEX : Atmosphère explosive

BSN : Boussois Souchon Neuversel

CEI : Comité électrotechnique international

CME : Concertation minimale d'explosivité

DA : Dinar Algerian

EI : Evénement indésirable

EMI : Energie minimale d'inflammabilité

HOPE : Humanisme, Ouverture, Proximité, Enthousiasme

IAA : Industrie agroalimentaire

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

LES : Limite supérieure d'explosivité

LIE : Limite inférieure d'explosivité

LII : Limite inférieure d'inflammabilité

LSI : Limite supérieure d'inflammabilité

NEMA : The association of electrical equipment and medical imaging manufacturers

NEP : Nettoyage en place

NF : Norma française

NFPA : National fire protection agency

NORAM : North America

NRPD : Non electronic parts reliability data

OREDA : Offshore & onshore Reliability Data

PIB : Produit intérieur brut

REX : Retour d'expérience

SPA : Société par action

SDIS : Service départemental d'incendie et de secours

TMI : Température minimale d'inflammabilité

Introduction générale

Introduction générale

Les explosions accidentelles impliquant les procédés industriels et provoquées par des gaz, vapeurs ou poussières comptent peu dans les statistiques relatives à la probabilité des accidents. Néanmoins, souvent invalidantes et meurtrières, leurs conséquences humaines et matérielles sont en général lourdes.

C'est pour réduire à la fois la probabilité et la gravité des accidents liés à la mise en œuvre des produits dangereux, que la réglementation mondiale a adopté des directives visant spécifiquement les risques liés à l'exposition des travailleurs aux atmosphères explosives. En particulier, cette réglementation impose l'évaluation des dangers physicochimiques des produits dangereux. La connaissance des dangers présentés par les substances et les mélanges est en effet un facteur clé dans la prévention et la réduction des risques.

Dans le cas particulier des explosions d'atmosphères explosives, la caractérisation approfondie de l'inflammabilité et de l'explosivité est également primordiale pour mettre en évidence les conditions dans lesquelles une atmosphère explosive peut se former et être enflammée. Une fois les dangers des produits identifiés et évalués, ceux-ci pourront être confrontés aux conditions de fonctionnement de procédé dans lesquels ils sont stockés ou mis en œuvre, afin d'évaluer les risques et de définir et dimensionner les mesures de prévention et de protection adaptées. L'expérience montre que l'application des exigences réglementaires élaborées ces dernières années révèle des difficultés certaines, du fait de leur caractère parfois novateur, de l'existence d'obstacles sur le plan métrologique, ou encore de leur méconnaissance persistante par les employeurs dans beaucoup de secteurs d'activité.

Les travaux décrits dans le présent mémoire sont consacrés en premier lieu à l'identification des locaux concernés par les risques d'explosion de poussière et de gaz au sein de l'entreprise Danone Djurjura Blida où le projet s'est déroulé. L'étude réglementaire des dangers physico-chimiques des substances et des mélanges, ainsi que l'évaluation de l'aptitude des produits inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de poussière à générer des atmosphères explosives et à être enflammés ont été réalisées. Ces travaux s'attachent à mettre en évidence les éléments essentiels du contexte réglementaire, normatif et méthodologique sur les thèmes des atmosphères explosives et de l'évaluation des risques associés.

Le présent mémoire est structuré en deux parties composées de cinq chapitres avec une introduction et une conclusion générale. Dans le premier chapitre, nous présentons l'entreprise Danone Djurjura Blida, les procédés de fabrications ainsi que les produits utilisés.

Dans le deuxième chapitre nous décrivons la phénoménologie de l'explosion de gaz et de poussière en développant ensuite une démarche basée sur la réglementation mondiale, française et la norme internationale (CEI) afin de procéder au zonage des endroits concernés par l'explosion d'atmosphère.

Dans le troisième chapitre nous allons présenter l'industrie agroalimentaire ainsi que les risques d'explosion associé à cette dernière. Nous montrons les statistiques relatives aux accidents et une analyse du retour d'expérience qui représente un outil incontournable pour apprécier le risque d'explosion d'atmosphère.

Dans le quatrième chapitre nous allons évaluer les risques présents dans les différents locaux de l'entreprise afin d'identifier les endroits concernés par l'explosion d'atmosphère. Par la suite on a appliqué la démarche présentée dans la partie théorique afin d'attribuer un zonage approprié pour chaque local.

Dans le dernier chapitre nous décrivons la démarche préventive appliquée aux zones ATEX afin d'éviter la survenu de ces explosions en proposant ainsi des mesures de protection pour atténuer leurs effets dans le cas où on ne peut pas empêcher la formation d'atmosphère explosive. Par la suite nous avons appliqué cette démarche pour tous les locaux dans le but d'améliorer la sécurité de ces derniers et maîtriser les risques d'explosion d'atmosphère.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter le secteur d'activité agroalimentaire, l'industrie laitière, le groupe Danone et l'unité de Danone Djurdjura Blida où s'est déroulé notre projet. Par la suite nous décrivons le cycle de vie des produits finis dès la réception des matières premières et les ingrédients entrant dans le procédé de fabrication jusqu'à l'obtention d'un produit fini destiné à la commercialisation.

1.2. Présentation du secteur d'activité

Dès le début des années 2000, l'industrie agroalimentaire occupe une part très importante dans l'approvisionnement du marché Algérien en produits alimentaires, puisqu'elle englobe les produits qui constituent la base du système nutritionnel de l'individu Algérien (farine, semoule, pâtes alimentaires, lait et produits laitiers, huiles alimentaires, tomate industrielle, sucre). Malgré la faible proximité des activités agroalimentaires avec l'amont agricole, le déficit dans le processus de valorisation de produits locaux, ainsi que la forte dépendance aux marchés extérieurs, le secteur des IAA contribue en 2013 à hauteur de 50 à 55% au PIB industriel (hors hydrocarbure). Il est le premier employeur dans l'industrie (40% de l'emploi avec près de 150 000 actifs occupés) et il produit 40 à 45% de la valeur ajoutée industrielle (plus de 300 milliards de DA). Ce sont les entreprises des filières céréales, lait (et ses dérivés), eaux et boissons non alcoolisées qui sont les filières clés du paysage des IAA algériennes.

Le secteur agroalimentaire joue donc un rôle important dans la croissance économique globale du pays. Tous les indicateurs révèlent une tendance à la croissance du secteur et à l'amélioration de sa productivité. Les acteurs des industries agroalimentaires contribuent à l'amélioration de la sécurité alimentaire en approvisionnant régulièrement le marché national en produits de base (pain, farine, semoule, lait, sucre, tomate industrielle, viandes et huiles alimentaires).

L'industrie laitière algérienne se caractérise par une croissance élevée, mais par un faible taux d'intégration du lait cru local (10% à 15%), ce qui implique une forte dépendance des marchés extérieurs de matières premières. La recombinaison de la poudre de lait importé constitue donc, le processus de production dominant.

La demande sur le marché est tirée par : la croissance démographique qui est estimée à (1,6% par an), l'urbanisation et l'amélioration du pouvoir d'achat. La demande intérieure en lait de consommation a une faible croissance, en raison du niveau élevé de la consommation par individu qui est proche de la saturation, tandis que la consommation des produits dérivés (yaourt et fromage, glaces) croît fortement grâce à la qualité des produits et à la stabilité des prix, ainsi que les grands investissements dans le secteur [1].

1.3. Présentation de groupe Danone :

1.3.1. Historique

a) Danone

Les origines du groupe Danone remontent à 1966, lorsque la fusion de deux sociétés françaises verrières a donné naissance à la société Boussois Souchon Neuversel (BSN).

Le groupe s'associe en 1967 avec Gervais puis diversifie sa production par de nombreux rachats. En 1973, Danone s'associe avec BSN, dirigé par Antoine Riboud. Sous la présidence de ce chef d'entreprise, volontiers, qualifié de charismatique, qui a su créer une véritable culture d'entreprise, le groupe ainsi que la marque, se positionne au troisième rang mondial sur le marché des produits agroalimentaires derrière le suisse Nestlé et le néerlandais Unilever. A cet égard, le choix d'une nouvelle dénomination sociale est intervenu en 1994 : BSN est devenu Danone. Ce changement de marque tout autant la volonté de ses dirigeants de recentrer l'activité du groupe vers l'agroalimentaire, que le désir d'associer dans l'esprit du public le groupe avec sa marque.

Danone est une multinationale agro-alimentaire, dont le siège social est à Paris. Son chiffre d'affaire est à 24,651 milliards d'euros en 2018, dont 55% est réalisé dans les pays situés en Europe et en Amérique du nord. Danone compte plus de 390 filiales sur les cinq continents, dont 180 sites de production et commercialise ses produits dans plus de 140 pays et emploie plus de 100 000 collaborateurs à travers le monde qui répondent tous aux valeurs intrinsèques de l'ADN de Danone qui sont les valeurs HOPE : Humanisme, Ouverture, Proximité, Enthousiasme. Le groupe Danone est le premier producteur mondial de produits frais. La Figure 1.1, présente les principales régions où Danone est présente[2].



Figure 1.1 : Les principales régions où Danone est présente

Aujourd'hui, Danone est l'une des entreprises multinationales les plus dynamiques et novatrices de son secteur ; mais aussi l'un des rares groupes multinationaux soucieux de son impact sur l'environnement et de son implication dans l'amélioration de la condition humaine.

C'est ce que l'on appelle "le double projet économique et social", car chez Danone nous pensons que "la raison d'être d'une entreprise c'est son utilité sociale" » *Dixit. Franck Riboud*, président du conseil d'administration du groupe Danone [2].

b) Danone Djurdjura Algérie

Identification

- **Forme juridique** : entreprise multinationale de droit algérien.
- **Capitale sociale** : 200.000.000 DA.
- **Siège social** : zone industrielle, site1, Benboulaid – Blida.
- **Unité** : usine de production.

En octobre 2001, a eu la signature de l'accord de partenariat entre le groupe Danone et la laiterie Djurdjura, en prenant une participation de 51 % dans la société Danone Djurdjura Algérie SPA (DDA) ; la marque Danone est lancée en août 2002.

En juin 2005, a eu l'acquisition de la laiterie trèfle, sise à Blida, par le groupe Danone, ce qui devient désormais Danone Djurdjura Algérie SPA/unité de Blida. Ce dernier investira un

montant de 2 milliards de dinar dans le développement des lignes de production et pour le transfert du savoir-faire.

La figure 1.2 représente la localisation géographique du groupe Danone Djurdjura Blida

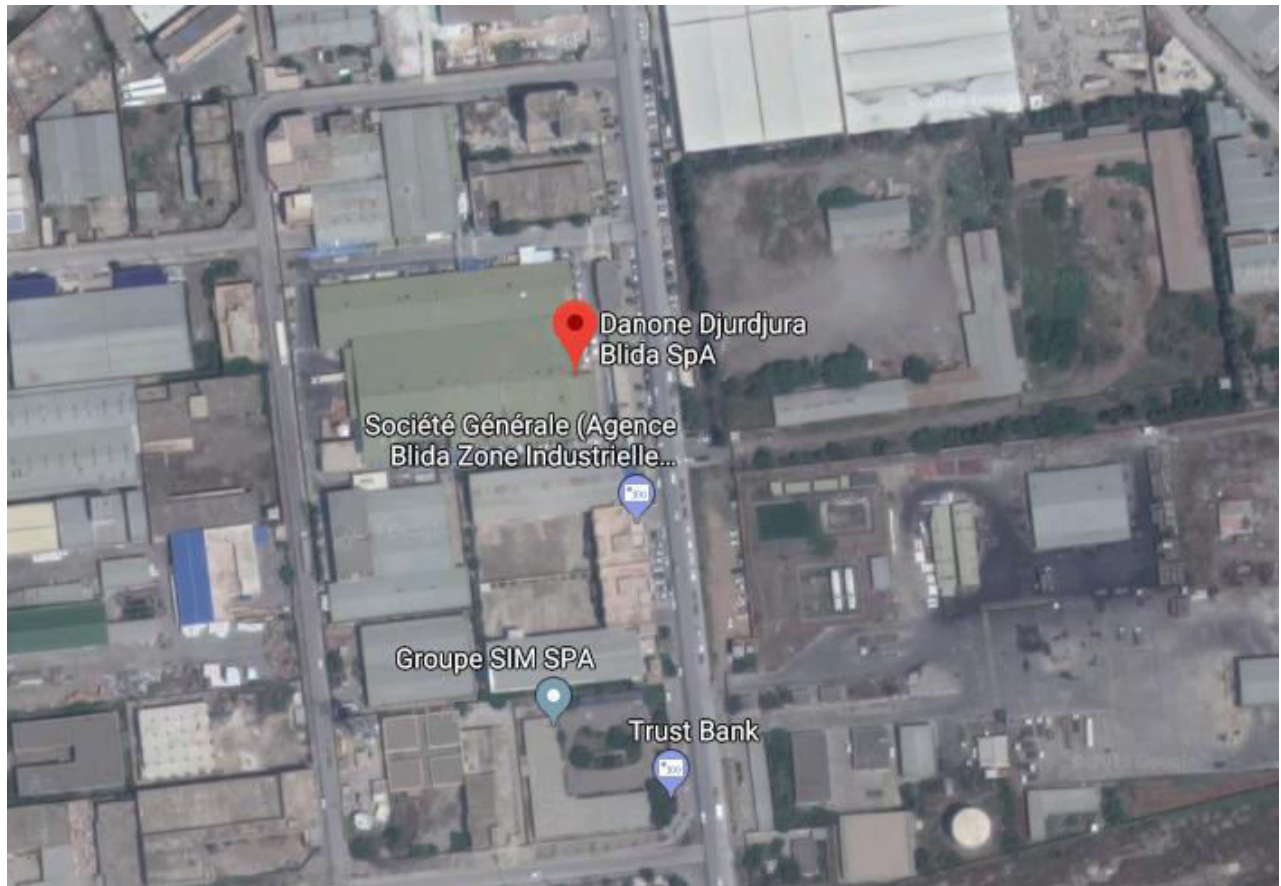


Figure 1.2 : Localisation géographique du groupe Danone Djurdjura Blida

1.3.2. Missions et activité de DANONE

Vu sa place sur le marché mondial et la position parmi les leaders agroalimentaires, Danone a pour mission d'apporter la santé par l'alimentation au plus grand nombre, en appuyant sur quatre métiers (les Produits Laitiers frais et d'Origine Végétale, la Nutrition Infantile, les Eaux et la Nutrition Médicale), et est structuré autour des quatre Pôles suivants :

- Le Pôle EDP International (33 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2018).
- Le Pôle EDP NORAM (20 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2018).

- Le Pôle Nutrition Spécialisée (29 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2018) qui regroupe le Métier Nutrition Infantile et le Métier Nutrition Médicale.
- Le Pôle Eaux (18 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise en 2018) [2].

La Figure 1.3 présente le chiffre d'affaire Danone 2018 en pourcentage par Pôle :



Figure 1.3 : Chiffre d'affaire Danone 2018 en pourcentage par Pôle

La Figure 1.4 représente le chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone Pôle :

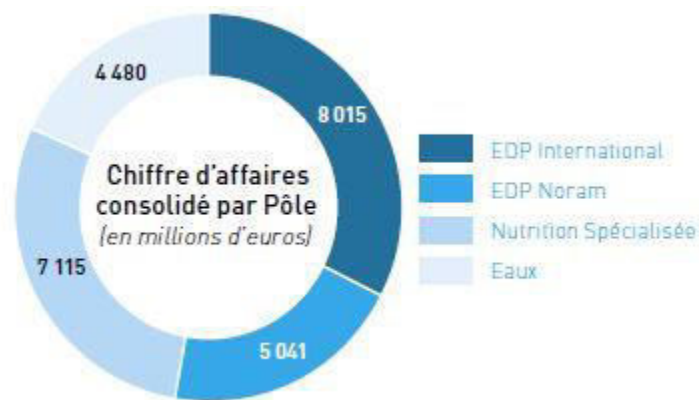


Figure 1.4 : Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone Pôle

Danone bénéficie, en valeur, des positions de leader suivantes (sur les catégories et marchés pertinents) :

- N°1 mondial des produits laitiers frais.

- N°1 mondial des produits et boissons d'origine végétale.
- N°3 mondial des eaux conditionnées.
- N°2 mondial de la nutrition infantile.
- N°1 européen de la nutrition médicale.

1.3.3. Principaux marchés

L'organisation de Danone est structurée autour des deux zones géographiques suivantes :

- La zone géographique Europe et Noram (l'Amérique du nord) qui représente 55 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise (en 2018), avec une activité couvrant l'ensemble des Métiers de Danone. Les principaux pays de la zone sont les États-Unis, la France, le Royaume-Uni et l'Espagne ;
- La zone géographique Reste du Monde qui représente 45 % du Chiffre d'affaires de l'Entreprise (en 2018) :
 - En Amérique Latine, le Mexique, l'Argentine et le Brésil sont les principaux contributeurs, avec une présence de l'ensemble des activités de l'Entreprise.
 - En Asie Pacifique, la Chine et l'Indonésie sont les premiers pays de la zone grâce à une forte présence dans le Métier des Eaux et de la Nutrition Infantile.
 - En Afrique et au Moyen-Orient, le Maroc et la Turquie sont les marchés les plus significatifs, avec une activité essentiellement concentrée sur les Produits laitiers et d'origine végétale et les Eaux [2].

La Figure 1.5 représente le chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone géographique :

Le Tableau 1.1, présente les dix principaux pays en termes de chiffre d'affaires Danone 2018 :

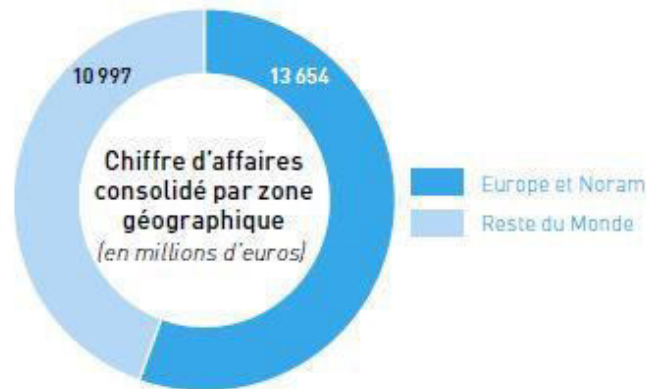


Figure 1.5: Chiffre d'affaire Danone 2018 consolidé par zone géographique

Tableau 1.1 : Dix principaux pays en termes de chiffre d'affaires Danone 2018 [2]

(En pourcentage)	2017 Retraité	2018
États-Unis	18 %	20 %
Chine	7 %	9 %
France	9 %	9 %
Russie	7 %	6 %
Indonésie	5 %	5 %
Royaume-Uni	5 %	5 %
Mexique	4 %	4 %
Espagne	4 %	4 %
Allemagne	4 %	3 %
Brésil	4 %	3 %

1.4. Matière premières et ingrédients entrant dans la composition de la spécialité laitière

Le local du stockage de l'entreprise DANONE Djurjura englobe 56 matières utilisées dans le processus de fabrication de ses produits laitiers. Elles sont réparties en 5 types de produits : les poudre de lait, les ferments, les amidons, les sucres et les arômes qui vont être détaillés par la suite. La figure 1.6 représente la zone de stockage chez Danone.

1.4.1. L'eau de reconstitution

L'eau est une matière première de tous les types de produits laitiers reconstitués et recombinaison. Elle doit être potable de bonne qualité, dépourvue de microorganismes pathogènes et d'un niveau de dureté acceptable exprimé en poids de carbonate de calcium, c'est-à-dire 100mg/l. Il est indispensable d'avoir également une eau pure pour la reconstitution ou la

recombinaison, une teneur excessive en matière inorganique menace l'équilibre des sels du produits reconstitué ou recombinaison qui a son tour.

1.4.2. La poudre de lait (26%-0% matière grasse) :

Conserver dans un local propre, sec et tempéré (25°C maxi.), éloigné de toutes sources de goût ou d'odeurs parasites. La teneur en matières azotées totales du lait de vache, exprimée en équivalent protéines, fluctue entre 2,9 et 3,7%. En conséquence, le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines laitières par l'ajout de la poudre de lait pour former une spécialité laitière consistant et exempt de synérèse. Les quantités de protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée. Les taux protéiques finaux sont compris entre 3,2 et 5%.



Figure 1.6 : Le local de stockage de l'entreprise DANONE DJURJURA BLIDA (photo réelle)

Rôle de PdL 0% : Les protéines laitières jouent un rôle clé dans la formation du gel en lui conférant une texture unique, de l'élasticité et de la fermeté.

Rôle de PdL 26% : les matières grasses donnent une saveur plus douce et crémeuse, un arôme meilleur et masque l'acidité.

La figure 1.7 représente les poudres de laits utilisés chez DANONE

1.4.3. Le sucre

Le principal sucre autorisé par la législation algérienne est bien le saccharose. Il se présente sous forme de cristaux blancs, son rôle est de rendre la consistance de la préparation laitière plus lisse, plus fine ; élastique et joue le rôle de fixation d'arôme. La figure 1.7 représente le type de sucre utilisé chez Danone.



Figure 1.7 : La poudre de lait 26% et 0% matière grasse (photo réelle)

1.4.4. L'amidon

Il s'agit d'une molécule de réserve pour les végétaux supérieurs et un constituant essentiel de l'alimentation humaine. Il est utilisé pour son effet sur la texture ; augmentation de la consistance, la figure 1.9 représente l'amidon utilisé chez DANONE.

1.4.5. Les ferments :

Les lactobacillus Bulgaricus et les streptococcus thermophilus sont des bactéries lactiques homofermentaires, micro-aérophiles et thermophiles dont la température de développement se situe entre 37°C et 46°C. Ces ferments sont commercialisés sous forme congelée ou lyophilisée .la figure 1.10 représente les ferments utiliser chez DANONE.



Figure 1.8: Le sucre cristallisé (photo réelle)



Figure 1.9 : Le stock d'amidon dans le local des matières premières (photo réelle)

Les arômes :

Les arômes sont des ensembles complexes volatiles qui sont perçus par les organes olfactifs et gustatifs, ils apportent un goût et une sensation agréable au yaourt. La figure 1.11 représente le stocke des arômes chez Danone.



Figure 1.10: Les ferments utilisés chez Danone (photo réelle)



Figure 1.11 : Le stock des arômes chez Danone

1.5. Processus de fabrication des produits laitiers

Les traitements de l'eau la réparation du lait, la fermentation et les traitements post fermentaires du produit sont résumés ci-dessous :

1.5.1. Traitement de l'eau :

La station d'analyse d'eau est le cœur battant de cette usine et puis notre produit qui est yaourt contient environ 75% d'eau et cette matière qui est indispensable pour la préparation Des produits pour le nettoyage des équipements de la production du control ainsi que les sols, les murs des zones de manipulation. L'eau comme matière première doit sbire un traitement bien défini afin d'assurer et d'avoir une eau purifiée. Les étapes de traitement d'eau sont :

1.5.2. La filtration (dessablage)

L'eau est filtrée par deux colonnes de filtre à sable. Cette opération a pour but d'éliminer les grosses impuretés (substances en suspension : graines de sable, débris...).

1.5.3. Adoucissement :

L'eau filtrée est ensuite adoucie au niveau de deux grandes colonnes à résine cationique, cette opération vise à :

Élimine les impuretés persistantes et à diminuer le taux de dureté de l'eau et cela en fixant les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} . Cette eau de procès peut subir un deuxième adoucissement, au niveau de deux autres petits adoucisseurs afin d'obtenir l'eau des chaudières qui est utilisées pour la stérilisation et la pasteurisation.

1.5.4. Chloration (traitement antimicrobien) :

On procède à une addition de chlore en même temps que l'eau (filtré, adoucie) se dirige vers la grande bache dans le but de la désinfection.

1.5.5. La déchloration (charbon actif) :

L'eau (filtré, adoucie et chlorée) doit subir un déchloration immédiatement à la demande du procès à travers d'une colonne de charbon actif qui constitue un tamis de chlore. Cette étape est nécessaire, car la présence du chlore est néfaste pour l'installation d'une part et empêche la

fermentation d'autre part. Enfin l'eau filtrée, adoucie et de chlorée *Eau de procès* est utilisée sans risque dans la production (reconstitution, nettoyage...).

1.5.6. Reconstitution :

La reconstitution consiste à mélanger les ingrédients avec l'eau de reconstitution à température de 20°C. le pourcentage eau/poudre de lait est bien déterminer (selon la quantité fabriquée) car il joue un rôle très important sur l'aspect de produit fini (très fluide, peu fluide, normale). La poudre de lait est incluse progressivement et manuellement en quantité mesuré dans une tubuleuse dans lequel elle est soutiré par une pompe au même temps que l'eau ; ce qui permet un bon mélange dans un circuit fermé, les ingrédients sont entrainés par l'eau jusqu'au TPL (tank poudrage lait) de reconstitution. Au cours de la reconstitution, il est indispensable d'éviter la dissémination des poudres dans la salle de reconstitution et de maintenir d'excellentes conditions d'hygiènes. La figure (1.12) représente le mélangeur chargé de l'opération de reconstitution.

1.5.7. Traitement thermique :il englobe les étapes suivantes :

a. Dégazage :

C'est une étape très importante car elle a pour but de débarrasser le lait des mauvaises odeurs. Ilse fait à 60°C dans une cuve dans laquelle on crée un vide par baisse de pression. A cette température, le lait bout et les gazes s'échappent par évaporation.la figure (1.12) représente la cuve de dégazage.



Figure 1.12 : Le mélangeur dans la salle de reconstitution (photo réelle)

b. Homogénéisation :

L'homogénéisation, évite la remontée de la matière grasse pendant la coagulation, améliore la rétention de l'eau et la fermentation du produit fini. la figure 1.14 représente l'homogénéisateur.



Figure 1.13 : La cuve de dégazage (photo réelle)



Figure 1.14 : L'homogénéisateur (photo réelle)

c. Pasteurisation :

Le lait va subir une pasteurisation le principe échangeur à plaque le plus couramment utilisé est une pasteurisation à 95°C pendant 5min. le traitement thermique aura des conséquences plus importantes sur le lait destiné au yaourt pour cela il existe les principaux effets :

- Effets sur la destruction microbienne.
- Effets sur la texture, le gout et la couleur.
- Effets sur l'activité des ferments.

La figure 1.15 représente un pasteurisateur tubulaire

d. Refroidissement

Une fois le traitement terminé, on doit refroidir le mélange à la température de fermentation à 40-45°C, cette température correspond à l'optimum de développement symbiotique des bactéries lactiques. La figure 1.16 représente un échangeur de chaleur



Figure 1.15 : Le pasteurisateur tubulaire (photo réelle)



Figure 1.16 : L'échangeur de chaleur (photo réelle)

e. La fermentation du lait :

Cette étape généralement appelée phase d'acidification est l'étape caractéristique de la fabrication du yaourt, on peut la décomposer en phase d'ensemencement et en phase d'incubation. la figure 1.17 représente la cuve d'injection des ferments

f. Ensemencement :

L'ensemencement du lait est réalisé immédiatement après le traitement de chauffage, homogénéisation ou le lait est refroidi à la température de la fermentation, mis en cuve et ensemené est l'incubation de deux germes spécifiques du yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Ces ferments sont ajoutés directement dans la cuve de fabrication (ensemencement direct) ou dans la cuve mère (ensemencement semi direct)



Figure 1.17: La cuve d'injection des ferments (photo réelle)

g. Phase d'incubation :

On choisira une température proche de la température optimale de développement de Streptocoques soit (42-45C°) plutôt qu'une température proche de l'optimum du Lactobacille (47-50C°) car il est préférable que les Streptocoques assurent le départ de la fermentation lactique, cette température voisine de (42-45) est d'ailleurs la température symbiotique optimum, l'incubation dure de 2a3 h jusqu' à 4heures.

h. Arrêt fermentation

Pour les spécialités laitières fermes, le mélange /ferments est soutiré et l'acidification se fait en pots. Pour les spécialités laitières brassées le lait est acidifié en cuve. Dans les deux cas, l'incubation est dure entre 3h50 et 4h50. L'objectif est d'atteindre une acidité 70 à 80D° Pour les yaourts étuvéset100 à 120°Ddans les cas des yaourts brassés et de (PH=4,6).

i. D'écaillage et Brassage :

Le d'écaillage comprend l'étape de brassage. Dans le cas des spécialités laitières brassés avant le refroidissement il est important de procéder à une étape particulière qui donne le nom au produit : le brassage du caillé, ce brassage va conférer au produit son onctuosité, réalisé soit par le passage du gel à travers un filtre au tamis soit par agitation mécanique ou encore par homogénéisation à basse pression.

La spécialité laitière à boire est soumise à un brassage (battage) beaucoup plus intense du caillé afin d'obtenir une texture plus liquide.la figure 1.18 représente l'étape de brassage.



Figure 1.18: L'étape de brassage (photo réelle)

j. Refroidissement :

Le refroidissement doit permettre de passer rapidement de 40-45°C à 4°C, son rôle est de stopper l'activité des bactéries lactiques.

k. Conditionnement

L'emballage et le conditionnement sont les dernières opérations de la fabrication des produits alimentaires ; ils sont indissociables du produit, et doivent contribuer à préserver les qualités hygiéniques, sensorielles et nutritionnelles de l'aliment et s'assurer les attentions des consommateurs en matière d'usage. La spécialité laitière liquide à boire est conditionnée dans des bouteilles en plastique d'un litre fermée directement sur la machine de conditionnement. La figure 1.19 représente des bouteilles de yaourt en cours de conditionnement.

l. Stockage et conservation

Selon les normes de fabrication et dans les conditions hygiéniques strictes. Ces produits peuvent se conserver environ trois semaines. Sous réserve d'être maintenus au froid à la température d'excédent pas de 8°C, dans les pays où la chaîne de froid est déficiente, le délai de distribution et de consommation doit être beaucoup plus court, sachant que le froid empêche la multiplication bactérienne. Mais il n'arrête pas complètement leur activité métabolique. La production d'acide lactique se poursuit ; des enzymes hydrolysent les protéines comme conséquences, une diminution de la fermeté et de la viscosité et l'apparition des peptides à goût amer. Pour ces raisons ; on procède parfois, quand la réglementation le permet, à un traitement thermique après la fermentation. La figure (1.20) représente des bouteilles de petit lait stockés dans le frigo.



Figure 1.19 : conditionnement des bouteilles (photo réelle)



Figure 1.20 : Des bouteilles de petit lait stockées dans le frigo.

La figure (1.21) représente un Schéma récapitulatif de la chaîne de production de yaourt pot

La figure (1.22) représente un Diagramme de fabrication de la spécialité laitière à boire aromatisée selon la monographie de l'entreprise Danone Djurdjura Blida :

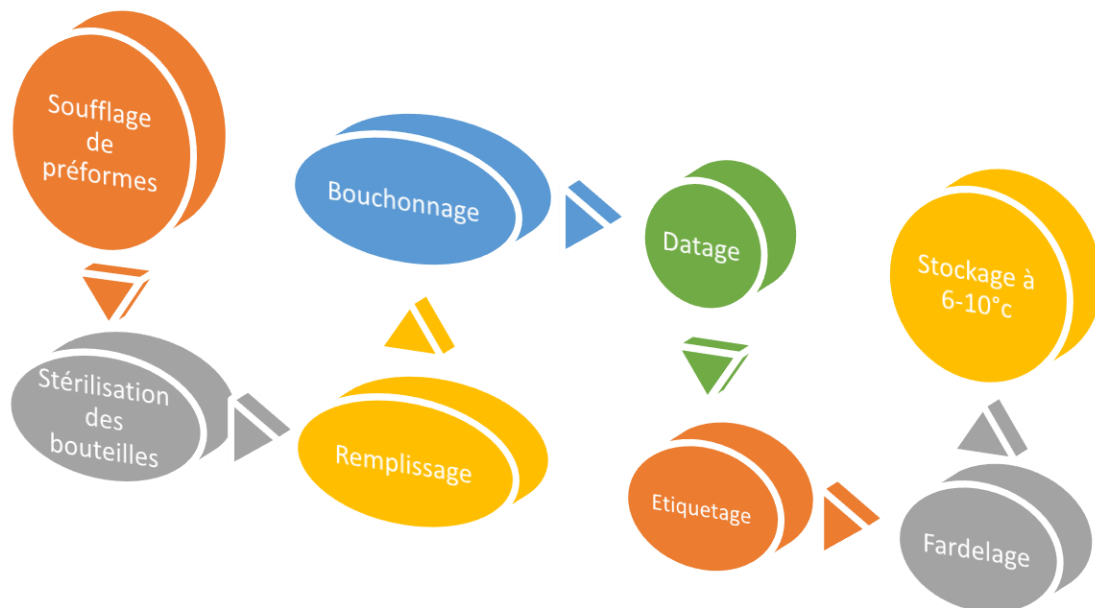


Figure 1.21 : Un Schéma récapitulatif de la chaîne de production de yaourt pot

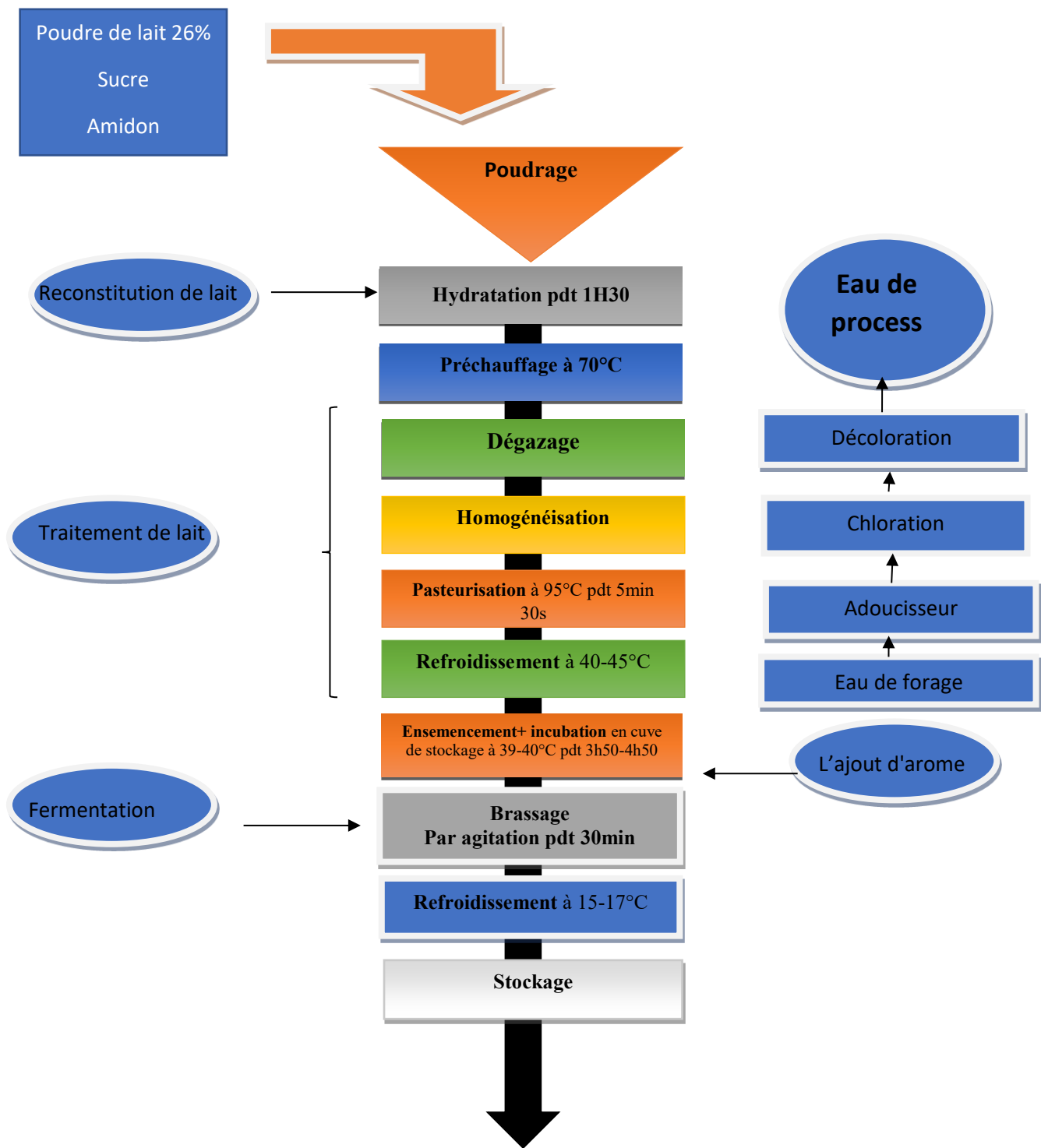


Figure 1.22 : Diagramme de fabrication de la spécialité laitière à boire aromatisée

1.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le secteur d'activité laitière, le groupe Danone et l'historique de sa création, ses missions, ses activités et son importance dans le marché international. Nous avons cité les différents produits utilisés dans le procédé de fabrication et les différentes étapes menées à l'obtention d'un produit fini prêt à la consommation. Nous avons terminé par un schéma récapitulatif du procédé de fabrication des pots et boute.

CHAPITRE 2 : ATEX : Généralités, Règles et Démarches d'analyse

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons la phénoménologie d'explosion de gaz et de poussière ainsi les textes règlementaires et les normes en vigueur, la démarche appliquée pour le zonage des locaux concernés par l'explosion d'atmosphère dans l'entreprise Danone, les outils et les méthodes d'évaluation des risques.

2.2. Les explosions

2.2.1. Définition d'une explosion

Concrètement, et dans le langage courant, le mot « explosion » représente un grand nombre de phénomènes. Pour notre étude, nous présentons la définition donnée par Baker « En champ libre, une explosion survient si une quantité suffisamment grande d'énergie est libérée, pendant un temps suffisamment court pour engendrer une onde de souffle qui se propage dans l'environnement à partir de la source d'émission appelée source de l'explosion ».

La définition donnée par le Groupement Français de Combustion est la suivante : « Une explosion est une libération soudaine d'énergie plus ou moins confinée, plus ou moins maîtrisée, avec ou sans conséquences externes, l'explosion peut donner lieu à une onde de pression (onde de souffle), à une boule de feu. Dans le cas de l'explosion chimique, le processus de libération d'énergie peut être une déflagration ou une détonation ».

L'explosion est donc associée à une libération d'énergie susceptible d'engendrer des effets mécaniques et thermiques violents, voire destructeurs.

2.2.2. Les types d'explosions

L'explosion d'un nuage gazeux n'est réalisable que si ce dernier est enflammé. Dès l'inflammation de ce nuage, se propage à travers celui-ci une zone de réaction exothermique, appelée onde de combustion. L'explosion d'une charge gazeuse nécessite donc un apport d'énergie afin d'enflammer le combustible. Selon la quantité d'énergie, deux régimes de propagation d'onde de combustion sont possibles : la détonation et la déflagration. La détonation se produit si l'apport d'énergie dans le mélange gazeux est important.

Le Groupement Français de Combustion donne la définition suivante d'une détonation : « Propagation plus ou moins autonome d'une zone de combustion couplée à un complexe d'ondes de choc qui la précède, se faisant avec une vitesse supérieure à la célérité du son par rapport au milieu réactif. Le mode de détonation est caractérisé par une augmentation de la pression et de la masse volumique en même temps qu'une décélération des gaz par rapport à la

zone réactionnelle qu'ils traversent. Dans ce mode, la vitesse de propagation de la zone réactionnelle doit être supersonique par rapport aux gaz frais. Dans une détonation, la combustion procède par auto-inflammation du mélange comprimé par l'onde de choc associée ».

D'après le Groupement Français de Combustion, l'énergie nécessaire pour amorcer la détonation dite énergie critique de détonation représente « l'énergie spécifique minimum nécessaire à la création de la détonation d'un système réactif donné ». Elle est dépendante de la nature des combustibles, des conditions initiales de pression et de température, de la symétrie considérée : plane (J/m^2), cylindrique (J/m) et sphérique (J).

Elle est très délicate à évaluer en raison de la diversité des systèmes d'amorçage (étincelle électrique, fil explosé, charge d'explosif condensé, focalisation laser...) dont les "rendements" énergétiques sont très mal connus. Pour les gaz et dans le cas d'une symétrie sphérique, l'énergie critique peut varier de quelques dixièmes de Joules (hydrocarbure/oxygène) à quelques mégajoules (hydrocarbure/air). La notion d'énergie critique de détonation est très importante pour toute démarche sécuritaire. Si l'apport d'énergie est faible (par exemple une étincelle (Guelon, 2003) de quelques millijoules) au sein du milieu réactif, une onde de déflagration peut en résulter.

Selon le Groupement Français de Combustion, la déflagration est un « mode de propagation autonome subsonique de la réaction dans un milieu combustible (idéalement pré-mélangé) grâce à son couplage avec les mécanismes de transport de chaleur et de matière. Le mode de déflagration est caractérisé par une diminution de la pression et de la masse volumique en même temps qu'une accélération des gaz traversant la zone de réaction ». Dans le cas d'une déflagration, les mécanismes de production et conduction de la chaleur, et de transformation et diffusion des espèces chimiques assurent la propagation de l'onde de combustion. Ceux-ci sont concentrés dans une zone mince constituant l'onde de combustion proprement dite. La vitesse de réaction chimique atteint sa vitesse maximale dans cette zone de flamme pouvant être assimilée à une discontinuité. De part et d'autre de cette zone, l'écoulement est non-réactif.

2.2.3 Phénoménologie des explosions de poussières

a) Définition d'une poussière

La poussière désigne les petites particules solides qui se déposent sous l'effet de leur poids, mais qui peuvent rester en suspension dans l'air pendant un certain temps [3]. Le temps de

suspension des particules est fonction de leur taille : plus la taille des particules est faible, plus leur vitesse de sédimentation diminue [4] et donc plus celles-ci resteront en suspension. Les vitesses de sédimentation ont été calculées essentiellement selon la loi de Stokes :

$$v = \frac{2 (\rho_p - \rho_f) g r^2}{9 \mu}$$

- v est la vitesse de sédimentation (m.s^{-1})
- ρ_p et ρ_f sont respectivement les masses volumiques de la particule et du fluide
- g est la constante de gravité terrestre (m.s^{-2}),
- r est le rayon de la particule (m)
- μ est la viscosité dynamique du fluide (Pa.s)

Selon la NFPA [5], tout solide divisé d'un diamètre inférieur ou égal à $420\mu\text{m}$ est considéré comme poussière. Le code du travail français, quant à lui, définit la poussière dans l'article R4222-3 comme étant « toute particule solide dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à $100\mu\text{m}$ ou dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 mètre par seconde ».

Une autre définition de la poussière est donnée par la BSI (British Standard Institution) qui la considère comme tout matériau finement divisé d'un diamètre inférieur ou égal à $76\mu\text{m}$. En se fondant sur des résultats expérimentaux [6], on peut considérer que la définition donnée par la NFPA est moins réductrice et probablement plus appropriée à cette thématique, puisque des explosions ont été obtenues pour des matériaux divisés d'un diamètre allant jusqu'à $500\mu\text{m}$.

b) Principe des explosions de poussières

Une explosion de poussières peut être définie comme la combustion rapide de matières inflammables organiques ou métalliques à l'état divisé, en suspension dans un milieu gazeux comburant - le plus souvent l'air. Tout matériau solide pouvant s'enflammer, dans une atmosphère propice, le fera avec d'autant plus de violence et de rapidité que le degré de subdivision du matériau augmentera à l'exclusion des nanoparticules. Si le degré de subdivision est suffisant pour que ces particules puissent être mises en suspension dans une gamme de concentrations explosives au sein

d'une atmosphère comburante, la vitesse d'oxydation du matériau sera telle que la combustion sera qualifiée d'explosion de poussières. Lorsque l'inflammation de la poussière se produit dans un espace confiné, elle s'accompagne d'effets thermiques importants mais également d'effets mécaniques qui dépendent de la surpression induite par l'explosion et de la vitesse d'augmentation de la pression. Le carburant, ou la poussière combustible, peut être n'importe quel matériau solide finement divisé (généralement en-dessous de 500 μm de diamètre) capable de réagir rapidement et de façon exothermique avec l'oxydant. la figure (2.1) représente l'hexagone d'explosion de poussière

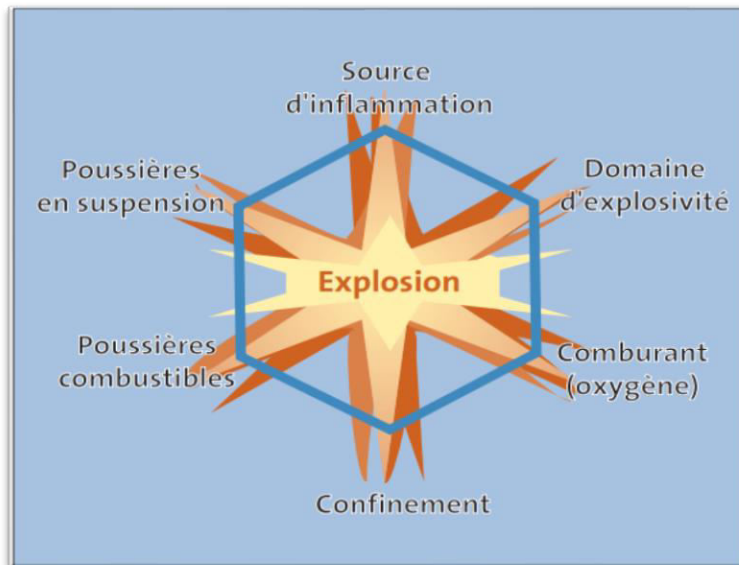


Figure 2.1 : Hexagone d'explosion de poussière

Pour que l'incendie se déclare, trois éléments doivent être réunis. Ces éléments de base du feu sont représentés par le "triangle du feu" représenté dans la figure (2.2) et comprennent la source d'ignition, le combustible et le comburant (généralement l'oxygène de l'air). Le triangle du feu est nécessaire, mais non suffisant pour conduire à une explosion de poussière.

Trois conditions supplémentaires sont, de plus, indispensables à l'obtention d'une explosion. On peut représenter ces six conditions par un hexagone (figure (2.1)). Il faut ainsi que soient mis en présence un combustible (poussière inflammable) et un comburant (oxygène de l'air par exemple), qu'ils soient intimement mélangés (formation d'un nuage ou d'une couche de poussière) dans des proportions appropriées (domaine d'explosivité LIE et LSE) et que ce

mélange, dès lors explosif, soit en contact avec une source d'inflammation suffisante dont les caractéristiques permettent l'amorçage de la flamme. La sixième condition fait référence à l'environnement de la propagation de la flamme (confinement). Toutefois, cette dernière condition n'est pas toujours nécessaire pour obtenir une explosion de poussières, des explosions de poussières en milieu non confiné ayant été observées. Il est donc désormais admis de parler de pentagone et non plus d'hexagone d'explosion. Le confinement accroît néanmoins la probabilité d'occurrence et la sévérité de l'explosion.



Figure 2.2: Le triangle de feu

c) Les grandeurs caractéristiques d'une explosion de poussière

L'évaluation des risques d'explosion de poussières dans les procédés industriels manipulant des particules solides fait intervenir les caractéristiques de la sensibilité à l'inflammation et de la sévérité à l'explosion de ces produits ; en d'autres termes, cela permet d'évaluer la probabilité d'occurrence d'un événement non souhaité (P) et la gravité (G). En général, le risque est défini par la combinaison de ces deux facteurs indépendants : $P \cdot G = \text{Risque}$

d) Sensibilité à l'inflammation

La sensibilité d'une explosion de poussières correspond au paramètre traduisant l'aptitude de la poussière à s'enflammer et se compose usuellement des trois paramètres suivants :

- La concentration minimale explosible (CME).
- L'énergie minimale d'inflammation (EMI).
- La température minimale d'inflammation en nuage (TMI).

Un indice fut proposé par le Bureau des Mines (US) dans les années 50 pour rendre compte de cette sensibilité, en se basant sur le charbon de Pittsburgh comme référence :

$$I_{Sens} = \frac{(EMI \times TMI \times CME)_{Charbon\ de\ Pittsburgh}}{(EMI \times TMI \times CME)_{Echantillon}}$$

Cette classification pédagogique proposée a été en pratique contestée depuis quelques années, car les conditions de détermination des paramètres n'étaient pas toujours bien définies et uniformisées

Remarque : pour certaines poudres, on ne peut pas calculer l'indice de sensibilité, car quelques données concernant les poudres combustibles sont introuvables (EMI ou bien la CME). Même dans les fiches données sécurité fourni pas les fournisseurs eux même.

e) Sévérité à l'explosion

La violence des explosions de poussières, quant à elle, est caractérisée par la surpression maximale d'explosion P_{max} et par la vitesse de montée en pression $(dp/dt)_{max}$ [7] ou bien (K_{st}) a l'instar des explosions de gaz, il est possible de distinguer deux régimes qui diffèrent par leur violence :

- La déflagration : l'onde de pression se déplace en avant du front de flamme à des vitesses de l'ordre de quelques mètres par seconde, responsable d'une surpression de 3 à 8 bars.
- La détonation : l'onde de choc se déplace avec le front de flamme à des vitesses très élevées ($>1000m.s^{-1}$), dont la surpression induite peut atteindre des valeurs de 20 à 30 bars.

Le régime le plus fréquent correspond à celui de la déflagration, mais dans le cas de canalisations longues ou de récipients dont le rapport longueur/diamètre est supérieur à 5, il y a un phénomène d'accélération pouvant aboutir à un régime de détonation.

A l'instar de la sensibilité, la sévérité des explosions de poussières peut elle aussi être définie en référence au charbon de Pittsburgh par combinaison de la pression maximale d'explosion P_{max} et de la vitesse maximale de montée en pression $(dP/dt)_{max}$:

$$I_{Sev} = \frac{(P_{max} \times dP/dt_{max})_{Echantillon}}{(P_{max} \times dP/dt_{max})_{Charbon\ de\ Pittsburgh}}$$

Cet indice, lui aussi, a été abandonné au profit de l'indice K_{st} que nous allons voir dans le prochain chapitre.

f) Indice d'explosion

L'indice d'explosion se définit comme le produit de l'indice de sensibilité et celui de sévérité [8]. Il sert à donner une évaluation qualitative du risque que représente la manipulation de certaines poudres :

$$I_{Explosion} = \frac{(EMI \times TMI \times CME)_{Charbon\ de\ Pittsburgh}}{(EMI \times TMI \times CME)_{Echantillon}} \times \frac{(P_{max} \times dP/dt_{max})_{Echantillon}}{(P_{max} \times dP/dt_{max})_{Charbon\ de\ Pittsburgh}}$$

La figure 2.3 représente la courbe de pression P par rapport au temps t

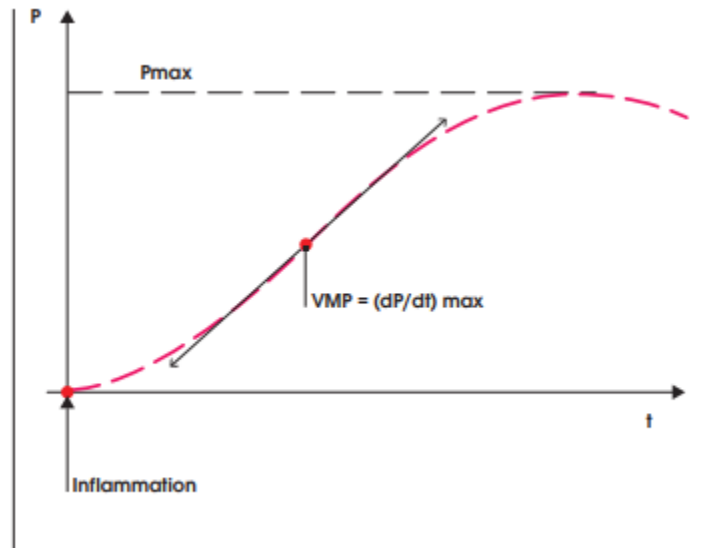


Figure 2.3 : Courbe de pression (P)/temps(t)

Cet indice permet de classer les poussières en fonction du risque représenté lors de leur manipulation. Toutefois, comme évoqué précédemment, il est très contesté depuis un certain temps car le charbon de Pittsburgh n'est pas une référence valide et absolue.

Les dangers relatifs aux explosions de poussières sont représentés dans le tableau (2.1)

Tableau 2.1 : Les dangers relatifs aux explosions de poussières

Danger relatif	Indice de sensibilité	Indice de sévérité	Indice d'explosion
faible	< 0,2	< 0,5	< 0,1
modéré	0,2 à 1	0,5 à 1	0,1 à 1
élevé	1 à 5	1 à 2	1 à 10
sévère	> 5	> 2	> 10

2.2.4. Phénoménologie d'explosion de gaz

Appelée aussi explosion d'atmosphère, c'est la combustion, en milieu confiné, d'un mélange préformé d'un gaz ou d'une vapeur combustible avec l'air. Une explosion de gaz est un accident qui se produit lorsque le mélange carburant-comburant se situe dans les limites d'explosivité dans l'air à la présence d'une source d'ignition. La théorie des explosions chimiques gazeuses distingue les phénomènes Homogènes et hétérogènes.

- Explosion chimique homogène : la réaction de combustion est instantanée, Elle affecte presque totalité de la masse combustible dont chaque fraction est à la même température. Hors des limites du laboratoire, les explosions homogènes sont rares : il est impossible de constituer un système chimique dont les composants s'enflamment simultanément.
- Explosion chimique hétérogène : l'explosion débute en un point du confinement refermant le mélange combustible, à l'endroit où se manifeste l'énergie d'activation, elle se propage dans un milieu de faible épaisseur qui contient la flamme. Il est alors possible de distinguer trois zones :
 - ✓ La zone de réaction, de quelques dixièmes de millimètres d'épaisseur, dans laquelle se produit la combustion du gaz ou du vapeur mêlé à l'air.

- ✓ La zone en amont du milieu réactionnel qui contient les réactants, le mélange homogène combustible et comburant.
- ✓ La zone en aval qui contient les gaz de combustion portés à température élevée.

❖ **Explosion en milieu condensé**

La réaction de l'explosif condensé se propage sans apport d'oxygène emprunté au milieu ambiant. Elle se définit comme décomposition chimique auto propulsive rapide produisant une grande quantité de chaleur et de produit gazeux.

❖ **Les gaz inflammables**

Un gaz inflammable est un gaz ou un mélange de gaz ayant un domaine d'inflammabilité en mélange avec l'air à 20 °C et à une pression normale de 101.3 kPa.

❖ **Classification**

Substances ou mélanges classés comme gaz inflammables sur la base de :

- La valeur de leur limite inférieure d'explosivité (LIE).
- L'étendue de leur domaine d'explosivité.

❖ **Quelques exemples des gaz inflammables**

L'acétylène, l'ammoniac, l'hydrogène, le propane, le propylène, et le méthane sont tous des gaz inflammables, également connus sous le nom de gaz combustibles. Ils brûlent quand mélangés à un oxydant et avec une source d'allumage. La figure (2.4) montre les limites de concentration de combustion pour une atmosphère d'air. Les barres orange montrent la fourchette de pourcentage pour lesquels il y a un risque particulier d'allumage ou d'explosion pour les gaz inflammables.

2.2.5. Différence entre les explosions de gaz et de poussières

Avant d'analyser les différences qui existent entre les explosions de gaz et les explosions de poussières, il est bon de montrer que ces deux types d'explosions présentent néanmoins certaines propriétés de combustion similaires. C'est à partir de ces similarités que certains principes de sécurité concernant les explosions de poussières ont été établis. Les paramètres utilisés pour la combustion des mélanges gazeux qui le sont également pour les poussières sont les suivants :

- les limites d'inflammabilité et d'explosivité ;
- les vitesses fondamentales de flammes laminaires et les distances de coincement ;
- la réponse de la vitesse de flamme à la turbulence ;
- le phénomène de détonation ;
- les pressions obtenues pour des explosions adiabatiques à volume constant sont du même ordre que celles obtenues avec une explosion de gaz ;
- les énergies minimales d'inflammation ; les températures minimales d'inflammation pour des conditions expérimentales données. Cependant, il existe deux différences fondamentales entre ces deux types de combustion qui sont d'une importance capitale pour la création de moyens de prévention et de sécurité. Tout d'abord, les poussières diffèrent énormément des gaz pour les mécanismes de fabrication, d'entretien et de migration des nuages explosifs si bien qu'une situation où un nuage de gaz (vapeur) provoquerait une explosion, il serait fort improbable qu'un nuage de poussières puisse également provoquer une explosion. Ceci est dû à la différence qu'il existe entre la dynamique des gaz et la dynamique des particules solides. En effet, quand un combustible gazeux est introduit de manière homogène dans l'air, le mélange obtenu, dans une grande majorité de cas, va rester homogène de par le mouvement brownien des molécules. A l'inverse, dans les nuages de poussières, la taille des poussières combustibles (1-100 μm) est supérieure à celle des molécules d'air et donc leur mouvement va être contrôlé par les forces inertielles y compris la gravité plutôt que par le mouvement brownien des particules. De plus, là où les collisions entre molécules de gaz sont élastiques, les collisions entre particules de poussières dans un nuage peuvent conduire à une agglomération de ces particules.

La deuxième différence fondamentale est le domaine de concentration de combustion. En effet, pour qu'un mélange de gaz s'enflamme, la quantité de combustible doit être comprise entre les LII et LSI alors que pour la propagation d'une flamme dans un nuage de poussières, ce paramètre même existant n'est pas forcément limitant. Les couches stagnantes/dépôts constituent un régime de propagation supplémentaire à la flamme car contrairement aux combustibles gazeux et liquides, les poussières déposées au sol contiendront forcément de l'air dans les vides entre les particules. Ceci offre donc à la flamme une possibilité de se propager de manière extrêmement lente mais sans explosion de poussières.

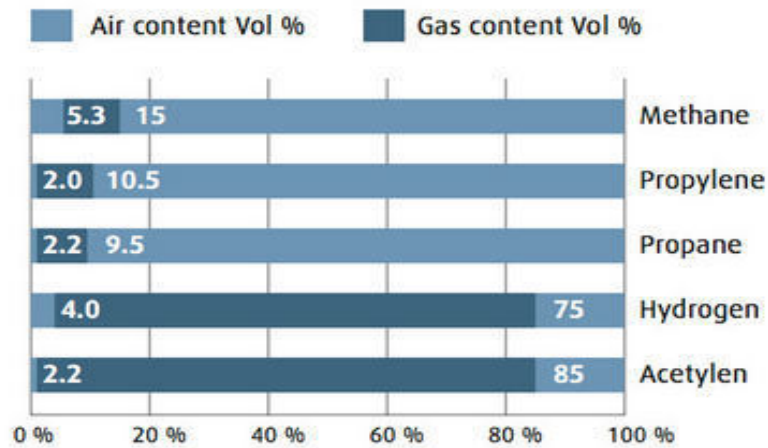


Figure 2.4 : Les limites d'inflammabilité de certains gaz combustible

2.3.Aspect réglementaire et normatif

2.3.1. Contexte réglementaire

La réglementation algérienne définit toutes les mesures, dispositions et obligations relatives à la gestion des risques d'explosion, et en l'occurrence les explosions de poussières en classifiant les substances explosibles selon leur état physique.

Ces textes sont applicables aux installations à haut risque industriel, dans le but d'imposer la réalisation, par l'industriel à l'origine du risque et sous sa responsabilité, d'une démarche réductrice.

Loi N° 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes : Dicte les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Ces règles ont pour fondement les principes : de précaution et de prudence, de concomitance, d'action préventive et de correction par priorité à la source, de participation et enfin d'intégration des techniques nouvelles ;

Décret exécutif N° 98-339 du 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature : Définit la réglementation applicable aux installations et établissements classés pour la protection de l'environnement qua pour objet de définir les régimes d'autorisation et de déclaration d'exploitation des établissements classés.

Décret présidentiel N° 90-198 du 30 juin 1990 portant réglementation des substances explosives : Règlements la recherche, la production, la conservation, la commercialisation, le transport et l'emploi des substances explosives (notamment les poudres explosives), avec diverses dispositions concernant la sécurité du personnel y prenant part ;

Arrêté interministériel du 10 août 1993 portant conditions d'isolement des établissements de production ou de conservation des substances explosives : Règlements les conditions d'implantation des établissements de production ou de conservation des substances explosives, ainsi que le classement des matières et substances explosibles visées par l'article 3 du Décret 90-198.

2.3.2. Normes et directives

Après plusieurs évolutions et améliorations entreprises par l'union européenne en matière de gestion des risques relative aux ATEX, deux directives sont actuellement appliquées. L'une traite des appareils et des systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives, et l'autre concerne les améliorations de la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives.

Ces deux directives considérées comme référence incontournable pour les ATEX, sont soutenues par plusieurs normes d'harmonisation technique visant à définir une méthodologie standardisée pour la classification des zones et la mise en place de moyens de prévention et de protection.

Directive 1999/92/CE

Adoptée le 16 décembre 1999, elle concerne les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque ATEX.

Cette directive impose aux employeurs l'évaluation des risques d'explosion en tenant compte de la probabilité d'occurrence d'atmosphères explosibles, de la probabilité d'apparition des sources d'inflammation, des substances explosibles utilisées, des procédés et de leurs interactions éventuelles dès l'installation des équipements et enfin de l'étendue des conséquences prévisibles [10]

Si la nature des opérations ne permet pas d'empêcher la formation d'atmosphères explosives, une analyse des risques doit être réalisée et des mesures doivent être prises pour prévenir l'inflammation d'atmosphères explosives. Pour ce faire il faut :

- Identifier les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se former ;
- Identifier les sources d'inflammation possibles ;
- Assurer que les sources d'inflammation identifiées ne seront pas opérationnelles lorsqu'une atmosphère inflammable est présente ;

S'il existe une probabilité de présence simultanée d'une atmosphère inflammable et d'une source d'inflammation, on doit :

- Mettre en place les actions appropriées en vue d'atténuer les effets nuisibles d'une explosion dans l'intérêt de la santé et de la sécurité des travailleurs.

La conformité à cette directive, implique généralement la considération des normes suivantes :

- **EN 1127-1** : Donne une liste exhaustive des sources d'ignition par secteur d'activité et traite des mesures de prévention de l'explosion et protection contre les atmosphères explosives.
- **EN 60079-10-2** : Traite de l'identification et de la classification des emplacements où des atmosphères explosives poussiéreuses et des couches de poussières combustibles sont présentes, afin de permettre une évaluation appropriée des sources d'inflammation à utiliser dans de tels emplacements.

Directive 2014/34/CE

Cette directive permet la gestion des appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible

Elle prévoit de classer les appareils utilisés en zone ATEX en deux groupes :

- Groupe I : Appareils destinés aux travaux souterrains des mines ;
- Groupe II : Appareils destinés aux industries de surface.

En fonction de l'utilisation des appareils, ces groupes sont divisés en plusieurs catégories :

- Catégorie 1 : appareils conçus pour assurer un très haut niveau de protection ;
- Catégorie 2 : appareils conçus pour assurer un haut niveau de protection ;

- Catégorie 3 (concerne le groupe II uniquement) : appareils conçus pour assurer un niveau normal de protection ;

2.4. Démarche appliquée au zonage

2.4.1. Introduction

Dans notre démarche on va se baser et se référer à la norme internationale CEI (commission électrotechnique internationale) pour la classification des emplacements, atmosphères explosives gazeuses et au réglementation française et européenne pour les atmosphères explosives poussiéreuses.

Le choix est scindé sur la disponibilité et la facilité que la règlementation et la norme servent.

On a opté à utiliser les réglementations et la norme au même temps pour que notre étude et évaluation soient complètes.

2.4.2. Déroulement de la démarche

La démarche qu'on a adoptée va être appliquée pour tous les emplacements qui peuvent donner lieu à une atmosphère explosive du gaz ou de poussière au sein de l'entreprise Danone Djurdjura. La démarche englobe les étapes suivantes :

- Faire l'inventaire des produits.
- Analyser les procédés de mise en œuvre.
- Étudier les dysfonctionnements potentiels.
- Evaluation des risques.
- Proposer des mesures de prévention et de protection.

a. Faire l'inventaire des produits

La première étape dans notre étude consiste à faire l'inventaire des produits présents dans le local/atelier étudiée. Et pour se faire il faut :

- Établir la liste des produits combustibles.
- Étudier leur nature : (liquide, gazeuse, pulvérulente).
- Connaître leurs caractéristiques physico-chimiques (Tableau (2.2)).

Cette étape a pour but de recenser tous les produits pouvant dégager des vapeurs inflammables ou présenter de la mise en suspension de poussières combustibles présents sur le site et les zones de stockages et/ou process employant ces produits.

Les limites inférieures et supérieures d'inflammabilité (LII et LSI) définissent le domaine d'explosivité. Pour cette raison, dans la pratique, elles sont souvent désignées comme les limites inférieure et supérieure d'explosivité (LIE et LSE). Pour les poussières, la LIE est assimilée à la CME. En revanche, la LSE est moins bien définie et rarement mesurée (trop grandes quantités dans l'air, de 1 à 3 kg.m⁻³).

b. Analyser les procédés de mise en œuvre

Il convient de décrire le fonctionnement normal des installations en recueillant l'ensemble des données le concernant. A partir de la description des équipements utilisés, il importe de tenir compte des produits utilisés, des conditions de température, de pression, des réactions exothermiques, des produits de décomposition, des conditions de refroidissement, des systèmes de ventilation...etc.

Chaque installation de travail (silos, broyeurs, circuits de dépoussiérage, circuits de transfert, dépotage...) doit faire l'objet d'une étude qui tiendra compte des différentes conditions de fonctionnement

Tableau 2.2 : Les propriétés physico chimiques nécessaires

Les gaz	Les poudres
Point d'éclair	Energie minimale inflammation
Température d'auto inflammation	Température minimale d'inflammation
Densité relative de vapeur /air	Pression maximale d'explosion
Limite inférieure d'explosivité	Vitesse maximale de montée en pression
Limite supérieure d'explosivité	La classe
Energie minimale inflammation	Concentration minimale d'explosivité

c. Étudier les dysfonctionnements potentiels

On s'attachera à analyser, en particulier, les types de dysfonctionnements raisonnablement envisageables. Ce seront, par exemple, les arrêts du système de ventilation ou de refroidissement, les fuites de Produits, les pannes prévisibles, les arrêts accidentels d'alimentation en produits...etc.

Pour les établir, on pourra également lister les sources de dysfonctionnements liées au facteur humain, telles que :

- Process théorique de production ne pouvant être respecté vu les sollicitations et les contraintes (déplacements, tâches annexes plus longues que la tâche principale...),

- Consigne non applicable (surtout en cas d'anomalie) ou non réellement appliquée,
- Comportement du salarié en cas d'anomalie (le risque est d'autant plus important que le délai de réalisation est court),

Tous ces facteurs peuvent être aggravés par le statut des salariés (salariés en contrat précaire ne connaissant pas l'entreprise, salariés remplaçants au poste...),

Une analyse des modes de défaillance AMDEC peut faciliter la tâche dans le cas d'un system qui possède plusieurs sous-systèmes,

- d. Evaluation des risques :** L'évaluation des risques dans les zones ATEX est la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation

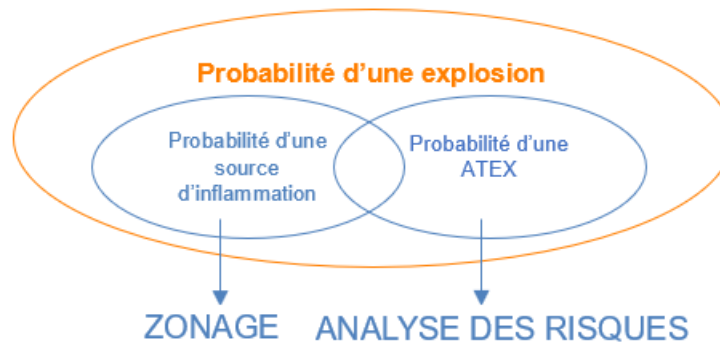


Figure 2.5 : Schéma de probabilité d'une explosion dans une atmosphère ATEX

➤ **Identification des sources d'inflammation potentielle :**

Une source d'inflammation est une source d'énergie susceptible d'enflammer une atmosphère explosive. Les sources d'inflammation diffèrent par leur énergie (leur capacité d'inflammation). Les atmosphères explosives diffèrent, quant à elles, par leur inflammabilité. Il existe de multiples sources d'inflammation. Une source d'inflammation est dite active, en relation avec une atmosphère explosive donnée, lorsqu'elle présente une énergie suffisante pour enflammer cette atmosphère explosive. Les sources d'inflammation les plus courantes peuvent être classées en trois grandes catégories : flammes nues, étincelles et surfaces chaudes. En pratique, les sources d'inflammation sont principalement les suivantes :

- Surfaces chaudes,
- flammes nues,
- feux couverts,
- étincelles mécanique,
- équipements/matériels électriques,
- électricité statique,
- foudre,

Selon les procédés mis en œuvre, les sources d'inflammation suivantes peuvent également être présentes sur certains sites :

- courants vagabonds,
- protection cathodique contre la corrosion,
- ondes électromagnétiques de fréquence comprise entre 10^4 Hz et 3×10^{12} Hz (haute fréquence),
- ondes électromagnétiques de fréquence comprise entre 3×10^{11} Hz et 3×10^{15} Hz (domaine spectral),
- rayonnements ionisants,
- ultrasons,
- compression adiabatique,
- ondes de choc,
- réactions chimiques exothermiques,

Dans chaque zone identifiée dans le zonage, on doit se poser la question des sources d'inflammation pouvant engendrer une explosion.

Quatre types de sources d'inflammation :

- ❖ Sources d'inflammation liées aux **process** (machines) ;
- ❖ Sources d'inflammation liées aux **lieux de travail** (bâtiments et installations fixes) ;
- ❖ Sources d'inflammation liées aux **interventions humaines** ;
- ❖ Sources d'inflammation liées aux **équipements** ;

Probabilité de source d'inflammation :

La probabilité d'apparition d'une source d'inflammation est définie selon les 4 niveaux suivants :

- ✓ **Probabilité 4** : source présente constamment ou fréquemment (four).
- ✓ **Probabilité 3** : pas présente constamment ou fréquemment (électricité statique, point chaud lié à un véhicule, choc métal/métal).
- ✓ **Probabilité 2** : présente dans des circonstances rares (le foudre).
- ✓ **Probabilité 1** : présente dans des circonstances très rares (défaillance sur un équipement).

La matrice de probabilité d'une explosion : la matrice extrait de la réglementation européenne nous donne probabilité d'explosion d'une atmosphère explosive.

		Type de zone			
		NC	2	1	0
Probabilité de source d'inflammation	4	0	1	2	3
	3	0	0	1	2
	2	0	0	0	1
	1	0	0	0	0

Figure 2.6 : La matrice d'évaluation du risque d'explosion ATEX

Probabilité d'une explosion :

Les seuils retenus pour quantifier le risque d'apparition d'une explosion sont les suivants :

Niveau 3 : explosion très probable.

Niveau 2 : explosion probable.

Niveau 1 : explosion peu probable.

Niveau 0 : explosion improbable.

Si la probabilité est supérieure à 0, des mesures compensatoires sont prises.

➤ *Identification de l'atmosphère explosive potentielle (zonage) :*

Le zonage des classifications des emplacements, atmosphères explosives gazeuses

Identification des sources de dégagement :

Elles sont listées lors du recensement de produits et sont séparées en 2 types :

- **Stockage** (bidons, cuves, bouteilles de gaz ...).
- **Process** (cabines peintures, chaufferies, distribution de carburant, soutirage de peinture).

Quantification du degré de dégagement :

Probabilité de présence d'une atmosphère explosive gazeuse (dégagement susceptible ou non de se produire en fonctionnement normal).

La norme EN 60079-10 : 2003 définit 3 degrés de dégagement :

- **Continu** : dégagement qui se produit en permanence ou pendant de longues périodes (par exemple depuis une cuve ouverte).
- **Premier** : dégagement périodique en fonctionnement normal (par exemple ouverture d'une cuve pour remplissage).
- **Second** : dégagement dont on ne s'attend pas à ce qu'il se produise en fonctionnement normal (par exemple, fuite sur une cuve).

Ne sont pas considérées comme des sources de dégagement :

- Les stockages en fûts rigides fermés **NEUFS**.
- Les canalisations **soudées**.

Quantification du degré de ventilation :

Caractérise l'aptitude de la ventilation à diluer un dégagement de gaz ou vapeurs inflammables.

Il existe 3 degrés définis par la norme EN 60079-10 : 2003 :

- **Ventilation forte** : ventilation pouvant diluer les vapeurs afin que la concentration à la source soit inférieure à la LIE.
- **Ventilation moyenne** : ventilation pouvant maîtriser la concentration dans un local mais pas directement à la source. Ventilation permettant que la zone ne persiste pas après la fin du dégagement.
- **Ventilation faible** : ventilation ne permettant pas de maîtriser la concentration pendant le dégagement et n'empêchant pas la zone de persister après la fin du dégagement.

Quantification de la disponibilité de la ventilation :

Caractérise la **fiabilité** de la ventilation.

Pour une **ventilation forcée**, 3 niveaux de disponibilités sont définis par la norme NF EN 60079-10 :

- **Bon** : la ventilation existe en permanence. Exemple : asservissement.
- **Assez bon** : la ventilation existe de façon presque permanente. Il existe un moyen de se rendre compte que la ventilation s'est arrêtée. Exemple : alarme.
- **Médiocre** : si la ventilation s'arrête, il n'y a aucun moyen de le savoir.

Cas de la **ventilation naturelle** :

- **En extérieur** : on qualifie la ventilation de **degré moyen** et **disponibilité bonne**
- **Dans un local** :
 - Si la ventilation est bien dimensionnée (bonne taille et position des ouvertures, pas d'obstacle...) : degré moyen et disponibilité bonne.
 - S'il existe une ventilation mais qu'elle n'est pas bien placée ou qu'un obstacle peut boucher les ouvertures : degré moyen et disponibilité assez bonne.
 - S'il n'y a pas de ventilation : degré faible et disponibilité médiocre.

La figure (2.7) récapitule les étapes à suivre pour classifier les emplacements d'atmosphère explosive gazeux :

La figure (2.8) récapitule comment attribuer le degré et la disponibilité de ventilation pour chaque local :

Après avoir déterminé les sources, le degré de dégagement, la disponibilité et le degré de ventilation, le classement des zones est donné dans le tableau (2.3) :

- 1 Identifier les **matières inflammables** présentes sur le site
- 2 Identifier les **sources de dégagement**
- 3 Quantifier le dégagement en termes de **degré**
- 4 Quantifie le **degré de ventilation** (aptitude à diluer) et la **disponibilité de la ventilation** (fiabilité) (gaz uniquement)
- 5 Caractériser le type et l'étendue de la zone

Figure 2.7 : Classification des emplacements d'atmosphère explosive gazeux

		Type	Degré		Disponibilité			
Ventilation	→ Extérieure	→ Naturelle	→ Source de dégagement sans obstacle	Moyen	Assez Bonne			
			→ Source de dégagement avec obstacle	Faible	Médiocre			
		→ Artificielle	→ Aspiration permettant de réduire la concentration à la source de dégagement de façon pratiquement instantanée	Fort	→ avec GES*	Bonne		
					→ sans GES	Assez Bonne		
	→ Intérieure	→ Naturelle	→ Bâtiment ouvert en permanence exemple : auvents	Moyen	Bonne Assez bonne Médiocre			
			→ Bâtiment avec aération basse et haute et non-obturable bien dimensionnée	Moyen				
			→ Bâtiment avec faible aération	Faible				
		→ Artificielle	→ Extraction bien dimensionnée	Fort			→ avec GES	Bonne
							→ sans GES	Médiocre
			→ Extraction insuffisante	Faible			→ avec GES	Bonne
			→ sans GES	Médiocre				

Figure 2.8 : Qualification du degré et de la disponibilité de la ventilation

Tableau 2.3 : Classement *fondamental* de zone vapeur selon la norme EN60079-10

Degré de dégagement	Degré de ventilation						
	Haut			Moyen			Faible
	Disponibilité de ventilation						
	Bon	Assez bon	Médiocre	Bon	Assez bon	Médiocre	Bon, assez bon ou médiocre
Continu	(zone 0 EN) zone non dangereuse	(zone 0 EN) Zone 2	(zone 0 EN) Zone 1	zone 0	zone 0 + zone 2	zone 0 + zone 1	zone 0
Premier	(zone 1 EN) zone non dangereuse	(zone 1 EN) Zone 2	(zone 1 EN) Zone 2	zone 1	zone 1 + zone 2	zone 1 + zone 2	zone 1 ou zone 0
Deuxième	(zone 2 EN) zone non dangereuse	(zone 2 EN) zone non dangereuse	zone 2	zone 2	zone 2	zone 2	zone 1 et même zone 0

- on présume un niveau de ventilation naturelle moyen
- pour les sources de dégagement à l'extérieure, en plein air, on présume une disponibilité de ventilation naturelle assez bon
- pour les sources de dégagement à l'intérieure, dans un bâtiment muni des ouvertures nécessaires de ventilation, on présume une disponibilité de ventilation naturelle médiocre
- les cases sur fond gris tombent hors des options prises, dans le cadre de ce document on tient uniquement compte avec les cases non hachurées

Le zonage des classifications des emplacements, atmosphères explosives poussiéreuses

On distingue 3 types de zones pour les emplacements où une atmosphère explosive de poussière peut de présenter

Zone 20 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est présente dans l'air en permanence, pendant de longue Périodes ou fréquemment.

Zone 21 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.

Zone 22 : emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou n'est que de courte durée, s'il advient qu'elle se présente néanmoins.

Le classement fondamental des zones de poussière est donné dans le tableau (2.5) :

Tableau 2.5 : Classement fondamental de zone poussière selon la norme (CEI 61241-10)

Nature de l'émission	Nuages des poussières	Couches de poussières d'épaisseur maîtrisée	
		souvent perturbée	rarement perturbée
Permanente en fonctionnement normal	20	21	22
Occasionnelle en fonctionnement normal	21	21	22
Accidentelle	22	21	22

Délimitation des zones à risque :

La délimitation des zones à risque d'explosion dans les locaux/installations est nécessaire afin de limiter le volume à risque. Cependant cette délimitation répond à double objectif :

- Limiter l'étendue de ces zones
- Mettre en place et utiliser un matériel adapté au risque de la zone considéré, surtout afin d'éviter l'inflammation du mélange

Les emplacements où des atmosphères explosives sont susceptibles de se présenter sont signalés, au niveau de leurs accès respectifs, par le panneau d'avertissement donné par la figure (2.9) :



Figure 2.9 : Panneau d'avertissement ATEX

La détermination des zones et leur délimitation est basée sur :

- 1- Soit des calculs : pour les installations à l'extérieurs on peut utiliser la formule donnée à l'art. 6.1.5.3 (Cas des gaz seulement) Qui est basée sur la norme CEI 60079-10-1 suivante :

$$r = \sqrt[2]{\frac{f \cdot P \cdot V}{2 \cdot t \cdot k \cdot LIE \cdot v_v}}$$

Avec :

r : rayon de la sphère représentant le volume explosible à la limite inférieure d'explosivité

P : pression relative du gaz lors du dégagement (bar)

V : volume de gaz dégagé à la température ambiante et à la pression P (m³)

t : temps de dégagement (s)

f : facteur issu de la norme CEI 60079-10-1 décrivant l'efficacité de la ventilation

vv : vitesse de vent

k : coefficient de sécurité

Cette formule peut être appliquée pour déterminer les distances de sécurité, tant pour les dégagements courts, que les dégagements longs et les dégagements à débit constant :

- 2- Soit des mesures ;
- 3- Soit par l'expérience ;
- 4- Soit une combinaison des critères repris ci- dessus ;

Parmi les différents facteurs à prendre en considération pour la délimitation des zones, on retiendra principalement :

- **Le procédé**
- **Les produits**
- **Les équipements**

Il est nécessaire de prendre en compte non seulement les appareils de fabrication et de stockage mais aussi le matériel annexe tels que les équipements de transport et de manutention. On s'attachera à analyser, en particulier, les types de dysfonctionnements raisonnablement envisageables.

- **Les procédures de travail**

Chaque situation devra nécessiter une étude particulière. Il sera impératif d'établir des mesures organisationnelles précises (maintenance, fréquence de nettoyage...).

- **Les conditions d'implantation**

La délimitation des zones doit être effectuée dans l'espace et non en plan, en tenant compte notamment :

- du volume et de la géométrie des installations.
- de la géométrie des ateliers.
- de la ventilation existante.
- de l'implantation et de la nature des équipements.

- des conditions et des modes de fonctionnement

- **Les sources d'émission.**

- **Déterminer la fréquence d'apparition d'atmosphère explosive**

Lorsque les sources d'émission dans le processus ont été identifiées, il est important de déterminer la fréquence voire la durée du dégagement de poussières qui peut avoir lieu ainsi que le caractère normal ou accidentel de cette formation d'atmosphère explosive.

- **Les couches de poussières** dans les cas des poussières Il ne faut en aucun cas omettre d'identifier la possibilité de formation de couches de poussières potentiellement dangereuses. Une couche de poussières est fréquemment suffisante pour créer des mélanges explosifs air/poussières Il importe également de prendre en compte le fait qu'avec le temps des couches de poussières dangereuses peuvent se former à partir de nuages de poussières très dilués. Les couches, dépôts et tas de poussières combustibles doivent donc être traités comme une source susceptible de former une atmosphère explosive. Il faut également prendre en compte les mécanismes possibles de mise en suspension des dépôts de poussières à l'intérieur et à l'extérieur des appareils. Ce ne sera qu'après avoir suivi toutes ces étapes qu'un classement pertinent des zones pourra être réalisé.

E. de prévention et de protection :

Cette démarche est détaillée dans le chapitre 5.

2.5. Les méthodes d'analyse de risques utilisées

On a opté a utilisé trois méthodes d'analyse de risques dans ce présent mémoire à savoir :

- L'analyse préliminaire des risques.

- L'analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

- L'arbre de défaillance.

On a choisi ces méthodes car ils sont les plus utilisées dans l'études d'évaluation et de maitrise des risques ATEX.

2.5.1. L'analyse préliminaire des risques

Définition

Selon la norme CEI-300-3-9 (CEI 300-3-9, 1995), l'analyse préliminaire des risques (APR) « est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité ».

Objectif

L'analyse préliminaire des risques (APR) est une méthode d'identification et d'évaluation des risques au stade initial de la conception d'un système. À partir de l'ensemble des dangers auxquels le système est susceptible d'être exposé tout au long de sa mission, l'APR a pour objectif : l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation et la maîtrise des risques qui en résultent. Elle peut être aussi utilisée avec profit pendant toute la durée de vie de ce système.

Critères d'évaluation

Pour l'évaluation de la criticité des risques, on utilise les grilles des probabilités d'occurrence (tableau (2.6)) et de la gravité (tableau (2.7)), qui ont été des grilles utilisées par les experts du domaine et validées par les encadreurs pédagogiques et de l'entreprise.

Tableau 2.6 : Echelle de probabilité de l'APR

Probabilité	
Niveau	Echelle quantitative
5	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives. (De l'ordre de $P > 10^{-2}$)
4	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations. ($10^{-3} < P < 10^{-2}$)
3	Improbable Évènement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial sans que d'éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité. ($10^{-4} < P < 10^{-3}$)
2	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ($10^{-5} < P < 10^{-4}$)
1	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial (de l'ordre de $< 10^{-5}$)

Tableau 2.7 : Echelle de gravité de l'APR

Gravité			
Niveau	Cibles humaines	Cibles environnementales	Dommages matériels
1	Modéré. Pas de zone de létalité hors de l'établissement	Aucune atteinte significative de l'environnement.	Moins de 0.3 M €
2	Sérieux, Au plus une personne exposée	Dégradation de l'environnement ne nécessitant pas la mise en place d'une remédiation sans atteinte des espèces protégées.	Entre 0.3 M € et 3 M €
3	Important, Entre 1 et 10 personnes exposées	Dégradation de l'environnement nécessitant la mise en place d'une remédiation sans atteinte des espèces protégées.	Entre 3 M € et 30 M €
4	Catastrophique. Entre 10 et 100 personnes exposées	Atteinte des espèces protégées.	Entre 300M € et 3000 M €
5	Désastreux. Plus de 100 personnes exposées	Atteinte grave à l'environnement avec effets irréversibles nécessitant de lourdes mesures de remise en état.	3000 M € et plus

Matrice de criticité : de la combinaison de la probabilité et de la gravité on obtient la matrice de criticité qui hiérarchise les risques (Tableau (2.9))

Synthèse de l'APR et recommandations

Elle peut être présentée sous forme d'un tableau général qui permet de visualiser facilement les résultats de la méthode, ce dernier doit être adapté à l'installation et à la matrice utilisée. Proposer des recommandations dans le but de réduire le niveau de risque. Le tableau type qu'on a utilisé est adapté à notre installation (tableau (2.8)).

Tableau 2.8 : Tableau type, utilisé pour l'APR

Sous système													
Phase opératoire /équipement	Evènement redouté	Causes (événements initiateurs)	Conséquences	F	G	C	Mesures de prévention	F'	Mesures de protections	G'	C'	Repère n°2019	Remarques

Tableau 2.9: La matrice de criticité des risques

		Probabilité				
		1	2	3	4	5
Gravité	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

2.5.2. L'arbre de défaillance Add

Définition

Un arbre de défaillances ou ADD (aussi appelé arbre de pannes ou arbre de fautes) est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques (un système statique est un système dont la défaillance ne dépend pas de l'ordre de défaillance de ses composants). Cette méthode consiste à représenter graphiquement les combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini. Une telle représentation graphique met donc en évidence les relations de cause à effet. Cette technique est complétée par un traitement mathématique qui permet la combinaison de défaillances simples ainsi que de leur probabilité d'apparition. Elle permet ainsi de quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable, également appelé « événement redouté ».

Analyse de l'Add

L'analyse de l'Add est surtout basée sur le concept de coupe minimale. Une coupe minimale représente la plus petite combinaison (intersection du point de vue logique) d'évènements de base pouvant conduire à l'événement indésirable. On appelle ordre d'une coupe

le nombre d'événements qui figurent dans la coupe. L'analyse de l'arbre comprend une analyse qualitative puis éventuellement une analyse quantitative.

2.5.3. Analyse de mode défaillance et leur effet criticité (AMDEC)

Définition :

L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et criticité (AMDEC) est une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système.

L'analyse est organisée autour des modes de défaillance, qui relie la cause et les effets des défaillances.

Domaine d'application

La méthode est utilisée dans les industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique et même en service

Terminologie

Plusieurs terminologies sont utilisées dans l'AMDEC, il faut donc en premier lieu les définir pour bien comprendre la méthode et ensuite l'appliquer correctement. Défaillance : Perte de l'aptitude à accomplir une fonction requise pour une entité donnée. Peut-être partielle si la fonction n'est pas accomplie convenablement, ou totale si la fonction n'est pas du tout accomplie. Mode de défaillance : décrit la façon dans laquelle un produit ou un procédé pourrait échouer dans l'exécution de sa fonction première. Il existe plusieurs modes de défaillance, on va citer les plus connues et utilisés dans le tableau (2.10)

Tableau 2.10 : Modes de défaillances les plus répandus [selon l'AFNOR]

Modes de défaillances	
1. Défaillance structurelle	17. Ecoulement réduit
2. Blocage physique ou coincement	18. Mise en marche erronée
3. Vibration	19. Ne s'arrête pas
4. Ne reste pas en position	20. Ne démarre pas
5. Ne s'ouvre pas	21. Ne commute pas
6. Ne se ferme pas	22. Fonctionnement prématuré
7. Défaillance en position ouverte	23. Fonctionnement après le délai prévu
8. Défaillance en position fermé	24. Entrée erronée (augmentation)
9. Fuite interne	25. Entrée erronée (diminution)
10. Fuite externe	26. Sortie erronée (augmentation)
11. Dépasse la limite supérieure tolérée	27. Sortie erronée (diminution)
12. Est au-dessous de la limite inférieure tolérée	28. Perte de l'entrée
13. Fonctionnement intempestif	29. Perte de la sortie
14. Fonctionnement intermittent	30. Court-circuit (électrique)
15. Fonctionnement irrégulier	31. Court ouvert (électrique)
16. Indication erronée	32. Fuite (électrique)

Causes de défaillance : Circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance à travers un mode de défaillance.

Effets de défaillance : Réponse du système au mode de défaillance de l'équipement, ou conséquence défavorable que subit le système.

Criticité de défaillance : produit entre la gravité des effets et la fréquence d'apparition du mode de défaillance.

Objectif

Le but d'une AMDEC est d'identifier les points critiques d'un système, évaluer leurs impacts ou criticités afin de les éliminer.

Néanmoins, l'intérêt de la méthode tend à en généraliser l'emploi à tous types de risques : risques liés à la conception d'un projet/ produit, à la mise en place d'un processus, à la sécurité de l'entreprise ...etc.

2.6. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis en premier lieu de bien caractériser le phénomène d'explosion de poussière et de gaz. En deuxième lieu on s'est familiarisé avec l'aspect réglementaire, normatif lié aux explosions ATEX et à la fin de définir la démarche de zonage que nous allons appliquer dans les chapitres suivants.

Chapitre 3 : Accidentologie et retour d'expérience

3.1. Introduction

Si les explosions représentent un faible nombre d'accidents du travail, leur gravité est souvent supérieure à celle d'autres accidents du travail, pouvant aller jusqu'au décès de la personne accidentée. Selon les statistiques de la direction des risques professionnels de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS), par an, on dénombre en moyenne, sur les dix dernières années, 150 accidents ayant engendré un arrêt de travail dont 25 accidents graves (impliquant une incapacité permanente) et 4 décès.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'industrie agroalimentaire ainsi que les risques d'explosion associé à cette dernière. Nous montrons les statistiques relatives aux accidents et une analyse du retour d'expérience qui représente un outil incontournable pour apprécier le risque d'explosion d'atmosphère.

3.2. L'industrie agroalimentaire et le risque d'explosion d'atmosphère

De nombreux produits mis en œuvre dans l'industrie agro-alimentaire, qu'ils soient sous forme de poudres ou de liquides, sont combustibles ou inflammables et parfois explosifs en nuage. Leur danger intrinsèque est souvent négligé car on ne suspecte pas toujours que de tels produits puissent être explosifs. Les statistiques d'accidents montrent d'ailleurs une forte contribution, de ce secteur industriel notamment vis-à-vis des explosions

3.3. Le Retour d'expérience

Le retour d'expérience est considéré comme un outil incontournable de la maîtrise des risques industriels. Le retour d'expérience (REX) permet de formaliser les sources de connaissances, en l'occurrence : les secteurs d'activités les plus touchés, la fréquence des accidents, l'origine des dysfonctionnements menant à l'accident... etc. tout cela en faisant ressortir et en capitalisant l'expérience du terrain, utile à l'analyse de risques.

L'objectif d'exploration de base de données REX en matière d'explosion de poussière est de gaz est de faire ressortir d'une part les secteurs d'activités et d'autre part le type d'installations les plus concernés et les causes d'accident tout en mettant en évidence les conséquences humaines et/ou matérielles de ces explosions.

3.3.1. Analyse du retour d'expérience concernant les explosions de poussières :

Dans la mesure où les données du REX existent antérieurement, on a procédé à une collecte statique de données d'accidents répertoriés dans trois bases d'accidentologie différentes :

- Le site d'Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (ARIA) [11] : Base de données du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI) français, chargé de rassembler les informations et le retour d'expérience en matière d'accidents technologiques ;
- Le rapport du National Fire Protection Association (NFPA) : Présentant une sélection des 75 explosions de poussières les plus importantes aux Etats-Unis entre 1956 et 2002 ;
- Le site de l'institut allemand de l'hygiène industrielle (IFA) [12].

Les descriptifs d'accidents, présents dans ces bases de données nous ont permis de procéder à une caractérisation de l'exposition de l'industrie au phénomène d'explosion d'atmosphère de poussière.

Résultats :

L'analyse d'accidents par groupe d'activités (tableau 3.1), montre d'une façon très claire que les industries les plus touchées par les explosions de poussière, sont celles qui utilisent des matières solides finement subdivisées sous forme de solides pulvérulents, poudres, granulés, particules métalliques, ... etc.

L'industrie agroalimentaire est le secteur le plus touché avec 45 % d'accidents, suivi de l'industrie du bois 19 % (Figure (3.1))

Le tableau (3.1) nous donne le dénombrement d'explosion de poussière, décès et blessures par type d'industrie concernée

Les tableaux (3.2) et (3.3) nous renseignent sur les types d'installation / matériel les plus exposés et les sources d'ignitions les plus rencontrées par type d'industrie.

Tableau 3.1 : Dénombrement d'explosion de poussière, décès et blessures par type d'industrie concernée (source : NFPA, AIRA et IFA)

Secteur d'activité	Nombre d'explosion	Blessures	Décès
Agroalimentaire	665	1188	447
Bois	275	1733	50
Céréales	96	76	37
Chimie et pharmacie	127	289	126
Métaux	107	219	62
Plastique	16	0	0
Autres	194	206	57

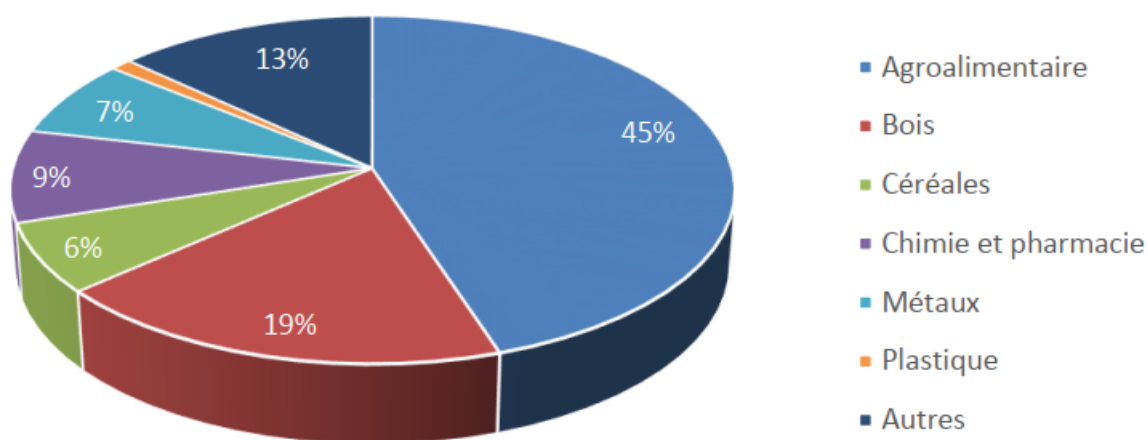


Figure 3.1 : Répartition du nombre d'accident par secteur d'activité

Tableau 3.2 : Fréquence d'explosion par type d'installation et industrie concernée (source Jeske and Beck,1989)

Type d'installation	Nombre d'explosion	Bois	Agro	Chimie et pharmacie	Plastique	Métaux
Silos	96	36	33	23	2	2
Systèmes de collecte de poussière	85	18	5	22	14	26
Moulure et broyage	59	7	13	18	15	5
Systèmes de convoyage	56	5	31	-	17	2
Séchoirs industriels	31	10	2	8	10	2
Fours	33	11	18	4	-	-
Mélangeurs	28	-	5	2	17	4
Installations de polissage	29	4	-	-	2	23
Tamis/classificateurs	11	5	-	3	-	4
Inconnus	78	5	29	8	23	13

Projection cas Danone Djurdjura :

On note également que l'industrie agroalimentaire (cas de Danone) est généralement concernée par les mélangeurs (tri Blender zone de poudrage), et le system d'extraction de poussière (zone de poudrage).

Tableau 3.3 : Fréquence d'explosion par source d'ignition et industrie concernée (source : Jeske and Beck,1989)

Type de source d'ignition	Nombre D'explosion	Bois	Agro	Chimie / Pharmacie	Plastique	Métaux
Étincelles mécaniques	132	27	23	5	21	56
Décharges électrostatique	55	20	21	6	10	-
Frottements/échauffements mécanique	40	9	5	12	10	4
Surfaces chaudes	49	2	-	7	35	5
Flammes nues	36	15	13	5	2	2
Auto ignition	31	3	15	7	2	4
Nids de combustions	26	6	10	3	4	4
Soudage	21	2	3	12	2	2
Machines électriques	10	-	3	6	2	-
Inconnues	98	16	25	20	13	24

Les zones les plus exposées au phénomène, sont celles où la mise en suspension des poussières est liée au fonctionnement normal de l'installation, on retrouve donc les capacités de stockages comme les silos majoritaires avec 25 % des cas, suivi des systèmes de collecte de poussières avec 17 % des cas, ces derniers sont utilisés comme moyen de prévention contre la formation des nuages de poussières.

La figure (3.2) représente un Histogrammes groupés des installations concernées par type d'industrie

Les sources d'inflammation de nuages de poussière les plus fréquemment rencontrées sont les étincelles mécaniques et les décharges électrostatiques. Néanmoins il est souvent rare de se prononcer clairement sur les causes de l'inflammation après les investigations menées pour ce type d'accidents.

On retrouve à partir de ces résultats les sources d'ignition les plus fréquentes en industrie pharmaceutique, qui sont les frottements mécaniques, le soudage ainsi que les surfaces chaudes.

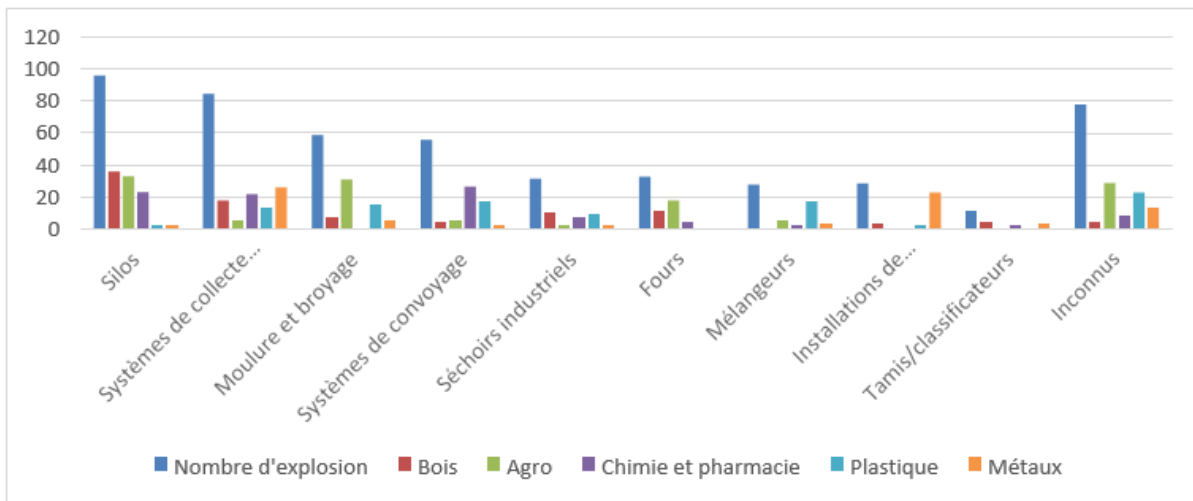


Figure 3.2 : Histogrammes groupés des installations concernées par type d'industrie

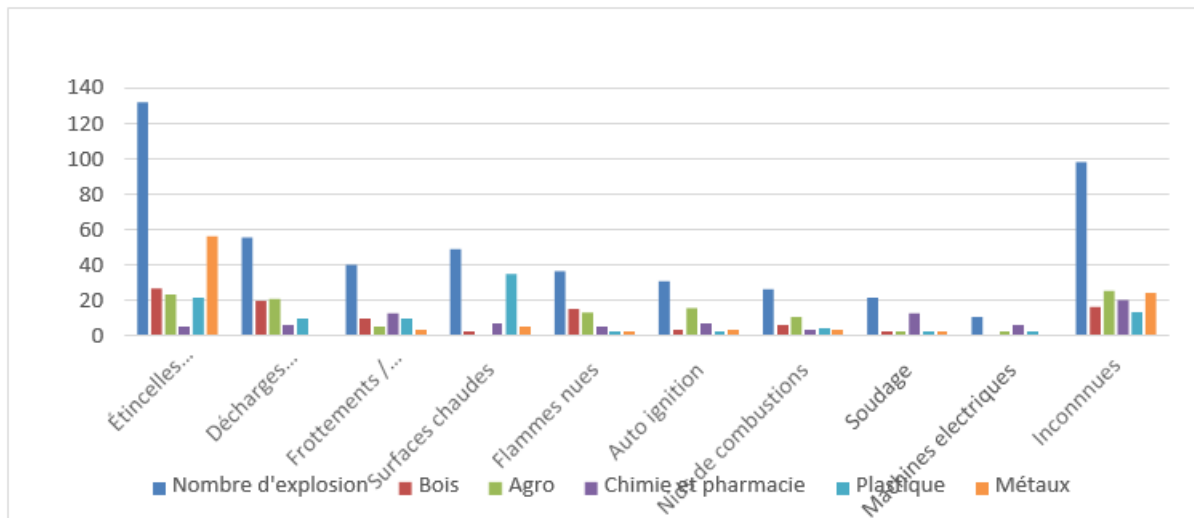


Figure 3.3 : Histogrammes groupés des sources d'ignition concernées par type d'industrie

3.3.2. Analyse du retour d'expérience concernant les explosions de gaz :

Dans le cas de DANONE DJURDJURA la présence de gaz est au niveau de la zone des chaudières (gaz naturelle) et en phase de chargement des batteries qui induit à un dégagement probable du gaz d'hydrogène H₂ lors du chargement.

Donc on a procédé à une collecte statique de données extrait de la base ARIA, il est constitué de 121 évènements, survenus en France entre le 15/06/1972 et le 05/02/2007, répartis comme suit :

- 41 évènements impliquant des chaufferies et chaudières alimentées au gaz (gaz naturel, gaz de cokerie, GPL, ...).
- 80 accidents concernant des chaufferies ou chaudières dont le type de combustible n'est pas connu ou ne fonctionnant pas au gaz mais dont le retour d'expérience est transposable aux installations fonctionnant au gaz.

En outre, 37 accidents étrangers du même type, survenus de février 1973 à juillet 2007, ont aussi été enregistrés en raison de leur gravité particulière ou de l'intérêt des enseignements tirés.

La figure 3.4 représente le pourcentage d'explosion causé par des chaudières et chaufferies alimentées en gaz dans chaque secteur d'activité.

Tableau 3.4 : Le nombre d'accident d'explosion de gaz causé par des chaudières et des chaufferies

Secteur d'activité	Nombre D'accident	Pourcentage
Industrie chimique	12	10,26%
Industrie alimentaire	10	8.54%
Travail de métaux	9	7.70%
Production et distribution d'électricité, de gaz et de chaleur	34	29,06%
Autres	52	44.44%

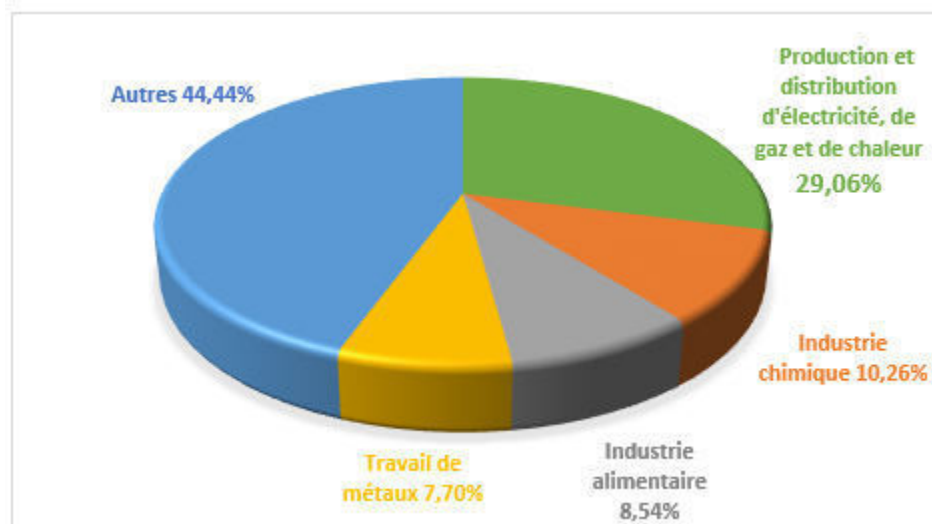


Figure 3.4 : Répartition des accidents par secteur d'activité

Récapitulation des résultats :

Le secteur de Production et distribution d'électricité, de gaz et de chaleur est le secteur le plus touché avec 29 % d'accidents, suivi de l'industrie du chimique 19 % et 10% pour l'industrie agroalimentaire.

Le Tableau (3.5) nous renseigne sur les types d'accident impliquant des chaufferies et chaudières alimentées au gaz

Tableau 3.5 : Représentation des typologies des accidents et ces pourcentages

Type D'accident	Nombre	Pourcentage
Explosions	32	26,74%
Incendies	29	23,96%
Rejets de matières dangereuse en dehors des enceintes	48	39,66%
Eclatements / ruptures brutales d'équipements	7	5,78%
Autres types	5	4,13%

La figure (3.5) représente le nombre des diverses accident impliquant les chaudières et les chaufferies alimentée en gaz

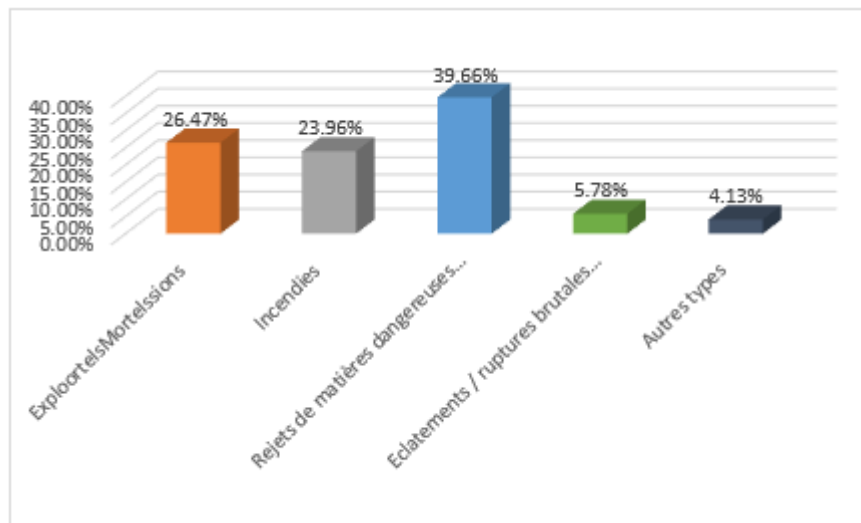


Figure 3.5 : Histogramme de nombre d'accidents selon leur type

Récapitulation des résultats :

On déduit que la majorité des accidents impliquant des chaufferies et chaudières alimentées au gaz sont les incendies suivis par les explosions avec un petit pourcentage de 2.5%. On observe que les explosions ne sont pas les plus fréquent parmi ses accidents mais leur gravité est souvent supérieure à celle d'autres accidents.

Conséquence des explosions :

Le tableau (3.6) représente les Conséquences recensées des accidents :

Tableau 3.6 : Les conséquences recensées des accidents

		Nombre d'explosions	% par rapport à L'échantillon
Conséquences humaines	Mortels	2	11,76%
	Faisant des blessés graves	4	23,52%
	Entraînant l'évacuations de personnes du public	4	23,52%
Conséquences environnementales		4	23,52%
Dommmages matériels externes		3	17,68 %

La figure (3.6) représente les conséquences recensées des accidents :

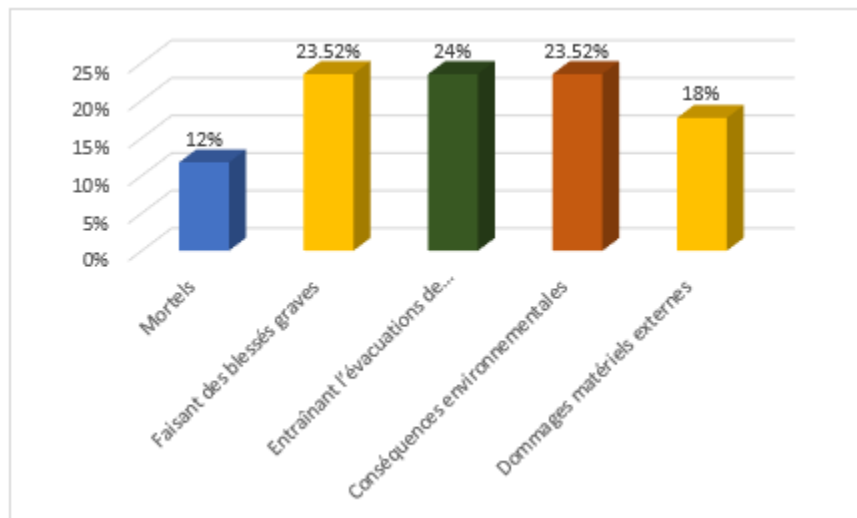


Figure 3.6 : Les conséquences recensées des accidents

Récapitulation des résultats

Par une simple observation des données cités précédemment on peut conclure que les conséquences humaines sont beaucoup plus importantes que les conséquences environnementales. Mais comme ses explosions peuvent aller jusqu'au décès, donc la lutte contre ce type d'accident a une importance primordiale.

Synthèse :

Cette analyse du REX nous a permis de démontrer que l'industrie agroalimentaire représente un des secteurs les plus touchés par les explosions de poussières et de gaz.

Les installations les plus critiques en matière d'accidents pour cette industrie sont le tri Blender, la chaudière à gaz, le local de chargement des batteries des chariots de manutention et la zone de stockage. Pour ce qui est des causes de ces événements, elles résultent de la combinaison entre une émission de poussière ou de gaz et une présence de source d'ignition.

D'après les données statistiques données au préalable, Nous pouvons prononcer que DANONE DJURDJURA est exposé à un à un risque d'explosion de poussière ou de gaz durant la fabrication.

3.3. Conclusion :

A travers le chapitre 3 on a déduit en premier lieu : les explosions ont une faible fréquence d'occurrence, néanmoins leur gravité est souvent supérieure à celle d'autres accidents, et en deuxième lieu : le secteur d'activité agroalimentaire est bien concerné par les explosions de gaz et de poussières.

Chapitre 4 : Maitrise des risques liés aux atmosphères explosives

4.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons évaluer les risques présents dans les différents locaux de l'entreprise afin d'identifier les endroits concernés par l'explosion d'atmosphère en utilisant la méthode d'analyse préliminaire des risques APR. Par la suite on va appliquer la démarche présentée dans la partie théorique afin d'attribuer un zonage approprié pour chaque local afin de maîtriser les risques liés aux explosions de poussière et de gaz dans l'entreprise.

4.2. Evaluation des risques

Les activités de production des produits laitiers Danone entraînent la manipulation des matières premières sous forme des poudres solides de nature combustible qui sont capables de provoquer une explosion dans des conditions bien définies. Durant la quasi-totalité des opérations, l'environnement de travail est en contact direct avec ces produits, soit à travers les différents équipements et machines du procédé, ou bien directement avec les opérateurs. D'autre part des risques liés à l'explosion de gaz sont présents dans les différents locaux dans l'usine qui vont être expliqués dans l'analyse préliminaire des risques.

Par la suite, comme pour toute démarche d'évaluation des risques, un préambule basé sur une méthode structurante en matière de sécurité est essentiel pour définir et dimensionner les efforts d'études et de réduction de risques et pour justifier le choix des risques et des endroits où l'évaluation est prioritaire. C'est pourquoi on a opté pour une identification basée sur l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

4.2.1. Application de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR)

La méthode APR couvre l'ensemble du procédé de fabrication en partant du stockage des matières premières jusqu'au stade de libération du produit fini. Les critères d'évaluation de la gravité et la de probabilité d'occurrence ont été établis via des grilles validées et utilisées par le groupe Danone. Les grilles de probabilité et de gravité retenues ont été déjà présentées dans le chapitre 2. L'appréciation de la criticité permettra une hiérarchisation des scénarios d'accidents et la définition des mesures de réduction des risques (techniques et organisationnelles), elle se fera grâce à la matrice mentionnée dans le chapitre 2. L'appréciation du risque s'est faite selon le critère de criticité dans le tableau 4.1

Tableau 4.1 : Appréciation du risque (APR)

Score de criticité	1 – 6	8 – 9	10 - 25
Appréciation	Acceptable	Tolérable	Inacceptable

Remarque : Le risque tolérable est un risque qui n'est pas négligeable mais acceptable s'il procure des bénéfices à l'entreprise et s'il y a une confiance en son contrôle. Le tableau synthétisant l'APR réalisé, est présenté en annexe A

Résultats

L'APR nous a permis d'identifier les événements dangereux avec leurs niveaux de criticité dans chacune des lieux et des sites dans l'usine de Danone.

Une hiérarchisation nous aidera par la suite à identifier l'opération ou la zone la plus critique qui sera étudiée en utilisant des méthodes plus approfondies afin d'affiner l'évaluation.

Les résultats de l'analyse sont représentés dans le tableau 4.2

Tableau 4.2 : Résultats de l'APR

Les Locaux	Evènement non Désiré	Risque Acceptable	Risque Tolérable	Risque non Acceptable
Magasin matières premières	6	5	1	0
Local des chaudières	4	4	0	0
Local de chargement des batteries	3	2	1	0
Local de poudrage	5	5	0	0
Laboratoire des analyses	2	2	0	0
Conditionnement SERAC	4	4	0	0
Conditionnement ARCIL	3	3	0	0
Station de traitement des eaux	3	3	0	0
Process	5	5	0	0
Salle d'emballage	2	2	0	0
Totale	37	35	2	0

La figure 4.1 résume ces résultats en donnant le pourcentage des événements non désirés classés selon le niveau de criticité du risque associé.

répartition des événement non désiré

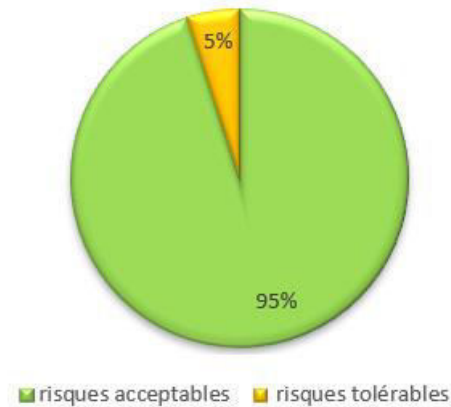


Figure 4.1 : Résultats de l'APR

Interprétation

D'après les résultats de l'étude, on a constaté d'une part que les événements à risque acceptable ont un effet dominant sur les événements à risque tolérable avec absence totale d'un risque inacceptable. Et d'autre part l'APR nous montre clairement les locaux sont exposés à un risque d'explosion de nuage (gaz ou poussières). Pour cela notre étude va être focaliser sur les trois locaux suivants

- 1- Local des chaudières
- 2- Local de chargement des batteries des chariots élévateurs
- 3- Local de poudrage
- 4- Magasin des matières premières

Les risques d'explosion des nuages de gaz ou de poussières qui sont déjà identifiés à l'aide de l'APR vont être étudiés en utilisant des méthodes plus approfondies afin d'affiner l'évaluation

4.3. Maitrise de risque ATEX

Pour qu'on puisse maîtriser le risque d'explosion des atmosphères de gaz ou de poussière dans l'entreprise Danone Djurjura il faut une étude approfondie sur le risque d'explosion dans chaque local concerné par ce risque, par la suite des mesures préventives et organisationnelles vont être proposées afin de bien maitriser le risque ATEX

4.3.1. Le local des chaudières

A. Introduction :

Plusieurs explosions ont marqué les esprits par la gravité des conséquences sont dus au dégagement de gaz provenant des chaudières à gaz au niveau de l'alimentation par le gaz, généralement le gaz naturel. Ainsi que L'APR effectuer précédemment montre qu'une fuite accidentelle au niveau des brides et la vanne peut donner lieu dans le local des chaudières et par conséquent une atmosphère de gaz explosive va être présent dans le local cependant, une présence d'une source d'ignition et des condition spécifique vont provoquer une explosion. Ces explosions s'ils ont lieu, provoquent des dégâts humains et matériels immenses. Il est donc plus que nécessaire de les prévenir en combinant toutes les causes possibles qui induisent à ce genre d'explosions. Le zonage ATEX, le marquage des appareils électriques au voisinage, la proposition des mesures correctives et préventives adéquates sont donc une démarche primordiale pour éviter que ces types d'accident de se produisent.

B. Aperçu sur le locale :

La chambre des chaudières contient trois chaudières à tube de fumée (marque ALSTOM). Just une chaudière qui fonctionne normalement et sans arrêt, les deux autres chaudières sont éteintes, et par conséquent on va focaliser dans notre étude que sur la chaudière qui est en marche. Figure 4.2

C. Faire l'inventaire des produits

Dans le local des chaudières, il y'a la présence de gaz naturelle dans la canalisation, l'utilisation du gaz naturel est destinée pour l'alimentation de la chaudière. Cette dernière utilisera le gaz pour que la combustion se produise au niveau de bruleur.

Etablir la liste des produits

Le tableau 4.3 représente la nature et le pouvoir combustible des produits présents dans le locale.

Tableau 4.3 : Le pouvoir combustible des produits dans le local des chaudières

Produit	Inflammabilité	Nature
Gaz naturel	Inflammable	Gazeuse

Etablir les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel :

Le gaz naturel sera assimilé dans l'étude au méthane, car le gaz de ville contient 95% de méthane dans sa composition

Le Tableau 4.4 présent les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel

Tableau 4.4 : Les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel

Désignation du produit	Lieu et condition de stockage	Utilisation	Point d'éclair (°C)	TAI (°C)	Densité relative de vapeur /air	LIE (%)	LSE (%)	Energie minimale inflammation(μJ)
Gaz naturel	Ne s'applique pas	Pour la combustion	-188 (Méthane)	600	0,553	5	15	300



Figure 4.2 : La chaudière active dans le locale des chaudières (photo réelle)

Calcul de la masse volumique de l'air à 25 °C (température ambiante et on considère le méthane comme un gaz parfait)

On a $pV = nRT$ (loi des gaz parfait)..... (1) (kg/m³)

Avec :

- P (Pa)
- M (kg/mol)
- R la constante universelle des gaz parfaits ($8,3144621 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)
- T la temperature (K)

$$\text{De (1) on a } PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow PV = \frac{\rho VRT}{M} \Rightarrow p = \frac{\rho RT}{M} \Rightarrow \rho = \frac{PM}{RT} \quad (2)$$

Pour :

$$P = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ (Pa)}$$

$$T = 298 \text{ (k)}$$

$$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$M = 28,965338 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Application numérique sur (2) :

$$\rho = \frac{101325 \times 28,965338}{8,31 \times 298} = 1185,16 \text{ kg/m}^3$$

Calcul de la masse volumique de gaz à 25 °C (température ambiante et on considère le gaz naturel comme un gaz parfait)

$$\text{On a } \rho = \frac{PM}{RT}$$

Pour :

$$P = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ (Pa)}$$

$$T = 298 \text{ (k)}$$

$$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$M = 16,0425 \text{ g/mol}$$

Application numérique :

$$\rho = \frac{101325 \times 16,0425}{8,31 \times 298} = 656,40 \text{ kg/m}^3$$

Calcul de la densité volumique relative (vapeur/air)

$$\text{On a } d_{\text{gaz}} = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{656,40}{1185,16} = 0,553$$

Donc $d_{\text{gaz}} = 0,553$

D. Analyse et procédés mis en oeuvre

Description :

Le type des chaudières utilisé au sein de l'entreprise Danone Djurdjura sont bien les chaudières à tube de fumée. Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est le gaz de ville.

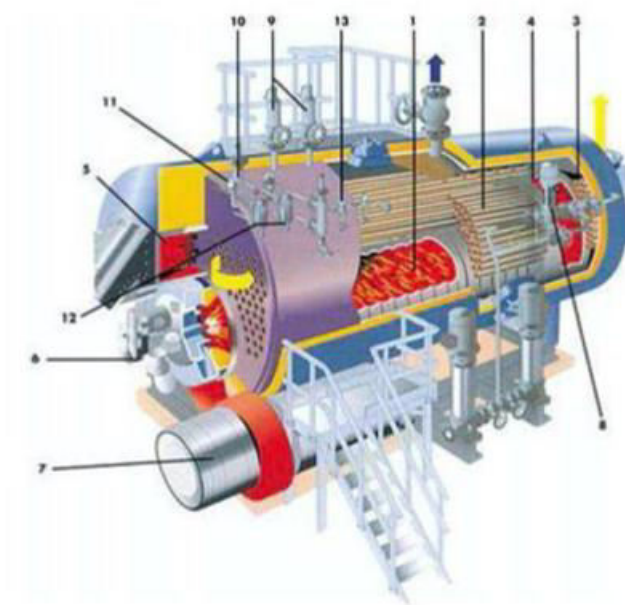
Fonctionnement :

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière.

Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des Fumées vers l'extérieur. Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, Par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par apport de calories [14].

E. Étudier les dysfonctionnements potentiels

Une Fuite de gaz sous pression peut se présenter au niveau des brides boulonnée et vannes (figure 4.4) sur l'équipement de chaudière Qui va provoquer l'évacuation du gaz au niveau de la zone de la chaudière et par conséquent une présence d'une zone ATEX. Plusieurs causes peuvent conduire à la présence de cette fuite qui vont être détaillé par la suite dans l'évaluation des risques



1. foyer

2. Tube de fumée 2ème passe

3. Tube de fumée 3ème passe

4. Boîte arrière à refroidissement
Par eau

5. Chambre de combustion

6. Brûleur

7. Ventilateur de combustion

8. Vanne de régulation

9. Soupape de sécurité

10. Indicateur de niveau de
Sécurité d'eau

11. Manomètre

12. Indicateur de niveau à glace

13. Bloc d'isolement + Manomètre

Figure 4.3 : Chaudière à tube de fumée et ses composants

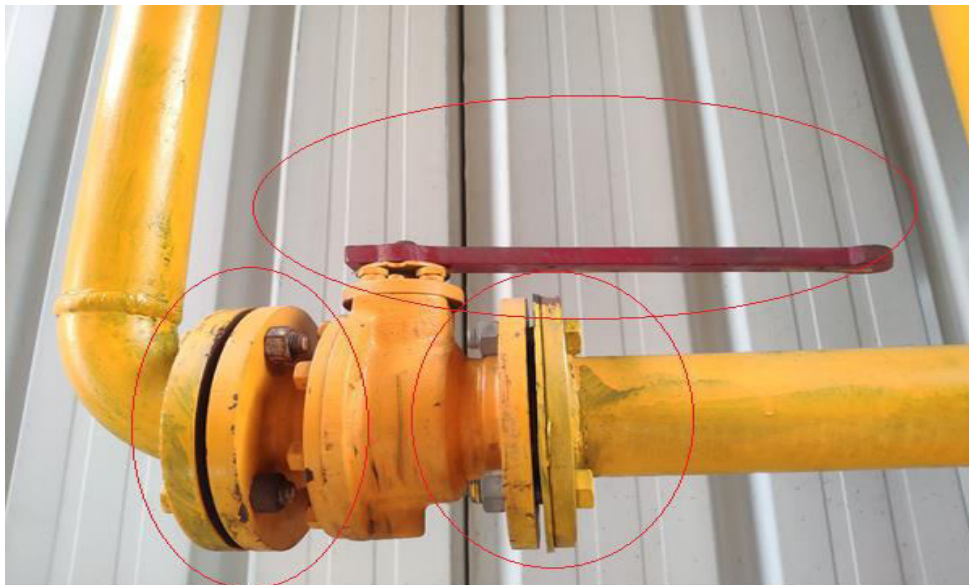


Figure 4.4 : Fuite probable autour des brides et de vanne (photo réelle)

F. Evaluation des risques :

L'évaluation des risques ATEX dans la zone des chaudières est la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone. Pour déterminer les zones il faut tout d'abord :

i. Identifier les sources de dégagement

La source de dégagement est de type process

ii. Quantification du degré de dégagement

Dégagement continue : dans le local il y'a aucune source de dégagement continue

Dégagement primaire : dans le local il y'a aucune source de dégagement primaire

Dégagement secondaire : dans le local et en cas d'une fuite accidentelle :

- ✓ Autour des brides des canalisation d'alimentation de la chaudière en gaz naturel (figure 4.3)
- ✓ Au niveau de la vanne d'alimentation de la chaudière (figure 4.4)

iii. Quantification de degré de ventilation

Selon la norme CEI 60079-10-1 le degré de ventilation naturelle est assimilé moyen

iv. Quantification de la disponibilité de ventilation

La disponibilité est assimilée assez bonne

v. Détermination des zones :

Après avoir déterminé les installations concernées, les caractéristiques d'inflammabilité du produit et les différentes sources d'émissions et en suivant les indications de la norme CEI 60079-10-1, on a déterminé la zone ATEX gaz et son étendue dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Les zones ATEX présentes dans le local des chaudières

Source de dégagement		Matière inflammable			Région dangereuse	
Description	Degré de dégagement	EMI (uj)	TAI(°C)	Etat	Zone	Etendue de la zone
Fuite autour les brides des canalisation	Secondaire	300	600	Gaz	2	Tout le volume
Fuite au niveau de la vanne de la chaudière	Secondaire				2	Tout le volume

Selon la norme CEI 60079-10-1. Notre locale fait partir de l'art 6.1.5.1. Cas 2, donc pour l'étendue de la zone, la délimitation de la zone ne peut être déterminée pas la formule issue de la norme (CEI 60079-10-1). Pour cela on prend tout le local comme une zone 2. Cette hypothèse est scindée sur le comportement des molécules des gaz car un gaz lors de sa propagation, Il tend à occuper tout le volume disponible et par conséquent, lors d'une fuite accidentelle. Le gaz de ville va remplir le local entièrement

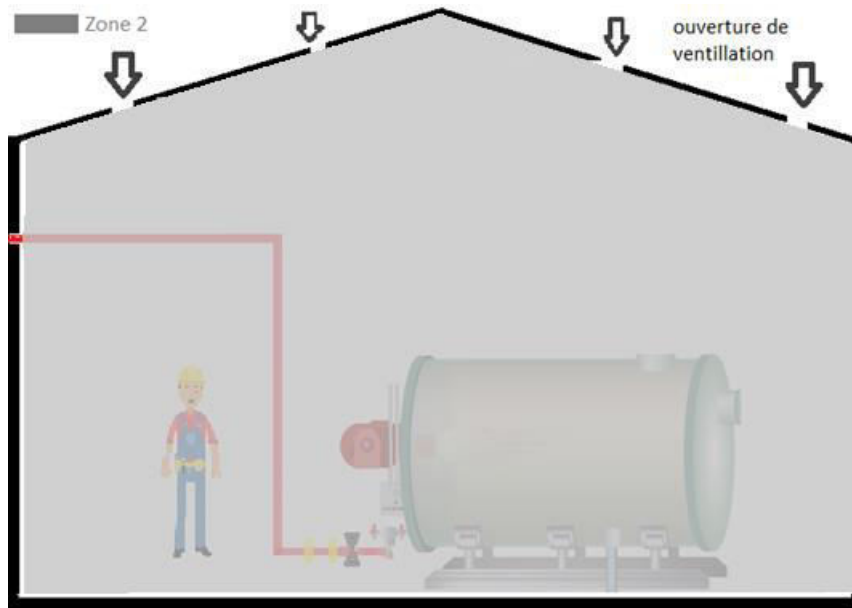


Figure 4.5 : Zonage ATEX du local des chaudières

a. Evaluation de la probabilité d'émission :

La probabilité de l'évènement redouté création d'atmosphère de gaz a été calculée grâce à une analyse par arbre de défaillances AdD. Compte tenu des données de fiabilité recueillies, et des conditions opérationnelles du système étudié. On suppose que les taux de défaillance λ_i des évènements élémentaires sont constants et par conséquent le système suit la loi de fiabilité exponentielle qui permet de modéliser la phase utile (maturité) du système ce qui constitue une hypothèse raisonnable vue l'état des équipements. La probabilité de défaillance des évènements élémentaires est donnée par la relation suivante :

$$P(E_i) = 1 - R_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

Les taux de défaillances nécessaires pour la simulation des AdD, ont été recueillis à partir de la base des données de fiabilité :

- ❖ OREDA (2002) [13].
- ❖ NRPD (1991)

- ❖ IEEE 500 (1982)
- ❖ Le retour d'expérience de l'entreprise
- ❖ Des études et des statistiques des accidents

Pour certains évènements élémentaires on a placé la probabilité directement sur l'AdD. Pour le reste des évènements, les probabilités ont été calculé directement en utilisant la formule précédente avant d'être placé sur l'AdD

Par souci de représentativité des résultats, le temps de mission alloué à la simulation est d'une année soit 8760 heures. On a proposé d'étudier l'arborescence de l'évènement à l'aide du logiciel Arbre Analyste, qui assure en plus de la représentation graphique, une simulation numérique utile pour la détermination des coupes minimales, le calcul de probabilités ainsi que l'analyse de la fiabilité du système.

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à la création d'atmosphère explosive est présentée dans la figure 4.6

Nota :

Pour cette adD, et pour la totalité des adD qui viennent prochainement concernant les autre locaux et les autre évènement indésirables, les causes citer et mentionner dans les adD , sont soit des causes des même accident réel qui ont eu lieu , soit de causes qui peuvent logiquement conduire à la réalisation de l'évènement indésirable .

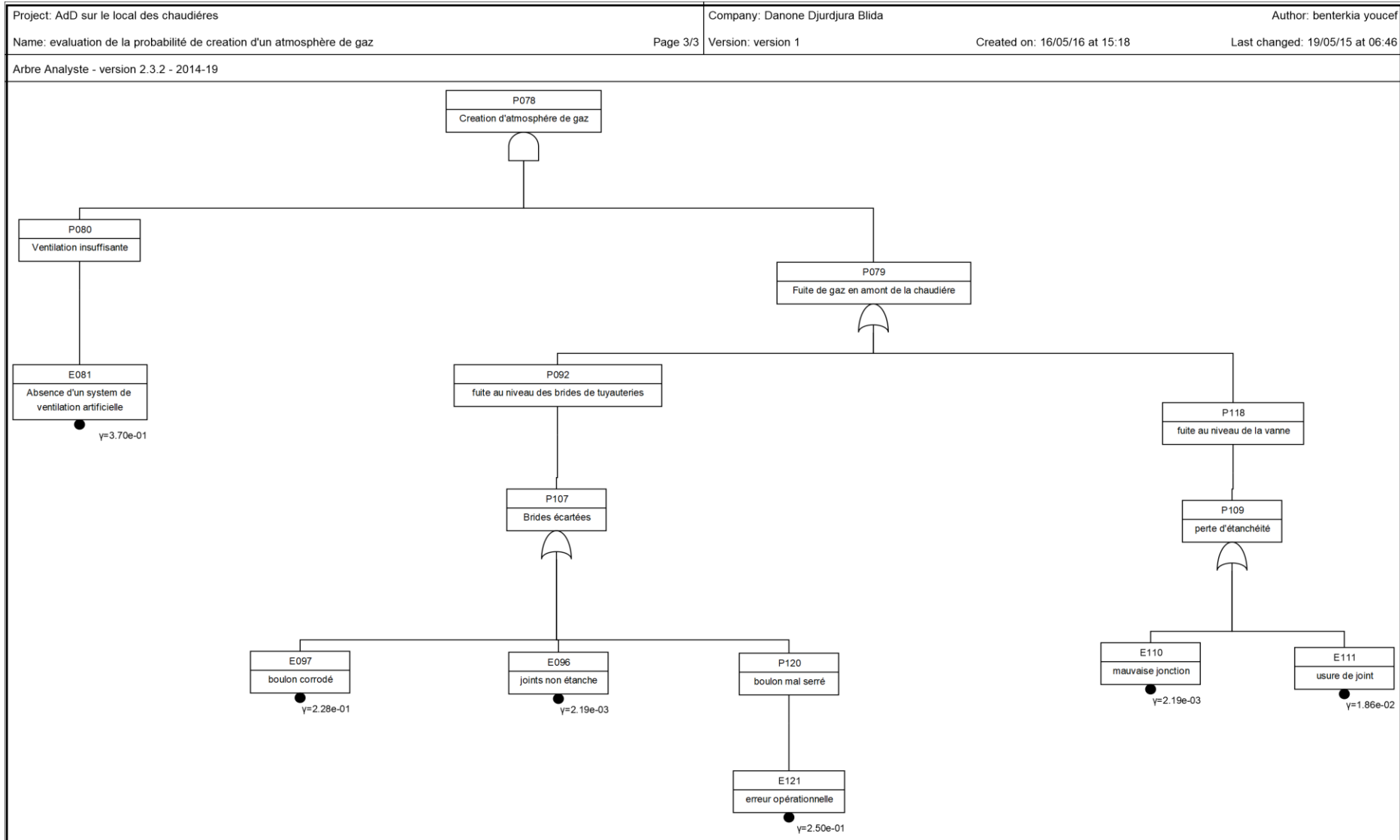


Figure 4.6 : AdD de création d'une atmosphère de gaz dans le local des chaudières

Le tableau 4.6 représente les portes logiques de l'AdD (création d'atmosphère de gaz).

Tableau 4.6 : Les portes logiques de l'AdD

Nom	Evènements	Portes logiques
P078	Création d'atmosphère de gaz	ET
P080	Ventilation insuffisante	OU
P079	Fuite de gaz en amont de la chaudière	OU
P092	Fuite au niveau des brides de tuyauteries	OU
P118	Fuite au niveau de la vanne	OU
P107	Brides écartées	OU
P109	Perte d'étanchéité	OU
P107	Boulon mal serré	OU

Le tableau 4.7 représente les probabilités et le classement de chacun des évènements de base (élémentaires) participant à l'évènement redouté (création d'atmosphère de gaz).

Tableau 4.7 : Liste des évènements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evènements élémentaires	Probabilité /an
1	E081	Absence d'un system de ventilation artificielle	0.37
2	E121	Erreur opérationnelle	0.25
3	E097	Boulon corrodé	0.228
4	E111	Usure de joint	0.0186
5	E110	Mauvaise jonction	0.00219
6	E096	Joints non étanche	0.00219

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 5 coupes minimales ils sont tous de deuxième ordre. Les coupes et leurs pourcentages sont exprimés dans le tableau 4.8 en ordre décroissant concernant les probabilités :

On remarque que les coupes les plus influentes sont les deux premières coupes, qui jouent un rôle majeur dans l'apparition de l'évènement indésirable.

Tableau 4.8 : Les coupes minimales classées par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	2	0.0925	0.499022	E081 E121
2	2	0.08436	0.455108	E081 E097
3	2	0.006882	0.0371272	E081 E111
4	2	0.0008103	0.00437143	E081 E096
5	2	0.0008103	0.00437143	E081 E110

La figure 4.7 représente les coupes minimales et leur pourcentage d'occurrence

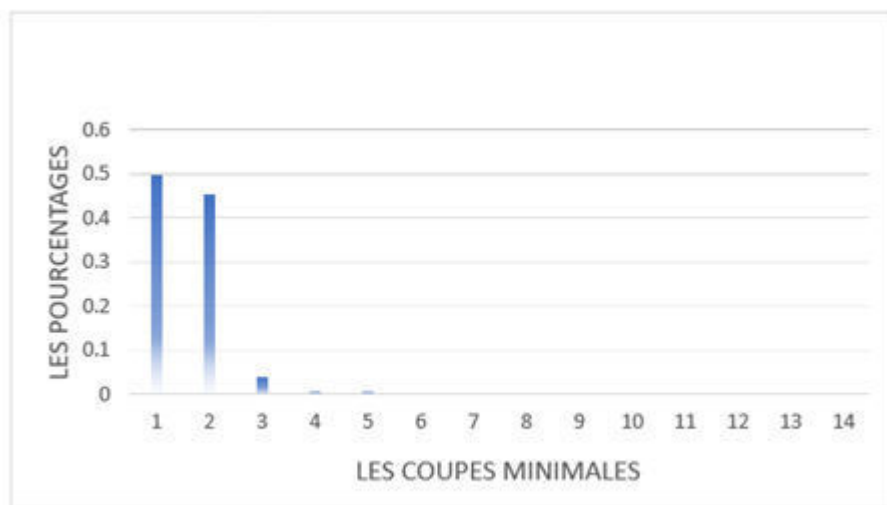


Figure 4.7 : Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P078) = 0.176$, ce qui signifie que l'émission est courante

b. Evaluation des risques d'ignition :

i. Identification des sources d'ignition :

En se référant à la norme EN1127-1 et au document INRS (Élimination des sources d'inflammation dans les zones à risque d'explosion) et Explosion sur le lieu de travail , nous avons considéré les sources d'inflammation suivants pour notre locale :

Flammes nues :

Les évènements suivants exposent notre local a des flammes nues :

- ✓ Tabac
- ✓ Allumette
- ✓ Briquet

Décharges d'origine électrostatique :

Les éléments suivants exposent notre local aux décharges électrostatiques :

- ✓ Une mauvaise mise à la terre due à la réunion des deux évènements élémentaire suivants :
 - Absence d'une installation de dispositif antistatique de mis à la terre
 - Fil de terre cassé
- ✓ Décharge électrostatique du corps humain due à la coexistence simultanée des deux évènement élémentaires suivants :
 - Présence d'un conducteur à proximité de l'opérateur
 - Friction entre le corps humain et la fibre

Etincelle d'origine électrique :

Les évènements suivants exposent notre local au risque des étincelle d'origine électrique :

- ✓ L'utilisation de téléphone mobile
- ✓ Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)
- ✓ Utilisation d'un autre équipement électrique
- ✓ Armoire électrique

Etincelle de foudre :

Les évènements suivants exposent notre local au risque d'une étincelle de foudre :

- ✓ Propagation de foudre le long des canalisations
- ✓ Induction de foudre
- ✓ Coup de foudre direct

Courant circulant :

Une fuite électrique est un événement qui peut exploser notre local a un risque d'un courant circulant.

ii. Evaluation de la probabilité d'ignition

En suivant la même démarche que celle utilisée pour les sources d'émission, nous allons procéder par analyse AdD dans le but de déterminer toutes les sources d'ignition pouvant causer l'inflammation de l'ATEX et quantifier la probabilité d'occurrence

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à l'apparition d'une source d'ignition active est présentée dans la figure 4.8.

Le tableau 4.9 représente les portes logiques de l'AdD (création d'une source d'ignition)

Tableau 4.9 : Les portes logiques de l'AdD

Nom	Evénements	Portes Logique
P059	Source d'ignition	OU
P060	Étincelle d'origine électrique	OU
P061	Les flammes nues	OU
P081	Étincelle de foudre	OU
P091	Une mauvaise mise à la terre	OU
P010	Coup de foudre	OU
P094	Décharge électrostatique du corp humain	ET

Le tableau 4.10 représente les probabilités de chacun des évènements de base (élémentaires) participant à l'évènement redouté classé par ordre décroissant (source d'ignition).

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 14 coupes minimales 13 parmi eux sont de premier ordre et une seule coupe est de deuxième ordre. Les coupes et leurs pourcentages classé par ordre décroissant sont exprimés dans le tableau 4.11

On remarque que les coupes les plus influentes sont les deux premières coupes qui ont une probabilité supérieure à 10%, donc ils jouent un rôle majeur dans l'apparition de l'évènement indésirable.

Arbre Analyste - version 2.3.2 - 2014-19

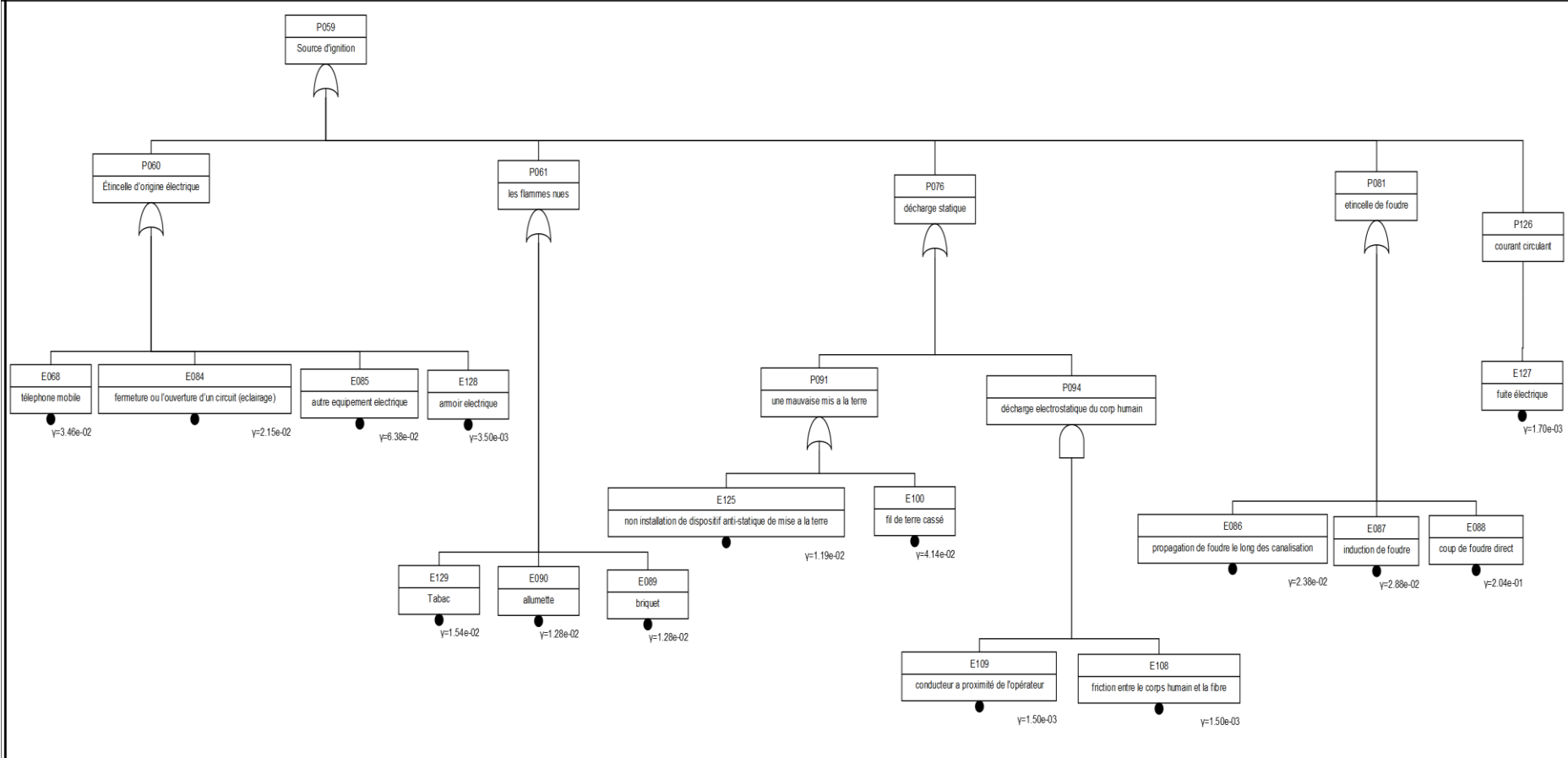


Figure 4.8 : AdD création d'une source d'ignition

Tableau 4.10 : Liste des évènements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E085	Autre équipement électrique	0.0638
2	E100	Fil de terre cassé	0.0414
3	E068	Téléphone mobile	0.0346
4	E087	Induction de foudre	0.0288
5	E086	Propagation de foudre le long des canalisation	0.0238
6	E084	Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)	0.0215
7	E088	Coup de foudre direct	0.0204
8	E129	Tabac	0.0154
9	E090	Allumette	0.0128
10	E089	Briquet	0.0128
11	E125	Non installation de dispositif antistatique de mise à la terre	0.0119
12	E020	Armoire électrique	0.0035
13	E038	Fuite électrique	0.0017
14	E109	Conducteur à proximité de l'opérateur	0.0015
15	E108	Friction entre le corps humain et la fibre	0.0015

La figure 4.9 représente les coupes minimales de l'AdD avec leur pourcentage d'occurrence

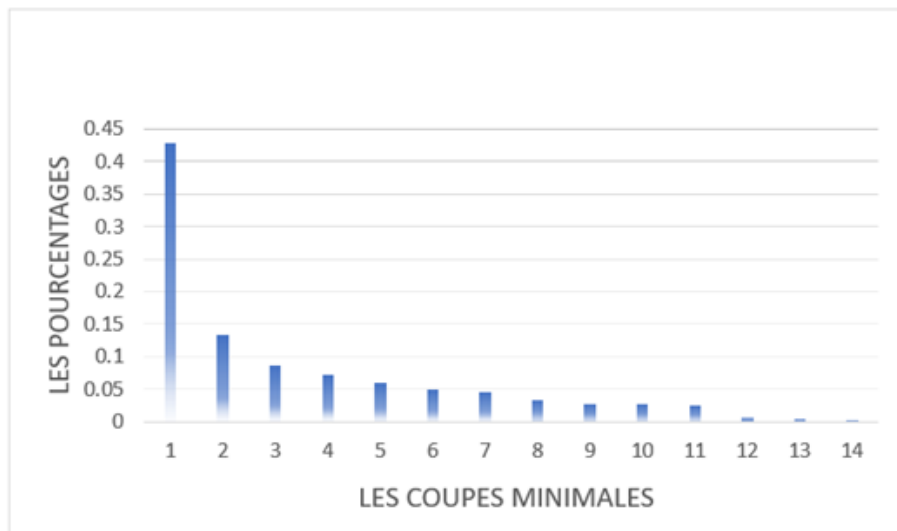


Figure 4.9 : Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage

Tableau 4.11 : Liste des coupes minimales de l'Add avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	1	0.204	0.428569	E088
2	1	0.0638	0.134033	E085
3	1	0.0414	0.0869744	E100
4	1	0.0346	0.0726887	E068
5	1	0.0288	0.0605039	E087
6	1	0.0238	0.0499998	E086
7	1	0.0215	0.0451679	E084
8	1	0.0154	0.0323528	E129
9	1	0.0128	0.0268906	E090
10	1	0.0128	0.0268906	E089
11	1	0.0119	0.0249999	E125
12	1	0.0035	0.00735291	E128
13	1	0.0017	0.00357141	E127
14	2	0.00000225	0.00000472687	E108.E109

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P059) = 0.397$, ce qui signifie que l'apparition d'une source d'ignition est probable.

On constate que La probabilité d'ignition par étincelle de foudre à lui seul est de 24.5%, si on empêche cette source d'ignition, la probabilité de l'évènement redouté deviendra $P'(P059) = 20.04\%$.

c. Evaluation de la probabilité d'explosion de l'atmosphère explosive :

Comme on a l'expliqué précédemment L'évaluation des risques ATEX dans une zone étudier est bien la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone.

Analyse quantitative :

$P(\text{explosion d'un atmosphère explosive}) = P(\text{création d'un nuage explosive}) \times P(\text{présence d'une source d'inflammation})$

Application numérique :

$$P(\text{explosion}) = 0.176 \times 0.397$$

$$P(\text{explosion}) = 0.070 = 7\%$$

Afin d'apprécier cette probabilité, on va se référer à l'échelle utilisée dans l'APR. $P(\text{d'explosion}) > 10^{-2}$ est considéré selon cette grille comme évènement courant, il nécessite une amélioration dans le but de réduire les probabilités des évènements élémentaires.

Analyse qualitative :

On est précédemment démontré par double analyse (quantitative et qualitative) que la probabilité de l'apparition d'une source d'inflammation 39.7% C'est une valeur importante et pour cela on assimile une probabilité de 4 (source présente constamment ou fréquemment)

La zone a été identifiée comme zone 2 (emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou n'est que de courte durée, s'il advient qu'elle se présente néanmoins.)

Le tableau extrait de la réglementation européen indique que la probabilité d'explosion est de 1 ce qui implique une explosion peu probable qui nécessite des mesures compensatoires

G. Conclusion

Après avoir déduit que le risque d'une explosion au niveau du local étudié soit présent, on a pu calculer sa probabilité par des méthodes d'analyse de risque plus approfondie afin de démontrer que ce type d'accident présente une criticité de risque élevé à cause de sa gravité très importante en citons toutes les causes et les dysfonctionnements potentiels qui peuvent conduire à l'explosion dans les conditions normales. Pour se protéger de ce risque, il important d'adopter un ensemble de mesures techniques et organisationnelles préconisées dans le chapitre suivant il sera également important de respecter toutes les mesures de prévention et de protection proposées afin de diminuer le risque d'explosion et de le rendre acceptable.

4.3.2. Local de chargement des batteries des chariots de manutention

A. Introduction :

Plusieurs accidents sont provoqués par des explosions dues aux batteries d'accumulateurs au plomb. Ces explosions ont lieu principalement pendant la charge de la batterie, car il se dégage alors une quantité d'hydrogène qui, mélangé à l'air ambiant, peut créer une atmosphère explosive. Pour réduire le risque, il est donc primordial de mettre en évidence tous les scénarios qui amènent à une explosion, par la suite le marquage des équipements électriques, les résultats obtenus nous permettent d'évaluer la criticité afin de proposer les meilleures solutions qui limitent la sévérité des conséquences.

B. Aperçu sur le locale :

Le Local de chargement des batteries est un petit local consacré juste pour une seule tâche c'est bien le chargement des batteries. Les travailleurs s'assoient sur des chaises installées dans le local en attendant le chargement des batteries. La porte du local reste partiellement ouverte pendant le chargement des batteries.



Figure 4.10 : Local de chargement des batteries (photo réelle)

c. Faire les inventaires des produits

Dans le local de chargement des batteries des chariots de manutention, l'hydrogène est présent lors et après le chargement des batteries des chariots de manutention (Gerbeur, transpalette et chariot élévateur)

Etablir la liste des produits

Le tableau ci-dessous présente la nature et le pouvoir combustible des produits présents dans le local.

Tableau 4.12 : Le pouvoir combustible des produits dans le local des chaudières

Produit	Inflammabilité	Nature
L'hydrogène	Inflammable	Gazeuse

Etablir les caractéristiques physico-chimiques du gaz d'hydrogène :

Le tableau 4.13 présente les propriétés physico-chimiques du gaz d'hydrogène :

Tableau 4.13 : Les caractéristiques physico-chimiques du gaz d'hydrogène

Désignation du produit	Lieu et condition de stockage	Utilisation	Point d'éclair (°C)	TAI (°C)	Densité relative de vapeur /air	LIE (%)	LSE (%)	Energie minimale inflammatoire (μJ)
Gaz d'hydrogène	Ne s'applique pas	Il s'échappe des batteries lors la phase de chargement	Ne s'applique pas (la substance est gazeuse)	585	0.07	4.1	74.8	20

La masse volumique de l'air à 25 °C a été calculé précédemment pour le locale des chaudières

$$\rho = 1185,16 \text{ kg/m}^3$$

Calcul de la masse volumique de gaz d'hydrogène à 25 °C (température ambiante et on considère le gaz naturel comme un gaz parfait)

$$\text{On a } \rho = \frac{PM}{RT}$$

Pour :

$$P=1\text{atm}=101325(\text{Pa})$$

$$T=298\text{ (k)}$$

$$R=8.31\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

$$M= 2,01588\text{g/mol}$$

Application numérique :

$$\rho = \frac{101325 \times 2,01588}{8,31 \times 298} = 82.48\text{ kg/m}^3$$

Calcul de la densité volumique relative (vapeur/air)

$$\text{On a } d_{\text{gaz}} = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{82.48}{1185,16} = 0,07$$

Donc $d_{\text{gaz}} = 0,07$

D. Analyse de procédé de mis en ouvre

Un élément de batterie d'accumulateurs au plomb est constitué de deux ensembles de plaques, l'un formant le pôle positif, l'autre le pôle négatif, les deux étant immergés dans une solution d'électrolyte :

-L'électrode négative : groupe de plaques à surface gaufrée dont les alvéoles sont garnies de plomb spongieux (Pb) ;

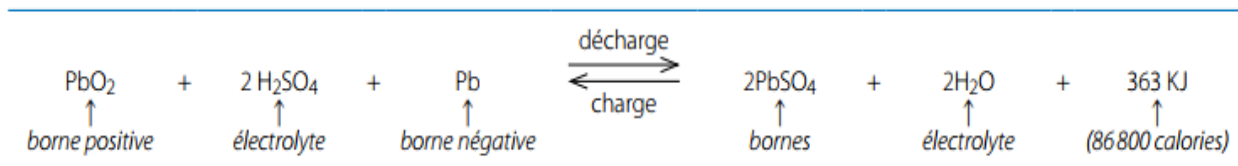
-L'électrode positive : groupe de plaques renforcées par des nervures entre lesquelles sont disposées des lamelles ou des tubes constitués par de l'oxyde de plomb (PbO₂) ;

-L'électrolyte : solution aqueuse d'acide sulfurique (H₂SO₄) dont la densité varie en fonction de l'état de charge de la batterie.

Lorsque les bornes de la batterie sont reliées par un circuit, il y a transformation de l'énergie chimique en énergie électrique. Lors de cette décharge, le dioxyde de plomb, pôle positif, et le plomb, pôle négatif, se transforment progressivement en sulfate de plomb (PbSO₄). Ainsi, les matières actives des plaques positives et négatives se sulfatent par l'intermédiaire de l'électrolyte, dont la densité et le niveau diminuent.

La charge d'une batterie consiste à relier ses bornes à celles d'une source de tension continue. Il y a ainsi transformation de l'énergie électrique en énergie chimique. Il se produit une désulfatation des plaques positives et négatives, le sulfate de plomb étant dissous par le passage du courant et les plaques revenant à leur état initial. Parallèlement, la densité de l'électrolyte revient à sa valeur nominale et le niveau de l'électrolyte remonte. Lors de la charge, l'acide sulfurique, étant plus lourd que l'électrolyte de l'élément déchargé, se concentre au fond de celui-ci avec une différence importante de densité entre la partie haute et la partie basse. L'homogénéisation de l'électrolyte, essentielle pour le fonctionnement de l'accumulateur, s'effectue en fin de charge avec l'électrolyse de l'eau (décomposition, du fait du courant électrique, de l'eau en hydrogène et oxygène). Il est donc nécessaire de prolonger la charge (surcharge) afin que les bulles de gaz formées homogénéisent parfaitement la densité de l'électrolyte [15].

La réaction chimique globale est :



La figure 4.11 représente le schéma général d'une batterie accumulateur plomb

E. Étudier les dysfonctionnements potentiels

En cas d'une coupure d'électricité lors la phase de chargement suivi d'un non démarrage de groupe électrogène une quantité résiduelle d'hydrogène continuant à se dégager, une atmosphère explosive pourrait se former Aussi, lors de la remise en service de l'installation, l'employeur prendra toute mesure (aération du local, vérification de la teneur en hydrogène...)

pour que le retour à la situation normale se fasse sans risque en s'assurant qu'il n'y a aucune atmosphère explosive et, à défaut, qu'il n'y a aucune source d'inflammation.

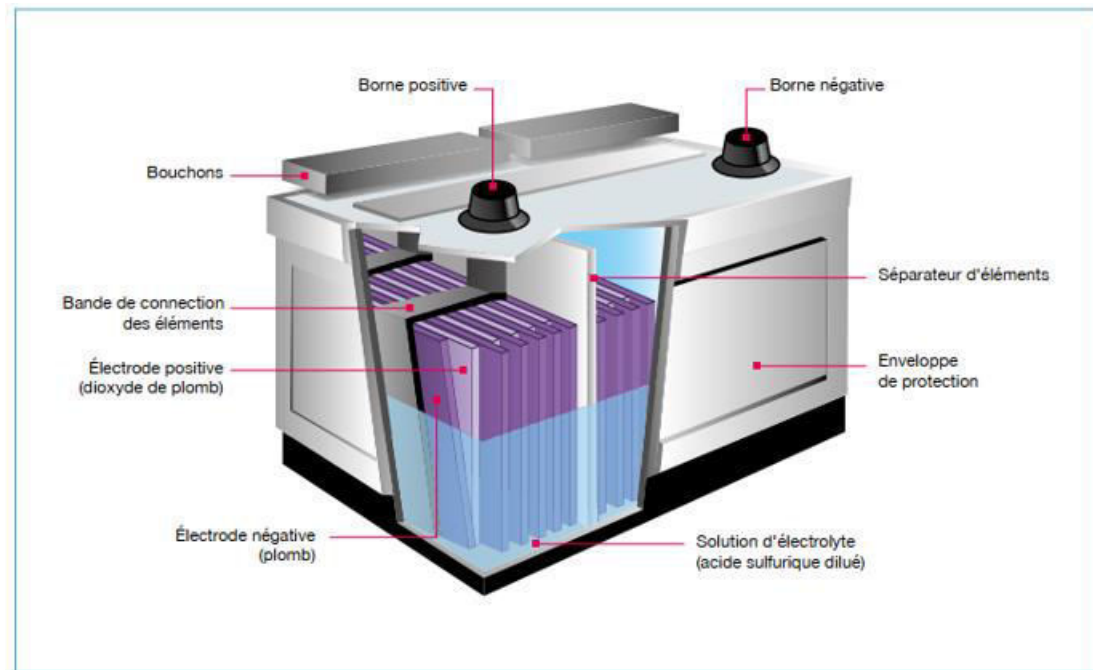


Figure 4.11 : Schéma général d'une batterie accumulateur plomb

F. Evaluation des risques

L'évaluation des risques ATEX dans le local de chargement des batteries est la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone. Pour déterminer les zones il faut tout d'abord :

i. Identifier les sources de dégagement

La source de dégagement est de type process

ii. Quantification du degré de dégagement

- Le dégagement est considéré premier dégagement périodique en fonctionnement normal

iii. Quantification de degré de ventilation

Selon la norme CEI 60079-10-1 le degré de ventilation naturelle est assimilé moyen

iv. Quantification de la disponibilité de ventilation

La disponibilité est assimilée assez bonne

v. Détermination des zones

Après avoir déterminé les installations concernées, les caractéristiques d'inflammabilité du produit et les différentes sources d'émissions et en suivant les indications de la norme CEI 60079-10-1, on a déterminé la zone ATEX gaz et son étendue :

Tableau 4.14 : Les zones ATEX présentes dans le local des chaudières

Source de dégagement		Matière inflammable			Région dangereuse	
Description	Degré de dégagement	EMI (uj)	TAI(°C)	Etat	Zone	Etendue de la zone
Gaz d'hydrogène échapper pendant le chargement des batteries	Premier	20	585	Gaz	1	Tout le volume du locale

Pour la délimitation de la zone, la norme CEI 60079-10-1 n'a proposer aucune délimitation car Notre locale fait partir de l'art 6.1.5.1. Cas 2. Par contre le document INRS ED6120 a proposé un zonage de 0.50m autour de la batterie, zone dans laquelle toute source d'inflammation est à exclure.

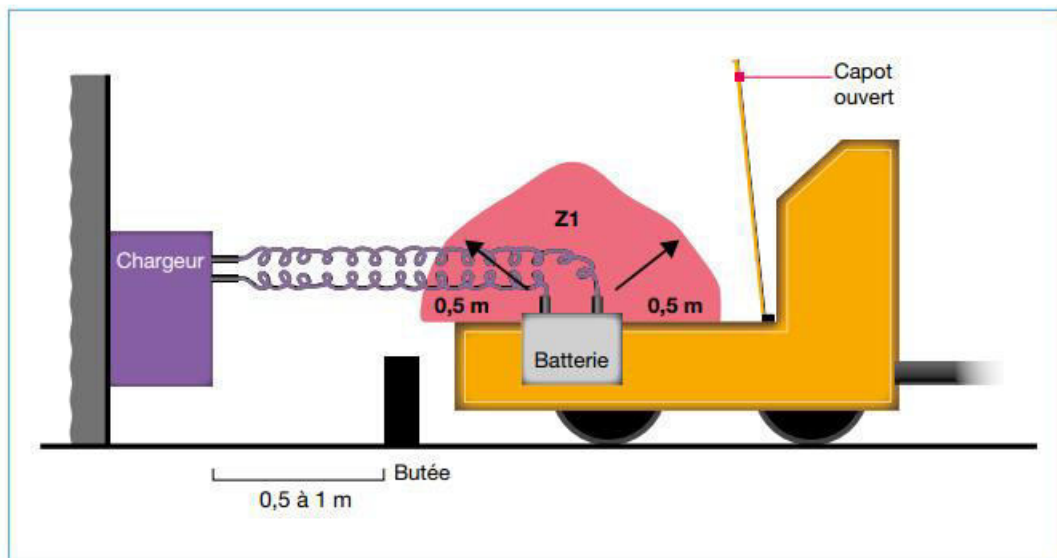


Figure 4.12 : Zonage du local de chargement des batteries

a. Evaluation de la probabilité d'émission :

La probabilité de l'évènement redouté création d'atmosphère de gaz a été calculée grâce à une analyse par arbre de défaillances AdD. Compte tenu des données de fiabilité recueillies, et des conditions opérationnelles du système étudié. On suppose que les taux de défaillance λ_i des évènements élémentaires sont constants et par conséquent le système suit la loi de fiabilité exponentielle qui permet de modéliser la phase utile (maturité) du système ce qui constitue une hypothèse raisonnable vue l'état des équipements. La probabilité de défaillance des évènements élémentaires est donnée par la relation suivante :

$$P(E_i) = 1 - R_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

Les taux de défaillances nécessaires pour la simulation des AdD, ont été recueillis à partir de la base des données de fiabilité :

- ❖ OREDA (2002).
- ❖ NRPD (1991)
- ❖ IEEE 500 (1982)
- ❖ Le retour d'expérience de l'entreprise.
- ❖ Des études et des statistiques des accidents

Pour certains évènements élémentaires on a placé la probabilité directement sur l'AdD. Pour le reste des évènements, les probabilités ont été calculé directement en utilisant la formule précédente avant d'être placé sur l'AdD

Par souci de représentativité des résultats, le temps de mission alloué à la simulation est d'une année soit 8760 heures. On a proposé d'étudier l'arborescence de l'évènement à l'aide du logiciel Arbre Analyste, qui assure en plus de la représentation graphique, une simulation numérique utile pour la détermination des coupes minimales, le calcul de probabilités ainsi que l'analyse de la fiabilité du système.

Les probabilités des évènements élémentaire sont calculé directement a partie de la formule précédente.

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à la création d'atmosphère explosive est présentée dans la figure 4.13

Arbre Analyste - version 2.3.2 - 2014-19

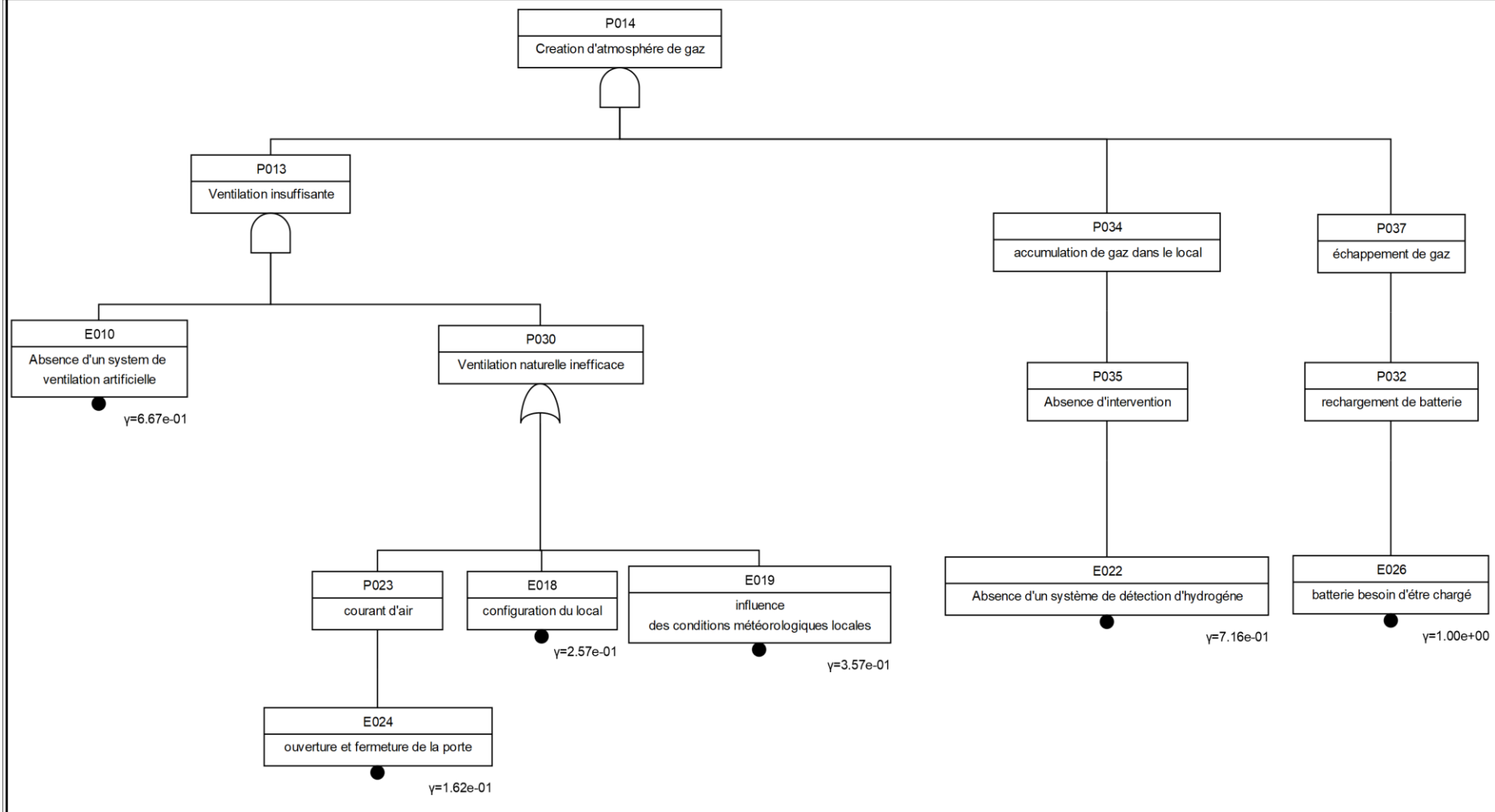


Figure 4.13 : AdD création d'atmosphère d'hydrogène

Le tableau 4.15 représente les portes logiques de l'Add (création d'atmosphère de gaz).

Tableau 4.15: Les portes logiques de l'Add

Nom	Evènement	Logique
P014	Création d'atmosphère de gaz	ET
P013	Ventilation insuffisante	ET
P034	Accumulation de gaz dans le local	OU
P037	Échappement de gaz	OU
P030	Ventilation naturelle inefficace	OU
P035	Absence d'intervention	OU
P032	Rechargement de batterie	OU
P032	Courant d'air	OU

Le tableau 4.16 représente les probabilités et le classement de chacun des évènements de base (élémentaires) participant à l'évènement redouté (création d'atmosphère de gaz).

Tableau 4.16 : Liste des évènements élémentaires de l'Add avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evènements élémentaires	Probabilité /an
1	E026	Batterie besoin d'être chargé	1
2	E022	Absence d'un système de détection d'hydrogène	0.716
3	E010	Absence d'un system de ventilation artificielle	0.667
4	E019	Influence des conditions météorologiques locales	0.357
5	E018	Configuration du local	0.257
6	E024	Ouverture et fermeture de la porte	0.152

Remarque : On observe que toutes les probabilités des événements élémentaire ont des probabilités d'une valeur importante pour cela il faut donner l'importance pour chacun.

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 3 coupes minimales ils sont tous de quatrième ordre. Les coupes et leurs pourcentages sont exprimés dans le tableau si dessous en ordre décroissant de probabilités :

Tableau 4.17 : Les coupes minimales classées par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	4	0.170493	46,0052%	E010 E019 E022 E026
2	4	0.122736	33,1186%	E010 E018 E022 E026
3	4	0.0773667	20,8763%	E010 E022 E024 E026

On remarque que toutes les coupes classées dans le tableau ont des probabilités significatives, donc on ne peut pas négliger l'un de l'autre.

La figure 4.14 représente les coupes minimales et leurs pourcentages d'occurrence



Figure 4.14 : Représentation graphiques des coupes minimales et leur pourcentage

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P014) = 0.3286$, ce qui signifie que l'émission est probable et considérable

b. Evaluation des risques d'ignition

i. Identification des sources d'ignition

En se référant à la norme EN1127-1 et au document inrs (Élimination des sources d'inflammation dans les zones à risque d'explosion) et Explosion sur le lieu de travail , nous avons considéré les sources d'inflammation suivants pour notre locale :

Flammes nues :

Les évènements suivants exposent notre local a des flammes nues :

- ✓ Tabac
- ✓ Allumette
- ✓ Briquet

Décharges d'origine électrostatique :

Les éléments suivants exposent notre local aux décharges électrostatiques :

- ✓ Une mauvaise mise à la terre due à la réunion des deux évènements élémentaire suivants :
 - Absence d'une installation de dispositif antistatique de mis à la terre
 - Fil de terre cassé
- ✓ Décharge électrostatique du corps humain due à la coexistence simultanée des deux évènement élémentaires suivants :
 - Présence d'un conducteur à proximité de l'opérateur
 - Friction entre le corps humain et la fibre

Étincelle d'origine électrique :

Les évènements suivants exposent notre local au risque des étincelle d'origine électrique :

- ✓ L'utilisation de téléphone mobile
- ✓ Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)
- ✓ Utilisation d'un autre équipement électrique
- ✓ La présence des prises électriques

Étincelle de foudre :

Les évènements suivants exposent notre local au risque d'une étincelle de foudre :

- ✓ Propagation de foudre le long des canalisations
- ✓ Induction de foudre
- ✓ Coup de foudre direct

Courant circulant : Une fuite électrique est un événement qui peut exploser notre local a un risque d'un courant circulant.

Explosion d'une batterie :

On a pu démontrer que l'explosion d'une batterie est possible, malgré la probabilité très basse mais il faut la prendre en considération. Lors l'explosion d'une batterie, l'énergie libérée de cette explosion peut enflammer le mélange explosif (hydrogène-air)

ii. *Evaluation de la probabilité d'ignition*

En suivant la même démarche que celle utilisée pour les sources d'émission, nous allons procéder par analyse AdD dans le but de déterminer toutes les sources d'ignition pouvant causer l'inflammation de l'ATEX et quantifier la probabilité d'occurrence

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à l'apparition d'une source d'ignition active est présentée dans la figure 4.15.

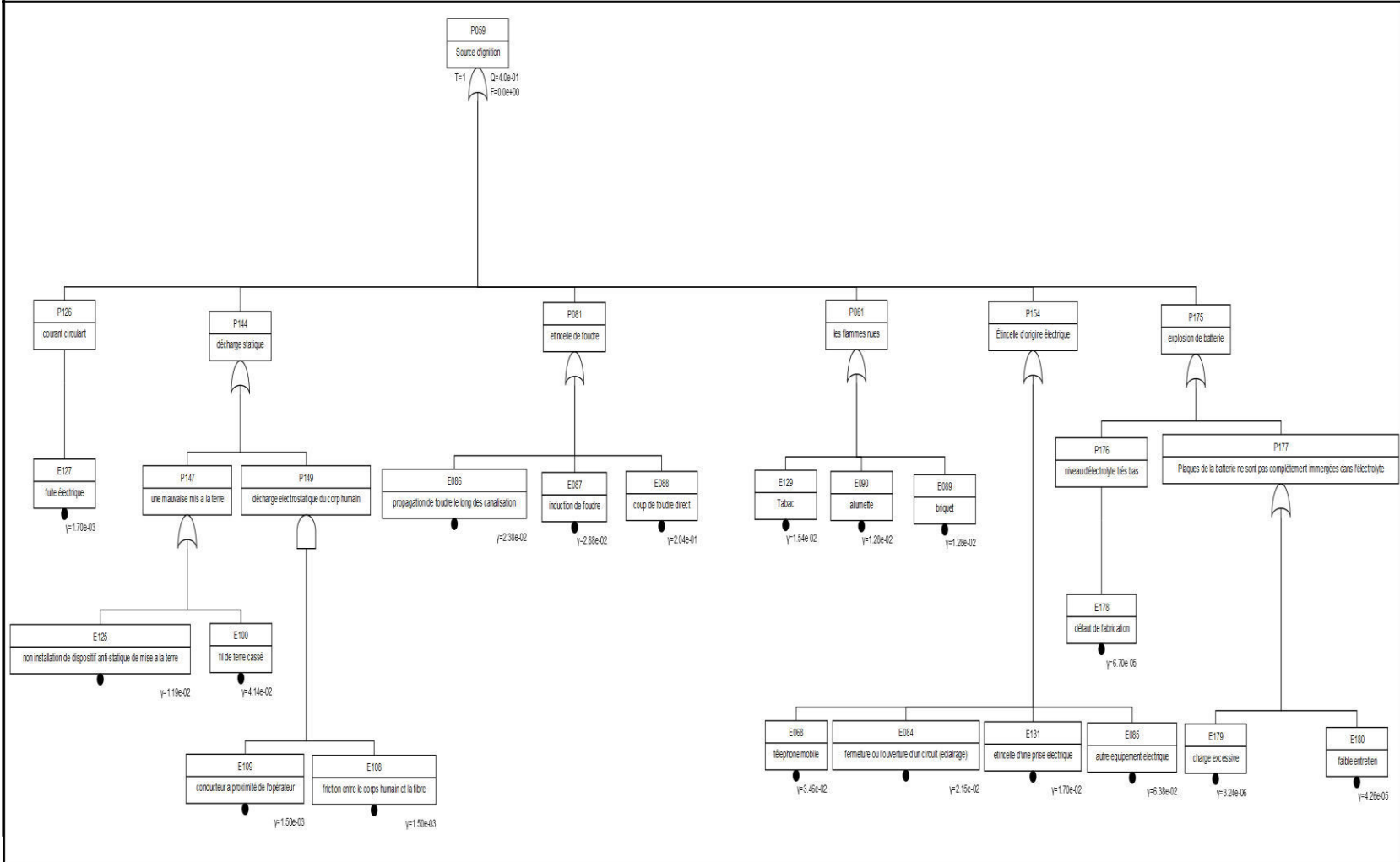


Figure 4.15 : AdD création d'une source d'ignition

Le tableau 4.18 représente la liste des évènements élémentaire de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

Tableau 4.18 : Liste des évènements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

Nom	Evénements	Logique
P059	Source d'ignition	OU
P175	Explosion de batterie	OU
P061	Les flammes nues	OU
P144	Décharge statique	OU
P081	Étincelle de foudre	OU
P126	Courant circulant	OU
P154	Étincelle d'origine électrique	OU
P177	Plaques de la batterie ne sont pas complètement immergées	OU
P176	Niveau d'électrolyte trop bas	OU
P147	Une mauvaise mise à la terre	OU
P149	Décharge électrostatique du corp humain	ET

La figure 4.16 représente les coupes minimales de l'AdD avec leur pourcentage d'occurrence

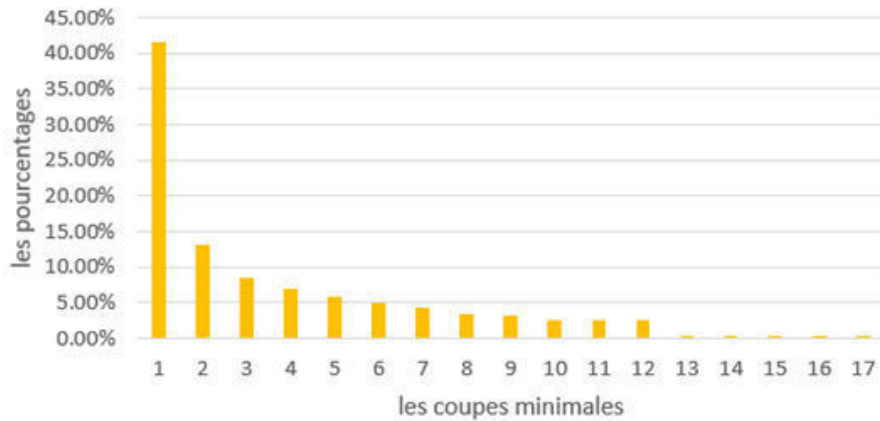


Figure 4.16 : Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage

Le tableau 4.19 représente la Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant

Tableau 4.19 : Liste des coupes minimales de l'Add avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E085	Autre équipement électrique	0.0638
2	E100	Fil de terre cassé	0.0414
3	E068	Téléphone mobile	0.0346
4	E087	Induction de foudre	0.0288
5	E086	Propagation de foudre le long des canalisation	0.0238
6	E084	Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)	0.0215
7	E088	Coup de foudre direct	0.0204
8	E127	Fuite électrique	0.0017
9	E129	Tabac	0.0154
10	E089	Briquet	0.0128
11	E090	Allumette	0.0128
12	E125	Non installation de dispositif antistatique de mise à la terre	0.0119
13	E131	Étincelle d'une prise électrique	0.017
14	E109	Conducteur à proximité de l'opérateur	0.0015
15	E108	Friction entre le corps humain et la fibre	0.0015
16	E178	Défaut de fabrication	0.000067
17	E180	Faible entretien	0.0000426
18	E179	Charge excessive	0.00000324

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 16 coupes minimales 15 parmi eux sont de premier ordre et une seule coupe est de deuxième ordre. Les coupes et leurs pourcentages sont exprimés dans le tableau si dessous en ordre décroissant concernant les probabilités

Tableau 4.20 : Liste des coupes minimales de l'AdD avec leur probabilité et pourcentage classés par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	1	0.204	41,6705%	E088
2	1	0.0638	13,0322%	E085
3	1	0.0414	8,45666%	E100
4	1	0.0346	7,06765%	E068
5	1	0.0288	5,8829%	E087
6	1	0.0238	4,86156%	E086
7	1	0.0215	4,39175%	E084
8	1	0.017	3,47254%	E131
9	1	0.0154	3,14572%	E129
10	1	0.0128	2,61462%	E089
11	1	0.0128	2,61462%	E090
12	1	0.0119	2,43078%	E125
13	1	0.0017	0,347254%	E127
14	1	6.7e-005	0.0136842%	E178
15	1	4.26e-005	0.00870071%	E180
16	1	3.24e-006	0.00066%	E179
17	2	2.25e-006	0.00046%	E108 E109

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P059) = 0.4048$, ce qui signifie que la probabilité de l'apparition d'une source d'ignition est courante.

On constate que La probabilité d'ignition par étincelle de foudre à lui seul est de 24.5%, si on empêche cette source d'ignition, la probabilité de l'évènement redouté deviendra $P'(P059) = 21.13\%$.

e. Evaluation de la probabilité d'explosion de l'atmosphère explosive :

Comme on a l'expliqué précédemment L'évaluation des risques ATEX dans une zone étudiée est bien la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone.

Analyse quantitative :

$P(\text{explosion d'un atmosphère explosive}) = P(\text{création d'un nuage explosive}) \times P(\text{présence d'une source d'inflammation})$

Application numérique :

$$P(\text{explosion}) = 0.3286 \times 0.4048$$

$$P(\text{explosion}) = 0.1330 = 13.30\%$$

Afin d'apprécier cette probabilité, on va se référer à l'échelle utilisée dans l'APR. $P(\text{d'explosion}) > 10^{-2}$ est considéré selon cette grille comme événement courant, il nécessite une amélioration dans le but de réduire les probabilités des événements élémentaires.

Analyse qualitative :

On est précédemment démontré par double analyse (quantitative et qualitative) que la probabilité de l'apparition d'une source d'inflammation 40.48% C'est une valeur importante et pour cela on assimile une probabilité de 4 (source présente constamment ou fréquemment)

La zone a été identifiée comme zone 1 (emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.)

Le tableau extrait de la réglementation européen indique que la probabilité d'explosion est de 2 ce qui implique une explosion probable qui nécessite des mesures compensatoires

G. Conclusion :

Pendant la charge des batteries d'accumulateurs au plomb, de l'hydrogène est généré. Ce gaz va se dégager de tous les éléments et de toutes les batteries mises en charge pouvant former dans l'atmosphère un mélange explosif dès que sa concentration atteint 4 % en volume dans l'air. Pour se protéger de ce risque d'explosion, il importera d'adopter un ensemble de mesures techniques et organisationnelles préconisées dans le chapitre suivant, notamment le choix d'une ventilation efficace et adaptée. Une formation spécifique tant pour le personnel interne que pour celui des entreprises extérieures intervenantes vient compléter ce dispositif. Il sera également important de respecter toutes les mesures de prévention et de protection proposé afin de bien rendre le risque d'explosion acceptable

4.3.3. Atelier de poudrage

A. Introduction :

Les explosions de poussières dans l'industrie en général et dans l'industrie agroalimentaire en particulier, sont loin de représenter un phénomène nouveau ; elles ont attiré depuis longtemps l'attention et fait l'objet de nombreux travaux pour tenter d'expliquer leurs causes et rechercher les moyens de les éviter.

Dans l'industrie, toute installation dans laquelle des poussières inflammables sont fabriquées ou mises en œuvre, peut être soumise à un risque d'explosion de poussières dans certaines conditions de concentration en présence d'une source d'inflammation.

Dans l'industrie agroalimentaire particulièrement, la plupart des catastrophes qui ont eu lieu n'ont pas été produites par une seule explosion, mais deux ou plusieurs explosions successives qui ont atteint une grande partie des zones "empoussiérées", même celles où les poussières n'étaient préalablement pas en suspension dans l'air. Les effets de ces explosions sont susceptibles de provoquer des dégâts considérables conduisant à une destruction presque totale des installations industrielles et d'entraîner des dommages graves aux personnes.

B. Aperçu sur l'atelier :

L'atelier de poudrage est constitué de deux chambres d'une petite surface (figure 4.17). Dans chaque chambre on trouve le tri Blender (mélangeur des matières premières) et un extracteur des poussières et toute une installation (notre étude dans cet atelier va être focaliser sur le tri Blender et l'extracteur des poussières car l'existence des poussières aura lieu dans ces deux dispositifs). Les travailleurs dans cet atelier sont présents d'une façon permanente en attendant la recette du jour pour entamer la première étape de fabrication qui est l'introduction des matières premières dans le tri Blender (poudre de lait, sucre, amidon, cacao...etc.).



Figure 4.17 : Atelier de poudrage (photo réelle)

C. Faire les inventaires des produits

Au niveau de cet atelier, les produits utilisés sont à l'ordre de 24, ces produits sont introduits dans le mélangeur tout dépend de la recette et de produit souhaité à fabriquer.

Etablir la liste des produits

Le tableau 4.21 présente la nature et le pouvoir combustible des produits utilisés au niveau d'atelier de poudrage

Tableau 4.21 : Liste des produits présents dans l'atelier

Produit	Inflammabilité	Nature
<i>Amidon</i> de maïs	Combustible	Poudre
Amidon de blé	Combustible	Poudre
Poudre de lait entier	Combustible	Poudre
Poudre de lait 0% graisse	Combustible	Poudre
Cacao	Combustible	Poudre
Gomme de guar poudre (additif)	Combustible	Poudre
Poudre de carraghénane (additif)	Combustible	Poudre
Amidon de pomme de terre	Combustible	Poudre
Carra lact dde (additif)	Combustible	Poudre
Carra lact ppd (additif)	Combustible	Poudre
Sodium carboxyméthylcellulose (un sel)	Combustible	Poudre
Sucre betterave	Combustible	Poudre
Arome caramel	Non-inflammable	Liquide
Arome biscuit tartise	Non-inflammable	Liquide
Arome pêche	Non-inflammable	Liquide
Arome poire	Non-inflammable	Liquide
Arome chocolat	Non-inflammable	Liquide
Arme fraise	Non-inflammable	Liquide
Arome banane	Non-inflammable	Liquide
Arome fruit des bois	Non-inflammable	Liquide
Arome vanille	Non-inflammable	Liquide
Arome abricot	Non-inflammable	Liquide
Arome framboise	Non-inflammable	Liquide
Arome crème	Non-inflammable	Liquide

Etablir les caractéristiques physico-chimiques des poudres combustibles :

Le tableau 4.22 présente les propriétés physico-chimiques des poudres combustibles présent dans l'atelier

Tableau 4.22 : Les propriétés physico-chimiques des produits utilisé dans l'atelier de poudrage

Produit	EMI (MJ)	TMI(°C)		Pmax (bar)	Kst (Bar.m.s-1)	Classe	CME(g/m3)
		Nuage	Couche				
Amidon de maïs	30	170	170	9.5	195	St1	30
Amidon de blé	50	400	380	9.8	132	St1	60
Poudre de lait entier	50	440	142	5.8	28	St1	60
Poudre de lait 0% graisse	50	490	200	9	159	St1	50
Cacao	100	510	240	5	85	St1	75
Gomme de guar poudre (additif)	10000	500	500	6.7	70	St1	N/A
Poudre de carraghénane (additif)	10000	N/A	N/A	8.5	140	St1	N/A
Amidon de pomme de terre	25	390	440	9.4	89	St1	70
Carra lact dde (additif)	10	300	300	8.5	200	St1	N/A
Carra lact ppd (additif)	10	300	300	8.5	200	St1	N/A
Sodium carboxyméthylcellulose (un sel)	60	370	370	9.2	136	St1	125
Sucre betterave	10	350	370	8.2	59	St1	60

Remarque :

-Le tableau 4.22 englobe tous les types de poudre présent dans l'atelier de poudrage et qui vont être introduites dans le mélangeur par la suite.

-Pour qu'une poudre soit explosive, elle doit être combustible, c'est la même chose à dire que si une poudre n'est pas combustible, elle n'est pas explosive (par logique élémentaire)

-Granulométrie : pour une valeur supérieure à 500µm, la poudre n'est plus combustible, donc pour toutes les poudres citées précédemment. On parle d'une granulométrie inférieure à 500µm. (On a voulu cités la granulométrie de chacun, mais c'était impossible par manque des données mais ce

qui est important de connaître c'est que toutes les poudres citées précédemment sont combustibles grâce à leur granulométrie inférieure à 500 µm)

-Les concentrations maximales d'explosions des poussières sont moins bien définies que celles des gaz et sont rarement mesurées elles sont de l'ordre de 1 à 3 kg.m⁻³. Pour des valeurs aussi importantes, on ne peut plus guère parler de nuage

-Quelques données de certaines poudres sont malheureusement introuvables par manque d'information même dans les fiches données sécurité des fournisseurs eux-mêmes

-Dans un souci d'augmenter l'efficacité des mesures à adopter pour la réduction du risque, nous considérerons les paramètres de la poudre comme suit :

TMI (nuage) = 170 °C	TMI (couche) = 142°C	P _{max} = 9.8bar
EMI = 10 MJ	K _{st} = 200 bar.m. s ⁻¹	CME = 30 g/m ³

D. Analyse de procédé de mise en œuvre

Dans bien des industries agroalimentaires, il arrive que la préparation d'un produit final comprenne une étape qui consiste à mélanger les matières dans un mélangeur (tri Blender dans l'atelier de poudrage figure), Parmi les constituants du mélange, il est fréquent que les solides mis en œuvre soient des pulvérulents combustibles c'est bien le cas dans notre atelier ou tous les poudres utilisés sont des poudres combustibles à cause de leur granulométrie de l'ordre des microns. Enfin, ces pulvérulents sont souvent introduits manuellement par un ou plusieurs opérateurs qui les déversent à partir de sacs, par la trappe ouverte d'un mélangeur. Le retour d'expérience d'accidents survenus lors de l'exploitation de tels mélangeurs montre qu'il est relativement fréquent que l'opérateur soit plus ou moins gravement brûlé, par suite de l'inflammation de l'atmosphère explosive présente lors de l'opération d'introduction.

Le mélangeur

Le mélangeur utilisé au sein de l'entreprise Danone Djurdjura est un mélangeur TPM2+. Il s'agit d'un mélangeur par batch basé sur le principe de circulation via une cuve tampon- Pour la dispersion des poudres très solubles. Ce mélangeur est utilisé pour mélanger des poudres et liquides, pour les produits laitiers recombinaison, les solutions de sucre, la saumure etc. il a une capacité de 12 000 à 50 000 l/h de produit recombinaison [16].

Le dessin général de mélangeur est présenté dans la figure 4.19



Figure 4.18 : Le mélangeur dans l'atelier de poudrage (photos réels)

1. Trémie
2. Attache rapide
3. Vanne papillon
4. Corps de pompe
5. Attache rapide
6. Corps de pompe
7. Palier-console
8. Collier de recouvrement
9. Vis
10. Capot de moteur
11. Roue de mélangeur
12. Écrou

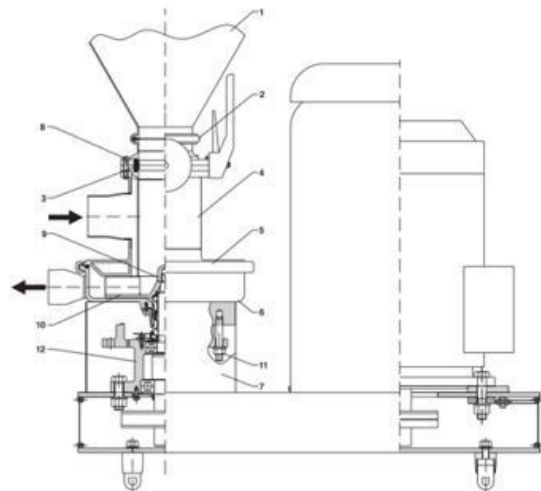


Figure 4.19 : Dessin générale de mélangeur

Fonctionnement

Le fonctionnement de mélangeur est basé sur une pompe centrifuge/à injection intégrée. Il comporte un carter de mélangeur/pompe sur lequel une conduite d'injection est installée coaxialement dans l'admission de la pompe. Dans la double conduite d'admission, le liquide est ajouté dans la section externe de la conduite et la poudre au centre. Une trémie de poudre raccordée à la conduite d'injection est montée au-dessus du mélangeur. Entre la trémie et le mélangeur, une vanne régule la quantité de poudre. Pendant le fonctionnement, le liquide est accéléré par la roue de mélange qui crée un vide au centre de la conduite d'injection, qui aspire la poudre. Les produits sont alors mélangés dans le corps de l'appareil. En plus de la pression de la pompe, la roue de mélange crée aussi une turbulence et des forces de cisaillement importantes dans le mélange, qui assurent un mélange efficace et homogène. Pour les produits très visqueux (>500 cp) une pompe booster peut s'avérer nécessaire pour alimenter le mélangeur

Caractéristiques standard :

- ✓ Le TPM2+ est caractériser par an entrainement en V entre le moteur et le mélangeur
- ✓ Toutes les pièces en contact avec le produit sont en acier inoxydable AISI 316L / DIN1.4404 résistants à l'acide
- ✓ La trémie à poudre est en acier inoxydable AISI 304
- ✓ Avec capteur de niveau et/ou vibreur sur la trémie à poudre si nécessaire
- ✓ Vanne manuel ou pneumatique pour régulation/arrêt de la poudre.
- ✓ Double joint d'axe avec rinçage à l'eau (joint de pompe W+).
- ✓ Joints en EPDM ou FPM (Viton) qualité FDA.
- ✓ Le moteur est entièrement caréné dans une chemise en acier inoxydable, selon la norme IEC ou NEMA.
- ✓ Conception sanitaire pour nettoyage NEP.

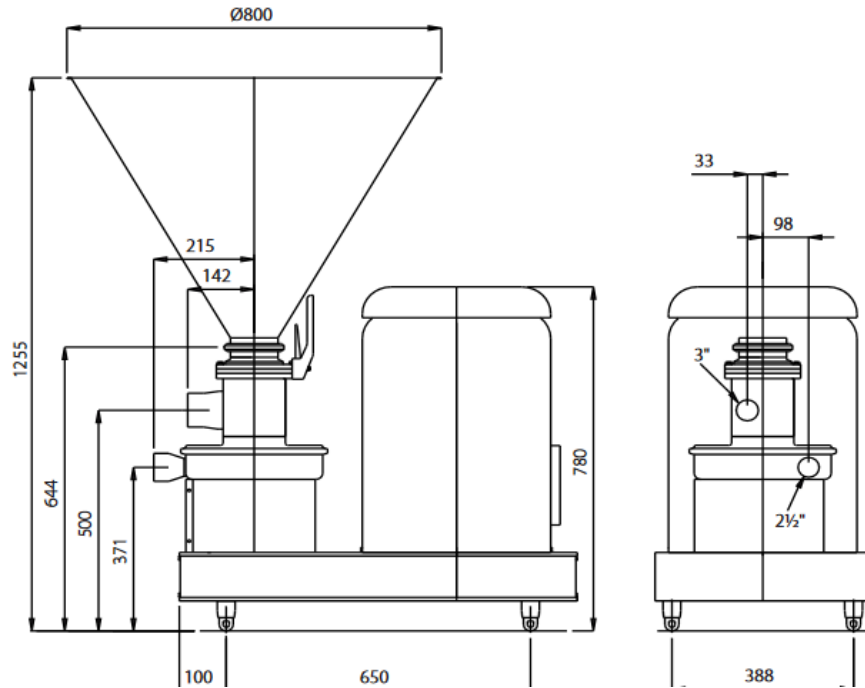


Figure 4.20 : Croquis dimensionnels du mélangeur

E. Étudier les dysfonctionnements potentiels

On s'attachera à analyser, en particulier, les types de dysfonctionnements raisonnablement envisageables dans l'atelier. Comme notre système est composé de trois sous-systèmes : pompe, moteur, extracteur, donc l'application de la méthode AMDEC sera primordiale afin de recenser les modes de défaillances potentielles. Pour la grille de détection nous avons opté pour celle agréée par les encadreurs pédagogiques de l'entreprise Danone Djurdjura blida.

La cotation du niveau de risque est en fonction de trois paramètres d'évaluation permettant de calculer la criticité : $C = P \times G \times D$ son appréciation suit le référentiel dans la partie théorique.

Tableau 4.23 : Appréciation du risque (AMDEC)

Criticité	Appréciation	Domaine d'acceptabilité
1-9	Mineur	Acceptable
10-27	Tolérable	Moyennement acceptable
30-100	Majeur	Inacceptable

L'application de la méthode est représentée dans le tableau 4.24 :

Tableau 4.24 : Application de l'AMDEC

Sous system	Équipements	Fonctions	Modes de défaillance	Causses	Effets	G	P	D	C	RECCOMENDATION
Extracteur poussière	Moteur	Faire tourner la roue	Ne démarre pas	Coupure d'électricité suivi par un non démarrage de groupe électrogène	Accumulation de poussière dans l'atelier	1	1	2	2	Révision des groupes électrogène pour prévenir leur non-démarrage d'une façon régulière
			Arrêt intempestif	Surchauffement du moteur/panne	Non-extraction de poussières	3	2	2	12	Vérification les ventilateurs interne de refroidissement / vérification des bobinages internes
	La roue	Se tourne pour crier un débit d'air	Fonctionnement dégradé	Incapacité du moteur	Extraction insuffisante de poussières	2	1	3	6	Assurer une extraction suffisante par la mise en place d'un deuxième extracteur indépendant du premier
Pompe	Impeller	Aspiration/refoulement du liquid	Fonctionnement dégradé	Incapacité du moteur	Faible montés du liquide qui va impliquer une faible aspiration	3	1	2	6	Assurer une maintenance préventive d'une façon périodique des pompes
	Moteur	Tourner l'impeller	Arrêt intempestif	Surchauffement du moteur/panne	Arrêt d'aspiration/refoulement du liquide	3	2	2	12	Vérification les ventilateurs interne de refroidissement / vérification des bobinages internes
			Ne démarre pas	Coupure d'électricité suivi par un non démarrage de groupe électrogène	Pas d'aspiration/refoulement du liquide	1	1	2	2	Révision des groupes électrogène pour prévenir leur non-démarrage d'une façon régulière

Mélangeur	Moteur	Tourner la roue du mélangeur	Ne démarre pas	Coupure d'électricité suivi par un non démarrage de groupe électrogène	Pas de rotation de la roue du mélangeur	1	1	1	1	Révision des groupes électrogène pour prévenir leur non-démarrage d'une façon régulière
			Arrêt intempestif	Surchauffement du moteur/panne	Pas d'aspiration/refoulement du liquide	3	2	1	6	Vérification les ventilateurs interne de refroidissement / vérification des bobinages internes
	La vanne papillon	Régulation de la quantité de la poudre	Ne s'ouvre pas	Un jeu entre le monobloc et le papillon	Accumulation de la poudre dans la trémie	3	1	1	3	Assurer une maintenance préventive d'une façon périodique des vannes
			Ne se ferme pas	Surface de contact entre l'axe et le poignet insuffisante	Pert de control sur la quantité de poudre ajouté	3	1	1	3	
	La roue de mélangeur	Mélanger le liquide avec la poudre et pousse le mélange vers la conduite	Ne démarre pas	Panne moteur	Mélange poudre/liquide hétérogène	3	2	1	6	Assurer une maintenance préventive d'une façon périodique
			Vitesse de rotation insuffisante	Incapacité du moteur	Création des agglomérats	2	1	2	4	

Résultats

Les résultats obtenus pour chaque sous-système sont présentés dans le tableau ci-après

Tableau 4.25 : Les résultats de l'AMDEC

Sous-système	Nombre de scénario	Risque acceptable	Risque tolérable	Risque inacceptable
Extracteur poussière	3	2	1	0
Pompe	3	2	1	0
Mélangeur	6	6	0	0
Total	12	10	2	0

La figure suivante résume les données du tableau en donnant le pourcentage des scénarios classés selon le niveau de risque :

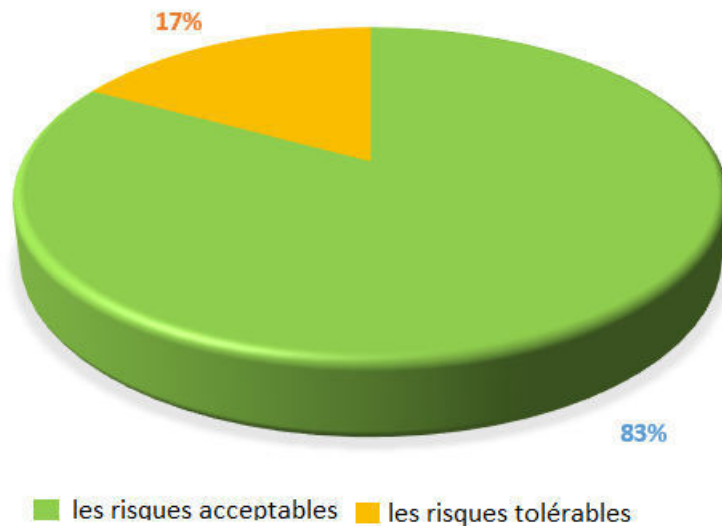


Figure 4.21: Résultats de l'AMDEC

La figure 4.22 présente la répartition du niveau de risque pour chaque sous-système pour une exploitation particularisée des résultats :

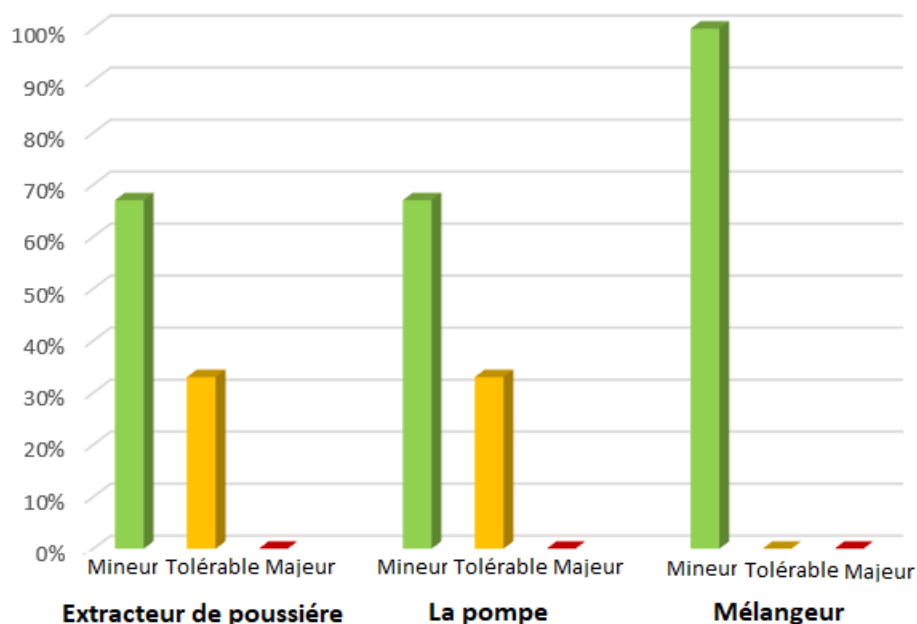


Figure 4.22 : Répartition du niveau de risque

F. Evaluation des risques

L'évaluation des risques ATEX dans l'atelier de poudrage est la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère de poussière Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone. Pour déterminer les zones il faut tout d'abord :

i. Identification des sources d'émissions

Emission permanente :

Les seuls emplacements où il y a présence permanente de poudre sont :

- Le sac contenant un mélange des poudres selon la recette à préparer
- Le système d'extraction
- L'attache rapide entre la trémie et la roue du mélangeur

Remarque :

Les trémies dans la plupart des cas sont supposées comme zone 20, mais chez Danone, des opérations de nettoyage de la trémie sont effectuées après la finalisation de l'opération de mélangeage. Par contre, il y a des zones où l'eau ne peut pas atteindre, c'est bien dans l'attache rapide entre trémie et roue de mélangeur, ou la présence permanente des poudres

Emission occasionnelle :

Pendant le fonctionnement normal du processus, la mise en suspension des poudres, est causée par :

- Une émission de poudre au niveau des connexions des différents éléments de la trémie
- Pert d'étanchéité Durant le Transfer de la poudre (trémie ->mélangeur)
- Les opérations périodiques de remplacement des filtres du système d'extraction
- La réception et la préparation des sacs des matières avant le lancement de production
- Le déplacement des sacs/sachets vide après l'utilisation
- Lors de l'introduction des matières dans la trémie

Emission accidentelle :

Les émissions potentielles et imprévisibles en fonctionnement normal peuvent être causées par :

- Une émission accidentelle due à un sur remplissage de la trémie de
- Perforation des sacs/sachets des produits accidentellement

ii.Détermination des zones

Après avoir déterminé les installations concernées, les caractéristiques d'inflammabilité des poudres et les différentes sources d'émissions et en suivant les indications du document GES 106 (AREA Classification GUIDANCE FOR SOME SOURCES OF COMBUSTIBLE DUST RELEASE IN INDOOR AREAS), (voir annexe D) on a déterminé la zone ATEX gaz et son étendue à l'aide du logiciel GIMP version 2.0 :

Tableau 4.26 : Délimitation des zones ATEX dans l'atelier de poudrage :

Source de dégagement		Matière inflammable			Région dangereuse			
Description	Degré de dégagement	EMI (Mj)	TMI(°C)		Etat	Zone	Etendue de la zone	
			Couche	Nuage				
Le volume de poudre à l'intérieur de sac de mélange	Permanent	10	142	170	Solide	20	Tout le volume	
Sacs/sachets perforé	Accidentelle					22	Vertical :3m jusqu'au sol	Horizontal :3 m
Volume de poudre dans l'attache rapide entre la trémie de chargement et la roue de mélangeur	Permanent					20	Tout le volume	
System d'extraction	Permanent					20	Tout le volume	
Remplacement des filtres du système d'extraction	Occasionnelle					21	Vertical : 2 m jusqu'au sol	Horizontal : 2 m
Un débordement accidentel de la trémie	Accidentelle					22	Vertical : 3 m jusqu'au sol	Horizontal : 3 m
Introduction des poudres dans la trémie	Occasionnelle					21	Vertical : 1 m jusqu'au sol	Horizontal : 1 m
Etanchéité trémie	Le bride entre trémie-mélangeur					Occasionnelle	21	Vertical : 1m jusqu'au sol
	Attache trémie-mélangeur	Vertical : 1m jusqu'au sol	Horizontal : 1m					

Remarque : On a assimilé des sphères de 5 m de diamètre pour les zones 20

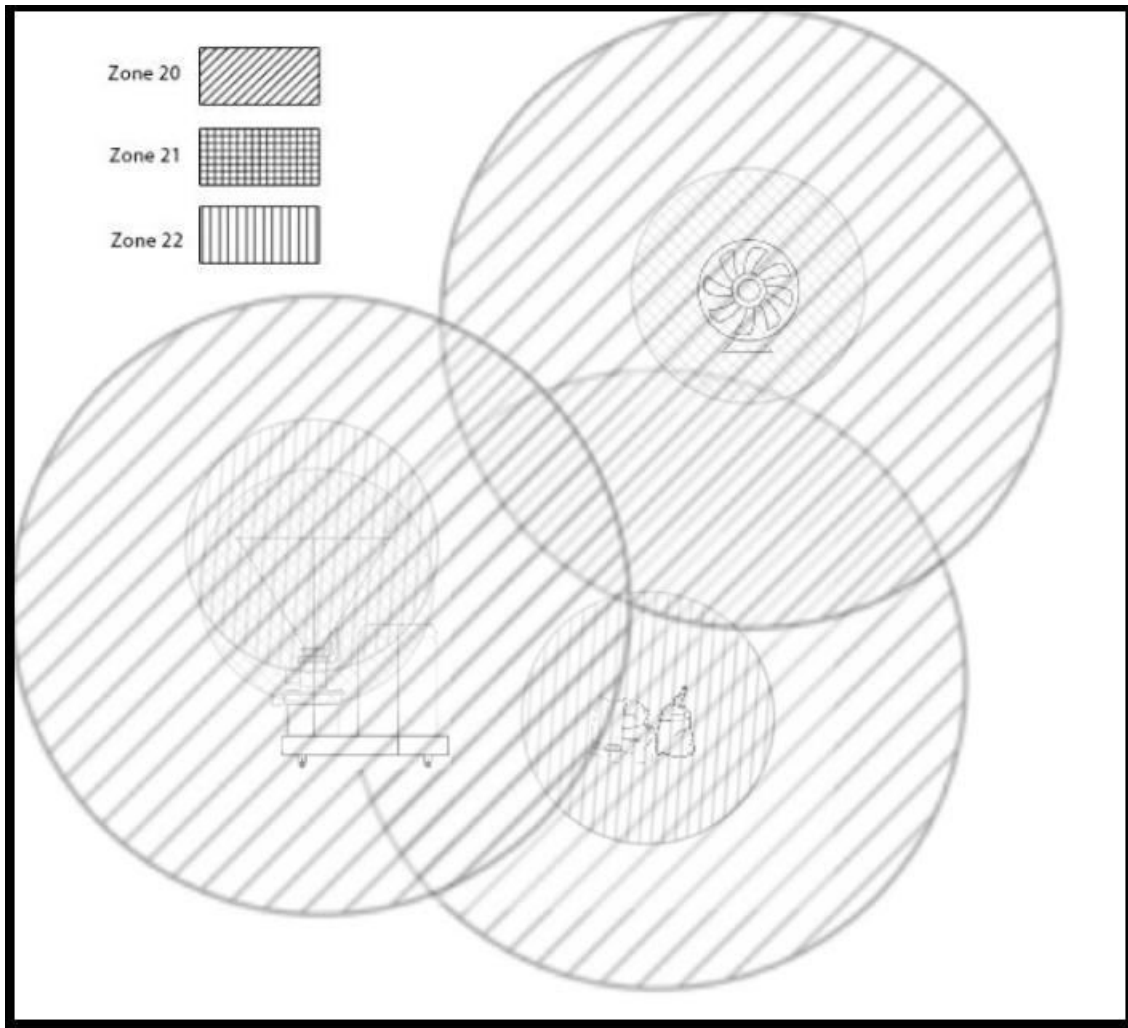


Figure 4.23 : Délimitation des zones ATEX dans l'atelier de poudrage

Indication : Le zonage englobe les éléments au niveau de l'atelier de poudrage :

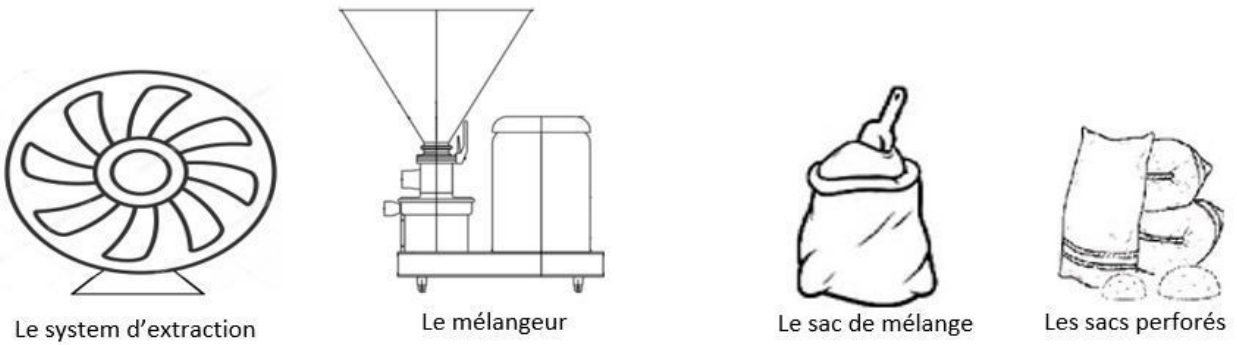


Figure 4.24: Les éléments entrés dans le dessin de zonage

La figure 4.25 représente une zone 20 dans l'atelier de poudrage



Figure 4.25: Exemple d'une zone 20 dans l'atelier de poudrage (photo réel)

a. Evaluation de la probabilité d'émission :

Compte tenu des données de fiabilité recueillies, et des conditions opérationnelles du système étudié. On suppose toujours que les taux de défaillance λ_i des événements élémentaires sont constants et par conséquent le système suit la loi de fiabilité exponentielle qui permet de modéliser la phase utile (maturité) du système ce qui

Constitue une hypothèse raisonnable vue l'état des équipements.

La probabilité de défaillance des événements élémentaires est donnée par la relation suivante :

$$P(E_i) = 1 - R_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

Les taux de défaillances nécessaires pour la simulation des Add, ont été recueillis toujours à partir des bases des données de fiabilité :

- ❖ OREDA (2002).
- ❖ NRPD (1991)
- ❖ IEEE 500 (1982)
- ❖ Le retour d'expérience de l'entreprise.
- ❖ Des études et des statistiques des accidents

Pour certains évènements élémentaires on a placé la probabilité directement sur l'AdD. Pour le reste des évènements, les probabilités ont été calculé directement en utilisant la formule précédente avant d'être placé sur l'AdD

Analyse qualitative :

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à la création d'atmosphère explosive est présentée dans la figure 4.26

Le tableau 4.27 représente les portes logiques de l'AdD (création d'un nuage/couche de poussière).

Tableau 4.27 : Liste des portes logiques de l'AdD

Nom	Evénements	Portes Logique
P067	Création d'un nuage/couche de poussière	OU
P073	Débordement des poudres de la trémie	OU
P068	Non-extraction	OU
P079	Accumulation de la poudre dans la trémie	OU
P083	Perforation des sacs de matières	OU
P069	Sur-remplissage de la trémie	OU
P062	Arrêt de system d'extraction	OU
P066	Conduits d'extraction bouchées	OU
P081	La vanne ne s'ouvre pas	OU
P084	Collision des sacs avec un outil tranchant	OU

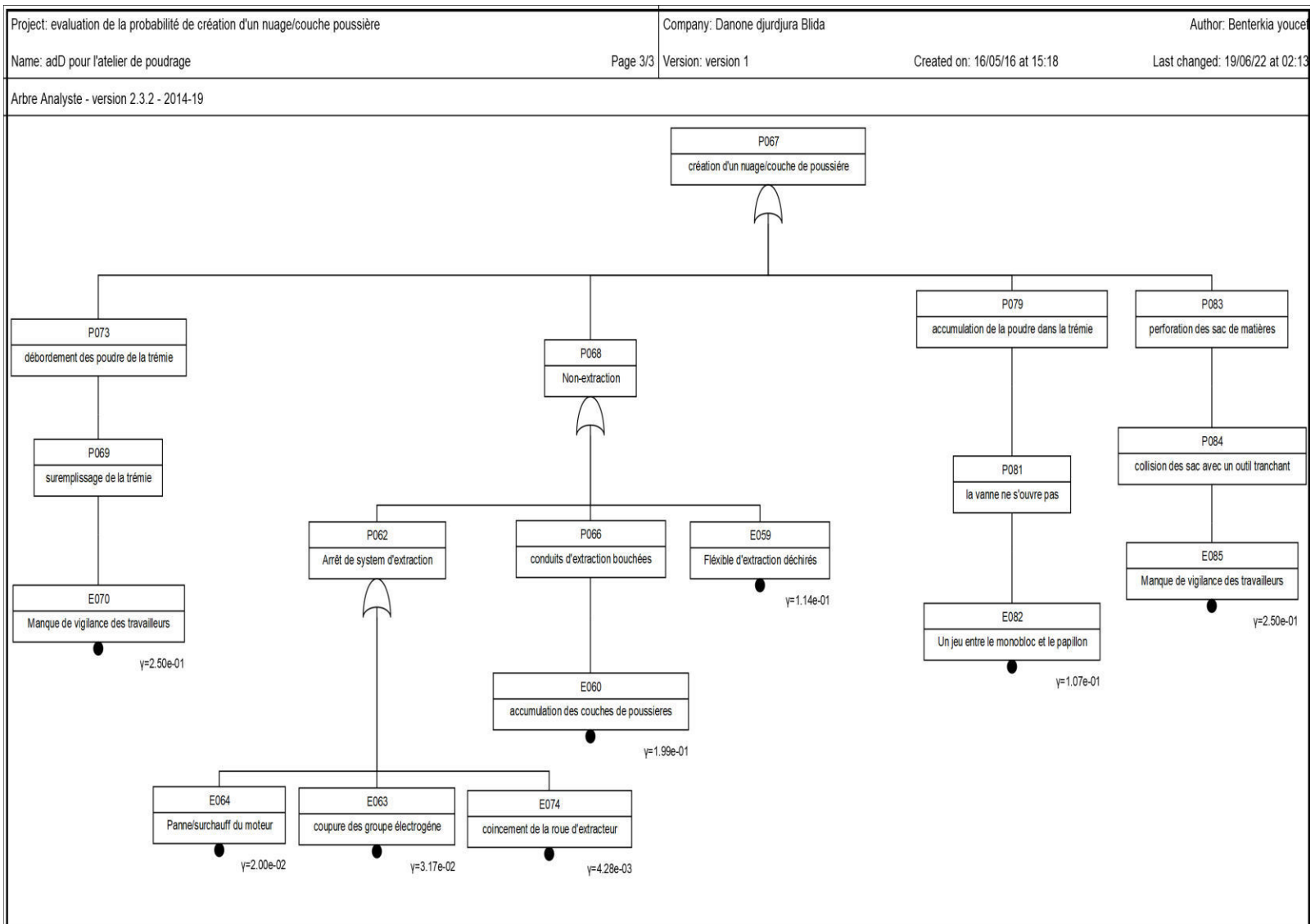


Figure 4.26 : Add sur l'atelier de poudrage

Le tableau 4.28 regroupe les probabilités de chacun des événements de base classé d'un ordre décroissant participant à l'évènement redouté

Tableau 4.28 : Liste des événements élémentaires de l'Add avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E070	Manque de vigilance des travailleurs	0.25
2	E085	Manque de vigilance des travailleurs	0.25
3	E060	Accumulation des couches de poussières	0.1987
4	E059	Flexible d'extraction déchirés	0.1138
5	E082	Un jeu entre le monobloc et le papillon	0.107
6	E063	Coupure des groupe électrogène	0.03172
7	E024	Ouverture et fermeture de la porte	0.152
8	E064	Panne/surchauffe du moteur	0.02
9	E074	Coincement de la roue d'extracteur	0.00428

Remarque :

On constate que le manque de vigilance des travailleurs conduit à l'évènement redouté : création d'un nuage/couche poussière dont la probabilité est élevée. Donc une sensibilisation et formation du personnel dans l'atelier de poudrage va diminuer le risque de formation de nuage de poussière d'une façon très efficace

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 8 coupes minimales ils sont tous de premier ordre. Le tableau 4.29 représente les coupes et leurs pourcentages classés par ordre décroissant.

Remarque : par une simple observation du tableau 4.28, on peut conclure que l'élimination des deux premières coupes vont diminuer l'apparition de l'évènement redouté de 50%

Tableau 4.29 : Les coupes minimales classées par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	1	0.25	25.6279%	E070
2	1	0.25	25.6279%	E085
3	1	0.1987	20.369%	E060
4	1	0.1138	11.6658%	E059
5	1	0.107	10.9687%	E082
6	1	0.03172	3.25167%	E063
7	1	0.02	2.05023%	E064
8	1	0.00428	0.438749%	E074

La figure 4.27 représente les coupes minimales et leurs pourcentages d'occurrence

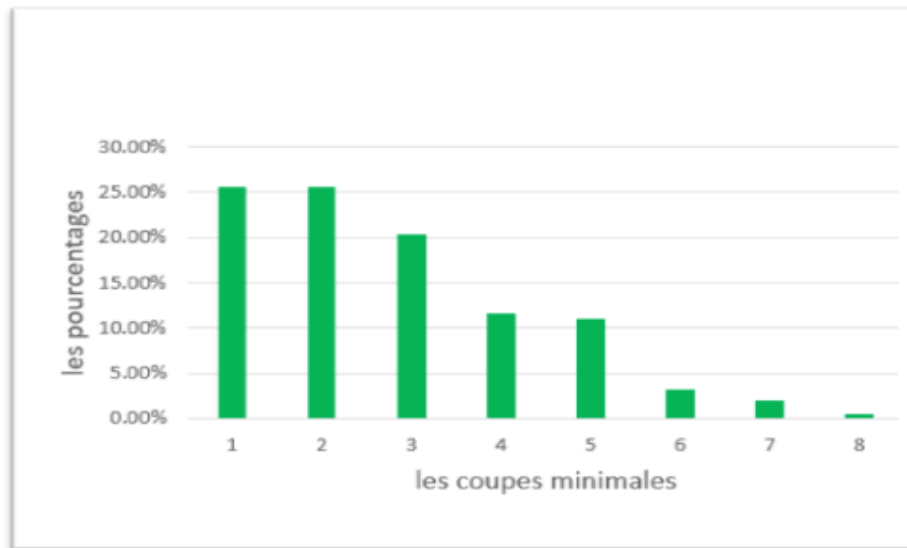


Figure 4.27 : Les coupes minimales et leurs pourcentages

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P067) = 0.663$ ce qui signifie que la création d'un nuage/couche de poussière est courant en se référant à l'échelle de probabilité de l'APR.

b. Evaluation des risques d'ignition

i. Identification des sources d'ignition

En se référant à la norme EN1127-1 et au document INRS (Élimination des sources d'inflammation dans les zones à risque d'explosion) et Explosion sur le lieu de travail , nous avons considéré les sources d'inflammation suivants pour notre atelier :

Réaction exothermique :

Une production de chaleur peut donner lieu à cause d'une réaction chimique exothermique entre les matières (liquide et poudres) mélanger. Qui va présenter une source d'ignition.

Courant circulant :

Une fuite électrique est un événement qui peut exploser notre local a un risque d'un courant circulant.

Décharges d'origine électrostatique :

Les éléments suivants exposent notre local aux décharges électrostatiques :

- ✓ Une mauvaise mise à la terre due à la réunion des deux évènements élémentaire suivants :
- ✓ Absence d'une installation de dispositif antistatique de mis à la terre
- ✓ Fil de terre cassé
- ✓ Décharge électrostatique du corps humain due à la coexistence simultanée des deux évènements élémentaires suivants :
- ✓ Présence d'un conducteur à proximité de l'opérateur
- ✓ Friction entre le corps humain et la fibre
- ✓ Décharges de cône : Ces décharges peuvent se produire lorsqu'une poudre ou des granulés fortement chargés forment un cône généralement dans un fût de stockage ou une trémie. Leur énergie dépend de la taille des particules et de la taille du contenant.

L'énergie équivalente des décharges de cône peut être approchée à partir de la formule :

$$W = 5,22 D^{3.36} d^{1.16}$$

Avec :

W : Limite haute de l'énergie d'une décharge de cône en mJ

D : Diamètre du conteneur à la terre en m d : Diamètre médian des poudres formant le cône (mm)

On prend :

$d=0.5\text{mm}$: Le diamètre minimum d'une poudre combustible (on a pris cette valeur par manque des données des granulométries des poudres utilisé dans notre atelier)

$D=0.8\text{m}$: le diamètre de la trémie

Application numérique :

$$W = 5,22 \times 0.8^{3.36} \times 0.5^{1.16}$$

$$W = 1.1 \text{ mJ}$$

Cette valeur est presque 10 fois inférieure à l'EMI du produit qui est de 10mJ. Donc ce type de décharge et très loin de se présenter comme une source d'inflammation.

Étincelle de foudre :

Les événements suivants exposent notre local au risque d'une étincelle de foudre :

- ✓ Propagation de foudre le long des canalisations
- ✓ Induction de foudre
- ✓ Coup de foudre direct

Flammes nues :

Les événements suivants exposent notre atelier à des flammes nues :

- ✓ Tabac
- ✓ Allumette
- ✓ Briquet

Étincelle d'origine électrique :

Les événements suivants exposent notre local au risque des étincelle d'origine électrique :

- ✓ L'utilisation de téléphone mobile
- ✓ Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)
- ✓ Utilisation d'un autre équipement électrique
- ✓ La présence des prises électriques
- ✓ Une étincelle d'appareillage électrique (détecteur niveau, moteur électrique)

ii. Evaluation de la probabilité d'ignition

iii. En suivant la même démarche que celle utilisée pour les sources d'émission, nous allons procéder par analyse AdD dans le but de déterminer toutes les sources d'ignition pouvant causer l'inflammation de l'ATEX et quantifier la probabilité d'occurrence

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à l'apparition d'une source d'ignition active est présentée dans la figure 4.28

Le tableau 4.30 représente les portes logiques de l'AdD

Tableau 4.30 : Les portes logiques de l'AdD

Nom	Evénements élémentaires	Portes Logique
P059	Source d'ignition	OU
P174	Production de la chaleur	OU
P126	Courant circulant	OU
P144	Décharge statique	OU
P081	Étincelle de foudre	OU
P061	Les flammes nues	OU
P154	Étincelle d'origine électrique	OU
P147	Une mauvaise mise à la terre	OU
P149	Décharge électrostatique du corp humain	ET
P169	Étincelle d'appareillage électrique	OU

Arbre Analyste - version 2.3.2 - 2014-19

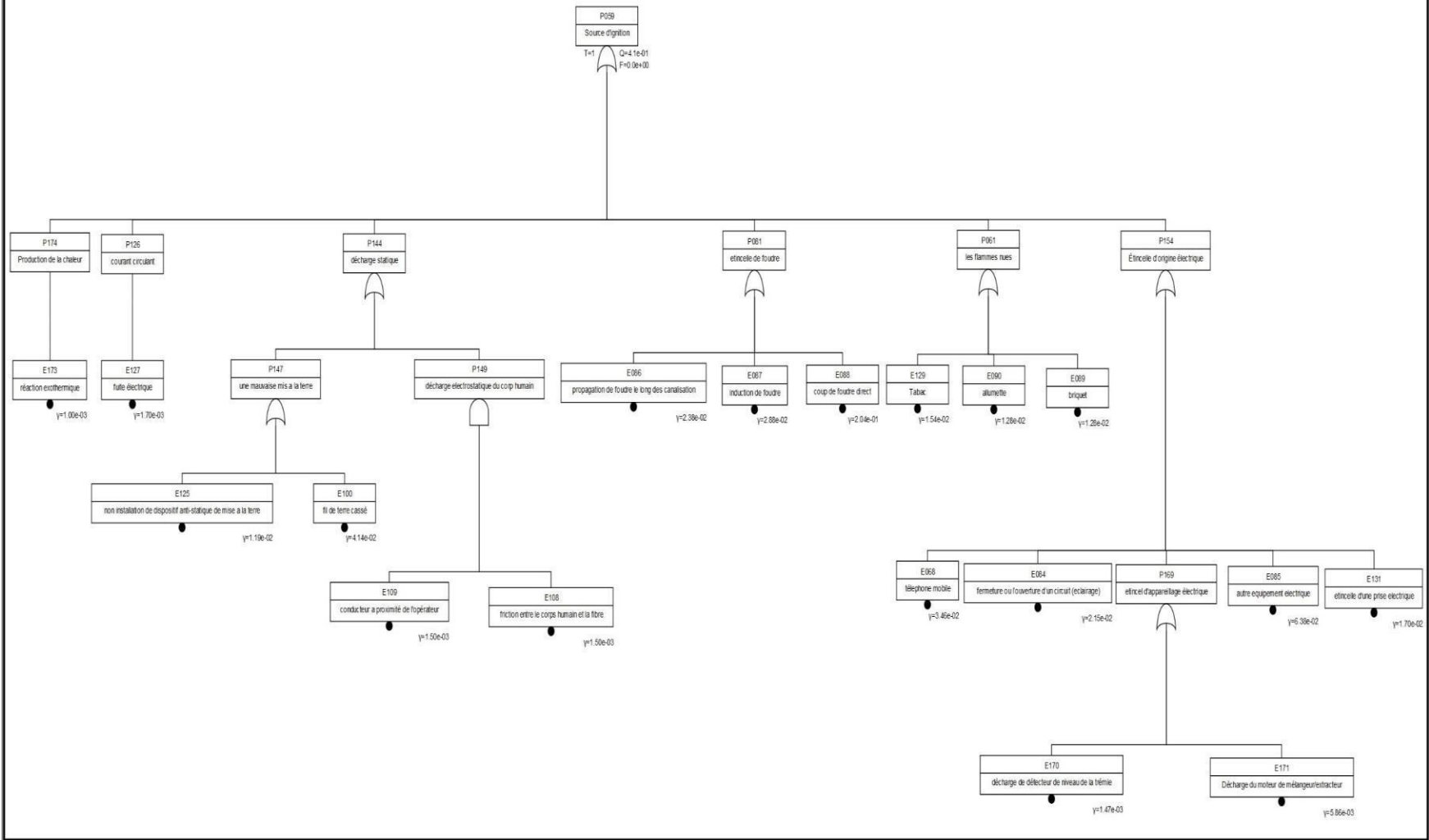


Figure 4.28 : Add création une source d'ignition

Le tableau 4.31 représente la Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

Tableau 4.31 : Liste des événements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E088	Coup de foudre direct	0.204
2	E085	Autre équipement électrique	0.0638
3	E100	Fil de terre cassé	0.0414
4	E068	Téléphone mobile	0.0346
5	E087	Induction de foudre	0.0288
6	E086	Propagation de foudre le long des canalisation	0.0238
7	E084	Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)	0.0215
8	E131	Étincelle d'une prise électrique	0.017
9	E129	Tabac	0.0154
10	E089	Allumette	0.0128
11	E090	Briquet	0.0128
12	E125	Non installation de dispositif antistatique de mise à la terre	0.0119
13	E171	Décharge du moteur de mélangeur/extracteur	0.00585
14	E127	Fuite électrique	0.0017
15	E109	Conducteur à proximité de l'opérateur	0.0015
16	E108	Friction entre le corps humain et la fibre	0.0015
17	E170	Décharge de détecteur de niveau de la trémie	0.00147
18	E173	Réaction exothermique	0.001

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminé 17 coupes minimales 16 parmi eux sont de premier ordre et une seule coupe est de deuxième ordre. Les coupes et leurs

pourcentages sont exprimés dans le tableau ci-dessous en ordre décroissant concernant les probabilités :

Tableau 4.32 : Liste des coupes minimales de l'Add avec leur probabilité et pourcentages classée par ordre décroissant

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	1	0.204	40,9777%	E088
2	1	0.0638	12,8156%	E085
3	1	0.0414	8,31605%	E100
4	1	0.0346	6,95013%	E068
5	1	0.0288	5,78508%	E087
6	1	0.0238	4,78073%	E086
7	1	0.0215	4,31872%	E084
8	1	0.017	3,4148%	E131
9	1	0.0154	3,09341%	E129
10	1	0.0128	2,57115%	E089
11	1	0.0128	2,57115%	E090
12	1	0.0119	2,39036%	E125
13	1	0.00586	1,1771%	E171
14	1	0.0017	0,34148%	E127
15	1	0.00147	0,29528%	E170
16	1	0.001	0,200871%	E173
17	2	2.25e-006	0,0004519%	E108 E109

La figure 4.29 représente les coupes minimales avec leur pourcentage

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P059) = 0.4097$ ce qui signifie que la probabilité de l'apparition d'une source d'ignition est courante.

On constate que La probabilité d'ignition par des décharge électrique et électrostatique sont très élevé. Donc on va focaliser notre démarche préventive beaucoup plus sur ces deux types de décharges

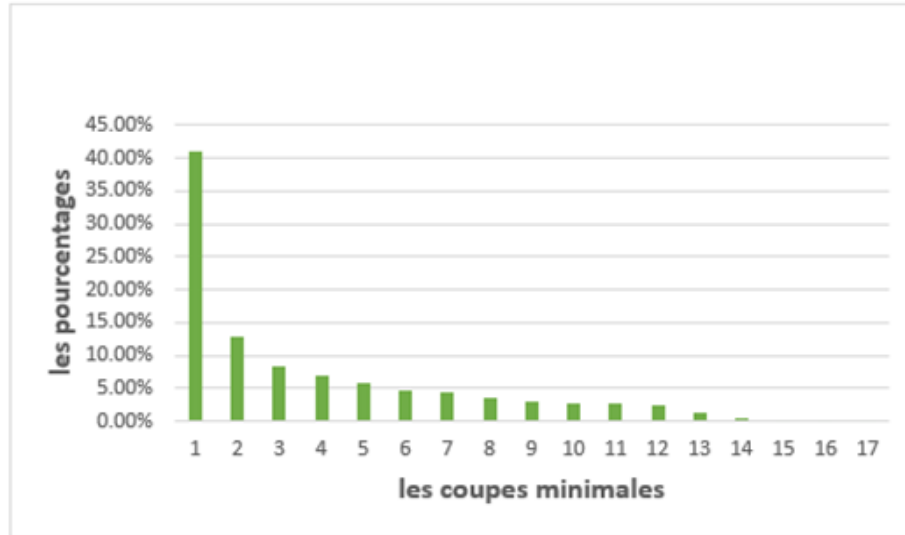


Figure 4.29 : Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage

c. Evaluation de la probabilité d'explosion de l'atmosphère explosive :

Comme on a l'expliqué précédemment L'évaluation des risques ATEX dans une zone étudier est bien la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone.

Analyse quantitative :

$P(\text{explosion d'un atmosphère explosive}) = P(\text{création d'un nuage/couche de poussière}) \times P(\text{présence d'une source d'inflammation})$

Application numérique :

$$P(\text{explosion}) = 0.663 \times 0.4097$$

$$P(\text{explosion}) = 0.27 = 27.16\%$$

Afin d'apprécier cette probabilité, on va se référer à l'échelle utilisée dans l'APR.

$P(\text{d'explosion}) > 10^{-2}$ est considéré selon cette grille comme évènement courant, il nécessite une amélioration dans le but de réduire les probabilités des évènements élémentaires.

Analyse qualitative :

On est précédemment démontré par double analyse (quantitative et qualitative) que la probabilité de l'apparition d'une source d'inflammation 40.97% C'est une valeur importante et pour cela on assimile une probabilité de 4 (source présente constamment ou fréquemment)

Dans l'atelier de poudrage on a identifié plusieurs zone ATEX. Les plus dangereuses sont les zone 20.

Le tableau extrait de la réglementation européen indique que la probabilité d'explosion est de 3 ce qui implique une explosion probable qui nécessite des mesures compensatoires.

G. Conclusion

Grace à la quantification et la qualification de la probabilité de l'explosion dans l'atelier de poudrage à l'aide des méthodes d'analyse de risque on a déduit que ce risque est présent, il nécessite la mise en place des mesures préventive et organisationnelles qui vont être détaillé dans le chapitre 5

4.3.4. Magasin des matières premières

A. Introduction

La base de données Aria sur les accidents technologiques recense 207 événements français impliquant des magasins des matières premières combustibles sur une période allant du 01 janvier 2009 au 31 décembre 2016, soit une moyenne de 25 événements par an. Dont 6% parmi ces accidents sont des explosions cependant le secteur d'activité agroalimentaire est le 5ème secteur le plus exposé aux explosions impliquant des magasins des matières premières avec un pourcentage de 3.5%.

Même pour une probabilité à l'échelle de 10^{-2} , la maîtrise de ce type d'accident reste indispensable vu la gravité immense que l'explosion engendre.

Les quantités des matières présentes dans le magasin et même leurs nature (poudres très fines) rendent les dégâts occasionnés par l'explosion énormes.

B. Aperçu sur le magasin

Le magasin de stockage englobe toutes les matières premières entrant dans le processus de fabrication des produits laitiers Danone. Les matières liquides sont stockées dans un frigo (les ferment, les arômes et les préparation fruits)

Il s'agit d'un local d'une large superficie équipé par des palettes en bois pour l'empilement des sacs des matières : des chariots de manutention (transpalettes, gerbeurs et chariots élévateurs), la présence des salariés pour la réception des stocks, conduction des chariots, la vérification de disponibilité des réserves et la non-conformité quantitative de ces derniers. Ces différentes tâches impliquant les opérations de stockage.

Les quantités stockées sont à l'échelle des centaines des tonnes, le tableau 4.33 indique quelques quantités des matières stockées au niveau du magasin a un moment donné.

Nota :

Les matières stockées dans le frigo sont exclues de notre étude car elles ne sont pas inflammables.

Tableau 4.33 : Quantités des matières premières stockées au niveau du magasin des matières premières

Désignation	Quantité stocké
Poudre du lait	950 tonnes
Préparation fruits (sous différentes formes)	140 tonnes
Arome	10 tonnes
Amidon	02 tonnes
Ferments	05 tonnes
Sucre	180 tonnes



Figure 4.30 : Les différentes matières stockées dans le magasin (photos réels)

C. Faire les inventaires des produits

Au niveau du magasin, les produits stockés sont à l'ordre de 12 produits (des poudres)

Etablir la liste des produits

Le tableau ci-dessous présente la nature et le pouvoir combustible des produits stockés

Tableau : Liste des produits stockés et son pouvoir combustible

Tableau 4.34 : Liste des produits stockés et son pouvoir combustible

Produit	Inflammabilité	Nature
Amidon de maïs	Combustible	Poudre
Amidon de blé	Combustible	Poudre
Poudre de lait entier	Combustible	Poudre
Poudre de lait 0% graisse	Combustible	Poudre
Cacao	Combustible	Poudre
Gomme de guar poudre (additif)	Combustible	Poudre
Poudre de carraghénane (additif)	Combustible	Poudre
Amidon de pomme de terre	Combustible	Poudre
Carra lact dde (additif)	Combustible	Poudre
Carra lact ppd (additif)	Combustible	Poudre
Sodium carboxyméthylcellulose (un sel)	Combustible	Poudre
Sucre betterave	Combustible	Poudre

Etablir les caractéristiques physico-chimiques des poudres combustibles :

Le tableau 4.35 représente les propriétés physico-chimiques des poudres combustibles

Dans un souci d'augmenter l'efficacité des mesures à adopter pour la réduction du risque, nous considérerons les paramètres de la poudre comme suit :

TMI (nuage) = 170 °C

TMI (couche) = 142°C

Pmax= 9.8bar

EMI= 10 MJ

Kst= 200 bar.m. s-1

CME=30 g/m3

Tableau 4.35 : Les propriétés physico-chimiques des produits utilisés dans l'atelier de poudrage

Produit	EMI (MJ)	TMI(°C)		Pmax (bar)	Kst (Bar.m.s-1)	Classe	CME(g/m3)
		Nuage	Couche				
<i>Amidon de maïs</i>	30	170	170	9.5	195	St1	30
Amidon de blé	50	400	380	9.8	132	St1	60
Poudre de lait entier	50	440	142	5.8	28	St1	60
Poudre de lait 0% graisse	50	490	200	9	159	St1	50
Cacao	100	510	240	5	85	St1	75
Gomme de guar poudre (additif)	10000	500	500	6.7	70	St1	N/A
Poudre de carraghénane (additif)	100000	N/A	N/A	8.5	140	St1	N/A
Amidon de pomme de terre	25	390	440	9.4	89	St1	70
Carra lact dde (additif)	10	300	300	8.5	200	St1	N/A
Carra lact ppd (additif)	10	300	300	8.5	200	St1	N/A
Sodium carboxyméthylcellulose (un sel)	60	370	370	9.2	136	St1	125
Sucre betterave	10	350	370	8.2	59	St1	60

1.1 D. Analyse et procédés mis en œuvre

Le magasin des matières premières est dédié à la réception et la distribution de ses matières aux différents locaux (conditionnement ARCIL, conditionnement SERAC... etc.). Le gerbage se fait par des chariots de manutention (transpalette électrique, gerbeur électrique, chariots élévateurs électriques et chariots élévateurs en gaz). Et bien sûr la présence du facteur humain pour la conduite des chariots (caristes) et pour la gestion du stock.



Figure 4.31 : Opération de gerbage

1.2 E. Étudier les dysfonctionnements potentiels

En fonctionnement normale le risque d'explosion d'atmosphère est absent ce qui implique la non existence des zone 20 et 21. par contre des zones 22 peuvent se former accidentellement lors du départ / transport des sacs de matière perforé qui va donner naissance à des couches de poussières.

Un tremblement de terre va causes une chute des sacs et par la suite une ouverture brusque de ses derniers qui causent directement un débordement des poudres sur terre et ensuite une création des couches de poussière.

Autres causes peuvent former des ATEX sont bien détaillées par la suite en utilisant l'arbre de défaillance.

F. Evaluation des risques :

L'évaluation des risques ATEX dans le magasin des matières premières est la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone. Pour déterminer les zones il faut tout d'abord :

i. Identification des sources d'émissions

Au niveau du magasin des matières premières, on n'a pas des sources d'émission permanente et occasionnelle

Emission accidentelle :

Les émissions potentielles et imprévisibles en fonctionnement normal peuvent être causées par :

- Perforation des sacs des matières suit à une chute accidentelle de ces derniers qui va créer des couches des poussières, cependant l'ouverture brusque des sacs causée par le choc provoqué par la chute peut engendrer la remise en suspension des poussières dont la création d'un nuage de poussière explosif.

ii. Détermination des zones

Après avoir déterminer les endroits concernés, les caractéristiques d'inflammabilité des poudres et les différentes sources d'émissions, on a déterminé la zone ATEX gaz et son étendue :

Tableau 4.36 : Délimitation des zones ATEX dans le magasin des matières premières

Source de dégagement		Matière inflammable			Région dangereuse		
Description	Degré de dégagement	EMI (MJ)	TMI(°C)		Etat	Zone	Etendue de la zone
			Couche	Nuage			
Débordement des poudres suite à une perforation accidentelle des sacs de matières	Accidentelle	10	142	170	Solide	22	Tout le volume du magasin


Remarque :


- On a pris tout le local car on ne peut pas connaitre où le débordement des poudres va donner lieu exactement au niveau du magasin, un déplacement d'un sac perforé le long de la surface du magasin peut créer des couches de poussière, même dans le cas d'un séisme, la situation est pareil.
- On a pu limiter la hauteur d'un nuage créé par la perturbation des couches de poussière à 3m du sol. Mais il y a une possibilité que la couche des poussières se trouve en hauteur et pas nécessairement au niveau du sol, dans le cas d'un gerbage d'un sachet déjà perforé par manque de la vigilance de la part du cariste va donner naissance à une couche de poussière dans une hauteur importante.



Figure 4.32 : Zonage ATEX du magasin des matières premières

Indications :

 : Zone 22 (tout le magasin)

 : poudre déborder des sacs

a. Evaluation de la probabilité d'émission :

La probabilité de l'évènement redouté création d'atmosphère de gaz a été calculée grâce à une analyse par arbre de défaillances AdD.

Compte tenu des données de fiabilité recueillies, et des conditions opérationnelles du système étudié. On suppose que les taux de défaillance λ_i des évènements élémentaires sont constants et par conséquent le système suit la loi de fiabilité exponentielle qui permet de modéliser la phase utile (maturité) du système ce qui constitue une hypothèse raisonnable vue l'état des équipements. La probabilité de défaillance des évènements élémentaires est donnée par la relation suivante :

$$P(E_i) = 1 - R_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

Les taux de défaillances nécessaires pour la simulation des AdD, ont été recueillis à partir de la base des données de fiabilité :

- ❖ OREDA (2002).
- ❖ NRPD (1991)
- ❖ IEEE 500 (1982)
- ❖ Le retour d'expérience de l'entreprise
- ❖ Des études et des statistiques des accidents

Pour certains évènements élémentaires on a placé la probabilité directement sur l'AdD. Pour le reste des évènements, les probabilités ont été calculé directement en utilisant la formule précédente avant d'être placé sur l'AdD.

Par souci de représentativité des résultats, le temps de mission alloué à la simulation est d'une année soit 8760 heures on a proposé d'étudier l'arborescence de l'évènement à l'aide du logiciel Arbre Analyste, qui assure en plus de la représentation graphique, une simulation

numérique utile pour la détermination des coupes minimales, le calcul de probabilités ainsi que l'analyse de la fiabilité du système.

Analyse qualitative :

La représentation arborescente des successions d'évènements menant à la création d'atmosphère explosive est présentée dans la figure 4.32.

Le tableau 4.37 représente les portes logiques de l'AdD (création nuage/couche de poussière)

Tableau 4.37 : Liste des portes logiques de l'AdD

Nom	Evénements	Logique
P001	Création nuage/couche poussière	ET
P016	Sac perforé	OU
P019	Collision des sacs avec un outil tranchant	OU
P004	Chute des sacs	OU
P005	Chute du chariot de manutention	OU
P006	Chute en hauteur	OU
P012	Mauvaise conduite	OU

Le tableau 4.38 regroupe les probabilités de chacun des évènements de base classé d'un ordre décroissant participant à l'évènement redouté

Tableau 4.38 : Liste des évènements élémentaires de l'AdD avec leur probabilité classée par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E022	Absence d'un system d'extraction artificielle	0.37
2	E020	Manque de vigilance des travailleurs	0.25
3	E011	Mauvais positionnement	0.25
4	E014	Excès de vitesse	0.25
5	E008	Le non-respect des règles de stockage	0.25
6	E009	Mauvais gerbage	0.25
7	E029	Tremblement de terre	0.0329

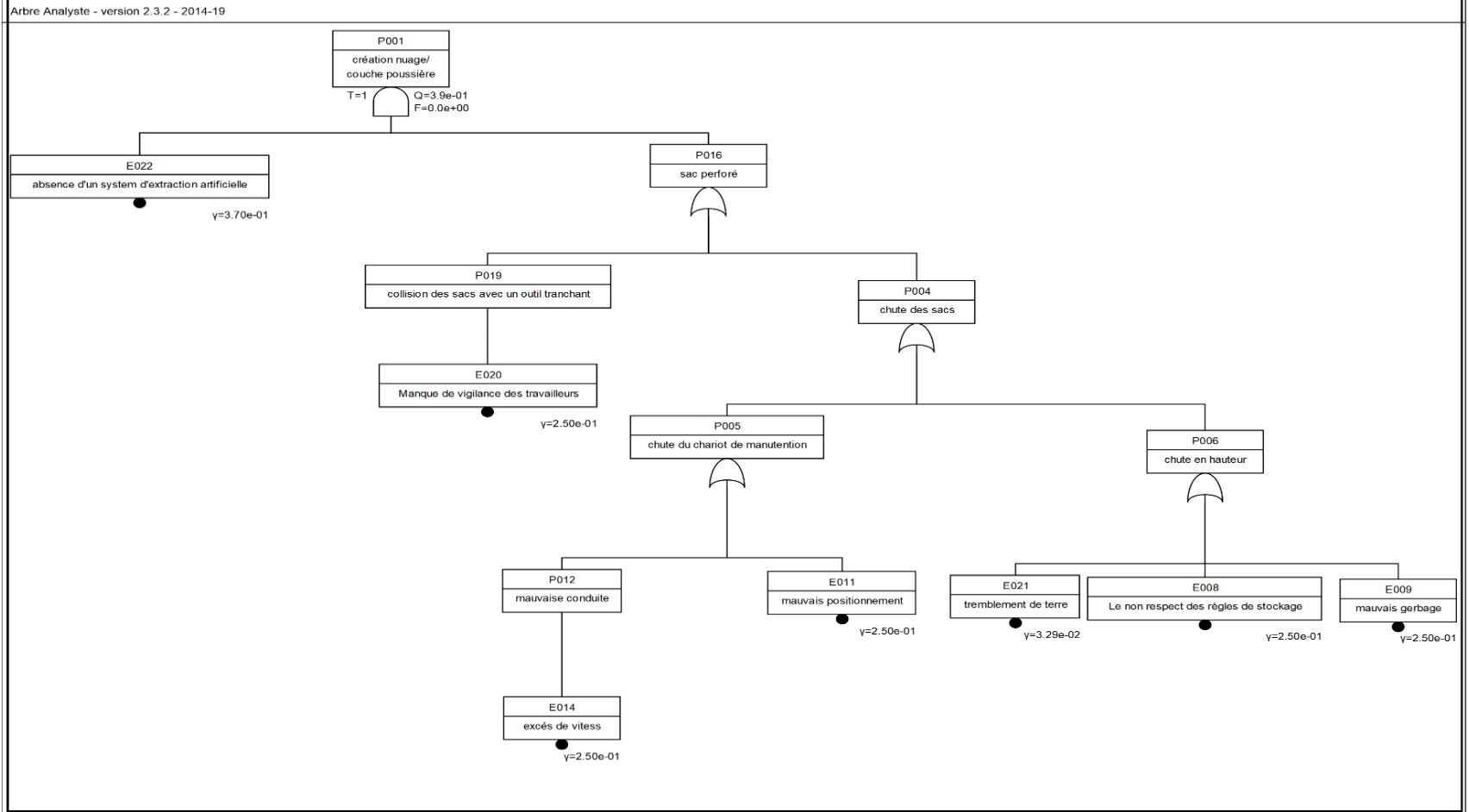


Figure 4.33 : Add pour le magasin des matières premières

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminer 6 coupes minimales ils sont tous de deuxième ordre. Les coupes et leurs pourcentages sont exprimés dans le tableau ci-dessous en ordre décroissant.

Tableau 4.39 : Les coupes minimales classées selon leur probabilité

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	2	0.0925	19,4871%	E009 E022
2	2	0.0925	19,4871%	E008 E022
3	2	0.0925	19,4871%	E011 E022
4	2	0.0925	19,4871%	E014 E022
5	2	0.0925	19,4871%	E020 E022
6	2	0.012173	2,56%	E021 E022

On constate que pour un nuage ou une couche de poussière puisse se former au niveau du magasin des matières premières, deux événements élémentaires doivent se présenter simultanément.

La figure 4.34 représente les coupes minimales avec leurs pourcentages d'occurrence

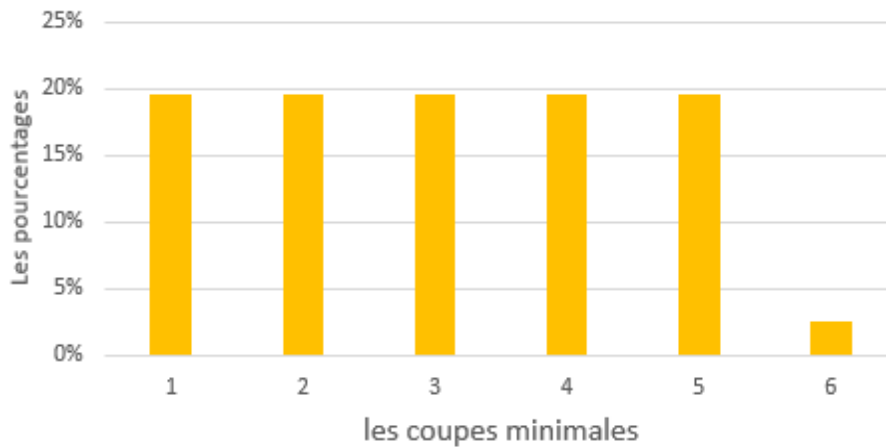


Figure 4.34 : Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P001) = 0.392$, ce qui signifie que l'émission est courante

b. Evaluation des risques d'ignition :

i. Identification des sources d'ignition :

En se référant à la norme EN1127-1 et au document INRS (Élimination des sources d'inflammation dans les zones à risque d'explosion) et Explosion sur le lieu de travail , nous avons considéré les sources d'inflammation suivants pour notre locale :

Flammes nues :

Les évènements suivants exposent notre local a des flammes nues :

- ✓ Tabac
- ✓ Allumette
- ✓ Briquet

Éclatement d'aérosols ou des bouteilles de gaz alimentant les chariots élévateurs :

D'après le retour d'expérience des risque technologique Les explosions dans les magasins des matières premières sont principalement liées à l'éclatement d'aérosols ou des bouteilles de gaz alimentant les chariots élévateurs, pour notre cas, on focalise sur la probabilité que cette explosion enflammera le nuage/couche explosive.

Décharges d'origine électrostatique :

Les éléments suivants exposent notre local aux décharges électrostatiques :

- ✓ Une mauvaise mise à la terre due à la réunion des deux évènements élémentaire suivants :
 - Absence d'une installation de dispositif antistatique de mis à la terre
 - Fil de terre cassé
- ✓ Décharge électrostatique du corps humain due à la coexistence simultanée des deux évènements élémentaires suivants :
 - Présence d'un conducteur à proximité de l'opérateur
 - Friction entre le corps humain et la fibre

Étincelle d'origine électrique :

Les événements suivants exposent notre local au risque des étincelle d'origine électrique :

- ✓ L'utilisation de téléphone mobile
- ✓ Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)
- ✓ Utilisation d'un autre équipement électrique
- ✓ La présence des prises électriques

Étincelle de foudre :

Les événements suivants exposent notre local au risque d'une étincelle de foudre :

- ✓ Propagation de foudre le long des canalisations
- ✓ Induction de foudre
- ✓ Coup de foudre direct

Courant circulant :

Une fuite électrique est un événement qui peut exposer notre local a un risque d'un courant circulant.

Explosion d'une batterie des chariots élévateurs :

On a pu démontrer que l'explosion d'une batterie est possible, malgré la probabilité très basse mais il faut la prendre en considération. Lors l'explosion d'une batterie, l'énergie libérée de cette explosion peut enflammer le mélange/couche de poussière explosif

ii. Evaluation de la probabilité d'ignition

En suivant la même démarche que celle utilisée pour les sources d'émission, nous allons procéder par analyse AdD dans le but de déterminer toutes les sources d'ignition pouvant causer l'inflammation de l'ATEX et quantifier la probabilité d'occurrence

Analyse qualitative

La représentation arborescente des successions d'événements menant à l'apparition d'une source d'ignition active est présentée dans la figure suivante :

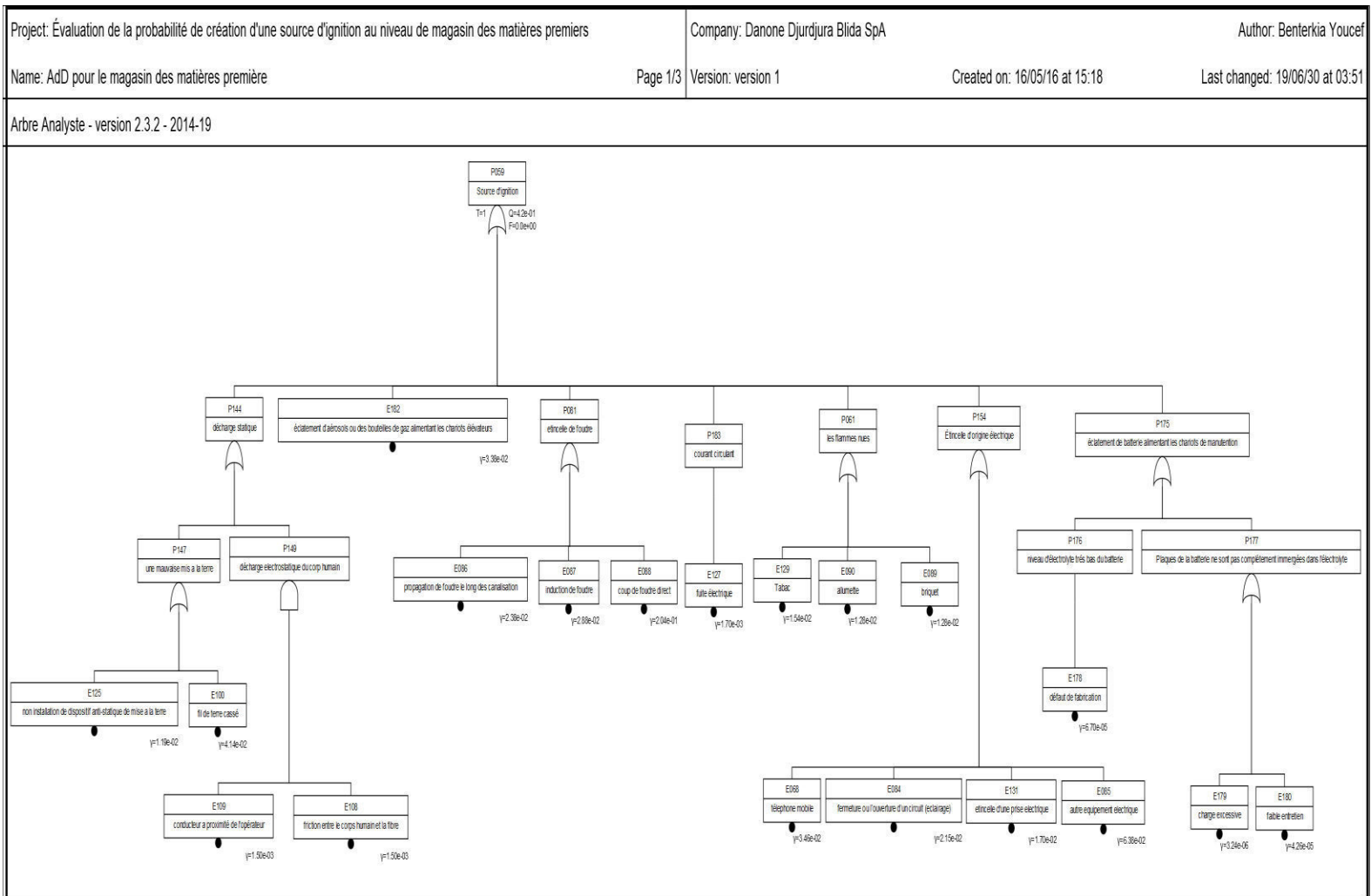


Figure 4.35 : AdD création une source d'ignition pour le magasin des matières premières

Le tableau 4.40 représente les portes logiques de l'AdD (création d'une source d'ignition)

Tableau 4.40: Les portes logiques de l'AdD

Nom	Evénements	Logique
P059	Source d'ignition	OU
P175	Éclatement de batterie alimentant les chariots de manutention	OU
P061	Les flammes nues	OU
P144	Décharge statique	OU
P081	Étincelle de foudre	OU
P126	Courant circulant	OU
P154	Étincelle d'origine électrique	OU
P177	Plaques de la batterie ne sont pas complètement immergées	OU
P176	Niveau d'électrolyte trop bas	OU
P147	Une mauvaise mise à la terre	OU
P149	Décharge électrostatique du corps humain	ET

Le tableau 4.41 regroupe les probabilités de chacun des évènements de base (élémentaires) participant à l'évènement redouté (source d'ignition) classé selon leur probabilité

La simplification de l'arbre nous a permis de déterminer 18 coupes minimales 17 parmi eux sont de premier ordre et une seule coupe est de deuxième ordre. Les coupes et leurs pourcentages sont exprimés dans le tableau 4.41 :

Tableau 4.41 : Liste des évènements élémentaires de l'AdD classé par ordre décroissant

N°	Nom	Evénements élémentaires	Probabilité /an
1	E085	Autre équipement électrique	0.0638
2	E100	Fil de terre cassé	0.0414
3	E068	Téléphone mobile	0.0346
4	E182	Éclatement d'aérosols ou des bouteilles de gaz alimentant les chariots élévateurs	0.0338
5	E087	Induction de foudre	0.0288
6	E086	Propagation de foudre le long des canalisation	0.0238
7	E084	Fermeture ou l'ouverture d'un circuit (éclairage)	0.0215
8	E088	Coup de foudre direct	0.0204
9	E131	Étincelle d'une prise électrique	0.017
10	E129	Tabac	0.0154
11	E090	Allumette	0.0128
12	E089	Briquet	0.0128
13	E125	Non installation de dispositif antistatique de mise à la terre	0.0119
14	E127	Fuite électrique	0.0017
15	E109	Conducteur à proximité de l'opérateur	0.0015
16	E108	Friction entre le corps humain et la fibre	0.0015
17	E178	Défaut de fabrication	0.000067
18	E180	Faible entretien	0.0000426
19	E179	Charge excessive	0.00000324

Tableau 4.42 : Les coupes minimales classées par ordre décroissant :

N°	Ordre	Probabilité	Pourcentage	Les coupes
1	1	0.204	38.9714%	E088
2	1	0.0638	12.1881%	E085
3	1	0.0414	7.9089%	E100
4	1	0.0346	6.60985%	E068
5	1	0.033846	6.46581%	E182
6	1	0.0288	5.50184%	E087
7	1	0.0238	4.54666%	E086
8	1	0.0215	4.107%	E084
9	1	0.017	3.24%	E131
10	1	0.0154	2.941%	E129
11	1	0.0128	2.44526%	E089
12	1	0.0128	2.44526%	E090
13	1	0.0119	2.27333%	E125
14	1	0.0017	0.324761%	E127
15	1	6.7e-005	0.0127994%	E178
16	1	4.26e-005	0.00813%	E180
17	1	3.24e-006	0.000618%	E179
18	2	2.25e-006	0.000429%	E108 E109

On observe que 95% des coupes minimales sont d'ordre 1. Ce qui signifie que l'apparition d'une source d'ignition dans la plupart des cas est causée par un seul évènement élémentaire.

La figure 4.36 représente les coupes minimales et leurs pourcentages

Analyse quantitative :

Le calcul de la probabilité de l'évènement redouté à partir des coupes minimales nous donne le résultat suivant : $P(P059) = 0.425$, ce qui signifie que la probabilité de l'apparition d'une source d'ignition est courante.

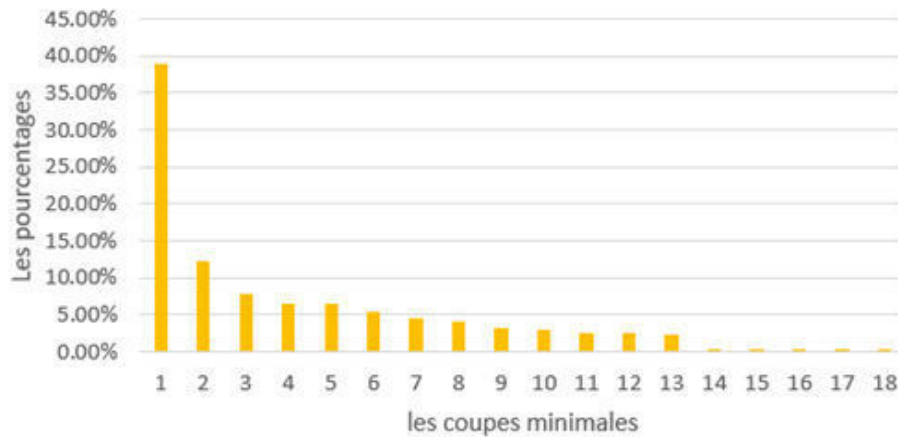


Figure 4.36: Représentation graphique des coupes minimales et leur pourcentage

c. Evaluation de la probabilité d'explosion de l'atmosphère explosive :

Comme on a l'expliqué précédemment L'évaluation des risques ATEX dans une zone étudier est bien la combinaison de la probabilité de présence d'une Atmosphère Explosive et de la probabilité d'apparition d'une source d'inflammation dans cette zone.

Analyse quantitative :

$P(\text{explosion d'un atmosphère explosive}) = P(\text{création d'un nuage explosive}) \times P(\text{présence d'une source d'inflammation})$

Application numérique :

$$P(\text{explosion}) = 0.392 \times 0.425$$

$$P(\text{explosion}) = 0.1666 = 16.66\%$$

Afin d'apprécier cette probabilité, on va se référer à l'échelle utilisée dans l'APR. $P(\text{d'explosion}) > 10^{-2}$ est considéré selon cette grille comme évènement courant, il nécessite une amélioration dans le but de réduire les probabilités des évènements élémentaires.

Analyse qualitative :

On est précédemment démontré par double analyse (quantitative et qualitative) que la probabilité de l'apparition d'une source d'inflammation 42.5% C'est une valeur importante et pour cela on assimile une probabilité de 4 (source présente constamment ou fréquemment)

La zone a été identifiée comme zone 1 (emplacement où une atmosphère explosive consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal.)

Le tableau extrait de la réglementation européen indique que la probabilité d'explosion est de 2 ce qui implique une explosion probable qui nécessite des mesures compensatoires.

4.4.Conclusion :

Grace à la quantification et la qualification de la probabilité de l'explosion dans le magasin des matières premières à l'aide des méthodes d'analyse de risque on a déduit que ce risque est présent, il nécessite la mise en place des mesures préventive et organisationnelles qui vont être détaillé dans le chapitre 5

**CHAPITRE 5 : MESURES ET
MOYENS DE PREVENTION ET DE
PROTECTION**

5.1. Introduction

L'évaluation des risques constitue la première étape de la démarche de prévention. Des mesures techniques et organisationnelles doivent être mises en place pour éviter la formation d'atmosphères explosives, supprimer les sources d'inflammation et réduire les conséquences des explosions. La recherche de mesures de prévention et de protection s'attache, en priorité, à empêcher la formation d'une atmosphère explosive, puis à éviter son inflammation et enfin à limiter les effets d'une explosion, afin de protéger la santé et la sécurité des salariés.

5.2. Démarche

Notre démarche de prévention s'appuie au même temps sur les neuf grands principes généraux qui régissent l'organisation de la prévention [13].

- Éviter les risques, c'est supprimer le danger ou l'exposition au danger.
- Évaluer les risques, c'est apprécier l'exposition au danger et l'importance du risque afin de prioriser les actions de prévention à mener.
- Combattre les risques à la source, c'est intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès la conception des lieux de travail, des équipements ou des modes opératoires.
- Adapter le travail à l'Homme, en tenant compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets du travail sur la santé.
- Tenir compte de l'évolution de la technique, c'est adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles.
- Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins, c'est éviter l'utilisation de procédés ou de produits dangereux lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres.
- Planifier la prévention en intégrant technique, organisation et conditions de travail, relations sociales et environnement.
- Donner la priorité aux mesures de protection collective et n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes

- Donner les instructions appropriées aux salariés, c'est former et informer les salariés afin qu'ils connaissent les risques et les mesures de prévention.

La démarche de la prévention et de la protection du risque d'explosion de nuage de poussière ou bien gaz, se repose sur 3 étapes incontournables :

5.2.1. Empêcher la formation d'une atmosphère explosive

Pour ce faire il faut agir sur les produits et les procédés qui peuvent être à l'origine de la formation d'une ATEX [13].

a. Agir sur les combustibles

- Remplacer s'il est possible les produits combustibles par des autres incombustibles ou moins combustibles,
- Augmenter la granulométrie (passer de la poudre aux granulés),
- Ajouter des solides inertes à des poussières combustibles,
- Maîtriser les paramètres du procédé (température et pression) en fonction des caractéristiques physico-chimiques des produits,
- Maintenir la concentration du combustible hors de son domaine d'explosivité

b. Agir sur le comburant

La principale mesure consiste en l'introduction d'un gaz inerte (azote, argon...) en proportions suffisantes dans une atmosphère chargée de substances combustibles entraînant l'appauvrissement de celle-ci en oxygène et rendant donc l'inflammation impossible [13].

5.2.2. Éviter les sources d'inflammation

Cette action de prévention s'attache en premier lieu à mettre hors de la zone ATEX le matériel qui n'a pas nécessité de s'y trouver. Il faut ensuite éliminer les flammes et feux nus, les surfaces chaudes, les étincelles d'origines mécanique, électrique ou électrostatique, les échauffements dus aux frottements mécaniques, aux matériels électriques ou aux moteurs thermiques et tout source d'inflammation susceptible d'être présent ou bien détecter dans l'analyse des risques (dans notre cas la méthode appliquer est bien l'arbre de défaillance).

La figure 5.1 (issu d'un article de Technip dans la technique de l'ingénieur) fait un parallèle entre EMI et nature de la source. Un parallèle avec les classes EMI de la réglementation ATEX

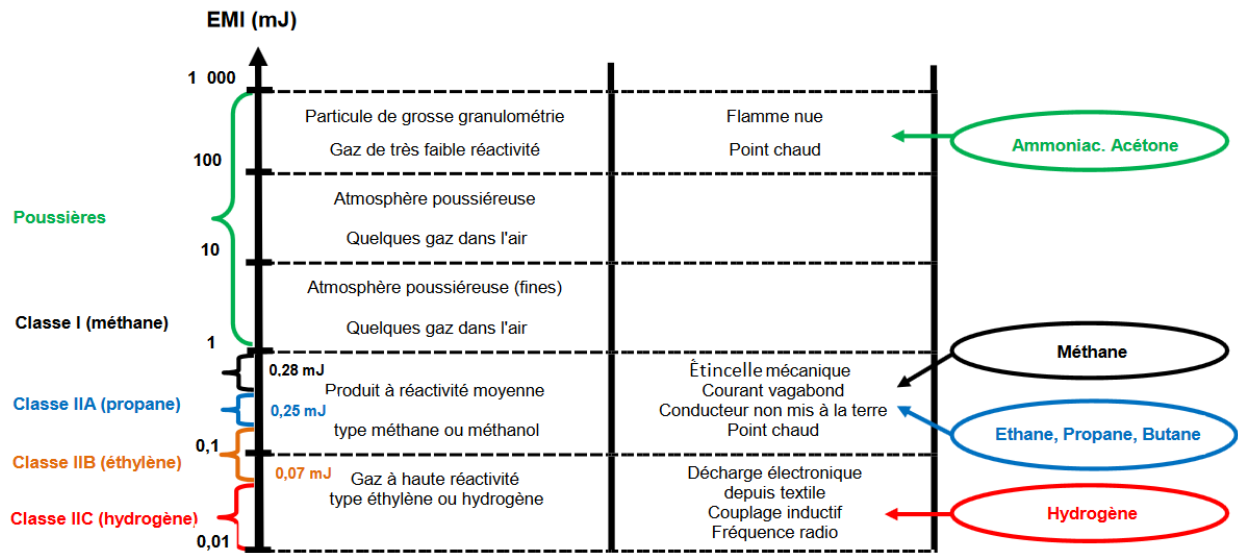


Figure 5.1 : Illustration des plages d'EMI

Interprétation :

On observe que le gaz d'hydrogène est très sensible de telle façon une fréquence de radio ou une décharge électronique peut l'enflammer. Donc prévenir les sources d'inflammation dans le local des chargements des batteries va occuper une priorité majeure. Le méthane est classé deuxième comme indiqué dans la figure V.1, pour cela le local des chaudières doit acquérir une démarche préventive contre la présence d'une source d'ignition significative. L'atmosphère des poussières nécessite des flammes nues ou des points chauds pour que le feu se déclenche. C'est une sensibilité inférieure à celle de l'hydrogène et du méthane mais le risque d'inflammation reste présent et nécessite la mise en place d'une mesure de prévention. Pour se faire, les différentes mesures suivantes peuvent être mises en œuvre.

a. Agir sur les procédés

Il s'agit notamment de la mise en place de :

- ❖ Systèmes de refroidissement afin de contrôler, par exemple, une réaction chimique, un échauffement dû à la compression des gaz,

- ❖ Séparateurs magnétiques, gravitaires (boîtes à cales) afin de supprimer les éléments pouvant provoquer des étincelles ou véhiculer des surfaces chaudes dans les réseaux de ventilation [13].

b. Réaliser des contrôles

Il s'agit notamment de vérifier que certains paramètres ne dépassent les seuils au-delà desquels l'inflammation est effective. Pour cela différents systèmes de détection existent :

- Détecteurs d'élévation de température et de pression
- Thermographie infrarouge (détection des points chauds sur les réseaux électriques),
- Détecteurs de monoxyde de carbone
- Systèmes de contrôles de la vitesse de défilement et/ou de déport des bandes transporteuses, de bourrage, de rotation (limitation des frottements, des échauffements et des charges électrostatiques générées lors du fonctionnement de ces équipements) [13].

c. Agir sur le matériel

- Adéquation du matériel à la zone ATEX,
- Outillage mobile ne provoquant pas d'étincelle,
- Équipotentialité et mise à la terre de l'ensemble de l'installation.

d. Mettre en place des mesures organisationnelles

- Mode opératoire d'exécution,
- Plan de prévention,
- Permis de feu pour l'ensemble des travaux par points chauds,
- Autorisation de travail,
- Mise en place de « zones fumeurs » afin d'éviter qu'un mégot ne devienne une source d'inflammation,
- Port de vêtements de travail appropriés faits de matériaux facilitant l'écoulement des charges électrostatiques,
- Nettoyage régulier par aspiration pour les poussières,

- Formation des salariés,
- Maîtrise des entreprises extérieures et de la coactivité.

5.2.3. Limiter les effets d'une explosion

La maîtrise des sources d'inflammation étant difficile à mettre en œuvre, dans le cas où la formation de l'atmosphère explosive n'a pu être évitée, il convient d'adopter des mesures de protection permettant d'atténuer les effets néfastes d'une explosion.

Les actions à entreprendre sont spécifiques à chaque situation de travail ou procédé :

- Actions sur le confinement (événements d'explosion),
- Extincteurs déclenchés (suppresseurs d'explosion),
- Appareils résistant à la surpression d'explosion,
- Systèmes de découplage technique (système qui empêche une explosion de se propager au reste de l'installation : arrête-flammes, écluses rotatives, vannes à fermeture rapide, vannes « Ventex », extincteurs déclenchés, déviateur d'explosion, cheminée de dégagement...),
- Actions sur la configuration et la conception des locaux : compartimentage, résistance des matériaux (verre, toiture en matériaux fragiles...), conception et construction des locaux (choix de matériaux adaptés et résistant au feu), regroupement de personnel ou emplacements affectés afin que le personnel ne soit pas atteint par la chute d'éléments de structure ou que les locaux résistent à l'effondrement éventuel du reste de l'édifice.

5.3. Application à l'Entreprise Danone Djurdjura Blida

5.3.1. Local des chaudières

a. Mesures de prévention

La prévention des explosions passe par l'élimination de l'un des éléments nécessaires à la survenue de l'explosion : la substance combustible, le comburant et la source d'inflammation, Comme l'élimination de comburant (oxygène) ne peut être appliquée dans notre local des chaudières (cas d'un grand local aéré par des ouvertures de ventilation) donc on ne peut agir que sur la substance combustible (le gaz naturel) et les sources de l'inflammation.

Les deux arbres de défaillance construits précédemment nous donnent tous les événements élémentaires qui conduisent à l'événement indésirable, donc notre démarche de prévention aura pour but d'agir sur ces événements, les éliminer ou diminuer leur probabilité au maximum afin de réduire la probabilité d'apparition de l'événement indésirable. Dans ce qui suit nous allons détailler les mesures de préventions par local.

❖ Empêcher la formation d'une atmosphère explosive

Pour ce faire, on propose les mesures suivantes :

➤ La ventilation

La mise en place d'un système de ventilation mécanique pour garantir qu'en cas d'une fuite accidentelle du gaz la concentration de gaz sera diluée au maximum. Un Ventilateur certifié ATEX, (Figure 5.3.a) va largement suffire (car on est dans un cas d'une zone 2)

➤ Améliorer la disponibilité de la ventilation

Comme la disponibilité de la ventilation est très importante afin de diluer la concentration du gaz échappé lors de la fuite. Ainsi que la disponibilité de la ventilation joue un rôle majeur lors de la détermination de type de zone selon la norme. Il est donc primordial de mettre en existence un dispositif (alarme) couplé avec le ventilateur qui va détecter son arrêt.

Cette mesure a comme rôle d'alerter les travailleurs lors de l'arrêt de ce dispositif, donc une intervention de l'équipe de maintenance va être nécessaire afin de le remettre en marche

➤ Revêtement thermique des boulons des brides par l'acier inoxydable

Cette mesure assure une protection à long terme contre la corrosion.

➤ **Vérification périodique**

Exiger une vérification périodique d'étanchéité des vannes et des brides pour prévenir une fuite de gaz accidentelle.

➤ **La mise en place d'un system de détection de gaz**

La mise en place Quand la concentration de gaz détectée dépasse les valeurs de seuil établies dans le local, l'appareil active une signalisation lumineuse d'alarme rouge clignotant associée à une signalisation acoustique (Figure 5.3.b)

❖ **Éviter les sources d'inflammation**

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

- L'isolation de l'armoire électrique par un boîtier pressurisé (figure 5.3.c) ATEX en apportant à ses utilisateurs et aux installations à proximité une parfaite sécurité. Pour définir simplement le mode de protection Ex p (dit par "surpression interne"), on peut résumer le principe de cette façon : Un gaz inerte est injecté à l'intérieur de l'armoire de façon à créer une surpression qui va permettre d'empêcher toute intrusion de gaz ou poussières dangereuses à l'intérieur du boîtier.
- La mise en conformité de l'éclairage : Remplacer les lampes par des luminaires tubulaires ATEX (figure 5.3.d), ce luminaire tubulaire ATEX répond entièrement aux exigences de la directive ATEX. Avec un design plus compact et un poids plume, il devient très facile de la manipuler en zone à risque d'explosion.
- Porte des chaussures antistatiques pour la manipulation et les travaux de maintenance et intervention dans le local des chaudières (figure 5.3.e)
- Mis à la terre de la chaudière et l'armoire électrique (pour prévoir que l'ensemble de l'installation électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité soient raccordé à la terre). (Figure 5.3.f)
- Pour le matériel électrique présent actuellement et même pour le matériel qui va être adopté dans le ce local particulièrement, il est indispensable de réaliser l'adéquation de l'ensemble de ce matérielle avec le type de notre zone (zone 2), afin qu'il ne constitue pas la source d'inflammation potentielle, La probabilité pour que ces derniers présentent une source d'ignition a été étudiée dans l'arbre de défaillance.

Selon la réglementation française, le matériel doit acquérir un niveau de protection normale.

→ **Marquage réglementaire :**

CE 0000 ex II 3 G

CE : le matériel répond aux directives européennes

0000 : N° de l'organisme notifié

ex: marquage spécifique de protection contre les explosions (directive ATEX)

II : group d'industrie

3 : catégorie d'appareil

G : Type d'atmosphère (gaz)

→ **Marquage normatif (appliquons de la norme CEI 60079-0)**

II 2 G Ex nc I Tx

II = Groupe d'appareils

3 = Catégorie d'appareils (3=risque peu probable zone 2)

G = Gaz

Ex = Le matériel répond aux modes de protection normalisés par le CENELEC pour les appareils électriques

nc = Mode de protection=sécurité augmenté de protection plus légères.

I : groupe de gaz (méthane)

Tx : classe de température dépend de l'équipement,

Pour le gaz de ville, son température d'auto inflammation et de l'ordre de 600°C. Donc tous les classe de température sont accepté. La classe la plus élevé s'agit de la classe T1 D'une Température maximale de surface admissible de 450°C

Remarque :

- ✓ L'exemple du marquage cité ci-dessus est un marquage normatif d'un appareillage électrique produisant des étincelles électriques.
- ✓ Pour une zone 2, un seul mode de protection est suffisant car la probabilité de l'explosion est peu probable.
- ✓ Les modes de protection gaz/poussière sont présentés dans l'annexe C
- ✓ Pour la surface chaude (brûleur de la chaudière) il faut tenir compte que la température de brûleur est inférieure à 80% de la température d'auto-inflammation du gaz naturel (soit la température à la surface du brûleur 60°C). Donc prévenir une telle source d'ignition n'est pas nécessaire.
- ✓ Pour la foudre : notre local des chaudières a été identifiée comme une zone 2 (une atmosphère explosive n'est pas susceptible de présenter que dans le cas d'un dysfonctionnement), par conséquent il n'est pas nécessaire de prévoir des mesures préventives contre la foudre (paratonnerre).

b. Mesures organisationnelles :

Des mesures organisationnelles devront également être prises, ils ont comme but de retenir un zonage final éventuellement moins contraignant :

❖ Signalisation et signalétique

Le local des chaudières sera signalé au niveau de son accès respectifs l'affichage de sécurité dans la figure 5.2

❖ Formation du personnel

- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque explosion,
- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque lié au gaz naturel
- Formations spécifiques pour les travailleurs dans et autour la zone de la chaudière
- Formations spécifiques des équipes de maintenance interne– prise en charge particulière des intérimaires (liste des postes à risque, formation renforcée à la sécurité)
- Organisation de l'évacuation du personnel
- La mise en place d'équipes d'intervention

❖ **Formalisation des interventions d'entreprises extérieures**

- Accueil des entreprises extérieures
- Plan de prévention
- Autorisation de travail
- Permis de feu

❖ **Gestion des alarmes**

Seuils de déclenchement d'alarme 10 % de LIE du méthane soit 0.5% du volume, et mettre en place un plan d'action à entreprendre lors de ce déclenchement.

- ❖ **Prise de contact avec le SDIS (Service départemental d'incendie et de secours) et/ou les sapeurs-pompier locaux.**



Figure 5.2 : Affichage de sécurité à l'entrée du local des chaudières



Figure 5.3 : Ensemble des mesures de prévention et de protection pour le local des chaudières

5.3.2. Le local de chargement des batteries

a. Mesures de prévention

On va agir que sur la substance combustible (le gaz d'hydrogène) et les sources de l'inflammation.

❖ Empêcher la formation d'une atmosphère explosive

Pour ce faire, on propose les mesures suivantes :

➤ Ventilation :

Le dégagement d'hydrogène est inévitable lors de la charge des batteries (homogénéisation de l'électrolyte) et sera à son niveau maximal dans les deux heures de fin du cycle de charge. Ainsi une atmosphère explosive, due au mélange hydrogène/air, sera présente en permanence autour des batteries en charge et après la charge., la ventilation du local est le principal moyen d'empêcher la formation d'un mélange explosif, la ventilation générale doit être présente en permanence dans le local pendant les périodes de charge (voir la formule et le calcul de débit annexe B). La ventilation générale naturelle n'est pas toujours une solution efficace et pérenne (existence de courants d'air, configuration et encombrements des locaux, influence des conditions météorologiques locales...), aussi est-il préconisé de mettre en place une ventilation mécanique peut également être mise en place, et pour cela on a proposé le Ventilateur/ Extracteur ATEX Ex EFi75XX Ramfan (figure 5.5.a) , ce dispositif lors de son installation devra :

- Avoir des ouvertures de ventilation in obturables et donnant directement sur l'extérieur, l'air extrait du local de charge étant en totalité rejeté à l'extérieur ;
- Prendre en compte les éventuelles perturbations aérauliques ;
- Son moteur devra être installer à l'extérieur de la canalisation et du local. De plus, un interverrouillage chargeur/ventilation sera installé, assurant que la mise sous tension de tout chargeur devra provoquer la mise en marche de la ventilation ; que l'interruption de la ventilation devra provoquer l'arrêt de l'opération de charge et, le cas échéant, le déclenchement d'alarmes, sonore et visuelle. Une temporisation de deux heures doit assurer l'évacuation de

l'hydrogène résiduel en fin de charge. De plus, l'arrêt de la ventilation entraînera également l'arrêt de toutes les installations électriques du local (à l'exception des dispositifs de sécurité) ainsi que l'interdiction d'utilisation des dispositifs non électriques.

Remarque : La qualification de ce dispositif est scindée d'un premier lieu sur son débit d'air libre qui est à l'ordre de 425m³/h cette valeur est largement supérieure à Q_{max} calculé (voir annexe B). Et d'un deuxième lieu sur sa certification ATEX qui garantit une utilisation sécuritaire dans des environnements encombrés par des gaz ou vapeurs explosive

➤ **Améliorer la disponibilité de la ventilation**

Comme la disponibilité de la ventilation est très important afin de diluer la concentration du gaz d'hydrogène échapper lors de rechargement des batteries. Ainsi que la disponibilité de la ventilation joue un rôle majeur lors la détermination de type de zone selon la norme .il est donc primordial de mettre en existence un dispositif (alarme) couplé avec le ventilateur qui va détecter son arrêt.

Cette mesure a comme pour rôle d'alerter les travailleurs au niveau du local lors de l'arrêt de ce dispositif, donc une intervention de l'équipe de maintenance va être nécessaire afin de le remettre en marche

➤ **Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins**

Un remplacement de type de batterie actuel dans le local par des batteries qui ne génère pas un gaz explosif comme l'hydrogène s'il est possible on propose bien évidemment les batterie accumulateur lithium-ion (figure 5.5.b). Cette action va éliminer d'une façon définitive la présence d'un gaz explosive dans le local et par conséquent une absence d'un risque d'explosion de nuage.

➤ **Système de détection de gaz**

Si la meilleure mesure technique de prévention est la ventilation il peut être envisagé qu'elle soit complétée par un système de détection d'hydrogène (figure 5.5.c).

Les détecteurs seront installés judicieusement :

- En hauteur
- A la verticale des batteries en charge
- Par des personnes spécialistes du domaine

L'étalonnage des détecteurs devra être réalisé régulièrement, avec l'hydrogène comme gaz de référence ainsi Une alerte sera mise en place à 10 % de la LIE (soit pour l'hydrogène : 0,4 % vol.) avec évacuation du personnel à proximité et analyse du dysfonctionnement par les personnels qualifiés.

❖ Éviter les sources d'inflammation

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

- Mise en conformité de l'éclairage : L'hydrogène se trouvant préférentiellement en partie haute du local, on évitera d'installer les systèmes d'éclairage au plafond pour préférer une position sur les murs verticaux descendus à une distance suffisante afin d'assurer un bon éclairage pour les salariés, les lampes doivent être remplacé par des Luminaires à LED étanche qui sont conforme avec les zones ATEX 1 (figure 5.5.d)
- Remplacer les prises électriques par des prises de courant ATEX (figure 2.e {prises de courant ATEX}), Cette prise ATEX est déjà largement utilisée dans le monde entier, elle est livrée avec de nombreux certificats (sur demande),
- Pour prévenir les fuites électriques il faut équiper l'installation électrique d'un disjoncteur différentiel qui se met en position off et coupera le courant lors de fuite vers la terre. Ce dispositif permet non seulement d'éliminer les risques d'électrisation mais aussi de protéger les appareils électriques. Aussi, la rénovation régulière de certains éléments de l'installation électrique est nécessaire notamment ceux déjà vétustes afin d'éviter tous risques de fuite.
- L'installation d'un parafoudre : Le parafoudre est un composant du système de protection de l'installation électrique. Ce dispositif est connecté en parallèle sur le circuit d'alimentation des récepteurs qu'il doit protéger. Il peut aussi être utilisé à tous les niveaux du réseau d'alimentation.
- Porte des chaussures antistatiques (figure 2.f {chaussure antistatique}), pour la manipulation normale et les travaux de maintenance et intervention dans le local
- Mis à la terre des chargeurs des batteries et même les équipements électriques qui vont être présent dans le local pour prévoir que l'ensemble de ses installations électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité soient raccordé à la terre.

- On propose des vérifications périodiques des batteries utilisé dans les chariots de manutention par des spécialistes au moins deux ou 3 fois par an afin de garantir que ces batteries son sécurisé et ne présent aucun risque soit lors la phase de chargement ou l'utilisation.
- Changer les batteries actuelles par des batteries plus sécurisé s'il est possible
- Prévenir la charge excessive des batteries par une surveillance attentive des temps de charge et ne laisse pas dépasser le temps indiquer dans le manuelle d'utilisation de chariot de manutention
- Pour le matériel électrique présent actuellement et même pour le matériel qui va être adopter dans le ce local particulièrement, il est indispensable de réaliser l'adéquation de l'ensemble de ce matérielle avec le type de notre zone (zone 1), afin qu'il ne constitue pas la source d'inflammation potentielle, La probabilité pour que ces derniers présentent une source d'ignition a été étudiée dans l'arbre de défaillance.

Selon la réglementation française, le matériel doit acquérir un niveau de protection élevé.

→ **Marquage réglementaire :**

CE 0000 ex II 2 G

CE : le matériel répond aux directives européennes

0000 : N° de l'organisme notifié

ex: marquage spécifique de protection contre les explosions (directive ATEX)

II : group d'industrie

2 : catégorie d'appareil

G : Type d'atmosphère (gaz)

→ **Marquage normatif (appliquons de la norme CEI 60079-0)**

II 2 G Ex ib d IIC Tx

II = Groupe d'appareils

2 = Catégorie d'appareils (2=risque probable zone 1)

G = Gaz

Ex = Le matériel répond aux modes de protection normalisés par le CENELEC pour les appareils électriques

ib = Mode de protection: Sécurité intrinsèque

d = Mode de protection : antidéflagrant

IIC : groupe de gaz hydrogène (l'hydrogène est le plus dangereux)

Tx : classe de température dépend de l'équipement,

Remarque :

- ✓ Pour L'hydrogène, son température d'auto inflammation est de l'ordre de 585°C. Donc tous les classe de température sont accepté. La classe la plus élevé s'agit de la classe T1 D'une Température maximale de surface admissible de 450°C.
- ✓ On a opté à intégrer 2 moyens de protection indépendants pour bien assurer la protection et la sécurité, même lorsque 2 défaillances se produisent indépendamment l'une de l'autre.
- ✓ Pour le system de détection d'hydrogène : On propose l'encapsulage, ce mode de protection et efficace pour les Appareillages de petite puissance.

b. Mesures organisationnelles :

Des mesures organisationnelles devront également être prise, ils ont comme but de retenir un zonage final éventuellement moins contraignant :

❖ Signalisation et signalétique

Le local de chargement des batteries sera signalé au niveau de son accès respectifs l'affichage de sécurité fans la figure 5.4.

❖ Formation du personnel

- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque explosion.
- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque liée à l'utilisation des batterie accumulateur plomb.
- Formations spécifiques pour les travailleurs dans et autour le local de chargement des batteries.
- Formations spécifiques des équipes de maintenance interne.
- Prise en charge particulière des intérimaires (liste des postes à risque, formation renforcée à la sécurité).

- Organisation de l'évacuation du personnel.
- Mise en place d'équipes d'interventions.
- ❖ **Formalisation des interventions d'entreprises extérieures**
 - Accueil des entreprises extérieures.
 - Plan de prévention.
 - Autorisation de travail.
 - Permis de feu.
- ❖ **Gestion des alarmes**

Seuils de déclenchement d'alarme 10 % de LIE d'hydrogène soit 0.41% du volume, et mettre en place un plan d'action à entreprendre lors de ce déclenchement.
- ❖ **Prise de contact avec le SDIS (Service départemental d'incendie et de secours) et/ou les sapeurs-pompiers locaux.**



Figure 5.4 : Affichage de sécurité à l'entrée du local de chargement des barrières



Figure 5.5 : Ensemble des mesures de prévention et de protection pour le local de chargement des batteries

5.3.3. Atelier de poudrage

a. Mesures de prévention

Pour cet atelier on va agir sur les substances combustibles (les poudres explosives) et les sources d'inflammation comme l'élimination de comburant reste toujours impossible.

❖ Empêcher la formation d'une nuage/couche de poussière

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

➤ Remplacement des matières mis en œuvre

Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins Par Trouver une alternative aux poudres combustibles entrant dans le processus de poudrage. S'il est possible, un remplacement des matières actuelle par des poudres d'une granulométrie supérieure à 500 µm vont éliminer le risque d'explosion, car les poudres ne sont plus combustibles dans ce cas-là.

➤ L'empoussièrément

Combattre les risques à la source par une intégration d'un dispositif de captage à la source des poussières vu que Le dégagement des poudres est inévitable soit lors de la phase d'introduction dans la trémie de mélangeur soit lors de manipulation des poudres, la préparation et toutes les autres sources de dégagement cités dans le chapitre précédent.

Elle s'agit d'une solution efficace qui va garantir que rien ne s'échappe lors de l'introduction des poudres dans le mélangeur et lors de la préparation des matières à introduire dans le mélangeur.

Une application de cette mesure préventive va éliminer 3 zones de risque ATEX au sein de la chambre de poudrage.

- Un dégagement due au volume de poudre présent dans la trémie de chargement (zone 20).
- Couche de poussière présent dans le système d'extraction (zone 20).
- Un dégagement occasionnel due à l'introduction des poudres dans la trémie (zone 21).

Pour ce faire on a proposé d'adapter le dispositif dans la figure 5.6

Remarque : La qualification de ce dispositif est scindée d'un premier lieu sur sa mobilité : il permet de limiter l'empoussièrément lors les opérations de



Figure 5.6 : Aspirateur industriel KEVAC SILVER

remplissage de matière y compris pulvérulente. Et d'un deuxième lieu sur sa disponibilité en version ATEX 20,21 et 22.

➤ **L'Extraction**

Adapter un system d'extraction efficace qui a la capacité d'extraire les poussières échapper du system d'empoussièrement ou lors de sa défaillance. Pour garantir que rien ne s'échappe dans l'atmosphère.

Le dispositif doit être certifier a utilisé dans les zones ATEX 20,21 et 22.

➤ **Améliorer la disponibilité d'extraction**

Comme la disponibilité de la ventilation/extraction est très important afin d'éliminer les poussières qui sont en suspension dans l'air .il est donc primordial de mettre en existence un dispositif (alarme) couplé avec l'extracteur qui va détecter son arrêt.

Cette mesure a comme importance d'alerter les travailleurs lors l'arrêt de l'extracteur, donc une intervention de l'équipe de maintenance va être nécessaire afin de remettre l'extracteur en marche.

➤ **La maintenance**

Mettre en place un planning de maintenance préventive pour éviter les dysfonctionnements liés à la machine (problème des vannes de mélangeur et de l'extracteur par exemple).

❖ **Éviter les sources d'inflammation**

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

- Mise en conformité de l'éclairage : les poussières en suspension sont présentes dans l'atelier d'une manière permanent, une étincelle/éclatement accidentelle d'une lampe risque d'enflammer le nuage de poussière. Un remplacement des lampes actuelle par des Luminaires à LED étanche qui sont conforme avec les zones ATEX va être nécessaire
- Prévenir les réactions exothermiques entre les produits mélanger. Pour ce faire il faut éviter de Mélanger les produits incompatibles. La réalisation de cette mesure s'appuie sur les informations spécifiques des produits utilisé, par les fournisseurs eux-mêmes. Une fiche donnée de sécurité des produits doit contenir toutes les informations concernant les produits qui sont incompatible avec le produit utilisé dans le procédé.

Remarque : actuellement tous les produits utilisés dans les procédés sont compatibles, le risque d'apparition d'une réaction exothermique est absent, cependant, l'adaptation des nouveaux produits pour une nouvelle recette ou une innovation d'un produit déjà existant peut donner lieu à un mélange incompatible. Par conséquent la prévention reste primordiale afin d'éviter cette source d'ignition.

- Remplacer les prises électriques par des prises de courant ATEX, Ce type de prise est déjà largement utilisée dans le monde entier, elle est livrée avec de nombreux certificats (sur demande).
- Pour prévenir les fuites électriques il faut équiper l'installation électrique d'un disjoncteur différentiel qui se met en position off et coupera le courant lors de fuite vers la terre. Ce dispositif permet non seulement d'éliminer les risques d'électrisation mais aussi de protéger les appareils électriques. Aussi, la rénovation régulière de certains éléments de l'installation électrique est nécessaire notamment ceux déjà vétustes afin d'éviter tous risques de fuite.
- L'installation d'un parafoudre : Le parafoudre est un composant du système de protection de l'installation électrique. Ce dispositif est connecté en parallèle sur le circuit d'alimentation des récepteurs qu'il doit protéger. Il peut aussi être utilisé à tous les niveaux du réseau d'alimentation.
- Prévenir les décharges électriques de trémie et de moiteur d'extracteur par une adaptation des moteurs certifié a utilisé dans les zones ATEX poussière. Si le remplacement des moteurs n'est pas possible, il faut remplacer les équipements carrément.
- Porte des chaussures antistatiques pour la manipulation normale et les travaux de maintenance et intervention dans le local.
- Mis à la terre des équipements électriques présent (le mélangeur, la pompe...etc.) et même les équipements qui vont être adapter dans l'atelier pour prévoir que l'ensemble de ses installations électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité soient raccordé à la terre.
- Pour le matériel électrique présent actuellement et même pour le matériel qui va être adopter dans le cet atelier particulièrement, il est indispensable de réaliser l'adéquation de l'ensemble de ce matérielle avec le type de nos zones identifier, afin qu'il ne constitue pas

la source d'inflammation potentielle, La probabilité pour que ces derniers présentent une source d'ignition a été étudiée dans l'arbre de défaillance.

Selon la réglementation française, le matériel doit acquérir un niveau de protection élevé.

→ **Marquage réglementaire**

CE 0000 ex II 1 D

CE : le matériel répond aux directives européennes

0000 : N° de l'organisme notifié

ex: marquage spécifique de protection contre les explosions (directive ATEX)

II : group d'industrie

1 : catégorie d'appareil (pour las zones 20 et 0)

D : Type d'atmosphère (poussière)

→ **Marquage normatif (appliquons de la norme CEI 60079-0)**

II 1 D Ex ta ia IIB Tx

II : group d'industrie

1= Catégorie d'appareils (1 pour les zones 0 et 20)

D = pour les poussières

Ex = Le matériel répond aux modes de protection normalisés par le CENELEC pour les appareils électriques

ta = Mode de protection: Protection par boîtier étanche

ia = Mode de protection : Sécurité intrinsèque

IIB : groupe de poussière non conductrices

Tx : classe de température dépend de l'équipement,

Pour nos produits, on a pris une température de 170°C, (la température minimale d'inflammation d'un nuage de poussière).

La température maximale de surface du matériel ne doit en aucun cas dépasser 2/3 de la température d'inflammation. Les possibilités de classe de températures suivantes sont acceptées :

Tableau 5.1 : Les classes de température acceptées pour les équipements dans l'atelier de poudrage

T5	Température maximale de surface admissible est égale à 100°C
T6	Température maximale de surface admissible est égale à 85°C

Remarque : pour les Appareillages de petite puissance, pour le contrôle par exemple ou appareillages de signalisation et capteurs un mode de protection ENCAPSULAGE (ma pour la zone 20) va être adapté.

b. Mesures organisationnelles :

Des mesures organisationnelles devront également être prise, ils ont comme but de retenir un zonage final éventuellement moins contraignant :

❖ **Signalisation et signalétique**

L'atelier de poudrage sera signalé au niveau de son accès respectif par l'affichage de sécurité dans la figure 5.6.

❖ **Formation du personnel**

- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque explosion de poussière.
- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque liée à l'utilisation des poudres combustible.
- Formations spécifiques pour les travailleurs dans et autour de l'atelier de poudrage.
- Formations spécifiques des équipes de maintenance interne.
- Prise en charge particulière des intérimaires (liste des postes à risque, formation renforcée à la sécurité).
- Organisation de l'évacuation du personnel.
- Mise en place d'équipes d'interventions.

❖ **Formalisation des interventions d'entreprises extérieures**

- Accueil des entreprises extérieures.
- Plan de prévention.
- Autorisation de travail.
- Permis de feu.

❖ **Gestion des alarmes**

Seuils de déclenchement d'alarme 10 % de CME pour l'amidon soit 3g/m^3 du volume, et mettre en place un plan d'action à entreprendre lors de ce déclenchement.

❖ **Prise de contact avec le SDIS (Service départemental d'incendie et de secours) et/ou les sapeurs-pompiers locaux.**



Figure 5.7 : Affichage de sécurité à l'entrée de l'atelier de poudrage

5.3.4. Magasin des matières premières

a. Mesures de prévention

Pour le magasin des matières premières on va agir sur les substances combustibles (les poudres explosives) et les sources d'inflammation.

❖ Empêcher la formation d'une nuage/couche de poussière

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

➤ Remplacement des matières mis en œuvre

Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins Par Trouver une alternative aux poudres combustibles stockés au niveau de magasin des matières premières.

S'il est possible, un remplacement des matières actuelle par des poudres d'une granulométrie supérieure à 500 μm vont éliminer le risque d'explosion, car les poudres ne sont plus combustibles dans ce cas-là.

➤ L'extraction

Adapter un système d'extraction efficace qui a la capacité d'extraire les poussières mise en suspension lors de la perforation accidentelle des sacs de matières. Pour garantir que rien ne s'échappe dans l'atmosphère.

Le dispositif doit être certifié et utilisé dans les zones ATEX 22

➤ Améliorer la disponibilité d'extraction

Comme la disponibilité de l'extraction est très importante afin d'extraire les poussières mis en suspension lors d'un fait accidentelle .il est donc indispensable de mettre en existence un dispositif (alarme) couplé avec l'extracteur qui va détecter son arrêt.

Cette mesure a comme pour rôle d'alerter les travailleurs aux niveaux du magasin lors de l'arrêt de ce dispositif, donc une intervention de l'équipe de maintenance va être nécessaire afin de le remettre en marche

Adapter un système d'extraction efficace qui a la capacité d'extraire les poussières échapper

➤ L'aspiration

Programmer et planifier des opérations d'aspiration d'une façon quotidienne au niveau du magasin et surtout lors du débordement des poudres sur terre pour empêcher la création d'un nuage de poussière.

➤ **Sécurisé le magasin**

Assurer l'élimination des outils tranchant qui se présentent dans le magasin afin qu'il ne cause pas la perforation des sacs.

❖ **Éviter les sources d'inflammation**

Pour ce faire, on a proposé les mesures suivantes :

- Mise en conformité de l'éclairage : une étincelle/éclatement accidentelle d'une lampe risque d'enflammer le nuage de poussière qui peut se former d'une manière accidentelle au niveau du magasin des matières premières. Un remplacement des lampes actuelle par des Luminaires à LED étanche qui sont conforme avec les zones ATEX va être nécessaire
- Remplacer les prises électriques par des prises de courant ATEX, Ce type de prise est déjà largement utilisée dans le monde entier, elle est livrée avec de nombreux certificats (sur demande).
- Assurer une révision trimestrielle ou au moins semestrielle des batteries par des experts pour prévenir son éclatement qui peut enflammer le nuage de poussière.
- Pour prévenir les fuites électriques il faut équiper l'installation électrique d'un disjoncteur différentiel qui se met en position off et coupera le courant lors de fuite vers la terre. Ce dispositif permet non seulement d'éliminer les risques d'électrisation mais aussi de protéger les appareils électriques. Aussi, la rénovation régulière de certains éléments de l'installation électrique est nécessaire notamment ceux déjà vétustes afin d'éviter tous risques de fuite.
- Le remplacement des chariots élévateurs alimentée en gaz et diesel par des chariots électriques, s'il est possible, à cause du risque d'inflammation sublime que cette source d'énergie engendre.
- Porte des chaussures antistatiques pour la manipulation normale et les travaux de maintenance et intervention dans le magasin.
- Mis à la terre des équipements électriques présent et même les équipements qui vont être adapter dans le magasin pour prévoir que l'ensemble de ses installations électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité soient raccordé à la terre.

- Pour le matériel électrique présent actuellement et même pour le matériel qui va être adopté dans le cet atelier particulièrement, il est indispensable de réaliser l'adéquation de l'ensemble de ce matérielle avec le type de zone identifié (zone 22), afin qu'il ne constitue pas la source d'inflammation potentielle, La probabilité pour que ces derniers présentent une source d'ignition a été étudiée dans l'arbre de défaillance.

Selon la réglementation française, le matériel doit acquérir un niveau de protection normale.

→ **Marquage réglementaire**

CE 0000 ex II 3 D

CE : le matériel répond aux directives européennes

0000 : N° de l'organisme notifié

ex: marquage spécifique de protection contre les explosions (directive ATEX)

II : group d'industrie

3 : catégorie d'appareil (pour las zones 22)

D : Type d'atmosphère (poussière)

→ **Marquage normatif (appliquons de la norme CEI 60079-0)**

II 3 D Ex tc IIB Tx

II : group d'industrie

3 = Catégorie d'appareils (3 pour les zones 22)

D = pour les poussières

Ex = Le matériel répond aux modes de protection normalisés par le CENELEC pour les appareils électriques

tc = Mode de protection: Protection par boîtier étanche (tc pour les zones 22)

IIB : groupe de poussière non conductrices

Tx : classe de température dépend de l'équipement,

Pour nos produits, on a pris une température de 170°C, (la température minimale d'inflammation d'un nuage de poussière).

La température maximale de surface du matériel ne doit en aucun cas dépasser 2/3 de la température d'inflammation

Les possibilités de classe de températures suivantes sont acceptées :

Tableau 5.2 : Les classes de température acceptées pour les équipements dans le magasin des matières premières

T5	Température maximale de surface admissible est égale à 100°C
T6	Température maximale de surface admissible est égale à 85°C

Remarque :

- ✓ Pour les Appareillages de petite puissance, pour le contrôle par exemple ou appareillages de signalisation et capteurs un mode de protection ENCAPSULAGE (mc pour la zone 22) va être adapté.
- ✓ Les modes de protection gaz/poussière sont présentés dans l'annexe C.
- ✓ L'exemple du marquage cité ci-dessus est un marquage normatif d'un appareillage électrique produisant des étincelles électriques.
- ✓ Pour une zone 22, un seul mode de protection est suffisant car la probabilité de l'explosion est peu probable.

b. Mesures organisationnelles :

Des mesures organisationnelles devront également être prises, ils ont comme but de retenir un zonage final éventuellement moins contraignant :

❖ **Signalisation et signalétique**

Le magasin des matières premières sera signalé au niveau de son accès respectif par l'affichage de sécurité dans la figure 5.7

❖ **Formation du personnel**

- Sensibilisation de l'ensemble du personnel au risque d'explosion de poussière.
- Sensibilisation de l'ensemble du personnel chargé de gerbage au risque que les sacs perforés peuvent porter.
- Exiger au caristes les consignes suivantes.
 - Respecter les capacités du chariot tel que spécifié sur la plaque signalétique.
 - Manœuvrer en douceur surtout lors le gerbage des sacs en hauteur pour prévenir sa chute.
 - Respecter les limites de vitesse.
 - Le respect total des normes de stockages.
 - Formations spécifiques pour les travailleurs dans et autour le magasin des matières premières.

- Prise en charge particulière des intérimaires (liste des postes à risque, formation renforcée à la sécurité).
- Organisation de l'évacuation du personnel.
- Mise en place d'équipes d'interventions.
- ❖ **Gestion des alarmes**
Seuils de déclenchement d'alarme 10 % de CME pour l'amidon soit 3g/m³ du volume, et mettre en place un plan d'action à entreprendre lors de ce déclenchement.
- ❖ **Formalisation des interventions d'entreprises extérieures**
 - Accueil des entreprises extérieures.
 - Plan de prévention.
 - Autorisation de travail.
 - Permis de feu.
- ❖ **Prise de contact avec le SDIS (Service départemental d'incendie et de secours) et/ou les sapeurs-pompiers locaux.**



Figure 5.8 : Affichage de sécurité à l'entrée du magasin des matières premières

Mesures de protection (Mesures limitant les effets de l'explosion)

Les mesures préventives qu'on a citées précédemment pour les différents locaux doivent être complétées par des mesures de protection contre les explosions en cas d'une défaillance dans les mesures préventives (défaillance du capteur, système de ventilation...etc.).

Le risque d'explosion reste présent même pour une probabilité considérée comme négligeable, mais sa gravité est très élevée et si elle se produit les dégâts vont être monstrueux et peuvent aller jusqu'au décès des travailleurs et destruction des locaux.

Pour qu'on puisse réduire les effets des explosions s'il se produit, on propose les mesures suivantes :

- Des dispositions constructives conformes et adaptées seront à adopter, entre autres pour prendre en compte un éventuel risque incendie qui est à l'origine d'une explosion de nuage de gaz/poussière et diminuer le risque de propagation aux locaux adjacents. Les locaux abritant l'installation doivent présenter les caractéristiques de réaction et de résistance au feu minimales suivantes :
 - ✓ Mur et plancher haut REI 120 (coupe-feu pendant 120 minutes) ;
 - ✓ Couverture incombustible (figure 5.5.g) ;
 - ✓ Porte donnant sur l'extérieur E 30 pour tous les locaux (pare flamme ½ h) ;
 - ✓ Portes intérieures EI 30 (coupe-feu ½ h) et munies d'un ferme-porte ou d'un dispositif assurant leur fermeture automatique ;
- Dans le local de chargement des batteries Le sol du local doit être étanche, incombustible et équipé de façon à pouvoir recueillir ou traiter facilement les produits (électrolytes...) répandus accidentellement. Pour cela, un seuil surélevé par rapport au niveau du sol ou tout dispositif équivalent le sépare de l'extérieur ou d'autres locaux.
- Comme l'explosion peut être suivie par un incendie dans des conditions bien définies, une élaboration d'un plan d'action définissant les mesures de prévention et de protection appropriées au risque incendie est obligatoire.
- L'éloignement des installations s'il est possible pour réduire d'une façon maximale les dégâts matériels lors l'explosion survenue.
- Si l'éloignement n'est pas possible, la séparation des locaux ou bien les installations par des murs (figure 5.2.g) et des écrans suffisamment résistants peut absorber d'une manière efficace la surpression de l'explosion.

- Une distance de sécurité minimale : il est nécessaire qu'une distance de sécurité minimale soit établie entre les sources de dégagement de gaz/poussières qui sont susceptibles d'engendrer un risque d'explosion.
- Isolation du local : les locaux doivent être entourés par des murs ou des cloisons retenant les éclats, le souffle et les flammes. Dans bien des cas, les éclats peuvent être arrêtés par des écrans de tissages métalliques. Lorsque les écrans protecteurs doivent être transparents, ils peuvent être constitués de plaques d'épaisseur convenable de polycarbonate, de poly méthacrylate de méthyle (plus inflammable que le polycarbonate) ou de vitrages feuilletés de verre et de matière plastique.

5.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a proposé un ensemble des mesures préventive et organisationnelles pour chaque endroit concerné par l'explosion d'atmosphère de gaz/poussière au niveau de l'entreprise Danone Djurdjura Blida afin de bien maîtriser le risque d'explosion ATEX.

Des mesures limitant les effets de explosions sont aussi proposées afin de compléter les mesures citées précédemment.

Conclusion générale

Conclusion générale

La maîtrise des risques d'explosion d'atmosphère dans les procédés industriels repose sur une évaluation des conditions d'occurrence et des conséquences prévisibles de ces événements. En effet, l'étude du retour d'expérience relatif aux accidents industriels impliquant des poudres et des gaz combustibles met souvent en évidence la méconnaissance des dangers des produits par les opérateurs et/ou une évaluation insuffisante ou incomplète des risques générés par le procédé exploité, dans ses conditions normales ou accidentels de fonctionnement.

Les évolutions réglementaires intervenues ces dix dernières années ont pour objectif de mieux identifier et gérer ces risques. Pour autant, afin de réduire la fréquence et la gravité de ces accidents, il est nécessaire d'améliorer encore la sécurité des procédés qui mettent en œuvre des produits combustibles. L'analyse des circonstances et des conséquences des accidents montre que l'évaluation et la prévention efficace et pérenne des risques liés à la mise en œuvre et au stockage de produits combustibles permettent de prémunir l'établissement des effets sur les personnes et les biens en cas d'évènement accidentel. C'est lorsque cette évaluation est la plus juste et réaliste que les mesures de prévention et de protection sont adaptées.

Dans ce contexte, le travail que nous avons effectué au niveau du site de Danone Djurdjura Blida a visé à déployer une méthodologie de gestion des risques sur les locaux identifiés comme zones ATEX, afin d'améliorer :

-Le niveau de sécurité par la maîtrise du risque d'explosion de gaz et de poussière

Pour répondre à cette problématique, nous avons opté a :

-une analyse préliminaire des risques afin d'identifier les endroits concernés par l'explosion de gaz ou de poussières

-après l'identification des 4 locaux concerné par le risque ATEX, on a engagé une analyse approfondie pour chaque endroit en utilisant des méthodes d'analyse de risque (AMDEC et AdD)

-Une analyse par AdD qui nous permis de quantifier la probabilité d'occurrence de chaque événement et définir les causes profondes les plus contributrice pour l'émission de gaz/poussière et l'apparition de source d'ignition

- une quantification de risque d'explosion ATEX pour chaque local à l'aide des résultats de l'AdD
- une classification des zones ATEX dans chaque local (zone 20, zone21, zone 22, zone 1 et zone2)
- une délimitation des zones a risque ATEX

A travers les résultats obtenus, nous avons proposé des moyens techniques de maîtrise des risques réparties en 3 catégories : mesures préventives, organisationnelles et mesures de protection.

Notre démarche préventive est scindée sur les neuf principes de prévention. Elle aura pour but d'agir sur les événements contribuant à l'apparition des deux événements redoutés de l'AdD, les éliminer ou diminuer leur probabilité au maximum afin de réduire la probabilité d'apparition de l'événement indésirable (L'explosion).

La démarche préventive englobe aussi la réalisation de l'adéquation de l'ensemble de matérielle présent dans chaque locale avec le type de zone ATEX afin qu'il ne constitue pas la source d'inflammation potentielle. Donc on a attribué un marquage réglementaire et normatif.

Des mesures de protection sont proposées afin de compléter les mesures préventives et organisationnelles en cas d'une défaillance dans les mesures préventives. Ces mesures ont pour objectif de limiter les effets des explosions s'ils ont produit.

Enfin, nous avons pu tirer plusieurs enseignements de ce travail par rapport à la pertinence des méthodes d'analyse utilisées.

Ce travail garantira une maîtrise de risque ATEX plus au moins adéquatement pour Danone en espérons beaucoup qu'ils vont prendre en considération les mesures et les recommandations proposés.

En perspective :

- Connaître les risques générés par les procédés et les produits mis en œuvre
- Adopter la démarche de zonage afin d'attribuer un zonage adéquat pour les zones susceptibles de provoquer une explosion d'atmosphère dans l'entreprise.
- L'application des méthodes d'analyse de risque afin d'identifier et d'analyser la fréquence de danger, détecter les défaillances, leurs causes, leurs effets et identifier les causes des événements redoutés et quantifier leurs probabilités d'occurrence.

- La mise en place des mesures de prévention, organisationnelles et des mesures de protection pour chaque zone critique.

Bibliographie

- [1] HAMMOUDI Anis, BADREDDINE Anis. Contributions à l'intégration d'une solution WMS et estimation des gains attendus. Application : Danone Djurdjura Algérie. 140 p. Projet de Fin d'Etude : génie industriel : ALGER, Ecole nationale polytechnique : 2019.
- [2] <https://www.danone.com/fr>. Consulté le : 27/03/2019 à 23 :00.
- [3] PETIT Jean-Michel, Les mélanges explosifs – partie 2 : Poussières combustibles. 96 p. ED 944, INRS, 2006.
- [4] BOCANEGRA Pablo Escot. Études expérimentales et modélisation de la combustion des nuages de particules micrométriques et nanométriques d'aluminium. 307 p. Thèse de doctorat : Energétique : Université d'Orléans, 2007.
- [5] NFPA 654. Standard for prevention of fire and dust explosions from the manufacturing, processing and handling of combustible particulate solids. National Fire Protection Association, 2006.
- [6] TRAORE Mamadou. Explosions de poussières et de mélanges hybrides. Etude paramétrique et relation entre la cinétique de combustion et la violence de l'explosion. 288 p. Thèse de doctorat : Génie des procédés et des produits : Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.
- [7] NAGY John, VERAKIS Harry. Génie énergétique : Development and control of dust explosions. USA : 1983. 296 p. ISBN : 0824770048 / 9780824770044.
- [8] GIBY Joseph. Combustible dusts: A serious industrial hazard. Journal of Hazardous Materials, 142(3) :589 – 591, 2007.
- [9] <https://www.linde-gas.fr>, consulté le 27/03/2019 à 00 : 35.
- [10] DIRECTIVE 1999/92/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 1999, prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives (quinzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE), 1999.
- [11] ARIA. Référence du retour d'expérience sur accidents technologiques : <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/le-barpi/la-base-de-donnees-aria>, consulté le 24/04/2019 à 22 : 10.

- [12] IFA. Database Combustion and explosion characteristics of dusts:
<http://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-staub-ex/index.jsp>, consulté le 26/04/2019 à 11 : 45.
- [13] DENSON William, CROWELL William, WANNE Rick, NONELECTRONIC PARTS RELIABILITYDATA, R.A. Center, Editor 1991. 298 p.
- [14] BABCOCK WANSON acteur international majeur dans le domaine des chaudières Industrielles : http://www.babcockwanson.fr/produits_chaudieres_vapeur_tdfprinc.aspx, consulté le 24/04/2019 à 23 : 09.
- [15] INRS, Charge des batteries d'accumulateurs au plomb ED 6120 année 2011.
- [16] SPXFLOW global industrial equipment : <https://www.spxflow.com> , consulté le 24/04/2019 à 23 : 30.
- [17] <http://www.inrs.fr/risques/explosion/demarche-prevention-risques.html>, consulté le 24/04/2019 à 23 : 45.

Annexes

Annexe A: Application de l'APR

Tableau A.1 : Application de l'Analyse Préliminaire des Risques.

Magasin matières premières														
N	Opération /Activité	Élément dangereux	Évènement non désiré	Causes	Conséquences	Évaluation			Prévention	Protection	Réévaluation			Recommandations
						Du risque					Du risque			
						P	G	C			P	G	C	
1	Gerbage des sacs des matières premières.	L'existence des sacs des produits lourds a une hauteur importante.	Chute des sacs.	Mauvaise positionnement des sacs. Non-respect des normes de stockages. Tremblement de terre.	Blessures des travailleurs.	3	3	9	Exiger le respect des normes de stockages.	Porte des EPI (Casque).	2	2	4	N/A
2	Opérations normales	Câbles électriques nues	Électrisation lors d'un contact direct	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques	Blessures	2	3	6	Isolation des câbles électriques Vérification périodique des câbles et installations électriques	Vêtements de protection isolants. Port des gants en matériaux isolants. Casque de protection. Chaussures isolantes.	1	2	2	Inspecter le câblage périodiquement

3	Stockage des matières premières	Utilisation des chariots élévateurs	Collision des deux chariots élévateurs (dommage matérielles). Heurt des piétons (blessures).	Mauvaise vision de conducteur due au non-respect de volume autorisé. Excès de vitesse autorisé. Manque de vigilance.	Blessures/ Dommages matériels.	2	3	6	L'application et le respect total des règles liées à la conduction des chariots élévateurs. Ne pas dépasser le volume et la vitesse autorisée.	N/A	1	3	3	Retrait de permis de conduction lors le non-respect des règles.
4	Opérations normales	Présence des poudres combustibles dans le locale.	Déclenchement d'un feu.	Un court-circuit. Présence d'une cigarette. Éclatement d'une lampe.	Brulures. Pertes des produits. Destruction du locale (partiellement ou complètement) lors la propagation du feu.	3	4	12	Inspecter le câblage éclairage et armoires électriques. Consignes interdiction de fumer. Mise en conformité de l'éclairage.	Évacuation rapide des personnes. Limiter la propagation d'incendie. Favoriser l'accès et l'intervention des services de secours et de lutte contre l'incendie.	2	3	6	Installer un détecteur et avertisseur autonome de fumée. Mise en place des extincteurs et des RIA.

5	Manutention manuelle	N/A	Manipulation de charges lourdes.	Mauvaise posture.	Les troubles musculo squelettiques.	4	2	8	La mise en œuvre de moyens pour faciliter la manutention de charge lourde. L'identification des situations de travail à risque. Rotation des postes.	Doter les opérateurs des ceintures dorsales.	2	1	2	L'information du personnel sur les risques de TMS. L'ergonomie des postes de travail.
6	Opérations normales.	Présence des poudres combustible dans le magasin.	Explosion de poussière.	Déclenchement d'un feu dans le magasin.	Destruction du local Dégâts matériels Blessures des travailleurs et même décès	3	5	15	Élimination de tout source d'ignition possibles	L'éloignement des autres installations ou locaux. Isolation du locale. Mettre une distance de sécurité minimale. La mise en place des RIA et des extincteurs.	2	4	8	Vigilance total lors le gerbage des matières pour ne pas perforé les sacs qui conduit à la création des couches des poussières.

Local des chaudières														
7	Opérations normale	Présence des vapeurs dans les conduits	Projection des gouttes d'eau chaude sur les manipulateurs.	Rupture de la conduite.	Brulures.	2	2	4	Vérification périodique des conduits et des circuits de vapeurs.	Ports des EPI.	1	1	1	N/A.
8	Opérations normales.	Gaz sous pression dans les conduits.	Explosion du nuage de gaz qui résulte d'une fuite accidentelle autour des brides et vannes.	L'absence de contrôle du serrage de la boulonnerie des brides. Vérification imparfaite de l'étanchéité des joints.	Destruction du local.	2	5	10	Vérification périodique d'étanchéité des joints et contrôle du serrage de la boulonnerie des brides. Pictogramme : Interdiction de fumer.	L'éloignement des autres installations ou locaux Isolation du locale. Mettre une distance de sécurité minimale.	1	4	4	Installer des détecteurs de gaz. Mise en place des systèmes de ventilation efficace.
9	Opérations normales	Bruit.	Atténuation de l'appareil auditif.	Naissance sonore due à un niveau de bruit excessif	Perte partielle de l'acuité auditive Fatigue Stress	2	3	6	Pictogramme : porte des stop bruits. Recensement des nuisances sonores conformément à la réglementation.	Porte des stop bruits.	1	1	1	N/A

10	Opérations normales	Chaleur excessive.	Exposition directe des manipulateurs à cette chaleur.	Combustion de gaz dans la chambre de combustion.	Déshydratation Coup de chaleur Fatigue Sueur	2	3	6	Agir sur l'organisation du travail. La conception des situations de travail. La formation des salariés.	Porte des EPI adaptés, réduisant l'inconfort thermique.	1	2	2	L'aménagement des locaux et des postes.
Local de chargement des batteries														
11	Chargement de batteries des chariots électriques.	Gaz d'hydrogène H2.	Explosion de gaz d'hydrogène H2.	Echappement du gaz H2 lors du rechargement des batteries et la présence d'une source d'ignition active.	Destruction partielle du magasin. Blessures des travailleurs.	3	5	15	System d'extraction automatique. Elimination de tout source d'inflammation possible dans le locale.	L'éloignement des autres installations ou locaux. Isolation du locale. Mettre une distance de sécurité minimal.	2	4	8	Dégazage périodique de la zone de chargement des batteries, pour éliminer les résidus du gaz échappé.
12	Chargement de batteries des chariots électriques.	Câbles électriques nus.	Electrisation lors d'un contact direct.	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques.	Blessures.	2	2	4	Isolation des câbles électriques. Vérification périodique des câbles et installations électriques.	Vêtements et casques de protection isolants. Portes des gants en matériaux isolants. Chaussures isolantes.	1	2	2	Inspecter le câblage périodiquement.

13	Chargement de batteries des chariots électriques.	Gaz d'hydrogène H2.	Pénétration dans le system respiratoire.	Contact direct avec le gaz échappé des batteries.	Maux de tête. Sifflements dans des oreilles. Vertiges. Somnolences.	3	2	6	Changer les batterie accumulateur plomb par autre batterie moins nuisible.	Port des masques respiratoires.	1	1	1	Sensibiliser les travailleurs aux risque d'hydrogène.
Local de poudrage														
14	Mélange des matières premières (poudres).	Produits chimiques.	Pénétration dans le système respiratoire	Contact direct avec la poudre	Irritation des voies pulmonaires et maladies chroniques.	3	3	9	Rotation des postes. Sensibilisation des travailleurs. Changer ces produits par des produits moins toxiques s'il est possible.	Port d'EPI : Masque respiratoire .	4	1	4	N/A.
15	Opérations normales.	Liquide et obstacles sur terre.	Chute des travailleurs par terre.	Glissage / trébuchement.	Débordement des liquides. Mauvais positionnement des objets.	2	3	6	Pictogramme trébuchement. Pictogramme glissage. Sensibilisation des travailleurs. Port des chaussures anti glissantes.	Port des casques.	1	2	2	Rangement, nettoyage et organisation du locale d'une façon périodique.

16	Fonctionnement normal de triBlender.	Bruit.	Troubles de l'appareil auditif.	Nuisance sonore due au fonctionnement normal de la machine.	Perte partielle de l'acuité auditive. Fatigue. Stress.	3	2	6	Pictogramme : port stop bruit. Recensement de nuisances sonores conformément à la réglementation. Rotation des postes.	Port d'équipement stop-bruit	1	1	1	N/A.
17	Introduction des ingrédients dans le triBlender.	Poudres combustibles.	Explosion du nuage de poussière dans des conditions bien définies en présence d'une source d'ignition	Formation de nuage de poussière lors l'introduction des ingrédients	Blessure/décès des manipulateurs. Destruction partielle du local.	2	5	10	Mise en place d'un Dépoussiéreur automatique ou extracteur. Elimination de tout source d'inflammation possible dans le locale	La mise en place d'un événement d'explosion	1	2	2	Effectuer un zonage ATEX d'un périmètre bien défini du local puis éliminer toutes les sources d'ignition possible.
18	Manutention manuelle	N/A	Maniement des charges lourdes.	Mauvaise posture.	Les troubles musculosquelettiques.	4	2	8	L'information du personnel sur les risques de TMS L'ergonomie des postes de travail Rotation des postes de travail.	Doter les opérateurs de ceinture dorsale	2	1	2	La mise en œuvre de moyens pour faciliter la manutention de charge lourde. L'identification des situations de travail à risque.

Laboratoire des analyses														
19	Opérations normales.	Produits chimiques.	Pénétration dans le système respiratoire	Contact direct avec les produits chimiques.	Irritation des voies pulmonaires et maladies chroniques.	3	3	9	N/A	Port d'EPI : Masque respiratoire	3	1	3	N/A.
20	Opérations normales.	Câbles électriques nus.	Electrification lors d'un contact direct	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques.	Blessures.	2	2	4	Isolation des câbles électriques Vérification périodique des câbles et installations électriques.	Vêtements de protection isolants. Port des gants en matériaux isolants. Casques de protection. Chaussures isolantes.	1	2	2	Inspecter le câblage périodiquement.
Conditionnement SERAC														
21	Opérations normales	Liquide et obstacles sur terre	Chute des travailleurs par terre.	Glissement / trébuchement.	Débordement des liquides Mauvais positionnement des objets	2	3	6	Pictogramme trébuchement. Pictogramme glissement. Sensibilisation des travailleurs. Port des chaussures anti glisse.	Port de casque.	1	2	2	Rangement, nettoyage et organisation du locale d'une façon périodique.

22	Opérations normales.	Bruit.	Trouble de l'appareil auditif.	Naissance sonore due à un niveau de bruit excessif continu.	Perte partielle de l'acuité auditive. Fatigue. Stress.	3	3	9	Pictogramme : porte des stop bruits. Recensement des nuisances sonores conformément à la réglementation	Porte des stop bruits.	2	1	2	N/A.
23	Nettoyage des machines de l'extérieure.	Produit chimique.	Pénétration dans le système respiratoire /cutanée.	Contact direct / toucher avec les mains nues.	Irritation des voies pulmonaires et cutanées. Maladies chroniques.	2	3	6	Remplacer les produits de nettoyage par des produits moins dangereux. Sensibiliser les travailleurs au danger des produits de nettoyage.	Porte des EPI : Masque respiratoire et des gants	1	2	2	N/A
24	Opérations normales.	Câbles électriques nues.	Electrisation .	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques.	Blessures.	2	3	6	Isolation des câbles électriques. Inspecter le câblage périodiquement.	Vêtements de protection isolants. Port des gants en matériaux isolants. Casque de protection. Chaussures isolantes.	1	2	2	Vérification périodique des câbles et installations électriques.

Conditionnement ARCIL														
25	Nettoyage des machines de l'extérieure.	Produit Chimique.	Pénétration dans le système respiratoire /cutanée.	Contact direct / toucher avec les mains nues.	Irritation des voies pulmonaires et cutanées. Maladies chroniques.	2	3	6	Remplacer les produits de nettoyage par des produits moins dangereux. Sensibiliser les travailleurs au danger des produits de nettoyage.	Porte des EPI : Masque respiratoire et des gants.	1	1	1	N/A.
26	Opérations normales.	Bruit.	Trouble de l'appareil auditif.	Naissance sonore due à un niveau de bruit excessif continue	Perte partielle de l'acuité auditive. Fatigue. Stress.	3	3	9	Pictogramme : porte des stop bruits. Recensement des nuisances sonores conformément à la réglementation.	Porte des stop bruits.	2	1	2	N/A
27	Opérations normales.	Liquide et obstacles sur terre.	Chute des travailleurs par terre.	Glissement / trébuchement.	Débordement des liquides. Mauvais positionnement des objets.	2	3	6	Pictogramme trébuchement. Pictogramme glissement Porte des chaussures anti glisse. Sensibilisation des travailleurs.	Porte de casque.	1	2	2	Rangement, nettoyage et organisation du locale d'une façon périodique.
Station de traitement des eaux														

28	Opérations normales.	Câbles électriques nues.	Electrification .	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques.	Blessures.	2	3	6	Isolation des câbles électriques. Inspecter le câblage périodiquement.	Vêtements de protection isolants. Portes des gants en matériaux isolants. Casque de protection. Chaussures isolantes.	1	1	1	Vérification périodique des câbles et installations électriques.
29	Opérations normales.	Liquide et obstacles sur terre.	Chute des travailleurs par terre.	Glissement / trébuchement.	Débordement des liquides Mauvais positionnement des objets.	2	3	6	Pictogramme trébuchement. Pictogramme glissement. Sensibilisation des travailleurs. Port des chaussures anti glisse.	Port de casque.	1	2	2	Rangement, nettoyage et organisation du locale d'une façon périodique.
30	Opérations normales.	Produit chimique.	Projection des produits chimiques.	Rupture des conduites .	Brûlures et irritation de la peau.	2	3	6	Vérification périodique des conduites.	Port des EPIs	2	1	2	
Process														
31	Travaux de maintenance ou de vérification.	Chaleur excessive.	Exposition des manipulateurs à cette chaleur.	Fonctionnements normaux des machines.	Déshydratation Coup de chaleur. Fatigue. Sueur.	2	2	4	La formation des salariés.	Porte des EPI adaptés, réduisant l'inconfort thermique.	1	1	1	N/A.

32	Travaux de maintenance ou de vérification.	Bruit.	Trouble de l'appareil auditif.	Naissance sonore due à un niveau de bruit excessif continu.	Perte partielle de l'acuité auditive. Fatigue. Stress.	2	2	4	Pictogramme : porte des stop bruits Recensement des nuisances sonores conformément à la réglementation	Port des stop bruits.	1	1	1	N/A.
33	Travaux de maintenance ou de vérification.	Liquide sur la terre.	Chute des travailleurs par terre.	Glissement / trébuchement.	Blessures.	2	2	4	Pictogramme trébuchement. Pictogramme glissement. Sensibilisation des travailleurs. Port des chaussures anti glisse.	Porte de casque.	1	1	1	Nettoyage du locale d'une façon périodique.
34	Travaux de maintenance ou de vérification.	N/A.	Corrosion des machines.	Oxydation a l'air.	Déformation des machines et perte d'épaisseurs.	2	2	4	Protection anodique. Revêtement. Protection cathodique.	N/A.	1	2	2	Maîtrise de l'environnement. Maitrise de la conception des pièces et machines.
35	Travaux de maintenance ou de vérification.	Produit de nettoyage sur les conduites.	Projection sur les manipulateurs.	Rupture / fuite.	Irritation / brulures.	2	2	4	Remplacer les produits de nettoyage par des produits moins dangereux.	Porte des EPI : casquette de protection.	1	1	1	Sensibiliser les travailleurs au danger des produits de nettoyage.

Salle d'emballage																	
36	Opérations normales.	Câbles électriques nues.	Electrisation	Non vérification périodique d'état des câbles et installations électriques.	Blessures.				2	3	6	Isolation des câbles électriques. Inspecter le câblage périodiquement.	Vêtements de protection isolants. Port des gants en matériaux isolants. Casques de protection. Chaussures isolantes.	1	2	2	Vérification périodique des câbles et installations électriques.
37	Opérations normales.	N/A.	Manipulation des cartons de produit fini.	Mauvaise posture.	Les troubles musculo squelettiques				5	3	15	La mise en œuvre de moyens pour faciliter la manipulation des cartons. L'identification des situations de travail à risque. Rotation des postes.	Doter les opérateurs de ceinture dorsale.	3	1	3	L'information du personnel sur les risques de TMS. L'ergonomie des postes de travail.

Annexe B

**Calcul de débit de
ventilation nécessaire**

Calcul de débit de ventilation nécessaire dans le locale de chargement des batteries :

Dans ce local, on a trois types des batteries des chariot de manutention qui sont présents :

- ❖ Batterie des gerbeurs électriques
- ❖ Batteries des transpalettes électrique
- ❖ Batterie des charriots élévateurs électriques

Le tableau B.1 résume les paramètres des batteries nécessaire pour le calcul de débit

Tableau B.1 : Les paramètres des batteries nécessaires pour le calcul de débit

Type de chariot de manutention	Nombre d'éléments de batterie	Courant de sortie de chargeur	Tension de batterie
Transpalette électrique	12	30a	24v
Gerbeur électrique	12	30a	24v
Chariot élévateur électrique	40	30a	80v

La norme NF EN 62485-3 propose la formule suivante pour la ventilation des locaux de charge de batteries :

$$Q_{min}=0,055 \times N \times I_{gaz}$$

Q_{min} = débit minimal, en m³.h⁻¹

N = nombre total d'éléments de la batterie en charge

I_{gaz} = courant d'électrolyse générant l'homogénéisation de l'électrolyte en fin de charge, en A

Remarque : I_{gaz} doit être fixé à 40 % du courant de sortie du chargeur car les chargeurs sont standard non régulé

Dans un souci d'augmenter l'efficacité des mesures à adopter pour la réduction du risque, nous considérerons les paramètres de la batterie comme suit :

Nombre d'élément de batterie : 40 éléments

Application numérique :

$$Q_{\min} = 0.055 \times 40 \times 30 \times 0.4$$

$$Q_{\min} = 26.4 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

Dans la plupart du temps. On trouve 2 batteries en phase de simultanément dans le local donc Q_{\min} deviendra :

$$Q_{\min} = 26.4 \times 2 = 52.8 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

Le débit calculé par la formule précédente est multiplié par 4 afin de rester en dessous de 25 % de la LIE.

Soit un débit minimal réel à mettre en place :

$$Q_{\text{réel}} > 4Q_{\min}$$

$$Q_{\text{réel}} = 4 \times 52.8 = 211.2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$



Conclusion :





Pour que le nuage de gaz soit éliminé et qu'il ne soit pas entre les limites d'explosivité, un dispositif de ventilation installé doit garantir un débit d'air libre supérieur ou égale à 211.2m³/h.

Annexe C

Les modes de protection gaz

Tableau C.1 : Les modes de protection gaz

Mode de protection et schéma associé	Symbole	Zone	Norme	Principe	Utilisation principale
<p>Sécurité intrinsèque</p> 	<p>ia</p> <p>ib</p> <p>ic</p>	<p>0</p> <p>1</p> <p>2</p>	<p>IEC 60079-11</p> <p>EN 60079-11</p> <p>ISA 60079-11</p>	<p>La conception même du circuit où l'énergie est limitée à l'entrée par une barrière Zener ou un isolateur galvanique, rend impossible la formation d'arcs ou d'étincelles électriques. Se décline en « ia » (résiste à 2 défauts, pour zone 0) et « ib » (résiste à un défaut, pour zones 1 et 2).</p>	<p>Mesure, signalisation et contrôle, bus de terrain, capteurs et actionneurs</p> <p>[Ex ib] = appareillages électriques associés-installation en zone sûre systèmes de sécurité intrinsèque</p>
<p>Antidéflavant</p> 	<p>d</p>	<p>1</p>	<p>IEC 60079-1</p> <p>EN 60079-1</p> <p>ISA 60079-1</p>	<p>L'enveloppe extrêmement robuste contient l'explosion à l'intérieur de l'appareil. Les joints antidéflavants empêchent toute propagation de flamme à l'extérieur de l'enveloppe. Les joints font l'objet d'une maintenance régulière.</p>	<p>Appareillages et tableaux de commande, appareillages de signalisation, de contrôle et de commande moteurs, transformateurs, résistance de chauffage, luminaires</p>

<p>Sécurité augmentée</p> 	e	1	IEC 60079-7 EN 60079-7 ISA 60079-7	Les composants à l'intérieur de l'enveloppe ne doivent pas produire d'arcs, d'étincelles ou de température dangereuse en conditions normales d'utilisation. L'enveloppe doit être étanche IP 54 et doit résister aux impacts.	Bornes et boîtes de raccordement, coffrets de commande pour l'intégration de composants Ex (qui sont protégés dans un autre mode de protection), cage à écureuil, luminaires
<p>Surpression interne</p> 	px py pz	1 1 2	IEC 60079-2 EN 60079-2 ISA 60079-2	Un gaz en surpression est introduit dans l'enveloppe afin d'empêcher toute ATEX de rentrer dans l'enveloppe.	Tableaux de commande et de contrôle, analyseurs grands moteurs
<p>Remplissage pulvérulent</p> 	q	1	IEC-60079-5 EN 60079-5 ISA 60079-5	L'électronique est encapsulée dans un matériau inerte de type pulvérulent qui permet d'éviter la création d'arcs électriques ou étincelles.	Transformateurs, condensateurs, boîte de raccordement pour les circuits de traçage
<p>Immersion dans l'huile</p> 	o	1	IEC 60079-6 EN 60079-6 ISA 60079-6	Le circuit électrique ou le matériel est immergé dans de l'huile. Le mélange explosif n'entre pas en contact avec le liquide et ne peut donc pas enflammer celui-ci.	Transformateurs, résistances de démarrage






<p>Encapsulage</p> 	<p>ma</p> <p>mb</p> <p>mc</p>	<p>0</p> <p>1</p> <p>2</p>	<p>IEC 60079-18</p> <p>EN 60079-18</p> <p>ISA 60079-18</p>	<p>L'électronique est encapsulée dans un matériau isolant qui permet d'éviter la création d'arcs électriques ou étincelles.</p>	<p>Appareillages pour petite puissance, appareillages pour le contrôle commande et la signalisation, capteurs</p>
<p>Mode de protection (cas particulier zone 2)</p> <p><i>ne peut être utilisé que pour un matériel situé dans un emplacement où une atmosphère explosive n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal, ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.</i></p> 	<p>nA</p> <p>nC</p> <p>nR</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p>IEC 60079-15</p> <p>EN 60079-15</p> <p>ISA 60079-15</p>	<p>Proche du mode de protection « e » avec des exigences de protection plus légères.</p>	<p>Tout appareillage électrique pour zone 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • nA=appareillage ne produisant pas d'étincelle • nC=appareillage produisant des étincelles, à l'intérieur desquels les contacts sont protégés de façon adéquate • nR=appareillage avec enveloppe étanche

Tableau C.2 : Les modes de protection poussières

Mode de protection et schéma associé	Symbole	Zones	Normes / Standards	Utilisation principale
<p>Protection par boîtier étanche</p> 	<p>ta</p> <p>tb</p> <p>tc</p>	<p>20</p> <p>21</p> <p>22</p>	<p>IEC 60079-31</p> <p>EN 60079-31</p>	<p>Appareillages et tableaux de commande, coffrets de commande et de raccordement, moteurs, luminaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • tD A21 <p>=suivant la procédure A pour la zone 21</p> <ul style="list-style-type: none"> • tD B21 <p>= suivant la procédure B pour la zone 21</p>
<p>Surpression interne</p> 	<p>pb</p> <p>pc</p>	<p>21</p> <p>22</p>	<p>IEC 61241-4</p> <p>EN-61241-4</p> <p>ISA 61241-2</p>	<p>Enveloppe étanche aux poussières, capable d'empêcher la pénétration de toutes les particules de poussières visibles.</p>
<p>Sécurité intrinsèque</p> 	<p>ia</p> <p>ib</p> <p>ic</p>	<p>20</p> <p>21</p> <p>22</p>	<p>IEC 60079-11</p> <p>EN 60079-11</p>	<p>Mesure, signalisation et contrôle, bus de terrain, capteurs et actionneurs.</p>

Annexe D

Classification de certaines sources de dégagement de poussières combustibles dans des espaces clos

Tableau D.1 : Classification de certaines sources de dégagement de poussières combustibles dans des espaces clos

Effective Date	Expiry / Review by Date	Document No	Version	Page Number
October 2016	September 2019	GES 106	5	28 of 55

APPENDIX 5 – Area Classification Guidance for Some Sources of Combustible Dust Release in Indoor Areas

Location	Releases	Zone 21		Zone 22		Comments
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	
1. Manual loading to vessel: (a) Drums (b) Sacks	Dust clouds around manhole + spillages Dust clouds around manhole + spillages	1 m rad 1 m rad	1 m above to floor 1 m above to floor	3 m rad 7 m rad	3m above to floor 3m above to floor	Assumes no dust control measures. Assumes no dust control measures.
2. Discharge of Intermediate Bulk Containers (IBCs): (a) Rigid (b) Flexible	Dust clouds around discharge point + spillages Dust clouds around discharge point + spillages. Clouds and spillage possible when collapsing.	1 m rad 1 m rad	1 m above to floor 1 m above to floor	3 m rad 7-10 m rad	3 m above to floor 3 m above to floor	Assumes no dust control measures and that discharge is controlled (e.g. bin discharger). Assumes no dust control measures. Collapsing and storing FIBCs will influence the extent of Zone 22.
3. Package filling (e.g. from dryer) (a) To drums or rigid IBCs (b) To sacks or FIBCs	Dust clouds at package to plant joint + spillages Dust clouds at package to plant joint + spillages	1 m rad 1 m rad	1 m above to floor 1 m above to floor	3 m rad 5-7 m rad	3 m above to floor 3 m above to floor	Assumes no dust control measures. Assumes no dust control measures. Extent of Zone 22 will be affected by methods of handling and storing sacks and FIBCs.
4. Bag Filter (a) Cleaning bags or elements	Dust spillage when changing bin. Cloud formed rarely Dust cloud and layers on clean side Localised cloud during handling, also spillage.	- - -	- - -	2 m rad Extent of clean side 3 m rad	1 m above to floor 3 m above to floor	Material can enter the clean side through bag failure or poor sealing. A Zone 21 may be needed if bag changing is frequent (e.g. 4 or 5 times per year). The extent of Zone 22 will be affected by the space needed for the work and handling of empty sacks and FIBCs.
5. Laminar flow booth	Dust cloud around operating position in booth + spillage	0.5 m rad	0.5 m above to floor	Dimensions of booth	0.5 m above to floor	Properly designed booths will not support large flammable dust clouds. Powder spillage can still occur in them.
6. Sack Tip Hopper (a) Internal bag disposal (b) External bag disposal	Dust cloud in hopper and booth + some spill outside Dust cloud in hopper and booth. Spills outside during emptying and bag handling.	Inside of hopper and booth Inside of hopper and booth		2 m around front of unit 3-4 m around front of unit	0.5 m above lower edge of booth to floor 0.5 m above lower edge of booth to floor	Empty bags disposed of within the draughted booth. IEC 61241 gives further guidance Extent of Zone 22 will depend on the procedure for disposing of empty sacks. It could be more extensive than indicated here

CONTROLLED COPIES OF THIS DOCUMENT ARE ACCESSED FROM A CONTROLLED SERVER OR PRINTED ON OFFICIAL (E.G. RED HEADED) PAPER.
USERS MUST CHECK THEY HAVE THE CURRENT VERSION

Effective Date	Expiry / Review by Date	Document No	Version	Page Number
October 2016	September 2019	GES 106	5	29 of 55

Location	Releases	Zone 21		Zone 22		Comments
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	
7. Closed system of charging to Granulator / Russell Sieve / FBD/ V-Blender						
(a) Vacuum Transfer System.	Possible Dust cloud around joints + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to floor	Assumes for closed system of powder handling.
(b) Gravity fed Muller Drums by lifting arrangement.	Possible Dust cloud around joints + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to floor	Assumes for closed system of powder handling
8. Dry milling						
(a) Manual Loading to feeding hopper	Dust cloud around feed hopper + spillages.	1 m radius	1 m above to floor	3 m radius	3 m above to floor	Assumes no dust control measures.
(b) Discharge and collection in container / Polybag	Dust cloud around discharge nozzle + spillages	1 m radius	1 m above to floor	3 m radius	3 m above to floor	Assumes no dust control measures.
9. Closed system of charging materials to compression machine.						
(a) Vacuum Transfer System	Possible Dust cloud around joints + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to mezzanine floor / solid surface	Assumes for closed system of powder handling.
(b) Gravity fed Muller Drums by lifting arrangement	Possible Dust cloud around joints + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to mezzanine floor / solid surface.	Assumes for closed system with damping arrangements.
10. Manual loading to mixing vessel/ Granulator / Russell Sieve / FBD/ blender with Dust control measures.						
(a) Rigid	Possible Dust cloud around hopper / manhole + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to floor	Assumes for dust control measures with LEV nearby. A zone 21 may be needed based on levels of housing keeping.
(b) Poly bags/Sacks	Possible Dust cloud around hopper / manhole + Spillages	-	-	1 m radius	1 m above to floor	Assumes for dust control measures with LEV nearby. A zone 21 may be needed based on levels of housing keeping.
11. Conveying of raw coal by conveyor system to crusher section.						
(a) Belt conveyor.	While conveying of coal, free fall of materials will occur & dust clouds will occur			1 m radius from the belt conveyor	Throughout the belt conveyor	A Zone 21 may be needed based on the levels of house keeping being maintained.

CONTROLLED COPIES OF THIS DOCUMENT ARE ACCESSED FROM A CONTROLLED SERVER OR PRINTED ON OFFICIAL (E.G. RED HEADED) PAPER.
USERS MUST CHECK THEY HAVE THE CURRENT VERSION

Effective Date	Expiry / Review by Date	Document No	Version	Page Number
October 2016	September 2019	GES 106	5	30 of 55

Location	Releases	Zone 21		Zone 22		Comments
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	
1. Handling in coal in Crusher and Screening operation.	Dust cloud around feeding hopper, crusher and screening equipment + spillages	1 m radius	1 m above to floor	3 m radius	3 m above to floor	Assumes no dust control measures. A zone 21 will depend on the levels of housekeeping.
2. Dust Collector system. (a) Around discharge point.	Possible dust cloud in case of filter bag failure	-	-	2 m radius around discharge the blower discharge point		Assumes exhaust outside and not contained within the system.

Notes:

- (1) The Zone sizes given above are for guidance only. They assume that a good standard of housekeeping is maintained at all times. Poor housekeeping will lead to increased sizes for Zone 22 areas.
- (2) Local extraction using booths or hoods can reduce the sizes of the hazardous areas.
- (3) The extents of Zones 22 are markedly affected by working practices, and these should always be taken into account.
- (4) In the vast majority of cases, the spaces inside powder handling equipment (the containment) will be classified as Zone 20.