

Table des matières :

Résumé :.....	3
Abstract:	4
:ملخص.....	5
Table des matières :.....	6
Liste des figures :	12
Liste des tableaux :.....	16
Introduction générale :	17
Problématique :	19
CHAPITRE I : LA SIDÉRURGIE.....	22
1. Histoire de la sidérurgie (De l'âge du fer à l'ère d'acier) :	22
1.1. L'Antiquité:.....	22
1.2. Le Moyen Âge :.....	23
1.3. La révolution industrielle :	26
1.3.1. Le 18 ^{ème} siècle et le 19 ^{ème} siècle :	26
1.3.2. Le 20 ^{ème} siècle et aujourd'hui :	30
2. Définition de la sidérurgie :.....	31
3. Le fer métal et ses alliages :	31
3.1. Le fer :	31
3.2. La fonte :	31
3.3. L'acier :	32
4. Les matières premières utilisées dans la sidérurgie :	32
4.1. Les minerais de fer :	32
4.2. Les ferrailles :.....	33
4.3. Le coke métallurgique :.....	33
4.4. Fondants :	33
4.5. Oxygène :	34

5. Les opérations sidérurgiques (les procédés industriels d'élaboration des métaux et alliages) :	34
5.1. La première opération « Élaboration » :	34
5.1.1. La métallurgie primaire :	34
5.1.1.1. La métallurgie primaire de la filière fonte :	34
5.1.1.2. La métallurgie primaire de la filière ferrailles :	35
5.1.2. La métallurgie secondaire :	35
5.2. La deuxième opération « Coulée » :	35
5.2.1. La coulée en lingotière :	36
5.2.2. La coulée continue :	36
5.3. La troisième opération « Mise en forme » :	36
6. Les produits finis de la sidérurgie :	39
6.1. Les produits plats :	39
6.1.1. Les tôles :	39
6.1.2. Les feuillards :	40
6.1.3. Les larges plats :	40
6.2. Les produits longs :	40
6.2.1. Fils machine et les ronds à béton :	41
6.2.2. Les poutrelles et les rails :	41
6.2.3. Les palplanches :	42
6.2.4. Les gros ronds pour tubes sans soudure :	42
6.2.5. Les laminés marchands :	42
6.2.5.1. Les profilés angulaires :	42
6.2.5.2. Les profils pleins :	43
6.2.5.3. Les fers plats :	44
7. La production mondiale de la sidérurgie :	44
7.1. La production mondiale du minerai de fer :	44

7.1.1. Les pays producteurs du minerai de fer :	44
7.1.2. Les principales compagnies minières internationales :	47
7.2. La production mondiale de l'acier :	48
7.3. L'industrie sidérurgique dans le Monde Arabe :	52
7.4. Répartition de la production et de la consommation sidérurgique par région:	53
CHAPITRE II: LES RISQUES LIÉS A LA PRODUCTION SIDÉRURGIQUE.....	55
1. Définition de risque :	55
2. La typologie des risques :	56
3. Les risques industriels :	57
3.1. Risques industriels majeurs ou hauts risques :	57
3.2. Risques professionnels :	58
4. Risques liés à la production sidérurgique :	60
4.1. Accidents sidérurgiques majeurs :	60
4.1.1. Les incendies :	60
4.1.2. Les explosions :	61
4.1.3. Les intoxications au monoxyde de carbone :	61
4.1.4. La pollution atmosphérique (les poussières et les fumées) :	62
4.1.4.1. Le dioxyde de soufre :	63
4.1.4.2. Les oxydes d'azote :	63
4.1.4.3. Les matières particulaires :	64
4.1.4.4. Les métaux lourds :	64
4.1.4.5. Les émissions organiques :	64
4.1.4.6. La radioactivité :	65
4.1.4.7. Le dioxyde de carbone :	65
4.1.4.8. L'ozone :	65
4.1.5. La pollution des eaux :	66
4.1.5.1. Les matières en suspension :	66

4.1.5.2. Les métaux lourds :	67
4.1.5.3. Les huiles et les graisses :	67
4.1.6. La pollution des sols :	68
4.2. Risques sidérurgiques professionnels :	69
4.2.1. Les risques professionnels dans les cokeries :	70
4.2.1.1. Les risques physiques :	71
4.2.1.2. Les risques chimiques :	71
4.2.1.3. Les risques mécaniques :	72
4.2.1.4. Les risques thermiques :	73
4.2.1.5. Les risques sonores :	74
4.2.1.6. Les mesures de sécurité et de santé :	74
4.2.2. Les risques professionnels dans les aciéries :	75
4.2.2.1. Les risques thermiques :	76
4.2.2.2. Les risques chimiques :	77
4.2.2.3. Les risques physiques :	78
4.2.2.4. Les risques sonores :	79
4.2.2.5. Les risques d'incendie et d'explosion :	79
4.2.2.6. Les mesures de sécurité et de santé :	80
4.2.3. Les risques professionnels dans les laminoirs :	82
4.2.3.1. Les risques thermiques dans les laminoirs :	82
4.2.3.2. Les risques chimiques :	82
4.2.3.3. Les risques physiques :	84
4.2.3.4. Les risques sonores :	85
4.2.3.5. Risques d'incendie et d'explosion :	86
4.2.3.6. Les mesures de sécurité et de santé :	86

CHAPITRE III : Évaluation de l'exposition aux bruit des travailleurs dans un laminoir de rond à béton du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba - Algérie) selon la norme européenne NF EN ISO 9612 (2009)	89
---	----

Notions fondamentales :.....	90
1. Le son :.....	90
2. Les caractéristiques physiques du son :.....	91
3. Le bruit :.....	93
4. Le bruit de l'environnement et les différentes sources de bruit :.....	94
5. Le bruit en milieu de travail (Le bruit industriel):	94
6. Les niveaux de bruit et réglementation :.....	96
6.1. Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A : $LpAeqT$	96
6.2. Niveau de pression acoustique de crête: $Lp, Cpeak$	97
6.3. De $LpAeqTe$ à $LEX, 8h$:.....	97
6.4. Réglementations et Seuils d'exposition :	98
7. Évaluation de l'exposition aux bruit des travailleurs dans un laminoir de rond à béton du complexe sidérurgique d'el-hadjar (annaba - algérie) selon la norme européenne nf en iso 9612 (2009) :.....	99
7.1. Présentation générale du complexe sidérurgique :.....	99
7.1.1. Historique :	99
7.1.2. Localisation du complexe sidérurgique :	100
7.2. Présentation du laminoir de rond à béton LRB :.....	102
7.2.1. Historique de l'unité LRB:.....	102
7.2.2. Les différentes zones de l'unité LRB:	103
7.2.3. Procédé de fabrication du rond à béton :	108
7.3. Méthodologie de mesurage des niveaux d'exposition au bruit :.....	113
7.3.1. Analyse du travail : Identification des postes à évaluer et définition des groupes d'exposition homogène au bruit selon la norme NF EN ISO 9612 (2009) :.....	114
7.3.2. Sélection de la stratégie de mesurage :	115
7.3.2.1. Stratégie de mesurage :	115
7.3.2.2. Equipements utilisés pour les mesurages :	116
7.3.3. Mesurages :.....	117

7.3.3.1. Les mesures du 02/03/2014 :	118
7.3.3.2. Les mesures du 03/03/2014 :	127
7.3.3.3. Les mesures du 04/03/2014 :	135
7.4. Présentation des résultats :	143
7.4.1. Les résultats du 02/03/2014 :	143
7.4.2. Les résultats du 03/03/2014 :	143
7.4.3. Les résultats du 04/03/2014 :	144
7.5. Analyse et interprétation des résultats :	144
7.6. Cartographie de bruit de l'unité LRB :	152
Conclusion générale :	153
Références bibliographiques :	154
Annexe A :	167
Annexe B :	170
Annexe C :	172

Liste des figures :

Fig. 01 : Les bas fourneaux.....	23
Fig. 02 : Les travailleurs d'un bas fourneau.....	23
Fig. 03 : Représentation schématique du fonctionnement des bas fourneaux.	23
Fig. 04 : Haut fourneau à roue hydraulique.....	23
Fig. 05 : Le fond du haut fourneau.....	25
Fig. 06 : Représentation schématique du fonctionnement du haut fourneau.	25
Fig. 07 : Schéma simplifié de la machine à vapeur de James Watt.	27
Fig. 08 : Les premières locomotives à vapeur.	27
Fig. 09 : Les travailleurs d'un four à puddler.	28
Fig. 10 : Coupe longitudinale d'un four à puddler.....	29
Fig. 11: Haut fourneau au coke 1849.....	28
Fig. 12 : Schéma d'un haut fourneau au coke.	30
Fig. 13 : Morceau de minerai de fer.....	32
Fig. 14 : ferrailles de recyclage.....	33
Fig. 15 : coke métallurgique.	33
Fig. 16 : Élaboration et fabrication de demi-produits en acier : Filières-Étapes-Opérations.....	38
Fig. 17 : Les brames (produit demi-finis).	39
Fig. 18 : Les tôles en bobine.	39
Fig. 19 : Les feuillards en bobine.....	40
Fig. 20 : larges plats.	40
Fig. 21 : Les biellettes (produit demi-finis).....	39
Fig. 22 : Les blooms (produit demi-finis).....	41
Fig. 23 : Fils machine.....	39
Fig. 24 : Ronds à béton.	41
Fig. 25 : Les poutrelles.....	39
Fig. 26 : Les rails.....	41
Fig. 27 : Les palplanches.....	42

Fig. 28 : Profil creux carré.....	40
Fig. 29 : Profil creux rond.....	42
Fig. 30 : Cornières L à ailes égales.....	41
Fig. 31 : Cornières L à ailes inégales.....	43
Fig. 32 : Barre de fer profilé T.....	41
Fig. 33 : Barre de fer profilé U.....	43
Fig. 34 : Laminés pleins ronds.....	41
Fig. 35 : Laminés pleins carrés.	43
Fig. 36 : Fer Plat d'usage général.	44
Fig. 37 : les plus grands pays producteurs du minerai de fer en 2012 (capacité de production > 100 millions de tonnes).....	45
Fig. 38 : Les pays producteurs du minerai de fer avec une capacité de production varie entre 100 et 10 millions de tonnes (2012).....	45
Fig. 39 : Les pays producteurs du minerai de fer avec une capacité de production inférieure à 10 millions de tonnes (2012).....	46
Fig. 40 : Répartition mondiale de la production du minerai de fer en millions de tonnes 2012.....	47
Fig. 41 : Évolution de la production mondiale de l'acier brut de 1950 à 2016.....	48
Fig. 42 : Les plus grands pays producteurs d'acier en 2016 (capacité de production > 50 millions de tonnes).....	49
Fig. 43 : Les pays producteurs d'acier brut avec une capacité de production qui varie entre 50 et 10 millions de tonnes (2016).....	49
Fig. 44 : Les pays producteurs d'acier brut avec une capacité de production inférieure à 10 millions de tonnes (2016).....	50
Fig. 45 : Répartition géographique de la production de l'acier brut dans le monde en 2016.	51
Fig. 46 : La typologie des risques.	57
Fig. 47 : La typologie des risques industriels.....	59
Fig. 48 : Un important incendie dans une usine sidérurgique japonaise à Kawasaki en 2015.	61
Fig. 49 : Une explosion dans une aciérie en Inde en 2014.....	61
Fig. 50 : Les émissions atmosphériques dans un complexe sidérurgique en Ukraine.	63

Fig. 51 : Eau polluée par une usine sidérurgique.....	66
Fig. 52 : Sol contaminé dans un site sidérurgique abandonné.....	68
Fig. 53 : Les risques majeurs liés à la production sidérurgique.....	69
Fig. 54 : La fréquence du son.....	92
Fig. 55 : L'amplitude du son.....	92
Fig. 56 : Localisation du complexe sidérurgique d'El Hadjar - Annaba.....	101
Fig. 57 : Organisation du complexe sidérurgique El Hadjar Annaba.....	102
Fig. 58 : Atelier de rectification des cylindres.....	103
Fig. 59 : Zone fluide.....	102
Fig. 60 : Salle des pompes.....	104
Fig. 61 : Parc à Billette.....	104
Fig. 62 : Zone Four.....	105
Fig. 63 : Train de laminage.....	105
Fig. 64 : Zone Thermex.....	106
Fig. 65 : Zone Lit de refroidissement.....	106
Fig. 66 : Zone d'expédition.....	107
Fig. 67 : Salle électrique.....	107
Fig. 68 : Représentation schématique du procédé de fabrication.....	108
Fig. 69 : Pont Roulant.....	107
Fig. 70 : schéma d'un pont roulant.....	109
Fig. 71 : table de chargement.....	107
Fig.72 : Schéma de la table de chargement.....	109
Fig.73 : Four.....	108
Fig.74 : Schéma du four.....	110
Fig. 75 : Train de laminage.....	110
Fig. 76 : Schéma du train de laminage.....	111
Fig. 77 : Thermex.....	111
Fig. 78 : Représentation Schématique de la zone Thermex.....	111

Fig. 79 : Lit de refroidissement.	112
Fig. 80 : Schéma du lit de refroidissement.....	112
Fig. 81 : Ligatureuse.....	111
Fig. 82 : Bottes de 20 barres.	113
Fig. 83 : Représentation schématique de la phase d'expédition du produit fini vers le client.....	113
Fig. 84 : Sonomètre utilisé dans les mesures.	117
Fig. 85 : Représentation graphique de l'exposition des travailleurs au bruit (unité LRB).	145
Fig. 86 : Représentation graphique des pourcentages des niveaux d'exposition au bruit de l'atelier LRB.....	149
Fig. 87 : Cartographie de bruit de l'unité LRB.	152

Liste des tableaux :

Tab. 01: Principaux complexes miniers en millions de tonnes.....	47
Tab. 02 : Classement des plus grands producteurs d'acier brut du monde en 2016.	52
Tab 03 : Répartition de la production et consommation sidérurgique dans le Monde Arabe.....	53
Tab. 04 : Évolution des seuils dans la nouvelle réglementation.	99
Tab. 05 : Les principales activités du complexe sidérurgique d'El Hadjar - Annaba.....	101
Tab. 06 : les groupes d'exposition homogène au bruit de l'unité LRB.	115
Tab. 07 : Les prélèvements du 02/03/2014.	118
Tab. 08 : Les prélèvements du 03/03/2014.	127
Tab. 09 : Les prélèvements du 04/03/2014.	135
Tab. 10 : Les résultats du 02/03/2014.	143
Tab. 11 : Les résultats du 03/03/2014.	143
Tab. 12 : Les résultats du 04/03/2014.	144
Tab. 13: Production mondiale du minerai de fer en millions de tonnes 2012.	167
Tab. 14 : Principaux pays producteurs mondiaux d'acier en 2015 et 2016.	169

Introduction générale :

Le fer est très largement répandu dans l'écorce terrestre, où il se présente sous forme de minerais divers (oxydes, hydroxydes, carbonates, sulfures, silicates et autres). Depuis la préhistoire, l'être humain a appris à préparer ces minerais par lavage, concassage, criblage, élimination de la gangue, et à les traiter par fusion, agglomération sur grille ou en boulettes pour pouvoir les fondre de façon à obtenir du fer et de l'acier. À l'époque, une industrie florissante du fer s'est développée dans de nombreux pays à partir des gisements locaux de minerai et de la proximité de forêts qui fournissaient le combustible sous forme de charbon de bois. Au début du XVIII^e siècle, la découverte de la possibilité de remplacer le charbon de bois par le coke a révolutionné la sidérurgie, dont l'essor allait être le point de départ de tous les autres progrès de la révolution industrielle (Masaitis, 2001).

La fabrication de l'acier ne s'est véritablement développée qu'au XIX^e siècle, avec l'invention des nouveaux procédés de fusion tels que les fours rotatifs (Olivier, 2006), les fours à arc et les hauts-fourneaux au coke (Olivier, 2006) - (Lekane, 2017). Depuis le milieu du XX^e siècle, l'affinage à l'oxygène a permis l'élaboration des grandes quantités d'aciers de haute qualité à des coûts de production relativement faibles (Masaitis, 2001).

Aujourd'hui l'industrie sidérurgique est considérée parmi les industries lourdes les plus importantes, elle est devenue un indicateur de richesse et une base de la production de masse dans de nombreux secteurs industriels tels que la construction navale, l'automobile, le bâtiment et les travaux publics, la construction mécanique, l'outillage et les équipements industriels et ménagers. Et en raison de la forte demande sur l'acier, les usines sidérurgiques exigent une performance maximale de 24 heures sur 24, avec un entretien aussi minime que possible et des rendements extrêmement élevés. Mais d'autre part, ce rythme de production peut parfois entraîner des dommages affectant non seulement les travailleurs et les équipements, mais peuvent aussi détruire l'environnement voisinant au complexe.

En sidérurgie, les risques liés à cette industrie sont divisé en deux parties : les accidents sidérurgiques majeurs tels que les incendies, les explosions, les intoxications et les émissions quelques soit leurs types. Et les risques sidérurgiques professionnels qui sont à l'origine des accidents du travail et des maladies professionnelles, y compris les incendies et les intoxications plus ou moins graves qui affectent essentiellement les salariés qui travaillent sur les lieux de l'accident, les blessures, les lésions et enfin les expositions à des niveaux de bruit élevés qui représentent la partie la plus importante de ce travail .

Le bruit sur le lieu de travail dans les complexes sidérurgiques est un problème qui existe depuis des années. Malheureusement ce problème touche toutes les étapes de fabrication du fer sans exception. Cela nous a amené à nous concentrer dans notre thèse sur le problème de l'exposition au bruit en milieu sidérurgique. Et nous avons choisi comme exemple le laminoir rond à béton du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (Annaba).

Le présent travail consiste à réaliser l'évaluation des risques par exposition au bruit dans les différentes zones de l'unité LRB (Laminoir Ronds à Béton) selon la norme NF EN ISO 9612 : 2009, une méthode d'expertise (AFNOR, 2009) basée sur les étapes suivantes : Analyse du travail, Stratégie de mesurage, Mesurages, Traitement des erreurs, Calculs des incertitudes et Présentation des résultats.

Les résultats obtenus sont comparés aux seuils légaux préconisés par les instances internationales. Afin de pouvoir adopter les mesures correctives et préventives les plus adéquates pour sécuriser les travailleurs d'une part, et constituer une base de données pour l'élaboration d'un programme de prévention des risques professionnels liés au bruit d'autre part.

Problématique :

Il est connu que la *révolution industrielle* consiste en une profonde mutation structurelle de la société, qui se caractérise par un déplacement de la prédominance depuis la société rurale, vers la société urbaine. Elle désigne donc l'ensemble des transformations techniques, économiques, sociales et culturelles qui ont permis le passage significatif d'une économie agraire et artisanale à une grande économie industrielle. Mais malheureusement, cette révolution n'a pas seulement bouleversé les économies des pays développés et en voie de développement, mais également leurs environnements sonores. Une multitude de bruits et de sons encore inconnus il y a plus que 100 ans font maintenant partie de notre quotidien, pour le plus grand bonheur... le bruit dû aux industries et aux moyens de transport constitue un problème de société majeur. Cependant, les bruits d'origine industrielle ont été très peu traités par la recherche scientifique, mais leurs impacts portent de grands préjudices à la santé des travailleurs.

Certains types d'industries ont un niveau de bruit plus élevé, particulièrement l'industrie du fer et de l'acier ce qui augmente l'exposition au risque pour les ouvriers sidérurgiques dans toutes les étapes de fabrication du fer sans exception. Cela nous a amené à nous concentrer dans notre thèse sur le problème de l'exposition au bruit en milieu sidérurgique.

En sidérurgie, les niveaux sonores dangereux peuvent être repérés facilement et, dans la grande majorité des cas, il est technologiquement possible de lutter contre le bruit excessif en appliquant les techniques disponibles, en modifiant la conception de l'équipement ou des procédés ou en transformant a posteriori des machines bruyantes. Mais bien trop souvent, rien n'est fait (Suter, 1997).

L'absence de programmes de lutte contre le bruit s'explique avant tout par le fait que, malheureusement, le bruit est souvent accepté comme un *mal nécessaire* qui fait partie du métier. Le bruit dangereux ne provoque ni hémorragie, ni fracture, ni lésion bizarre et, si les travailleurs parviennent à le supporter les premiers jours ou semaines d'exposition, ils ont souvent l'impression qu'ils *se sont habitués* au bruit. En fait, ce qui est plus probable, c'est qu'ils ont commencé à subir une perte auditive temporaire qui perturbe leur sensibilité auditive pendant leur journée de travail et disparaît souvent pendant la nuit. Ainsi, l'augmentation de la perte auditive induite par le bruit est insidieuse dans la mesure où elle progresse au fil des mois et des années jusqu'à atteindre le stade du handicap sans que, bien souvent, le sujet ne s'en rende compte (Suter, 1997).

Pour cette raison, nous avons décidé de nous baser dans notre travail sur une méthode qui ne repose pas principalement sur les sensations des travailleurs, qui sont souvent subjectives (un bruit

supportable pour quelqu'un peut être insupportable pour quelqu'un d'autre), et peuvent être influencées par des facteurs externes, mais une méthode qui se base sur des calculs et des provenances scientifiques réponds aux exigences règlementaires et normatives dans le cadre de l'ISO. Et nous avons choisi comme exemple le laminoir rond à béton du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (Annaba). Ainsi, pour assurer le bon déroulement de mesurages nous avons choisi un sonomètre de classe 1, calibré et vérifié par le Laboratoire de Calibrage d'Instruments Acoustiques (LACAINAC), qui possède la certification ENAC pour le calibrage de ce type d'instruments.

Notre travail consiste donc à réaliser l'évaluation des risques par exposition au bruit dans les différentes zones de l'unité LRB (Laminoir Ronds à Béton) selon la norme NF EN ISO 9612 : 2009, afin de pouvoir adopter les mesures préventives les plus adéquates pour sécuriser les travailleurs d'une part, et constituer une base de données pour l'élaboration d'un programme de prévention des risques professionnels liés au bruit d'autre part.

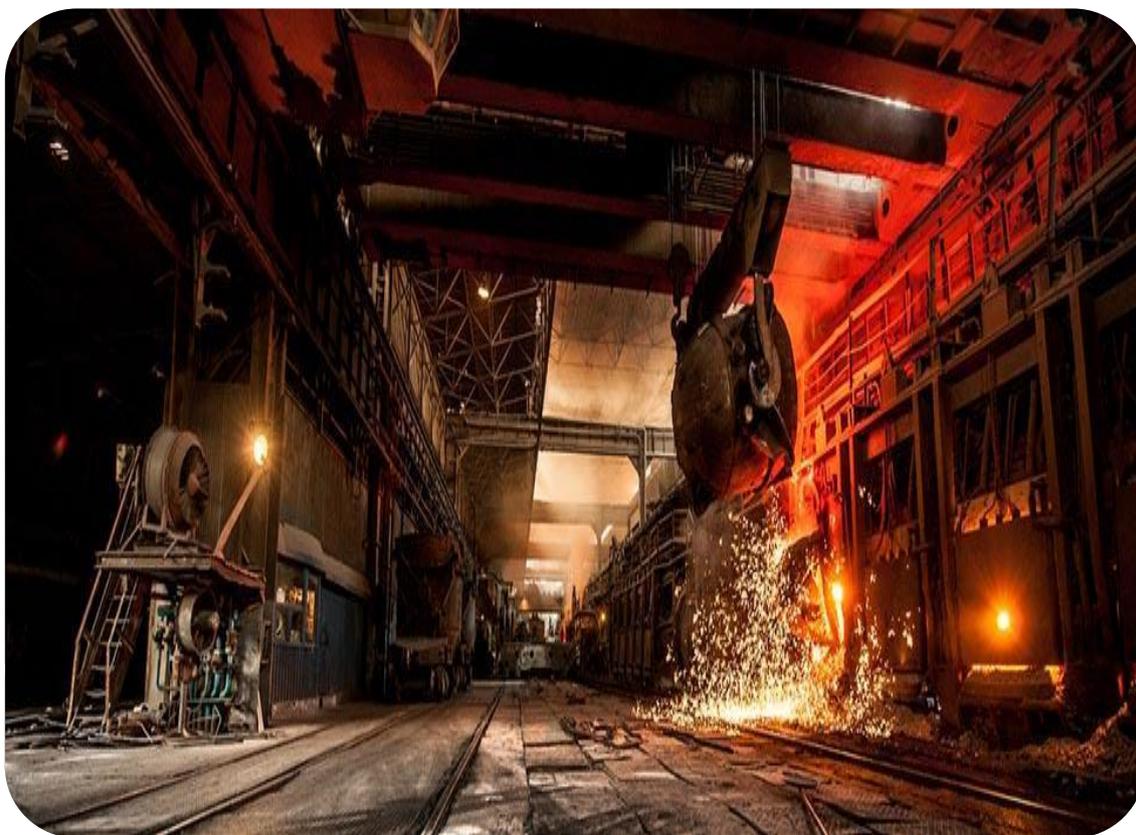
Cette thèse sera divisé en trois chapitres, le premier chapitre traitera tout ce qui concerne l'industrie sidérurgique : définition, développement, importance, matières premières utilisées, méthodes de fabrication, produits finis, production mondiale de l'acier et enfin les principaux fabricants du fer et de l'acier dans le monde.

Le deuxième chapitre concernera les risques associés à l'industrie sidérurgique, que nous avons regroupé en deux parties : les risques majeurs où ils ont été brièvement discutés, également des actions préventives et correctives ont été proposées afin d'éliminer ces risques. Et les risques professionnels qui sont généralement liés à la sécurité et à la santé des travailleurs en milieu de travail, où ils ont été bien détaillés dans cette partie de la thèse afin d'introduire la partie suivante, qui est la plus importante dans notre travail.

Et enfin le troisième chapitre, traitera un des risques professionnels les plus importants menaçant les travailleurs dans les usines sidérurgiques, c'est l'exposition à des niveaux élevés de bruits, et nous avons pris comme exemple le complexe sidérurgique d'Annaba. Le travail réalisé dans ce chapitre est une investigation se basant sur des documents normatifs reconnus, permettant une identification des postes de travail atteints d'une part, et constituera un support important à l'entreprise afin qu'elle puisse répondre aux préoccupations de l'étude d'impact et préparer les procédures exigées par le système de management de l'environnement (NF EN ISO 14001) en cours de mise en place au complexe sidérurgique. Il constituera aussi une réponse à la politique environnementale préconisée.

Chapitre n°1 :

LA SIDÉRURGIE



CHAPITRE I : LA SIDÉRURGIE

1. Histoire de la sidérurgie (De l'âge du fer à l'ère d'acier) :

Voilà bien longtemps que les hommes ont constaté qu'en martelant la pâte de fer avec du charbon de bois naît un matériau différent, plus dur. Et depuis près de 4 000 ans (CIEMRA, 2017), ils « battent le fer ». Mais avec les siècles, les techniques sont devenues de plus en plus complexes et mieux maîtrisées. Le décollage industriel de l'acier, amorcé au début du XIXe siècle, s'effectue véritablement à la fin des années 1860 grâce à de nouveaux procédés de fabrication qui permettent sa production à grande échelle (CIEMRA, 2017).

Aujourd'hui, on ne peut plus vivre sans acier. Il s'est définitivement imposé sous toutes ses formes.

1.1. L'Antiquité:

La datation de l'Âge du fer varie dans le temps selon les historiens et les experts en métallurgie. Pour certains, il commence à la fin de la préhistoire, vers 2500 ans avant Jésus-Christ, époque nommée âge du fer. Il reste cependant difficile de dater ces premières utilisations car elles se font isolément en différents points de la planète (Olivier, 2006). Pour d'autres, La première apparition du fer sous sa forme la plus primaire se situe entre 1650 et 1700 avant notre ère, chez les Hittites et les Chalybes, peuples d'Asie mineure, une région riche en mines de fer (CIEMRA, 2017). En Afrique de l'Ouest, l'ancienneté des objets en cuivre et en fer remonte à 1500 ans avant l'ère chrétienne (Bocoum, 2002). À cette époque, en Europe, on est encore à l'âge de bronze, l'âge du fer commencera bien plus tard vers 1100 avant J.C. dans les régions méditerranéennes (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011) et de 700 av J.C. en Europe du Nord (Olivier, 2006). En Turquie, le Moyen-Orient et le nord de la Péninsule Arabique le fer apparaît vers 1000 avant J.C. (König, 2017). Dans ces régions, pour transformer le minerai de fer en métal, les premiers métallurgistes utilisaient des fourneaux rudimentaires en terre appelés les « bas fourneaux », utilisés une ou deux fois seulement (Olivier, 2006). Ces fours étaient simplement constitués par un trou creusé à même le sol, paré de pierres qu'ils recouvraient de couches d'argile, ils chauffaient ensemble des couches alternées de minerai et de bois (ou de charbon de bois). On obtenait une masse de métal pâteuse qu'il fallait ensuite marteler à chaud pour la débarrasser de ses impuretés et obtenir ainsi du fer brut, prêt à être forgé dans une forge installée à quelques pas du foyer où se fabriquait le métal (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011) - (CIEMRA, 2017). Ce procédé appelé « le procédé direct » (Tomsin, 2011).



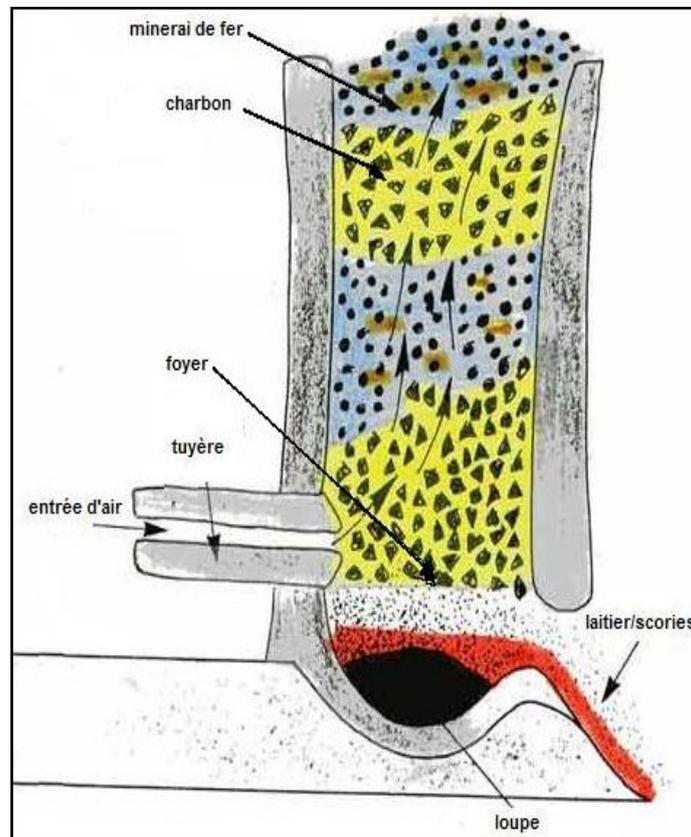
Bocoum, 2002

Fig. 01 : Les bas fourneaux.



Bocoum, 2002

Fig. 02 : Les travailleurs d'un bas fourneau.



www.geowiki.fr

Fig. 03 : Représentation schématique du fonctionnement des bas fourneaux.

1.2. Le Moyen Âge :

Jusque dans le courant du 12^{ème} siècle environ, et en dépit de ses inconvénients, le procédé direct permet de répondre aux demandes en fer qui sont générées par un regain d'activité (Tomsin, 2011) - (CIEMRA, 2017). Survient alors ce que l'historien français Jean Gimpel nomme la « Révolution industrielle du Moyen Âge » (Tomsin, 2011).

En raison d'une importante croissance démographique (en particulier durant les 12^{ème} et 13^{ème} siècles), les besoins en fer augmentent considérablement. Parmi d'autres applications, ce métal s'avère nécessaire pour le ferrage des chevaux, la consolidation des outils agricoles, les constructions civiles et religieuses, la construction navale et le charronnage (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011) - (CIEMRA, 2017). C'est au point qu'en 1260, le frère franciscain Barthélemy l'Anglais écrit que « le fer est plus utile à l'homme que l'or... Sans fer, le peuple ne pourrait se défendre contre ses ennemis.... Tout métier manuel demande l'emploi du fer sans lequel nul ne pourrait cultiver la terre, ni construire une maison » (Tomsin, 2011).

Dans le but d'accroître la production de fer et agrandir la capacité du fourneau. Les bas fourneaux qui sont utilisés jusqu'au 14^{ème} siècle se dressent de plus en plus haut au-dessus du sol (Olivier, 2006) - (CIEMRA, 2017). Celui-ci à ce point volumineux qu'il est désormais dénommé « haut-fourneau » (Tomsin, 2011). Cependant, le haut-fourneau ne fonctionne pas de la même manière que le bas fourneau, car le maniement des soufflets devient pénible et la loupe de fer étant plus volumineuse c'est à grand-peine que les forgerons parviennent à la marteler sur l'enclume avec la seule force de leurs bras (Gillard, 2012). Ces difficultés provoquent une transformation capitale dans la métallurgie : l'utilisation de l'énergie hydraulique dans la manœuvre des lourds marteaux de forge et des appareils de souffleries (Sarreste, 2008) - (Leroy, 2010) - (Gillard, 2012) - (CIEMRA, 2017). Les usines, d'itinérantes qu'elles étaient, s'installent sur les rivières et deviennent fixes. L'industrie du fer se localise sur les ruisseaux dont le courant d'eau est rapide et le débit suffisant pour actionner plusieurs roues à aubes (Gillard, 2012).

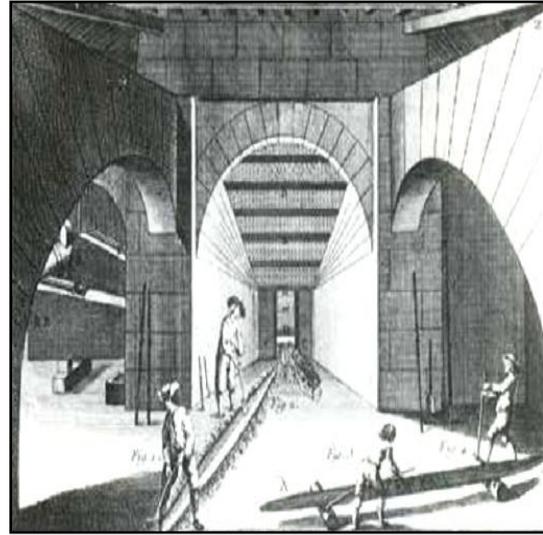
Comme le bas fourneau, le haut-fourneau se charge par l'ouverture se trouvant à son sommet « la gueule ». Il est cette fois complètement en pierres maçonnées, quadrangulaire à sa base et ses murs présentent un léger fruit (Tomsin, 2011). Le minerai broyé et lavé, et le charbon de bois sont versés en couches alternées dans la cuve du fourneau « le ventre » (Tomsin, 2011). À l'aide de l'air insufflé par la roue hydraulique, le mélange est porté à une température supérieure à celle obtenue dans le bas fourneau (1300° C environ). Et on obtient ici un nouveau métal appelé « la fonte » (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011) - (CIEMRA, 2017), cette fonte descend vers le fond du fourneau. Après avoir percé le bouchon d'argile placé dans l'ouverture aménagée à la base de l'édifice, la fonte s'écoule dans une rigole creusée à même le sol. Ensuite, elle est récupérée par les fondeurs à l'aide d'une sorte de louche enrobée d'argile et équipée d'un long manche. La fonte obtenue est plus résistante en compression avec le fer, mais en raison de sa forte teneur en carbone elle est particulièrement fragile aux chocs. Pour la décarburer, il faut procéder à son affinage (Tomsin, 2011). La décarburation de la fonte s'effectue dans un foyer d'affinage ; un feu vif y est entretenu par l'air qu'insufflent les soufflets hydrauliques. Une extrémité de la gueuse est introduite

dans le foyer et est portée à température de fusion. L'air s'associe au carbone de la fonte et s'échappe sous la forme de gaz carbonique. Goutte à goutte, le fer coule au fond du foyer. La gueuse est poussée dans le foyer jusqu'à décarburation complète. Le fer est récupéré en loupe et est façonné en une sorte de lingot au martinet hydraulique. Cette fois le procédé mis en œuvre est dit « indirect » (Tomsin, 2011).



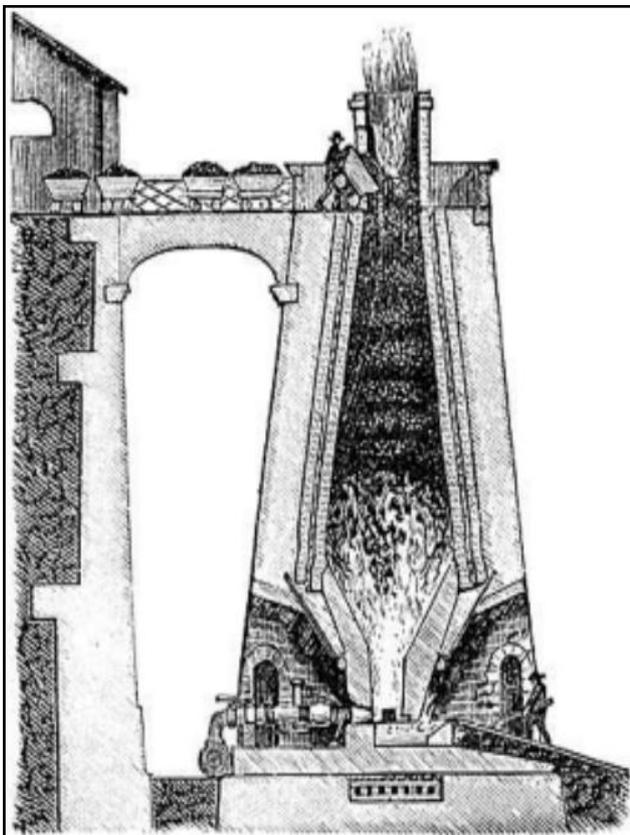
Olivier, 2006

Fig. 04 : Haut fourneau à roue hydraulique.

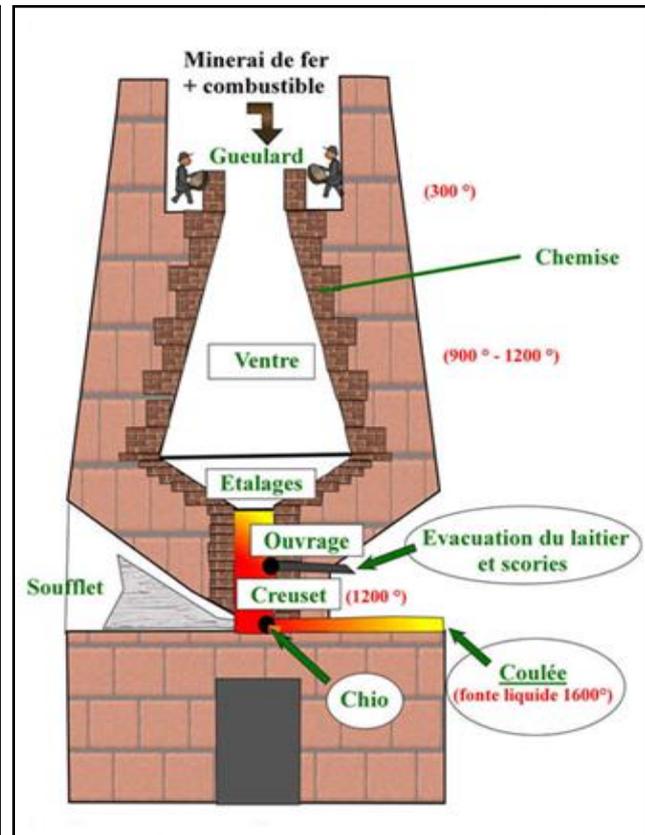


Lekane, 2017

Fig. 05 : Le fond du haut fourneau.



Olivier, 2006



chroniquesdenosvillagesaonois.over-blog.com

Fig. 06 : Représentation schématique du fonctionnement du haut fourneau.

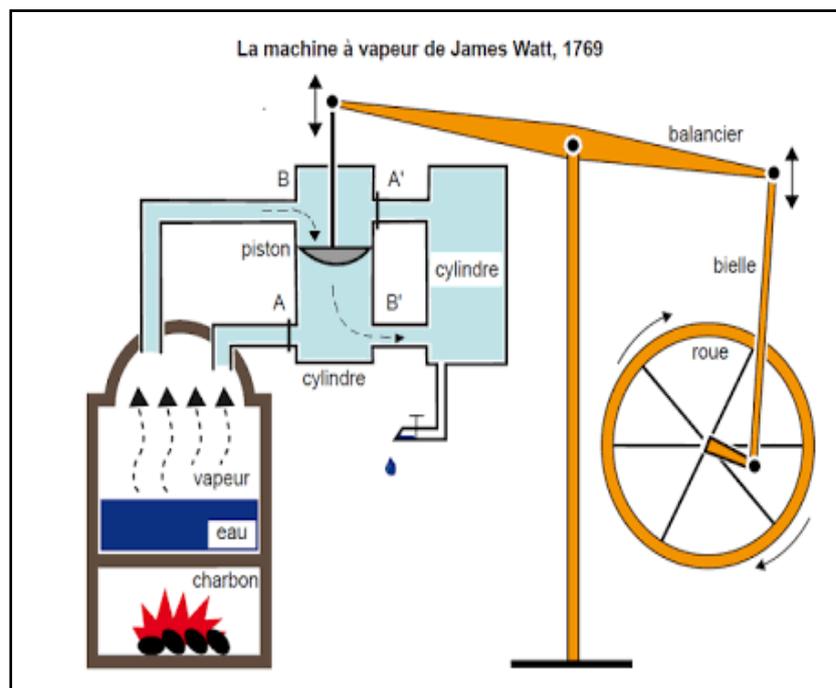
1.3. La révolution industrielle :

1.3.1. Le 18^{ème} siècle et le 19^{ème} siècle :

Dans l'histoire de l'Europe occidentale, ce que l'on nomme la « Révolution industrielle » consiste en une profonde mutation structurelle de la société, qui se caractérise par un déplacement de prédominance, depuis la société rurale, vers la société urbaine (Tomsin, 2011) - (Lekane, 2017). Au sens plus large, la révolution industrielle désigne l'ensemble des transformations techniques, économiques, sociales et culturelles qui ont permis le passage d'une économie agraire et artisanale à une économie industrielle. Elle intègre plusieurs révolutions liées les unes aux autres, on trouve par exemple lorsqu'on revient aux commencements de la révolution industrielle, qu'elle a débuté par des transformations agricoles caractérisées par un développement aux niveaux des méthodes de production agricole, une amélioration des systèmes d'irrigation et de drainage, un amendement des terres et développement des engrais, c'est « la révolution agricole », qui a permis de libérer des commandes (machines agricoles, outillages et engrais), de la main d'œuvre pour les autres secteurs d'activité et surtout de la nourriture qui a conduit elle-même à l'émergence d'une « révolution démographique » due à une augmentation durable du taux de natalité et un abaissement significatif du taux de mortalités. Ainsi, cette explosion démographique a entraîné une augmentation de la demande sur les matières premières « la révolution des matières premières », spécifiquement dans les domaines de textile et de travail du fer. Où, le coton importé remplace la laine, et le charbon remplace le bois ce qui a augmenté l'exploitation du minerai de fer (Olivier, 2006) et a permis l'essor de la production de la fonte et donc de la sidérurgie par la filière fonte. Ceci a ouvert la voie devant une véritable révolution industrielle.

La révolution industrielle a commencé en Angleterre dans le secteur du textile. Le système traditionnel de la production artisanale à domicile est progressivement remplacé par le système des manufactures. Il s'agit de concentrer en un même lieu sur le capital technique (machines) et la main d'œuvre. À cette époque, un certain nombre d'inventions importantes ont contribué au développement de l'industrie, parmi eux on trouve ; l'invention de la machine à vapeur par James Watt 1736-1819 (Lekane, 2017), qui a donné lieu à des diverses applications dans le domaine du textile. Mais, leur importance a été plus marquée dans l'extraction des métaux, la transformation des métaux et la sidérurgie en particulier. Elle a joué un rôle important dans l'évolution de l'industrie du fer et a augmenté la rentabilité de leur production. Cette machine a été considérée comme un moteur à double effet permettant de pomper et exhaurer les eaux souterraines. Elle a pu alimenter des dizaines de machines, grâce à une puissance importante résultant de la conversion de l'énergie thermique provenant du chauffage des eaux souterraines en énergie mécanique qui alimente toutes sortes de machines. Brièvement, la machine de Watt est équipée par une chaudière

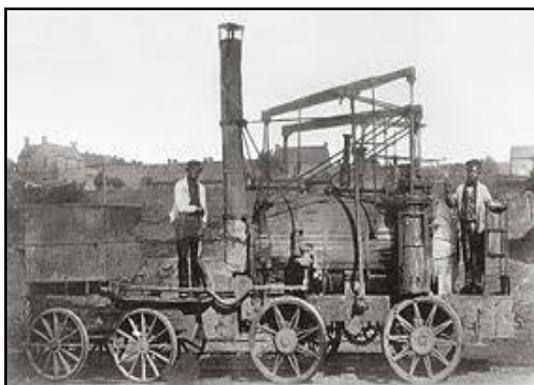
qui chauffe l'eau pour la transformer en vapeur. La pression générée est ensuite utilisée pour pousser un piston à l'intérieur d'un cylindre. Le piston est accroché à une bielle qui permet de transformer le mouvement de translation en mouvement de rotation.



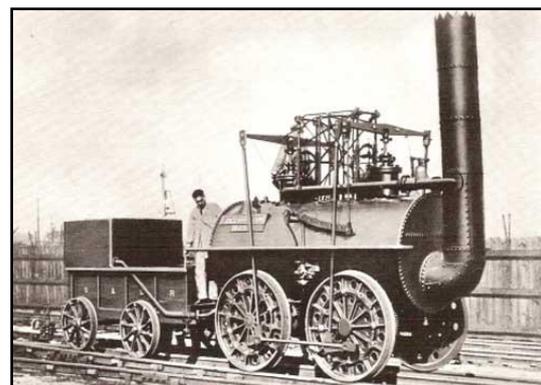
machineavapeurtp.e.blogspot.com

Fig. 07 : Schéma simplifié de la machine à vapeur de James Watt.

Cependant, la combinaison de la sidérurgie et de la machine à vapeur est à l'origine de « la révolution des transports », c'est l'invention de la locomotive à vapeur qui ouvre l'ère des chemins de fer, qui ont facilité l'acheminement des matières premières, le surplus de la production agricole, les produits manufacturés et les personnes vers les villes et les ports qui ont contribué à relier les usines aux marchés extérieures.



fr.wikipedia.org



www.dixvinsblog.com

Fig. 08 : Les premières locomotives à vapeur.

Dans la seconde moitié du 18^{ème} siècle (en 1784), toujours dans l'industrie du fer, un anglais, Henry CORT (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011), imagine un autre procédé d'affinage de la fonte pour la transformation directe de la fonte en acier. C'est le PUDDLAGE (brassage). Pour cela,

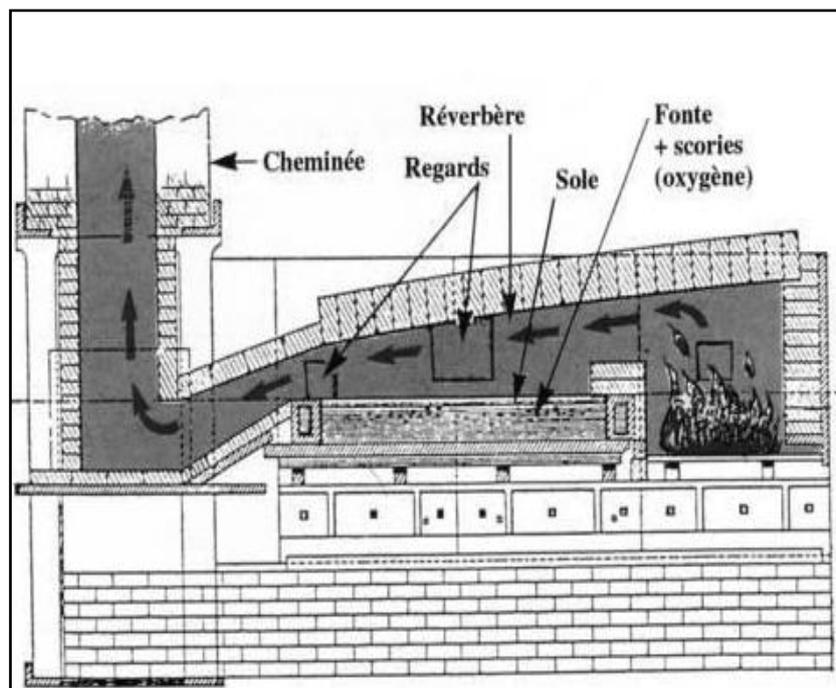
il construit un four spécial dit four à réverbère car sa voûte renvoyait la chaleur sur la matière en fusion. Pour la toute première fois elle est non seulement brassée mais surtout séparée du combustible, durant la chauffe (Olivier, 2006) - (Lekane, 2017). Le brassage de la matière se fait alors manuellement à l'aide d'un ringard que l'on introduit par une petite porte latérale. Les scories surnageantes sont ainsi tirées vers l'extérieur (Olivier, 2006). C'est un travail pénible, harassant et nocif (Olivier, 2006) - (Tomsin, 2011) - (Lekane, 2017), où de nombreuses statistiques ont prouvé que la plupart des puddleurs meurent vers 45 à 50 ans, à cause d'une pneumonie due aux fortes variations de température aggravées par un travail musculaire épuisant qui est la cause la plus fréquente de leur mort (Lekane, 2017).



dormirsurunepeniche.com

Fig. 09 : Les travailleurs d'un four à puddler.

Un peu plus tard, sont inventés les fours rotatifs dans lesquels le brassage de la matière se fait automatiquement. Puis, quelques décennies plus tard, la vapeur mécanise le puddlage. La production est alors de l'ordre d'une centaine de Kilos, vers 1840 elle passera à 650 tonnes/an environ (Olivier, 2006).

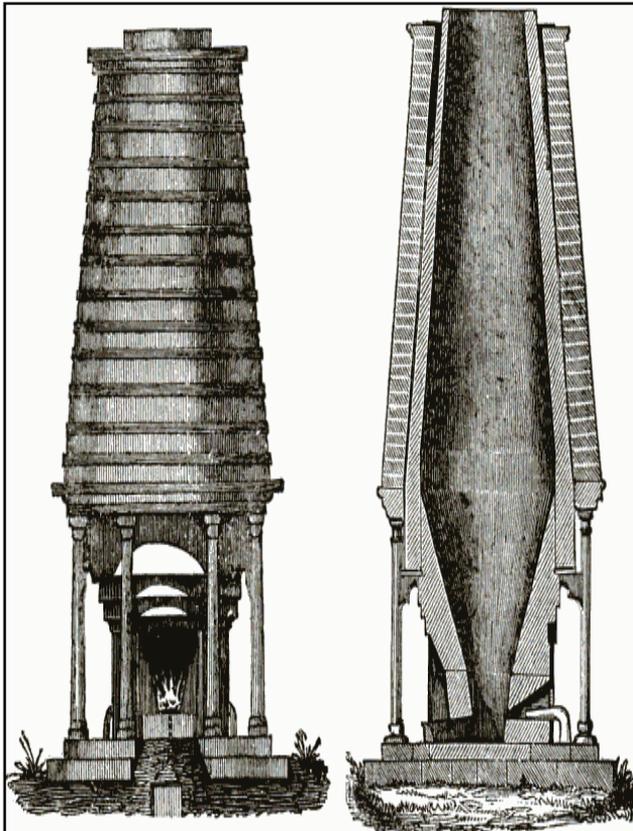


classesbelempro.free.fr

Fig. 10 : Coupe longitudinale d'un four à puddler.

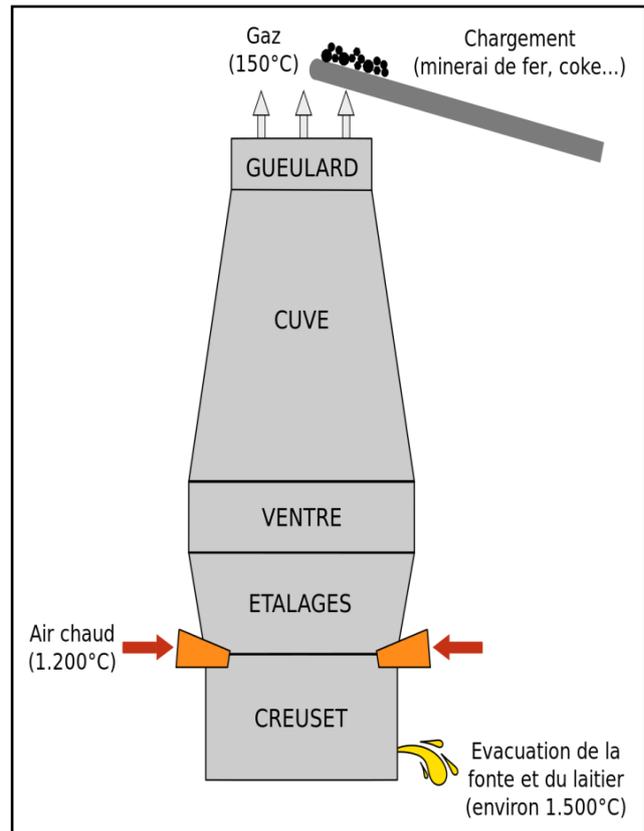
Ensuite, l'utilisation abondante du charbon de bois dans la sidérurgie a mené à une déforestation majeure en Europe. Le combustible de la sidérurgie commence à manquer et, du fait de sa rareté, coûte de plus en plus cher (Lekane, 2017). La houille ne peut être utilisée telle quelle dans un haut-fourneau car, chargée de matières volatiles, elle gênerait le fer et risquerait de faire exploser le four (Lekane, 2017). Dès 1709, l'anglais Abraham Darby utilise, pour la première fois, du coke en place du charbon de bois pour produire de la fonte dans un haut-fourneau (Olivier, 2006) - (Lekane, 2017). Le coke procède de la distillation de la houille dans un four à coke. La houille est chauffée plusieurs heures à l'abri de l'air. Cette cuisson élimine les matières volatiles et transforme la structure physique du charbon, devenu plus dur et plus poreux. Il est prêt à être utilisé dans un haut-fourneau. Et depuis 1709 jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle, des haut-fourneaux au coke sont utilisés en Angleterre (Lekane, 2017).

En 1823, John Cockerill construira le premier haut-fourneau au coke. Rapidement, les hauts-fourneaux au coke vont se multiplier, engendrant une exploitation massive de charbonnages (Lekane, 2017). La transformation du charbon en coke permet d'obtenir une fonte de bonne qualité. Peu à peu, l'Angleterre se dote d'un complexe sidérurgique riche de 8 hauts fourneaux et 9 forges. Et elle devient, au 19^{ème} siècle, une « puissance du fer », grâce à ses réserves en fer, en charbon et à ses cours d'eau (CIEMRA, 2017), et au fil du temps elle impose ses découvertes à toute l'Europe (Olivier, 2006). En 1860 Un nouveau bond technologique est franchi, quand l'anglais Henry Bessemer met au point le convertisseur qui élimine le carbone excédentaire de la fonte en fusion en y insufflant de l'air sous pression (CIEMRA, 2017).



commons.wikimedia.org

Fig. 11: Haut fourneau au coke 1849.



fr.wikipedia.org

Fig. 12 : Schéma d'un haut fourneau au coke.

Au fur et à mesure, la qualité de l'acier s'améliore et sa fabrication connaît un développement spectaculaire. L'acier s'impose rapidement comme le métal roi de la révolution industrielle dont la Tour Eiffel reste le symbole glorieux (CIEMRA, 2017).

1.3.2. Le 20^{ème} siècle et aujourd'hui :

Le chemin de fer se généralise dans toute l'Europe et aux Etats-Unis. Les rails et les locomotives sont en acier. La voiture apparaît et se perfectionne de jour en jour. L'acier est partout dans la construction. Aujourd'hui, on ne peut plus vivre sans acier. Il s'est définitivement imposé sous toutes ses formes (CIEMRA, 2017).

Au début du 20^e siècle, la production mondiale d'acier atteint 28 millions de tonnes, soit six fois plus qu'en 1880. Et à la veille de la première guerre mondiale, elle grimpe à 85 millions de tonnes, pour atteindre aujourd'hui, le milliard de tonnes (CIEMRA, 2017) .

La sidérurgie entre dans une nouvelle phase d'avancées techniques spectaculaires qui permet la production d'un acier de qualité, sophistiqué (haute élasticité, inoxydable...) et de plus en plus fin (CIEMRA, 2017).

2. Définition de la sidérurgie :

On appelle sidérurgie l'ensemble des opérations techniques permettant d'élaborer des fontes, des aciers et des fers, trois alliages métalliques au départ de minerai de fer (Astier, 2009) - (Tomsin, 2011) - (Dejean, 2014). Elle désigne donc le secteur industriel concerné par la métallurgie d'élaboration des alliages ferreux et par leur mise en forme visant à fournir des produits demi-finis aux diverses branches industrielles utilisatrices (G.Maeder, 1995) - (Tomsin, 2011).

3. Le fer métal et ses alliages :

À l'état pur, et à température ambiante, le fer est un métal solide (Sarreste, 2008), de couleur grise (Olivier, 2006), brillant lorsqu'il est poli (Sarreste, 2008), facile à exploiter (Olivier, 2006), malléable¹, ductile², tenace³ et magnétique (Olivier, 2006) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). Son point de fusion est très élevé, entre 1528° et 1538°C, mais il peut être déformé à beaucoup plus basse température (Olivier, 2006) - (Sarreste, 2008) - (Murry, 2004-2010). Il est assez difficile d'obtenir du fer très pur, mais ce n'est pas gênant car les propriétés d'emploi du fer deviennent bien plus intéressantes et variées lorsqu'on lui ajoute des éléments d'alliage judicieusement choisis et dosés (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). Le terme alliage désigne l'ensemble des additions volontaires à des métaux purs d'un ou plusieurs éléments qui peuvent modifier profondément les propriétés physiques, mécaniques et chimiques des métaux pour les rendre facilement utilisables (Schlaefli, 2011).

Les alliages ferreux sont composés majoritairement de l'élément chimique fer. La distinction entre les trois familles d'alliages ferreux est fondée sur le taux de carbone contenu dans l'alliage.

3.1. Le fer :

Le fer industriel c'est l'un des alliages fer plus carbone où le pourcentage du carbone est inférieur à 0,025 %. On parle ici de fer dit « doux » (Olivier, 2006) - (Sarreste, 2008).

3.2. La fonte :

La fonte produite est un alliage métallique contenant essentiellement du fer et dont la teneur en carbone est supérieure à 2% (limites fixées pour les aciers) (Murry, 2004-2010), plus d'autres éléments (le silicium Si, le manganèse Mn, le phosphore P, etc.) (Le Coze, 2008). Elle a une température de fusion allant de 1135 C° à 1350 C° en fonction du pourcentage de carbone qu'elle

¹ Malléabilité : propriété caractéristique des métaux de pouvoir être réduits en feuilles par martelage ou par laminage (Sarreste, 2008).

² Ductilité : capacité de déformation plastique permanente et homogène sans rupture d'un matériau soumis à une contrainte mécanique. Un métal ductile peut être allongé, étiré, étendu sans se rompre (Sarreste, 2008).

³ Ténacité : caractéristique mécanique correspondant à la capacité d'un métal à résister à la rupture par fissuration. Énergie nécessaire pour produire la rupture d'un matériau. La fragilité correspond à une valeur nulle de la ténacité (Sarreste, 2008).

contient. La fonte est un précurseur dans la fabrication de l'acier à partir de minerai (hématite) et de coke. C'est l'alliage qui sort du haut-fourneau et qui sera affiné en acier par chauffage (décarburation) (Olivier, 2006).

3.3. L'acier :

Les aciers qui sont (selon NF EN 10020) des alliages de fer et de carbone, élément d'alliage dont la teneur est généralement inférieure à 2 % (Blond, 2003) - (Murry, 2004-2010) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). De nombreux autres éléments peuvent être présents en faible quantité (Faure, 2012) ; tout l'art du sidérurgiste est de les sélectionner et d'ajuster leur teneur en fonction des propriétés souhaitées (Blond, 2003). Le fer contenu dans l'acier provient soit de minerai, soit du recyclage (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012).

4. Les matières premières utilisées dans la sidérurgie :

4.1. Les minerais de fer :

Quatrième élément le plus répandu dans l'écorce terrestre (5 % à 7 %), le fer y est essentiellement présent sous forme oxydée et très rarement sous forme métallique (Olivier, 2006) - (Sarreste, 2008) - (Dejean, 2014) . Ainsi, les minerais utilisés en sidérurgie contiennent majoritairement du fer à l'état trivalent (Fe_2O_3), bivalent (FeO) ou intermédiaire (Fe_3O_4 magnétique). Les minéraux non ferrifères contenus dans le minerai forment la gangue. Elle est essentiellement composée de quartz, de silico-aluminates de calcium et magnésium, de phosphates et de carbonates de calcium et magnésium (Dejean, 2014). La plupart des gisements exploités ont une teneur en fer comprise entre 30 et 65 % (G.Maeder, 1995) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). Un minerai riche en concentre entre 55 et 67 % (Dejean, 2014).



fr.wikipedia.org

Fig. 13 : Morceau de minerai de fer.

4.2. Les ferrailles :

Elles proviennent des récupérations des industries de transformation, de l'industrie sidérurgique et de la collecte des biens d'équipement et de consommation hors d'usage. Contrairement au minerai leur disponibilité est directement liée à l'activité industrielle (G.Maeder, 1995).



praxy.fr

Fig. 14 : ferrailles de recyclage.

4.3. Le coke métallurgique :

Le coke métallurgique est le combustible du haut fourneau. C'est une sorte de "charbon" obtenu par la distillation de la houille dans des fours à coke. Le coke a deux rôles dans le haut fourneau, il sert de combustible et de réducteur (G.Maeder, 1995) - (Schlaefli, 2011) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012).



fr.wikipedia.org

Fig. 15 : coke métallurgique.

4.4. Fondants :

Ils permettent d'éliminer la gangue sous forme de laitier fusible. Ils sont calcaires si la gangue est siliceuse ou alumineuse et inversement. Certains mélanges de minerai sont auto fondants et ne nécessitent pas d'addition (G.Maeder, 1995).

4.5. Oxygène :

Le développement actuel des procédés d'élaboration de l'acier à l'oxygène nécessite une production massive de ce gaz dans des centrales à oxygène par rectification d'air liquide. L'oxygène est produit à une pression de 40 bars et alimente l'aciérie sous 15 bars (G.Maeder, 1995).

5. Les opérations sidérurgiques (les procédés industriels d'élaboration des métaux et alliages) :

L'acier, produit le plus largement utilisé (1 537 Mt en 2012 (Dejean, 2014)) est généralement obtenu soit dans des usines sidérurgiques dites « intégrées » qui fonctionnent en continu (filière fonte) soit dans des usines utilisant comme matière première des ferrailles (filière ferraille) (Jean Philibert, 2002) - (Dejean, 2014) - (Gallienne, 2014). On distingue donc que la production de l'acier met en œuvre plusieurs filières selon les matières premières utilisées et le procédé employé. Cependant quel que soit le cas on met toujours en évidence trois opérations fondamentales (G.Maeder, 1995) :

5.1. La première opération « Élaboration » :

L'élaboration de l'acier se divise en deux grandes étapes (Jean Philibert, 2002) - (Dejean, 2014):

5.1.1. La métallurgie primaire :

Elle est également divisée en deux parties :

5.1.1.1. La métallurgie primaire de la filière fonte :

La métallurgie primaire de la filière fonte repose sur deux produits de base principaux : le minerai de fer et le charbon (Jean Philibert, 2002) - (Faure, 2012). Le minerai de fer (magnétite, hématite, hydroxyde,...) est concassé, calibré et fritté : c'est la phase d'agglomération (Blond, 2003) - (Gallienne, 2014). Parallèlement, le coke (carbone presque pur) est obtenu par de la houille en cokerie (Jean Philibert, 2002) - (Blond, 2003) - (Faure, 2012). Ces deux produits sont ensuite chargés dans la partie supérieure du haut fourneau (Blond, 2003) - (Faure, 2012) - (Houzé, 2013). Le flux d'air chaud ascendant (1200°C) provoque alors la combustion du coke, qui entraîne la réduction des oxydes de fer, de phosphore, de silicium, de manganèse et la fusion du minerai réduit (Blond, 2003) - (Houzé, 2013). On obtient un bain de fonte à 1500°C recouvert d'un laitier composé des oxydes non réduits (Blond, 2003). La fonte est transvasée dans des poches et transportée jusqu'au convertisseur (Faure, 2012) - (Houzé, 2013) - (Gallienne, 2014). Dans ce dernier, l'excès de carbone est oxydé par un procédé de brassage à l'oxygène pur et les diverses

impuretés à supprimer sont éliminées par décantation après formation d'oxydes (Blond, 2003) - (Jean Philibert, 2002) - (Faure, 2012). L'acier obtenu à une température moyenne de 1650°C est versé dans la poche à acier, également appelée poche d'affinage. Ces dernières années, celle-ci est devenue un réacteur de métallurgie secondaire dans lequel la mise à nuance est effectuée (Blond, 2003) (voir Fig. 16 – A : page 38) :

5.1.1.2. La métallurgie primaire de la filière ferrailles :

La métallurgie primaire de la filière ferrailles vise à transformer des aciers et des ferrailles de récupération en acier liquide. Ces ferrailles sont chargées dans un « panier à ferrailles » à l'aide d'un électroaimant et acheminées à côté du four. De puissants arcs électriques sont alors générés. Ils permettent d'apporter une grande quantité d'énergie nécessaire à la fusion. On récupère les résidus (laitier) et on obtient de l'acier liquide, qui va être acheminé vers l'installation d'affinage et de mise à nuance (Jean Philibert, 2002) - (Houzé, 2013) - (Gallienne, 2014). (Voir Fig. 16 – B : page 38)

5.1.2. La métallurgie secondaire :

Appelée aussi « métallurgie en poche » car le métal liquide est transféré dans une nouvelle poche (Jean Philibert, 2002). Elle permet de passer du fer liquide presque pur à l'acier ayant la pureté optimale (par élimination d'impuretés O₂, H₂, N, S, etc... subsistant après la conversion) et la composition recherchée, ceci par addition d'éléments d'alliage nécessaires (Mn, Ni, Cr, etc.) « mise à la nuance ». Elle est constituée de plusieurs opérations successives dans la même poche ou dans des poches différentes : la désoxydation, la désulfuration, le dégazage et la mise à la nuance. La désoxydation est une réaction de « précipitation homogène », permettant d'éliminer l'oxygène, dissous dans le métal liquide, par formation d'inclusions d'oxydes plus ou moins facilement séparables par décantation ou flottation. L'élimination poussée du soufre résiduel se fait à nouveau par une réaction « métal-laitier » de transfert du soufre de la phase métallique dans le laitier. L'élimination des impuretés gazeuses (H₂, O₂, N) est réalisée soit par dégazage sous vide soit par entraînement par un gaz inerte injecté dans le bain liquide (Jean Philibert, 2002) - (Houzé, 2013). (Voir Fig. 16 – C : page 38)

5.2. La deuxième opération « Coulée » :

La coulée de l'acier liquide s'opère selon deux techniques différentes : la coulée en lingotières qui reste prépondérante dans les pays de technologie sidérurgique peu développée (U.S.A., U.R.S.S.) et la coulée continue qui est devenue prépondérante dans les pays de technologie sidérurgique développée (Japon, Allemagne, Italie, France) (G.Maeder, 1995).

5.2.1. La coulée en lingotière :

L'acier élaboré selon les procédés est recueilli à l'état liquide dans des poches. Il est ensuite coulé et solidifié dans des moules en fonte : les lingotières. Une fois la solidification terminée, les lingots sont démoulés et acheminés dans des fours afin d'être réchauffés à 1250 C°. Après le réchauffage les lingots sont écrasés dans un gros laminoir pour être transformés en brames (ébauches de produits plats) ou en blooms (futurs produits longs). Ils peuvent aussi être directement livrés au client (G.Maeder, 1995)- (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). (Voir Fig.16D p 38)

5.2.2. La coulée continue :

Ce procédé permet d'obtenir directement les demi-produits sans l'étape de laminage, blooming ou slabbing, qui suit la coulée en lingots. La coulée continue a pris, depuis 30 ans, une place de plus en plus importante dans la filière de production en raison des avantages par rapport à la technique traditionnelle de coulée en lingots : économie d'énergie et de main d'œuvre, meilleur rendement et amélioration de la qualité du produit (Costes, 2004) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012).

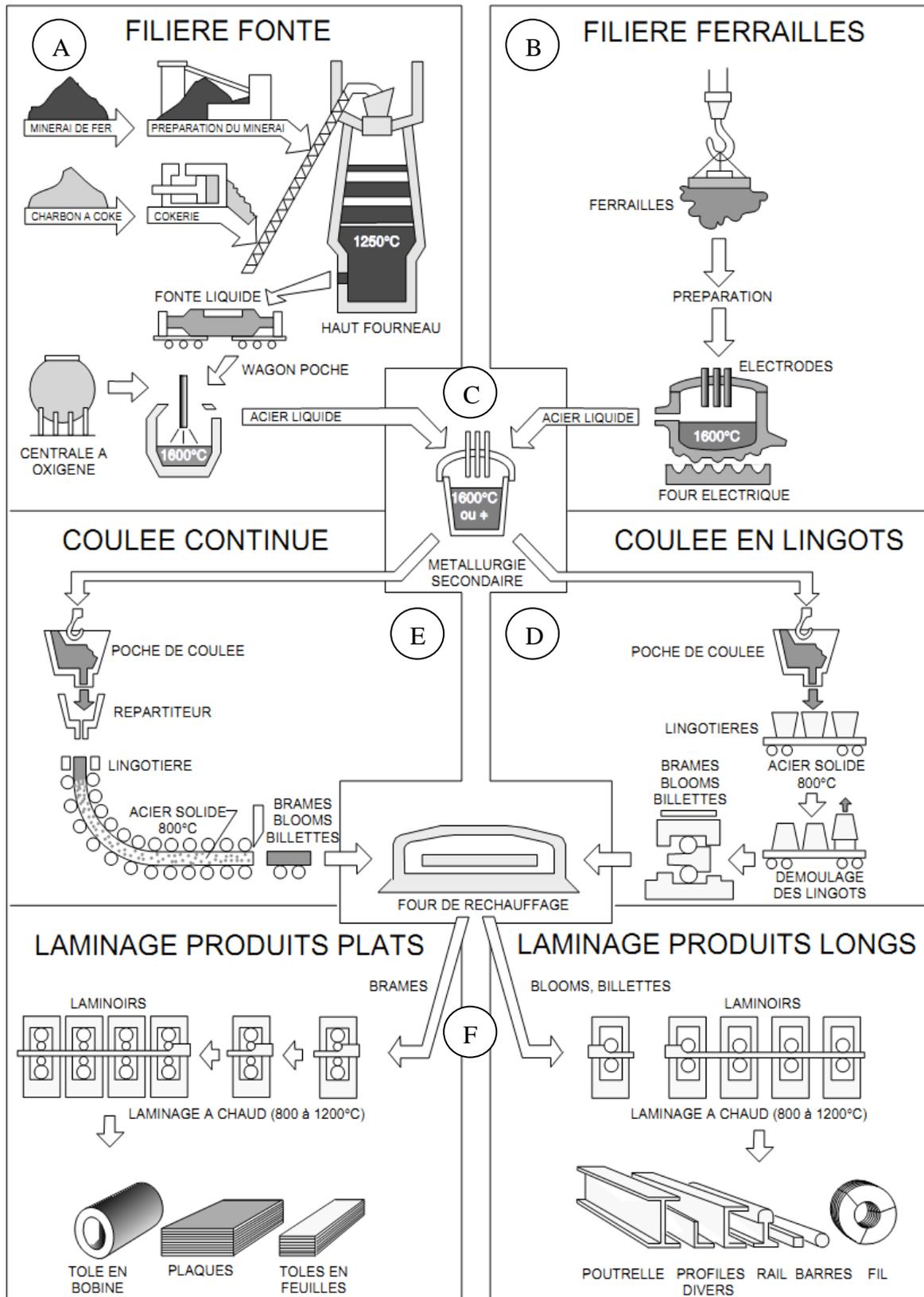
Pour simplifier le procédé, on peut le décrire de la manière suivante : l'acier liquide à 1500°C contenu dans une poche est coulé dans une lingotière en cuivre de section carrée, ronde ou rectangulaire selon le demi-produit fabriqué (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). L'acier en fusion s'écoule verticalement en continu dans la lingotière sans fond maintenue à basse température par un système de refroidissement (en général hydraulique). L'acier liquide, au contact avec les parois de la lingotière, va se solidifier et une peau solide commence ainsi à se former. On parle de refroidissement primaire. Sous la lingotière sont disposés des rouleaux extracteurs qui font avancer le produit dans la machine à vitesse constante. Entre ces rouleaux, un deuxième système de refroidissement est constitué de jets d'eau (on parle alors de refroidissement secondaire). Au fur et à mesure que le produit progresse dans la machine, l'épaisseur de la couche solidifiée augmente et inversement l'acier liquide tend à disparaître pour obtenir finalement un produit complètement solidifié en fin de procédé. Au cours de ce refroidissement, l'acier passe par trois états : liquide, pâteux et solide. En fin de procédé, une fois sa solidification terminée, le produit est découpé en tronçons et envoyé vers un parc de stockage ou plus directement vers un four avant d'être laminé (Costes, 2004). (Voir Fig. 16 – E : page 38)

5.3. La troisième opération « Mise en forme » :

La mise en forme se fait par laminage, ceci s'effectue d'abord à chaud. Les aciers issus de la coulée continue ou de la coulée en lingots sont réchauffés à 1200 °C dans un four pour les rendre plus malléables, plus faciles à étirer et à mettre en forme (G.Maeder, 1995).

Le laminage à chaud se fait dans des laminoirs à plusieurs cages formant un train de laminage (G.Maeder, 1995). Son principe est d'entraîner et écraser le métal chaud entre deux cylindres tournant en sens inverse l'un de l'autre. Cylindres lisses pour les produits plats, à cannelures pour les produits longs. En répétant plusieurs fois l'opération pour obtenir un produit de plus en plus mince et de plus en plus long, à la forme souhaitée (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). Après le laminage à chaud, les produits peuvent faire l'objet d'un parachèvement comme: traitement thermique (afin d'homogénéiser leurs caractéristiques mécaniques), planage, dressage, découpage, conditionnement, etc (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). Plus de la moitié des produits plats subissent ensuite un amincissement complémentaire, effectué par laminage à froid (G.Maeder, 1995) - (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012). (Voir Fig. 16 – F : page 38)

Le schéma ci-dessous résume l'ensemble des opérations pour les filières classiques d'élaboration à partir du minerai ou des ferrailles (Jean Philibert, 2002). (Voir Fig. 16 : page 38)



Jean Philibert, 2002

Fig. 16 : Élaboration et fabrication de demi-produits en acier : Filières-Étapes-Opérations.

6. Les produits finis de la sidérurgie :

On distingue deux catégories de produits selon leurs formes et leurs dimensions à l'issue du processus de fabrication (NF A 40-001) :

6.1. Les produits plats :

Les produits plats fabriqués à partir des brames du slabbing ou de coulée continue (G.Maeder, 1995). Ils ont de très nombreuses utilisations, particulièrement pour la fabrication de biens de consommation comme l'automobile, le bâtiment, l'électroménager, les emballages métalliques... (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012).



(Groupement de la Sidérurgie, 2016)



fr.wikipedia.org

Fig. 17 : Les brames (produit demi-finis).

6.1.1. Les tôles :

On trouve les tôles fortes d'épaisseur supérieure à 4,76 mm, les tôles moyennes de 3 à 4,76 mm et les tôles minces inférieures à 3mm.



siabrasives.com

Fig. 18 : Les tôles en bobine.

6.1.2. Les feuillards :

Produits plats dont la largeur maximum est comprise entre 500 et 600 mm.



french.hotrolledsteel-coil.com

Fig. 19 : Les feuillards en bobine.

6.1.3. Les larges plats :

D'épaisseur comprise entre 6 et 60 mm et de largeur variant entre 150 et 1000 mm (G.Maeder, 1995) - (Béguin, 2001).



ravatepro.fr

Fig. 20 : larges plats.

6.2. Les produits longs :

Les produits longs fabriqués à partir des bielles et des blooms ou de coulée continue. Ils sont souvent obtenus par laminage à chaud (G.Maeder, 1995). Les produits longs sont utilisés dans tous les secteurs industriels, mais particulièrement dans la construction métallique et dans l'industrie mécanique (Monique Tanguy, Daniel Ansart, 2012).



french.alibaba.com

Fig. 21 : Les bielles (produit demi-finis)



www.alamyimages.fr

Fig. 22 : Les blooms (produit demi-finis)

6.2.1. Fils machine et les ronds à béton :



www.uisteel.com

Fig. 23 : Fils machine.



www.senepius.com

Fig. 24 : Ronds à béton.

6.2.2. Les poutrelles et les rails :



www.indiamart.com

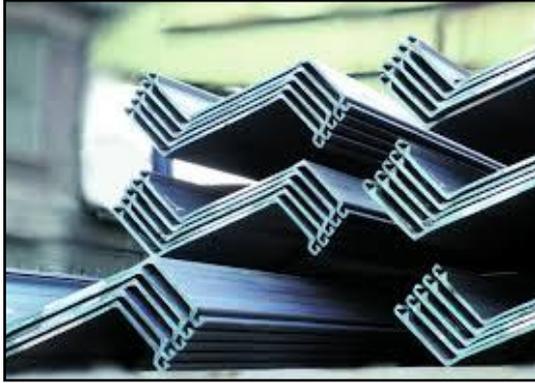
Fig. 25 : Les poutrelles.



www.usinenouvelle.com

Fig. 26 : Les rails.

6.2.3. Les palplanches :



club.paperjam.lu



www.list.lu

Fig. 27 : Les palplanches.

6.2.4. Les gros ronds pour tubes sans soudure :



www.aciersgrosjean.be

Fig. 28 : Profil creux carré.



www.algeriepatriotique.com

Fig. 29 : Profil creux rond.

6.2.5. Les laminés marchands :

Ils constituent une famille de produits longs laminés à chaud et regroupent (Olivier, 2006) :

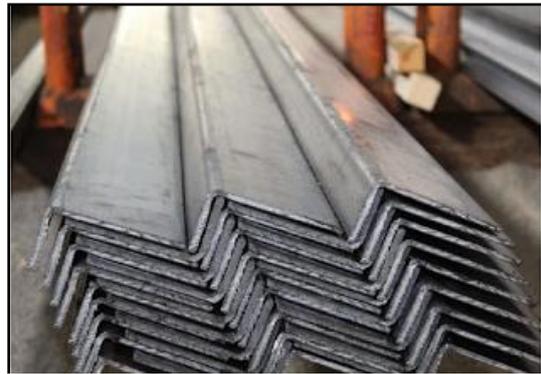
6.2.5.1. Les profilés angulaires :

Tels que les profils L à ailes égales ou inégales, les tés et petits fers U.



www.indiamart.com

Fig. 30 : Cornières L à ailes égales.



www.zabarno.com

Fig. 31 : Cornières L à ailes inégales.



metalco.sn

Fig. 32 : Barre de fer profilé T.

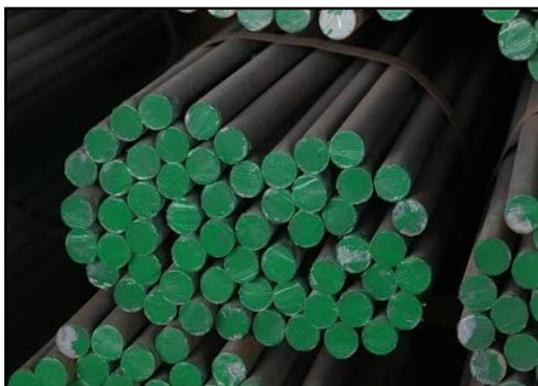


www.xn--matriel-levage-online-d5bf.be

Fig. 33 : Barre de fer profilé U.

6.2.5.2. Les profils pleins :

De forme ronde, carrée ou rectangulaire.



metalram.com

Fig. 34 : Laminés pleins ronds.



www.xn--matriel-levage-online-d5bf.be

Fig. 35 : Laminés pleins carrés.

6.2.5.3. Les fers plats :



www.nedjmetal.com

Fig. 36 : Fer Plat d'usage général.

7. La production mondiale de la sidérurgie :

7.1. La production mondiale du minerai de fer :

7.1.1. Les pays producteurs du minerai de fer :

Le fer est l'élément chimique le plus exploité depuis la Préhistoire. Il est utilisé dans la production des médicaments et la production des aliments, mais surtout dans la production de l'acier, environ 98% de la production totale du minerai de fer sont utilisés pour produire de l'acier (Duport, 2012) - (Jean-Herman Guay, 2016). Selon « Perspective Monde⁴ » (Jean-Herman Guay, 2016), en 2012 seulement 41 pays produisent du fer, et encore en quantités très différentes, ce qui nous a conduits à classer ces pays en trois groupes, en fonction de la quantité du minerai de fer produisée.

Le premier groupe rassemble les 5 premiers pays dont la quantité de fer produite situe entre 1300 et 100 millions de tonnes, ils produisent presque 85% de la production mondiale totale qui a atteint les 2.9 milliards de tonnes de minerai en 2012. Encore la Chine, en leader très détaché, avec 1,3 milliard de tonnes, sachant qu'elle consomme tout le minerai qu'elle extrait et, de plus, en importe une très grande quantité, représentant près de 60% du total des exportations mondiales. Suivie par l'Australie et ses 519 millions de tonnes, et le Brésil et ses 400 millions de tonnes qui au contraire exportent la grande majorité du minerai qu'ils extraient. Derrière ces 3 géants, vient l'Inde avec ses 136 Millions de tonnes, et la Russie avec 104 millions de tonnes, ferment la marche de ce Top 5 mondial.

⁴ Outil pédagogique des grandes tendances mondiales depuis 1945, soutenu par l'Université de Sherbrooke (Quebec).

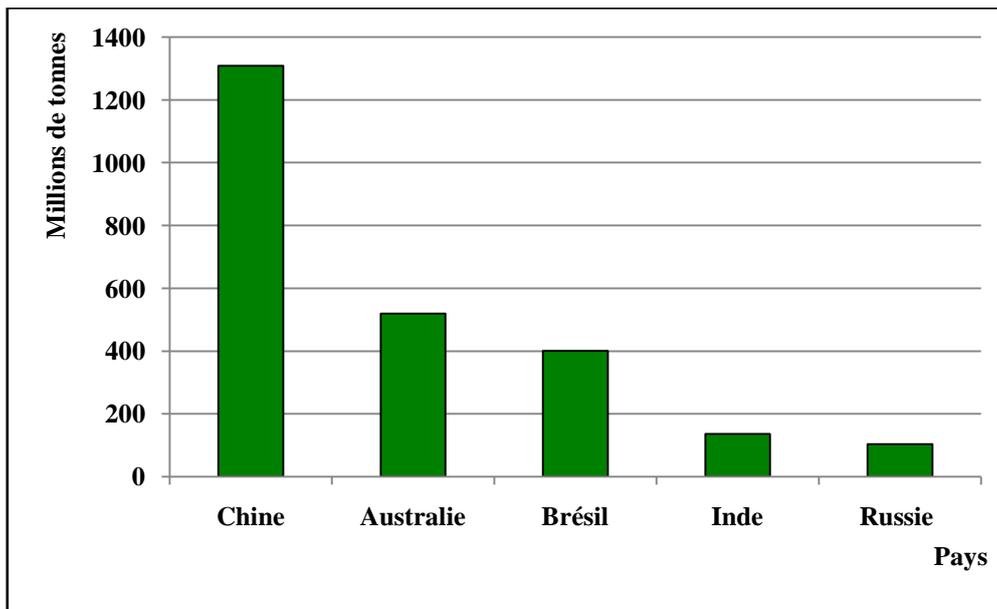


Fig. 37 : les plus grands pays producteurs du minerai de fer en 2012 (capacité de production > 100 millions de tonnes).

Le second groupe, comprend 13 pays avec une capacité de production moyenne, varie entre 100 et 10 millions de tonnes, en tête de cette liste en trouve l'Ukraine et l'Afrique du Sud avec 67 millions de tonnes, suivi par les États-Unis, le Kazakhstan et l'Iran avec environ 50 millions de tonnes, la Malaisie ferme la liste avec une capacité de production de 10 millions de tonnes.

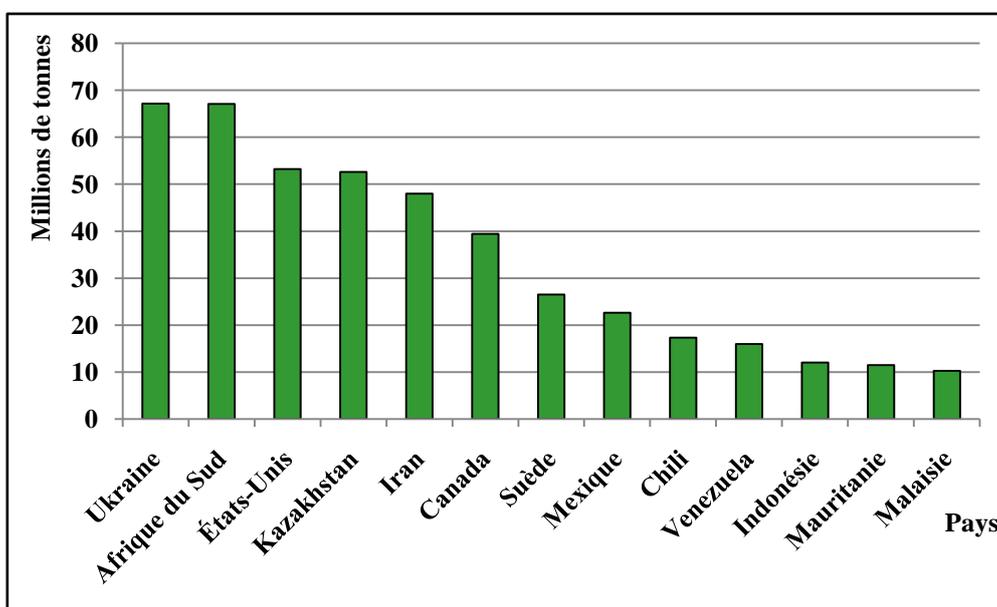


Fig. 38 : Les pays producteurs du minerai de fer avec une capacité de production varie entre 100 et 10 millions de tonnes (2012).

Le dernier groupe, rassemble tous les pays qui ont une capacité de production de minerai inférieure à 10 millions de tonnes, y compris quelques pays arabes tels que l'Égypte qui occupe la première place dans le monde arabe et 24^{ème} mondialement avec une capacité de production

d'environ 4 millions de tonnes. Après l'Égypte on trouve l'Algérie qui se classe 29^{ème} mondialement avec une capacité de 1,7 millions de tonnes. Suivie par la Tunisie et le Maroc, qui occupent presque les derniers rangs mondialement avec une capacité très modeste ne dépasse pas 0,2 millions de tonnes selon les statistiques de 2012 (Jean-Herman Guay, 2016).

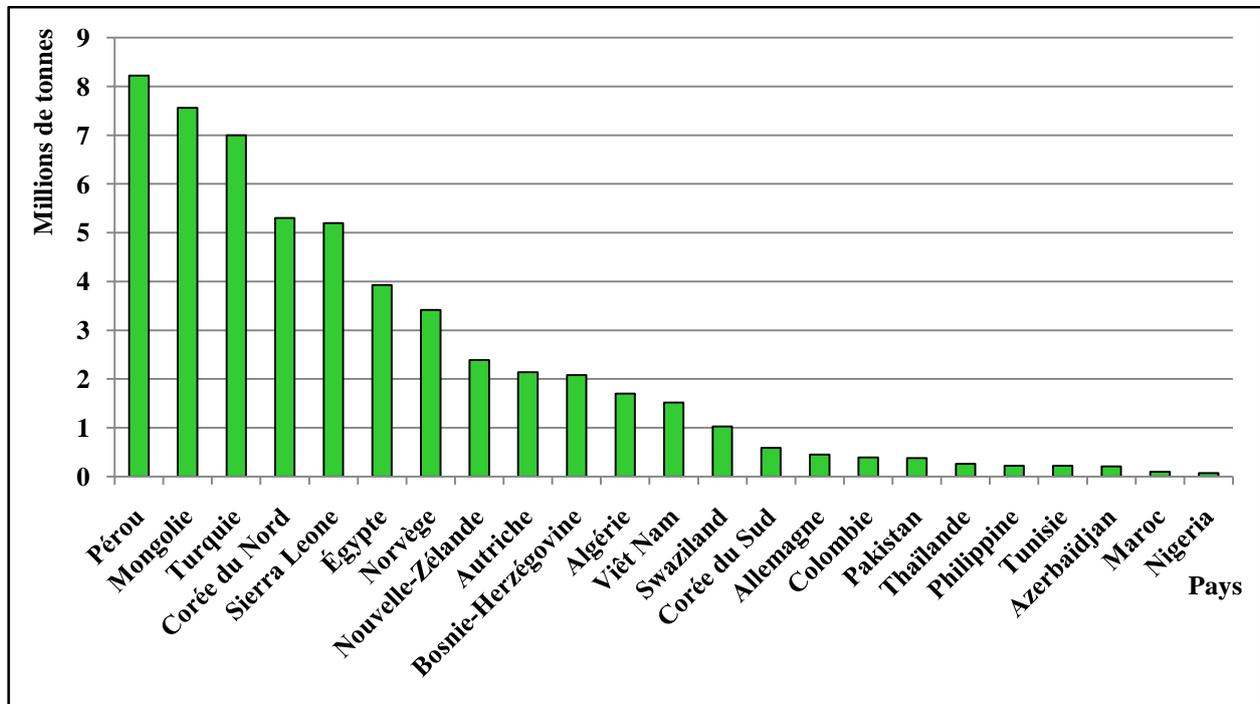
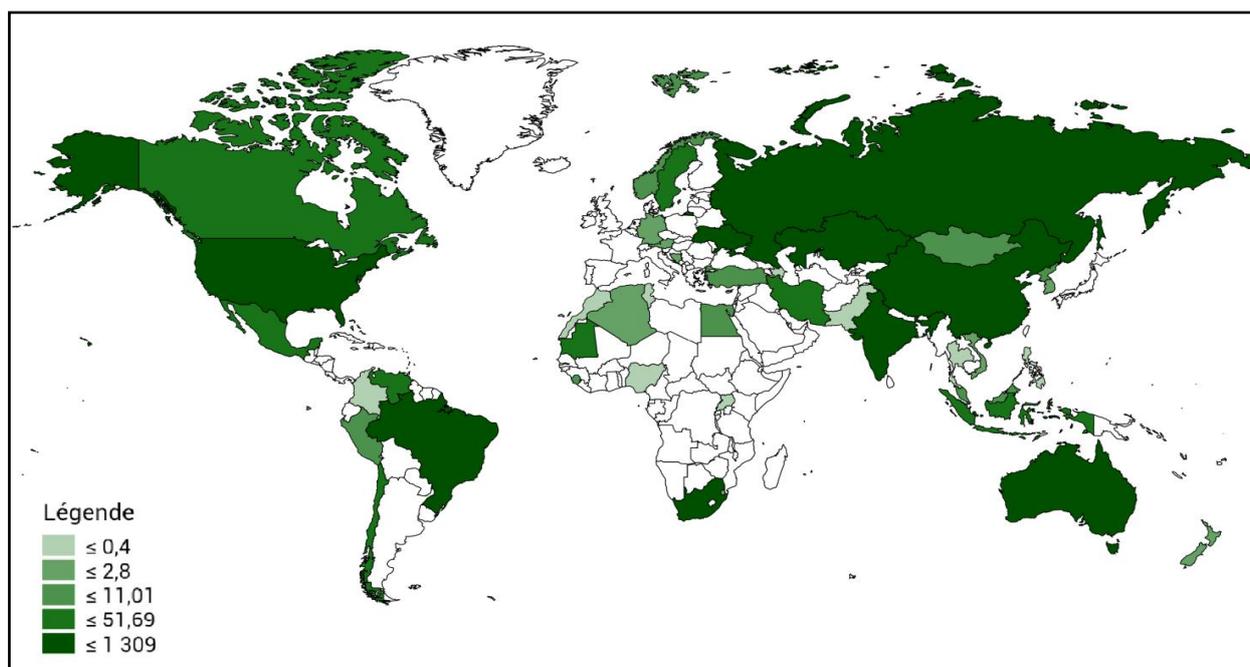


Fig. 39 : Les pays producteurs du minerai de fer avec une capacité de production inférieure à 10 millions de tonnes (2012).

La carte suivante représente la répartition géographique mondiale de tous les pays producteurs de minerai de fer avec les quantités en millions de tonnes.



(Jean-Herman Guay, 2016)

Fig. 40 : Répartition mondiale de la production du minerai de fer en millions de tonnes 2012.

7.1.2. Les principales compagnies minières internationales :

Le minerai de fer est l'une des matières premières les plus importantes qui ont envahi le marché mondial depuis long temps. Précédemment, il était commercialisé exclusivement sur la base de contrats à long terme conclus directement entre les grandes entreprises minières du secteur et les industries clientes, principalement les producteurs d'aciers (Duport, 2012).

Le secteur de production du minerai de fer est caractérisé encore à l'heure actuelle par un quasi-monopole détenu par trois grandes compagnies minières internationales: le Brésilien Companhia Vale do Rio Doce ou CVRD, et les Anglo-Australien Rio Tinto PLC et BHP Billiton. Ces trois fournisseurs représentent à eux seuls près des deux-tiers du marché de l'approvisionnement mondial de minerai de fer (Duport, 2012) - (Faure, 2012).

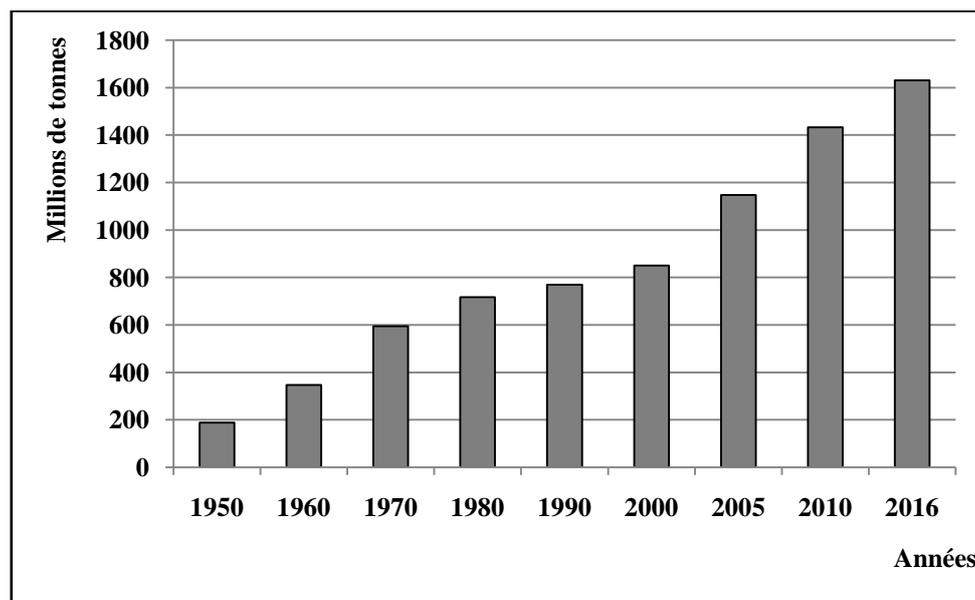
Complexe minier	Exploitant	Production 2014
Hamersley, Australie	Rio Tinto	163
Carajas, Brésil	Vale	120
Chichester Hub, Australie	FMG	90
Yandi, Australie	BHP Billiton	79
Mt Whaleback	BHP Billiton	77
Solomon Hub, Australie	FMG	58
Area C, Australie	BHP Billiton	57
Hope Downs, Australie	Rio Tinto	43
Mariana Hub, Brésil	Vale	39
Sishen, Afrique du Sud	Anglo American	36

(Société Chimique de France, 2016)

Tab. 01: Principaux complexes miniers en millions de tonnes.

7.2. La production mondiale de l'acier :

L'acier est si polyvalent et fondamental pour nos vies qu'il est considéré comme essentiel à la croissance économique. Pendant les 50 dernières années, le monde a produit de plus en plus d'acier (en 1960, le monde a produit 350 millions de tonnes d'acier et en 2016, 1630 millions de tonnes), parfois plus que nécessaire, tout en rendant le produit universellement abordable et en favorisant une concurrence intense entre ses producteurs pour la qualité et le prix (World steel association, 2018).



(World steel association, 2018)

Fig. 41 : Évolution de la production mondiale de l'acier brut de 1950 à 2016.

Selon les statistiques de l'association mondiale de l'acier. En 2016, La plus grande partie de l'acier brut provient de la chine, le premier producteur mondial, qui fournit plus de la moitié de l'acier mondial, avec 808 millions de tonnes (Basson, 2017) - (World steel association, 2018), en dépit des efforts de Pékin pour supprimer les capacités excédentaires du secteur (Maytaal Angel, 2017). Hors de la Chine, on trouve le Japon, le deuxième producteur mondial, avec ces 104 millions de tonnes et l'Inde, troisième producteur mondial, avec 96 millions (Basson, 2017) - (Maytaal Angel, 2017). Suivi par les États-Unis, la Russie et la Corée du sud avec près de 70 millions de tonnes.

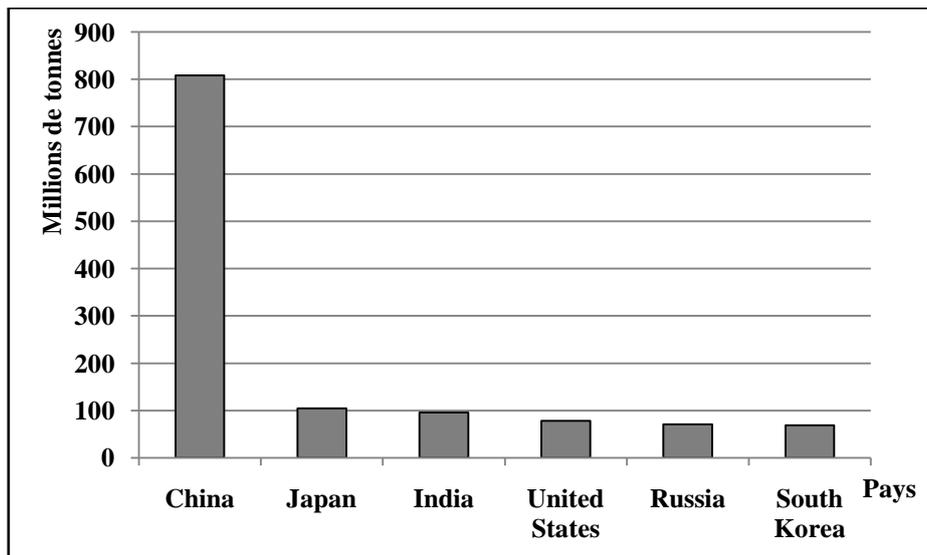


Fig. 42 : Les plus grands pays producteurs d'acier en 2016 (capacité de production > 50 millions de tonnes).

Après ces six géants, on trouve un deuxième groupe, qui comprend 11 pays avec une capacité de production moyenne, varie entre 50 et 10 millions de tonnes. La première place de ce groupe est occupée par l'Allemagne avec 42 millions de tonnes, suivi par la Turquie et le Brésil avec environ 30 millions de tonnes, et il se termine par Canada avec une capacité de production de 12 millions de tonnes (Basson, 2017) - (World steel association, 2018).

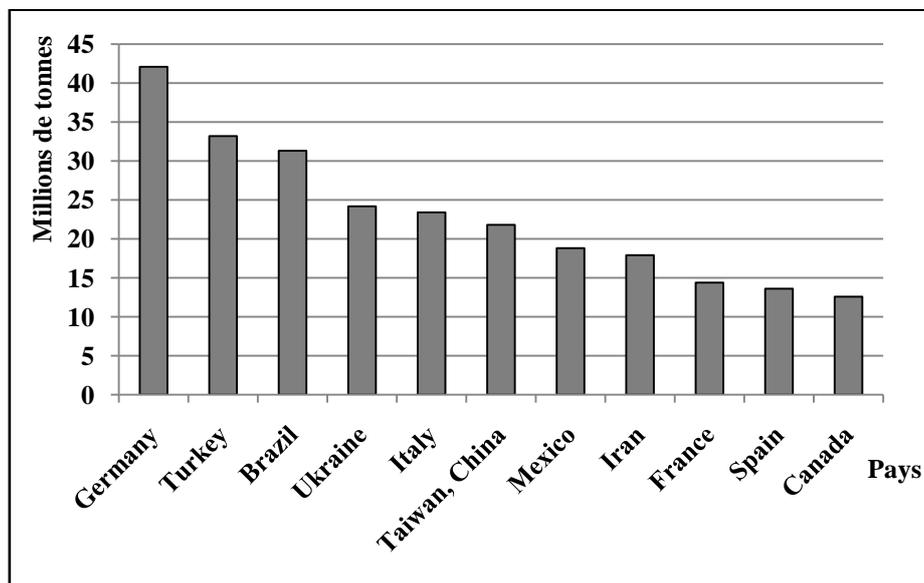


Fig. 43 : Les pays producteurs d'acier brut avec une capacité de production qui varie entre 50 et 10 millions de tonnes (2016).

Le dernier groupe, rassemble tous les pays qui ont une capacité de production inférieure à 10 millions de tonnes, y compris quelques pays du monde arabe, dont nous allons discuter la situation.

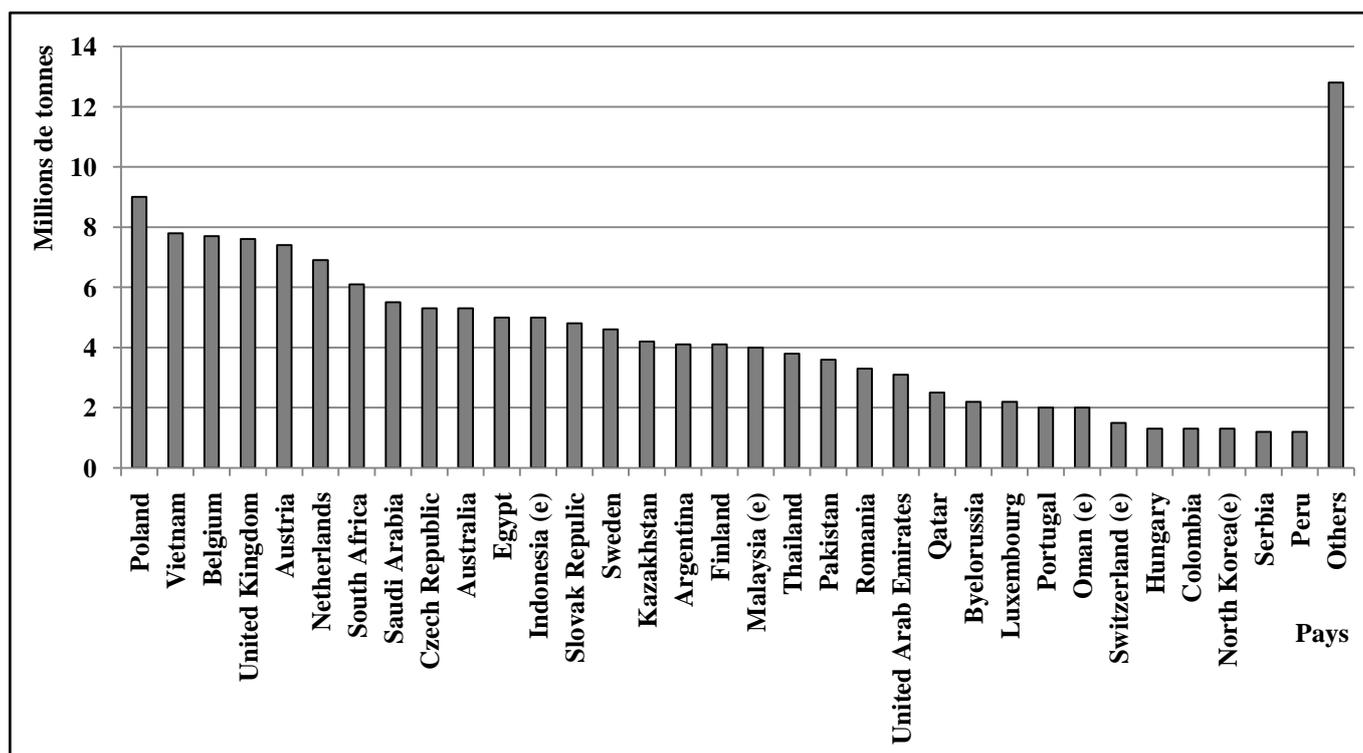
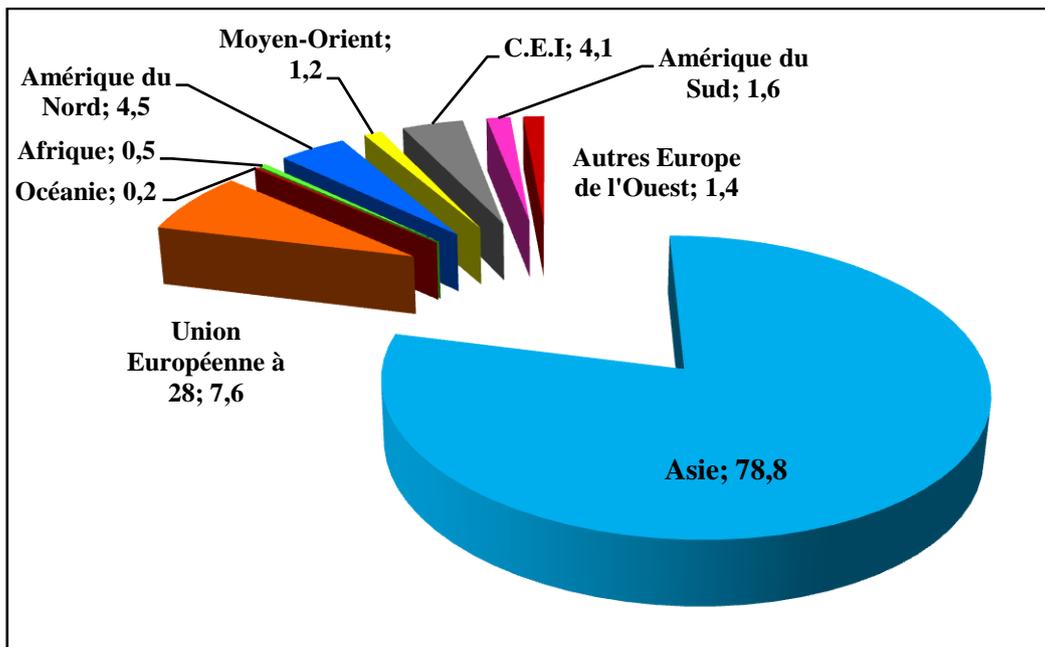


Fig. 44 : Les pays producteurs d'acier brut avec une capacité de production inférieure à 10 millions de tonnes (2016).

Par régions, la production asiatique occupe la première place avec 78,8%, l'équivalent de 1284 millions de tonnes selon les statistiques de l'association mondiale de l'acier en 2016, Très loin de l'Union européenne et ces 124 millions de tonnes, qui lui ont permis d'occuper la deuxième place. La troisième et la quatrième place est occupée par l'Amérique du Nord et la Communauté des États Indépendants (C.E.I) avec 73 et 67 millions de tonnes. Suivis par l'Amérique du Sud, les autres pays de l'Europe de l'Ouest et le Moyen-Orient avec des pourcentages plus faibles (1,6%, 1,4% et 1,2%).

En ce qui concerne l'Afrique, avec une population de plus d'un milliard d'habitants, elle reste un nain dans la production de l'acier. Selon l'Association mondiale de l'acier, l'Afrique n'a produit que 0,5% de l'acier brut mondial en 2016, c'est environ l'équivalent de 8 millions de tonnes. Les chiffres montrent que cette part était plus importante en 2006 avec 1,5% de la production mondiale. La dernière place était pour Océanie avec 3,25 millions de tonnes.



World Steel Association

Fig. 45 : Répartition géographique de la production de l'acier brut dans le monde en 2016.

D'après l'Association Mondiale de l'Acier la société sidérurgique ArcelorMittal, basée au Luxembourg, préside ce tableau avec une production de 95 millions de tonnes d'acier brut en 2016 (Basson, 2017).

Rank	Company	Tonnage	Rank	Company	Tonnage
1	ArcelorMittal	95.45	26	Rizhao Steel	13.86
2	China Baowu Group ⁵	63.81	27	Fangda Steel	13.68
3	HBIS Group ⁶	46.18	28	EVRAZ	13.53
4	NSSMC Group ⁷	46.16	29	MMK	12.54
5	POSCO	41.56	30	Baotou Steel	12.30
6	Shagang Group	33.25	31	Severstal	11.63
7	Ansteel Group	33.19	32	Liuzhou Steel	11.05
8	JFE Steel	30.29	33	Jinxi Steel	11.05
9	Shougang Group	26.80	34	Jingye Steel	11.01
10	Tata Steel Group	24.49	35	Anyang Steel	10.48
11	Shandong Steel Group	23.02	36	Sanming Steel	10.39
12	Nucor Corporation	21.95	37	Metinvest Holding	10.34
13	Hyundai Steel	20.09	38	Taiyuan Steel	10.28
14	Maanshan Steel	18.63	39	Zongheng Steel	10.23
15	thyssenkrupp	17.24	40	Zenith Steel	9.24
16	NLMK	16.64	41	Erdemir Group	9.18
17	Jianlong Group	16.45	42	Nanjing Steel	9.01
18	Gerdau	15.95	43	Xinyu Steel	8.57
19	China Steel Corporation	15.52	44	CITIC Pacific Special Steel	8.40
20	Valin Group	15.48	45	SSAB	7.99
21	JSW Steel	14.91	46	Techint Group	7.98
22	Benxi Steel	14.40	47	voestalpine Group	7.47
23	SAIL	14.38	48	Essar Steel Group	7.45
24	U. S. Steel Corporation	14.22	49	Shaanxi Steel	7.30
25	IMIDRO	14.02	50	Kobe Steel	7.26

(Basson, 2017)

Tab. 02 : Classement des plus grands producteurs d'acier brut du monde en 2016.

7.3. L'industrie sidérurgique dans le Monde Arabe :

L'évolution de la demande d'acier suit de près celle de la croissance économique. La consommation d'acier par personne et par an peut être considérée comme l'un des indicateurs de développement d'un pays : de 10 kg environ en Afrique, à 210 kg dans les pays Arabes, 350 kg en Europe.

L'industrie du fer et de l'acier dans le Monde Arabe a connu un développement significatif à compter des années quatre-vingt et ce, avec l'essor des prix des hydrocarbures et la disponibilité du gaz naturel ; ce qui a permis d'atteindre des niveaux de développement et d'investissement appréciable et notamment dans la réalisation de projets d'infrastructures de base.

Cette période a permis la réalisation d'usines intégrées utilisant des technologies récentes dans plusieurs pays et notamment en Arabie Saoudite, l'Egypte, le Qatar, l'Algérie. Mais aujourd'hui, les chocs pétroliers, l'instabilité politique qui a connu la région et des conséquences qui y découlent ont eu des répercussions sur les investissements et la demande d'acier.

⁵ New company formed from the merger of Baosteel Group and Wuhan Group in December 2016

⁶ Previously named Hesteel Group, Tonnage includes steel mill acquired in Serbia in June 2016

⁷ Tonnage does not include Nisshin Steel, which became part of the NSSMC Group in March 2017

Selon le rapport de l'Union Arabe du Fer et de l'Acier, la production sidérurgique arabe a été multipliée par près de 10 entre 1980 et 2016, passant ainsi de 2,6 millions de tonnes à 28 millions de tonnes. (Djoudi, 2018)

7.4. Répartition de la production et de la consommation sidérurgique par région:

La production sidérurgique Arabe s'établirait, selon les prévisions de l'Union Arabe du Fer et de l'Acier, à 30 millions de tonnes par an de produits sidérurgiques à fin 2017. Ce chiffre est appelé à évoluer en raison du développement de nouvelles capacités de production, notamment en Algérie et en Egypte.

La demande en consommation d'acier se situerait à fin 2017 à près de 52 millions de tonnes/an, dont 54% proviendrait des Pays du Golf. La part des Pays de l'Afrique du Nord serait de 46%.

Régions	Production		Consommation		Ecart
Pays du Golfe :					
- Arabie Saoudite	17 MT	57%	28	54%	11 MT
- Emirats Arabes Unis					
- Oatar					
Afrique du Nord :					
- Egypte	13 MT	43%	24	64%	11 MT
- Algérie					
Total	30	100%	52	100%	22 MT
Part mondiale	2%		3,2%		

(Djoudi, 2018)

Tab 03 : Répartition de la production et consommation sidérurgique dans le Monde Arabe.

Chapitre n°2 :

**LES RISQUES LIÉS À LA PRODUCTION
SIDÉRURGIQUE**



CHAPITRE II: LES RISQUES LIÉS A LA PRODUCTION SIDÉRURGIQUE

1. Définition de risque :

Dans le langage courant le risque est un danger éventuel plus ou moins prévisible (Sauce, 2009) - (Raïs Hassen, 2012), ou bien, c'est la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées (Margossian, 2006) - (Lacroix, 2007), menaçant ou portant atteinte à la vie et, plus globalement, au cadre d'existence d'un individu ou d'un collectif (Lévy J., 2003) - (Hajj, 2013). Cette définition introduit le concept de danger qui désigne une situation matérielle comportant un potentiel d'atteinte à l'intégrité physique des personnes, de dommages pour les biens ou l'environnement ou d'une combinaison de ces atteintes (Théberge, 2002) - (Hajj, 2013).

Dans son travail de thèse⁸, Dassens (Dassens, 2007) introduit une double dimension au terme risque et il le définit comme une mesure (**en termes de probabilité et de gravité**) du **danger** qui associe une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable (*la probabilité*) et une mesure de ses effets ou conséquences (*la gravité*) (Villemeur, 1988) - (Dassens, 2007) - (Hajj, 2013). Cette définition a été confirmée par l'Organisation internationale de normalisation qui définit le risque comme la « combinaison de la gravité et de la probabilité d'un événement redouté résultant d'une situation de danger » (ISO, 2002) - (Actu-Environnement, 2003) - (Lacroix, 2007) - (Desponds, 2007) - (Sauce, 2009).

2001, Gardes (Gardes, 2001) souligne dans son travail de thèse⁹ une troisième dimension du risque : il s'agit de l'acceptabilité du risque. L'acceptabilité du risque est représentée généralement sous forme d'un seuil en-dessous duquel on accepte l'existence du danger bien que sa gravité et sa probabilité d'occurrence ne soient pas nulles (Gardes, 2001) - (Hajj, 2013).

2002, Alexander (Alexander, 2002) a introduit deux nouvelles notions dans la définition du risque, et il le définit comme étant le produit de *l'aléa* et de *la vulnérabilité*, cette définition a été aussi adoptée par la réglementation française en 2003 (Hajj, 2013). Mengual¹⁰ (Mengual P., 2005) a regroupé l'aléa et la vulnérabilité, et définit l'exposition au risque comme étant la combinaison de ces deux entités.

Généralement, un aléa est qualifié comme tout événement, phénomène imprévisible ou activité humaine qui peut provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages aux

⁸ Méthode pour une approche globale de l'analyse de risques en entreprise.

⁹ Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME: Application au secteur de traitement de surface

¹⁰ Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations: Vers un instrument méthodologique d'autodiagnostic

biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement (Sauce, 2009) - (Karagiannis G., 2010) - (Hajj, 2013). Et la vulnérabilité est la susceptibilité d'un système d'enjeux¹¹ à subir des dommages sous l'action d'un danger (D'Ercole, 1994) - (Sauce, 2009). Cependant, les pertes provoquées par la survenue d'un aléa vont dépendre du nombre et de la vulnérabilité des enjeux (Hajj, 2013). Ainsi, la réduction d'un de ces deux éléments constitutifs conduit à la réduction du risque (Mengual P., 2005) - (Hajj, 2013).

2. La typologie des risques :

Tous les risques, quels que soient leur taille ou leur complexité, peuvent être classés par nature et origine en cinq grandes familles :

- *les risques naturels* : avalanche, feu de forêt, inondation, mouvement de terrain, cyclone, tempête, séisme, tsunami et éruption volcanique ; (Masrouri F., 2009)
- *les risques technologiques* : correspondent à l'ensemble des risques industriels (ce que nous allons discuter dans les prochaines étapes de la thèse), nucléaires et biologiques. Ils concernent principalement les entreprises présentes dans les domaines d'activités suivants : les industries chimiques, les élevages intensifs ou les activités de traitement des déchets. (Hassid, 2008)
- *les risques de transports collectifs* : (personnes, matières dangereuses) sont des risques technologiques. On en fait cependant un cas particulier car les enjeux varient en fonction de l'endroit où se développe l'accident ; (Masrouri F., 2009)
- *les risques de la vie quotidienne* (accidents domestiques, accidents de la route...); (Masrouri F., 2009)
- *les risques liés aux conflits* (guerres, insurrections...). (Masrouri F., 2009)

¹¹ L'enjeu est un ensemble des éléments (population, bâtiments, infrastructures, patrimoine environnemental, activités et organisations) pouvant être exposés au danger (Sauce, 2009).

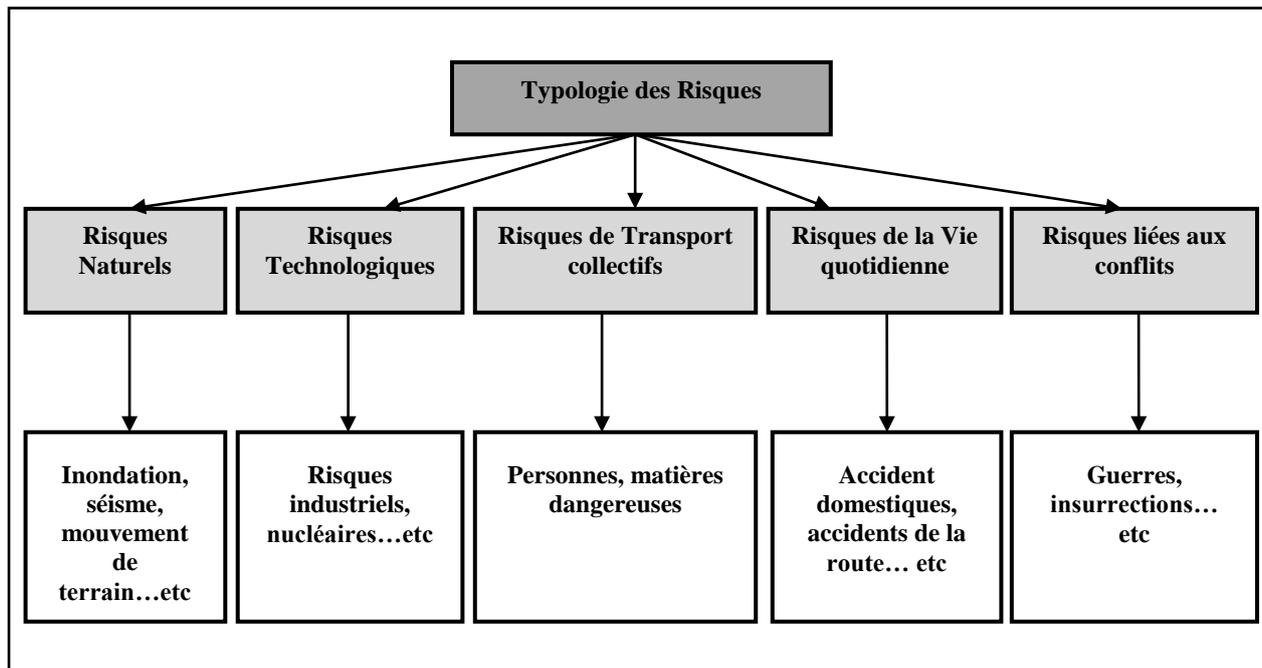


Fig. 46 : La typologie des risques.

3. Les risques industriels :

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement (INRS, 2016). Il se traduit le plus souvent par :

- des atteintes humaines (accidents corporels et maladies) ;
- des atteintes écologiques à la faune et à la flore ;
- des destructions aux constructions. (Margossian, 2006)

Selon Nichan Margossian (Margossian, 2006), les risques industriels peuvent être divisés en deux groupes en fonction de la gravité des accidents auxquels ils peuvent donner naissance :

3.1. Risques industriels majeurs ou hauts risques :

Le Bureau international du travail (BIT) à Genève a défini l'accident industriel majeur comme étant un évènement inattendu et soudain, y compris en particulier une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, dû à un développement anormal dans le déroulement d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour les travailleurs, la population ou l'environnement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et mettant en jeu un ou plusieurs produits dangereux. Les mesures de prévention sont souvent similaires à celles des risques professionnels, mais supposent des mesures techniques et administratives supplémentaires, justifiées par l'ampleur des dégâts causés. (Margossian, 2006)

3.2. Risques professionnels :

Les risques professionnels sont à l'origine des accidents du travail et des maladies professionnelles ou à caractère professionnel. Les conséquences de ces risques sont modérées et affectent essentiellement les salariés qui travaillent sur les lieux de l'accident. Il s'agit le plus souvent de blessures et d'intoxications plus ou moins graves, quelquefois de décès ; les dégâts matériels sont généralement faibles et restent limités aux postes de travail, à l'atelier et éventuellement à l'usine pour les plus importants d'entre eux. L'impact écologique est faible et se limite le plus souvent au périmètre de l'établissement. (Margossian, 2006)

Les causes et origines des risques professionnels sont très souvent identiques à celles des risques industriels majeurs, et les mesures de prévention sont assez voisines. Cependant, il existe des différences notables entre les deux types de risques, ce qui conduit à la nécessité de mettre au point des mesures spécifiques pour chaque type. (Margossian, 2006)

Les principales familles de risques professionnels sont :

- **les risques mécaniques** : ils apparaissent chaque fois que l'homme utilise des outils ou des machines et appareils plus ou moins complexes. Ce sont les parties en mouvement rapide (rotations, translations verticales ou horizontales) qui sont à l'origine de coupures, piqûres, écrasements, déchirures traumatismes, etc. Les accidents sont très nombreux et de gravités très variables (Margossian, 2007);
- **les risques électriques** : tels que l'électrisation (sans conséquence grave) et l'électrocution (mortelle). Ils sont dus au contact avec des conducteurs non isolés, parcourus par un courant électrique ; pour tout courant dont la tension est supérieure à 50 V, le risque peut être grave (Margossian, 2007);
- **les risques de circulation**, nombreux et variés. Il s'agit essentiellement de glissades, chutes, heurts, chocs, fractures et blessures diverses lors des déplacements de plain-pied ou en dénivelés (Margossian, 2007);
- **les risques de manutention** : ils apparaissent essentiellement lors des opérations de manipulation et de manutention d'objets lourds et encombrants avec, pour conséquence, des accidents (lumbagos) ou des maladies professionnelles (troubles musculosquelettiques) (Margossian, 2007);
- **les risques dus aux mouvements répétitifs plus ou moins pénibles** : ils sont à l'origine de troubles musculosquelettiques, appelés TMS, considérés comme une maladie professionnelle (Margossian, 2007);

- **les risques biologiques** : il s'agit essentiellement d'infections suite à l'absorption de micro-organismes pathogènes (charbon, hépatite virale, etc.). Les risques d'infection accompagnent souvent les risques mécaniques (coupures mal soignées), les risques de circulation (blessures mal soignées), les risques chimiques (dermatoses) (Margossian, 2007);
- **les risques chimiques** : ils s'expliquent par la présence de produits chimiques plus ou moins dangereux, toxiques ou inflammables, dont l'absorption par le corps humain se traduit par des intoxications accidentelles ou chroniques ainsi que par des incendies et explosions. Les risques chimiques sont fréquents et on les rencontre pratiquement dans toutes les activités humaines, tant en milieu professionnel que chez soi pendant les loisirs (Margossian, 2003);
- **les risques physiques** : ils ont pour origine des phénomènes physiques comme le bruit qui provoque principalement la surdité professionnelle (qui sera étudié en détail dans le chapitre suivant), les vibrations (maladies osseuses et articulaires), les rayonnements ionisants (radioactivité : brûlures, cancers), les rayonnements thermiques (brûlures) (Margossian, 2007).

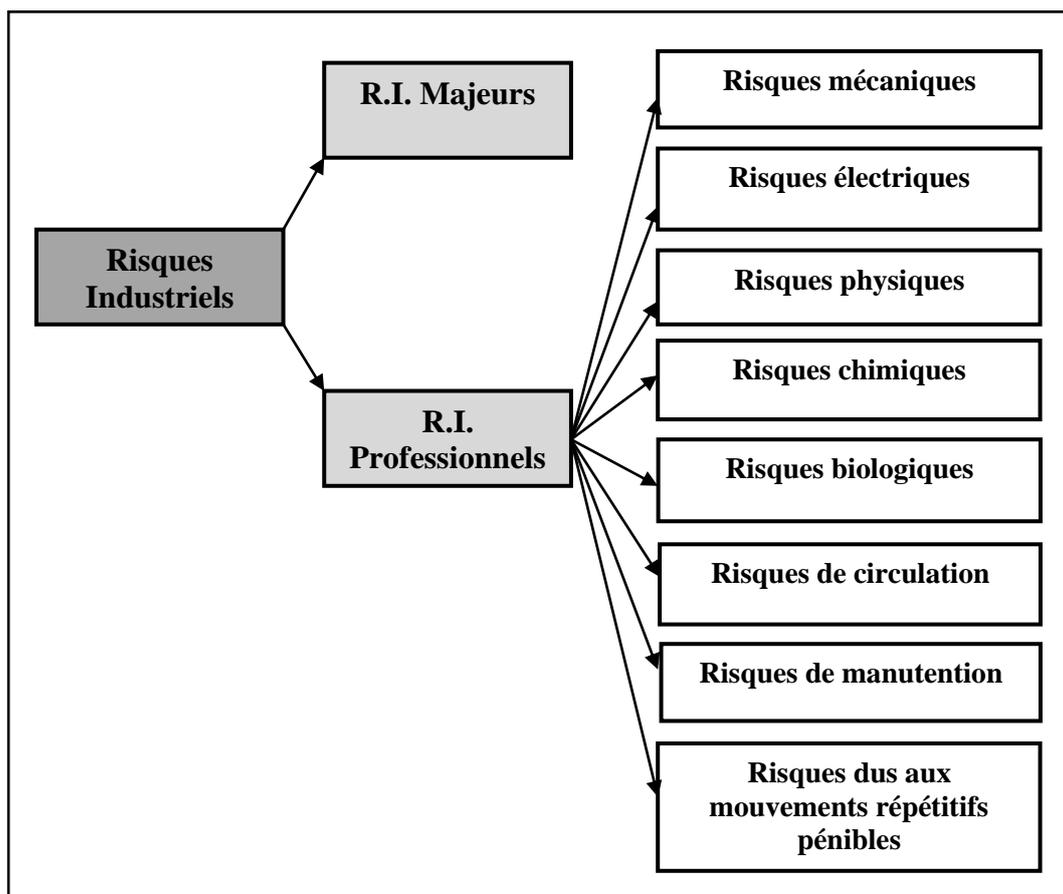


Fig. 47 : La typologie des risques industriels.

4. Risques liés à la production sidérurgique :

La sidérurgie est un ensemble des techniques permettant l'obtention de la fonte et de l'acier, mais aussi l'industrie qui les met en œuvre. Elle présente une grande variété d'industries allant des sites intégrés produisant plusieurs millions de tonnes d'acier avec leurs quais de déchargement, cokerie, chaîne d'agglomération, hauts-fourneaux, convertisseurs, ateliers de traitement en poche, coulées continues, laminoir à chaud et outils de parachèvements, aux aciéries électriques (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017). Cette variété provoque parfois des risques potentiels assez importants qui peuvent porter atteinte à l'environnement aux personnes et aux biens.

Dans cette partie, nous divisons les risques liés à la production du fer et de l'acier en deux parties, les accidents sidérurgiques majeurs et les risques sidérurgiques professionnels :

4.1. Accidents sidérurgiques majeurs :

Généralement, les complexes sidérurgiques contiennent un très grand nombre d'installations utilisant de nombreux processus et produits qui peuvent parfois entraîner des dommages affectant non seulement les travailleurs et les équipements, mais peuvent aussi détruire l'environnement voisinant au complexe. Il s'agit en particulier ;

4.1.1. Les incendies :

Des incendies peuvent survenir dans les hauts fourneaux, les fours électriques, les fours à foyer ouvert et les fours à oxygène car ils contiennent tous plusieurs tonnes de métal en fusion, un incendie majeur pourrait se produire si ce métal en fusion est en contact avec des matériaux de constructions combustibles, les huiles hydrauliques inflammables ou de simples éléments combustibles à proximité (des câbles électriques exposés, des palettes de bois, des déchets, des sacs de papier vides ayant contenu des matériaux pour le four et qui peuvent avoir été jetés par inadvertance près de la fosse du four) (Schütz, 2003) - (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017). Aussi, des incendies importants peuvent se produire dans les salles de contrôle, dans les salles de raccordements électriques, les tunnels de câbles, les passages de câbles, les salles de contrôle des moteurs, les transformateurs, les salles de graissage, l'unité de désulfuration et le stockage des réservoirs de goudron (Schütz, 2003).



Leconomiste.com

Fig. 48 : Un important incendie dans une usine sidérurgique japonaise à Kawasaki en 2015.

4.1.2. Les explosions :

Des explosions peuvent aussi se produire dans les fours à coke, les générateurs de vapeur, les fours à recuire et les fourneaux ; dans les conteneurs d'acier en fusion avec injection d'oxygène, lors de dégazage dans l'eau de refroidissement et dans la centrale à oxygène (Schütz, 2003) - (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017).



english.samajalive.in

Fig. 49 : Une explosion dans une aciérie en Inde en 2014.

4.1.3. Les intoxications au monoxyde de carbone :

Au cours de l'élaboration du fer et de l'acier, les hauts-fourneaux, les convertisseurs et les fours à coke produisent des gaz. Après dépoussiérage, ces gaz sont utilisés comme combustibles

dans les différents ateliers. Tous contiennent des quantités importantes de monoxyde de carbone (CO) (Masaitis, 2001), gaz incolore et inodore, non irritant, non explosif seul, inflammable et facile à diffuser dans l'air (Benhassine W, 2012). Il arrive que du monoxyde de carbone s'échappe du gueulard des hauts-fourneaux ou par des fuites au niveau de la cuve ou encore des nombreuses canalisations de gaz installées dans les usines, provoquant ainsi accidentellement de graves intoxications (Masaitis, 2001).

4.1.4. La pollution atmosphérique (les poussières et les fumées) :

La sidérurgie génère à tous les stades de fabrication du fer et de l'acier des émissions atmosphériques (poussières et fumées) (René Frecaut, 1981) - (Masaitis, 2001). En 1981, René Frecaut et Michel Rogé ont classé les émissions atmosphériques liées aux activités sidérurgiques en trois catégories (René Frecaut, 1981);

- Les poussières de granulométrie grossière ; on les désigne sous le nom de « particules sédimentables ». Elles précipitent près du foyer d'émission. Elles ne sont pas directement nocives pour l'homme, mais elles salissent l'environnement ;
- Les poussières de fine granulométrie. Elles peuvent être transportées par le vent sur de grandes distances. Désignées sous le nom de particules en suspension, elles peuvent être nocives pour l'homme, en cas de forte concentration ;
- Les gaz ou aérosols : anhydride sulfureux, provenant du soufre présent dans les combustibles ou le minerai, oxydes d'azote, combinaisons gazeuses du fluor, oxyde de carbone.

Outre, dans son travail de thèse Magali Sammut (2007) a été prouvé que les deux ateliers les plus émetteurs des polluants atmosphériques dans un complexe sidérurgique sont l'atelier d'agglomération et le convertisseur à oxygène, ils représentent plus de la moitié des émissions atmosphériques du site (Sammut, 2007).

Donc, les polluants atmosphériques varient selon le procédé employé, la technique et la configuration de l'usine, les matières premières mises en œuvre, les sources et les quantités de l'énergie utilisées, l'ampleur du recyclage des déchets et l'efficacité des mesures de dépollution (Masaitis, 2001).



Picswe.com

Fig. 50 : Les émissions atmosphériques dans un complexe sidérurgique en Ukraine.

4.1.4.1. Le dioxyde de soufre :

La quantité de dioxyde de soufre, dont l'essentiel se forme pendant les combustions, dépend principalement de la teneur en soufre du combustible fossile utilisé. Le coke et le gaz de coke en sont, en tant que combustibles, d'importantes sources. Dans l'atmosphère, le dioxyde de soufre peut réagir avec des radicaux oxygène et de la vapeur d'eau pour former un aérosol d'acide sulfurique qui, en se combinant à l'ammoniac, peut donner un aérosol de sulfate d'ammonium. Les effets sur la santé des oxydes de soufre sont dus à la fois au dioxyde proprement dit et à sa tendance à former de tels aérosols inhalables. Le dioxyde de soufre peut en outre être adsorbé sur des particules dont la plupart sont suffisamment fines pour pénétrer dans les voies respiratoires. La réduction des expositions potentiellement dangereuses passe dès lors non seulement par le recours à des combustibles contenant moins de soufre, mais aussi par la diminution de la concentration en particules. En supprimant les besoins en coke, l'usage accru des fours à arc a fait baisser les émissions d'oxydes de soufre, mais a reporté ainsi sur les centrales électriques la charge de lutter contre cette pollution. La désulfuration du gaz de four à coke est réalisée par extraction avant la combustion des composés soufrés réduits, en particulier du sulfure d'hydrogène (Masaitis, 2001).

4.1.4.2. Les oxydes d'azote :

Comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, essentiellement le monoxyde et le dioxyde, sont le fruit des processus de combustion. Sous l'effet du rayonnement ultraviolet, ils réagissent avec l'oxygène et les composés organiques volatils pour former de l'ozone. Ils se combinent aussi à l'eau pour donner de l'acide nitrique qui, à son tour, entre en réaction avec l'ammoniac pour produire du nitrate d'ammonium. Ils sont donc susceptibles de former des aérosols

inhalables qui peuvent être éliminés de l'atmosphère par déposition humide ou sèche (Masaitis, 2001).

4.1.4.3. Les matières particulaires :

Les matières particulaires, sont la forme la plus visible de la pollution, un mélange complexe et variable de matières organiques et inorganiques. Elles peuvent provenir de tas de minerai de fer, de charbon ou de chaux, ou encore à l'occasion d'opérations de chargement ou de transport. Les blocs de matériaux génèrent des poussières par abrasion entre eux ou broyage sous les roues des véhicules. Les processus d'agglomération et de fabrication de la fonte et de l'acier entraînent le dégagement de fines particules quand le fer en fusion entre en contact avec l'air, ce qui provoque la formation d'oxyde de fer. Les fours à coke, de leur côté, produisent de la poussière et des émissions de goudron. Les effets potentiels sur la santé dépendent de la concentration des particules dans la plage respirable, de leur composition chimique, ainsi que de la durée et de l'intensité de l'exposition (Masaitis, 2001).

4.1.4.4. Les métaux lourds :

Les métaux comme le cadmium, le plomb, le zinc... (Sammut, 2007), peuvent être émis par les fours sous forme de poussières, de fumées ou de vapeurs, ou encore d'adsorbats sur les particules (Masaitis, 2001), où de nombreuses études ont montré que la solubilité de ces métaux peut jouer un rôle dans la toxicité ; en effet, le sulfate de zinc présente une toxicité avérée sur les cellules (Adamson IY., 1999) - (Adamson IY., 2000) et certaines formes du cadmium sont plus solubles dans le liquide pulmonaire que dans l'eau (Obersdörster, 1992). En ce qui concerne les écosystèmes et notamment les végétaux, la situation est similaire (Sammut, 2007). Dans ce contexte, des dispositions européennes ont été prises afin d'élargir leur surveillance et de réduire leurs concentrations telle que la directive 2004/107/CE et la directive 1999/30/CE, ainsi, des normes réglementaires à l'émission concernent des quantités globales de polluants (Sammut, 2007).

4.1.4.5. Les émissions organiques :

Les émissions organiques provenant de l'élaboration de l'acier brut peuvent comprendre du benzène, du toluène, du xylène, des solvants, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des dioxines et des phénols. Selon leur provenance et leur précédente utilisation (par exemple, peinture ou autre procédé de revêtement, métaux ou lubrifiants), les ferrailles employées comme matière première peuvent contenir plusieurs de ces substances. Certains de ces polluants organiques échappent aux systèmes conventionnels d'épuration des gaz (Masaitis, 2001).

4.1.4.6. La radioactivité :

On a signalé ces dernières années des cas où des matières radioactives étaient accidentellement présentes dans des ferrailles destinées à la fabrication d'acier. Leur devenir au cours de l'élaboration de l'acier dépend des propriétés physico-chimiques des nucléides rencontrés (températures de fusion et d'ébullition, affinité avec l'oxygène, par exemple). Elles peuvent se trouver en quantité suffisante pour contaminer les produits finis, les sous-produits et divers types de déchets, ce qui nécessite une évacuation et un nettoyage onéreux. Il existe aussi un risque potentiel de contamination des matériels de l'aciérie et donc d'exposition potentielle des travailleurs. De nombreuses aciéries ont installé des détecteurs de rayonnement auxquels ils soumettent toutes les ferrailles de provenance extérieure à l'usine (Masaitis, 2001).

4.1.4.7. Le dioxyde de carbone :

Bien qu'aux niveaux atmosphériques habituels le dioxyde de carbone soit totalement inoffensif pour la santé humaine et les écosystèmes, il est important par sa contribution à l'effet de serre lié au réchauffement de la planète. La sidérurgie en génère de grandes quantités, plus du fait de l'utilisation du carbone pour la réduction du minerai de fer que de son emploi comme source d'énergie. En 1990, la mise en œuvre de mesures visant à réduire la part du coke dans les hauts-fourneaux, à récupérer la chaleur et à économiser l'énergie avait permis de ramener les émissions de dioxyde de carbone à 47% de leurs niveaux de 1960 (Masaitis, 2001).

4.1.4.8. L'ozone :

L'ozone, qui est l'un des principaux constituants du smog atmosphérique à proximité de la surface de la terre, est un polluant secondaire qui se forme dans l'air par réaction photochimique du rayonnement solaire avec les oxydes d'azote, facilitée à un degré variable, selon leur structure et leur réactivité, par divers composés organiques volatils. Les principaux précurseurs de l'ozone proviennent des gaz d'échappement des véhicules à moteur, mais certains sont aussi générés par les usines sidérurgiques et d'autres industries. Selon les conditions atmosphériques et topographiques, l'ozone peut se former très loin de ces sources (Masaitis, 2001).

Selon René Frecaut, les sidérurgistes maîtrisent aujourd'hui les techniques de lutte contre la pollution atmosphérique. D'ailleurs, les progrès de la technique sidérurgique se sont pratiquement toujours accompagnés d'une réduction sensible de la pollution de l'air. C'est le cas typique du haut-fourneau : la récupération du gaz de gueulard, à des fins énergétiques, a permis de supprimer presque totalement les rejets à l'atmosphère (René Frecaut, 1981).

4.1.5. La pollution des eaux :

Les complexes sidérurgiques consomment d'énormes quantités d'eau qui rentrent dans les différents étapes de production, surtout dans les circuits de refroidissement des équipements et des installations des unités, ce qui génèrent de grandes quantités de rejets liquides chargés en polluants qui provoquent nécessairement une pollution des eaux (Bourouga Moncef, 2017) , cette pollution est essentiellement causée par les eaux d'incendie, les dépôts de combustibles et épandage de produits chimiques : eaux ammoniacales, acide chlorhydrique, goudrons, hydrocarbures et surtout par les matières en suspension et les éléments-traces métalliques qui sont chargés avec des métaux (René Frecaut, 1981) - (Bourouga Moncef, 2017) - (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017), ces métaux se caractérisent par leur persistance, leur toxicité et leur pouvoir d'accumulation dans le milieu naturel (Popescu Maria, 1998) - (Redouane-Salah S., 2004), même à des concentrations très faibles, ce qui représente un danger non seulement sur la santé humaine mais aussi sur l'équilibre écologique de l'écosystème voisinant (Redouane-Salah S., 2004) - (Bourouga Moncef, 2017).



fr.depositphotos.com

Fig. 51 : Eau polluée par une usine sidérurgique.

4.1.5.1. Les matières en suspension :

Les matières en suspension forment la majeure partie des polluants hydriques rejetés pendant la production de l'acier. Elles se composent principalement d'oxydes de fer provenant de la calamine, mais peuvent également contenir du charbon, des boues activées, des hydroxydes métalliques et d'autres matières. La plupart ne sont pas toxiques dans un environnement aquatique à des niveaux normaux de rejet; leur présence à des concentrations plus élevées peut cependant

entraîner une altération de la couleur des cours d'eau, un appauvrissement en oxygène et un envasement (Masaitis, 2001).

4.1.5.2. Les métaux lourds :

Les eaux utilisées dans l'élaboration du fer peuvent avoir des teneurs élevées en zinc et en manganèse, tandis que les effluents du laminage et du finissage peuvent contenir du zinc, du cadmium, de l'aluminium, du cuivre et du chrome. Ces métaux sont présents à l'état naturel dans le milieu aquatique. Si leurs concentrations ne dépassent pas les niveaux habituels, on peut craindre néanmoins des répercussions sur la santé humaine et les écosystèmes. Ces préoccupations sont d'autant plus justifiées que, contrairement à de nombreux polluants organiques, ces métaux lourds ne subissent pas de dégradation biologique aboutissant à des produits ultimes inoffensifs, mais s'accumulent dans les sédiments et dans les tissus des poissons et autres organismes aquatiques. De plus, en se combinant à d'autres polluants (ammoniac, composés organiques, huiles, cyanures, alcalis, solvants, acides), ils peuvent devenir plus toxiques (Masaitis, 2001).

4.1.5.3. Les huiles et les graisses :

On peut trouver des huiles et des graisses dans les eaux usées à la fois sous forme soluble et insoluble. La plupart des huiles lourdes étant insolubles, il est relativement facile de les éliminer. Elles émulsionnent cependant au contact de détergents ou d'alcalis ou en cas d'agitation. Les huiles en émulsion font traditionnellement partie du laminage. Si on excepte l'altération de la couleur des eaux de surface, la plupart des composés aliphatiques huileux sont sans danger en petites quantités. Les composés gras aromatiques monohydriques peuvent cependant être toxiques. De plus, certains composants des huiles peuvent contenir des toxiques comme les biphényles polychlorés, le plomb ou d'autres métaux lourds. En plus du problème de la toxicité, la demande chimique et biologique en oxygène des huiles et autres composés organiques risque d'appauvrir la teneur de l'eau en oxygène et d'affecter ainsi la faune et la flore aquatiques (Masaitis, 2001).

Dans ce contexte, divers traitements peuvent être utilisés en vue d'éliminer les principales sources de pollution de l'eau en sidérurgie tels que :

- La décantation, qui permet d'éliminer la plus grande partie des MES (les bassins de décantation ont été les installations les plus anciennes de lutte contre la pollution) ;
- La flottation, qui permet d'éliminer les huiles recueillies par les goulottes ;
- Le traitement biologique, seule façon valable de traiter les effluents des cokeries ;
- Le recyclage de l'eau de lavage des gaz de hauts-fourneaux, avec station de traitement des eaux, pour éliminer les cyanures. (René Frecaut, 1981)

4.1.6. La pollution des sols :

Les activités industrielles et notamment sidérurgiques, peuvent constituer des sources de pollution du sol et des eaux souterraines (Antoine J., 1996) - (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017), résultantes d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, cette pollution peut porter atteinte à la santé humaine et à l'environnement (Dubey B.L., 1988) - (Douafer, 2010), car elle conduit progressivement à une dégradation du milieu environnant en terme de diversité des espèces de la faune et de la flore, de la qualité physique et chimique des sols et des eaux et à des risques immédiats ou différés pour les usagers, les riverains actuels ou futurs. En outre, elle peut compromettre l'utilisation du site après démantèlement de l'usine (Antoine J., 1996).



DocPlayer.fr

Fig. 52 : Sol contaminé dans un site sidérurgique abandonné.

Plusieurs chercheurs ont montré que les sols de la friche autour des entreprises sidérurgiques, constitués principalement de remblais sidérurgiques, présentent certaines sources de pollution, en métaux lourds principalement. Et nous devons prendre en considération aussi que leurs sources n'est pas toujours directe, les polluants atmosphériques ne séjournent pas indéfiniment dans l'air, les précipitations et les mécanismes de dépôt sec des particules les ramènent à la surface du sol (Douafer, 2010).

À titre d'exemple, les chercheurs de l'INRA¹² et de l'Institut Supérieur d'Agriculture de Lille (France) ont étudié la pollution autour de deux usines sidérurgiques, dont celle de Metaleurop. Ils ont montré que si la contamination des sols est essentiellement superficielle, les polluants

¹² Laboratoire d'analyses des sols, Arras, département Environnement et agronomie, Centre de recherches de Lille.

peuvent être aussi entraînés en profondeur (Francis Douay, 2003). Des échantillons de sols ont prélevé à différentes profondeurs dans des parcelles agricoles situées dans un rayon de 4 km autour des deux usines. Le cadmium, le plomb et le zinc apparaissent comme les principaux polluants concentrés dans les 30 premiers centimètres des sols, ce qui n'exclut pas que les polluants puissent être aussi entraîné en profondeur et ils peuvent atteindre un mètre ou plus, tous dépend la qualité du sol (Francis Douay, 2003).

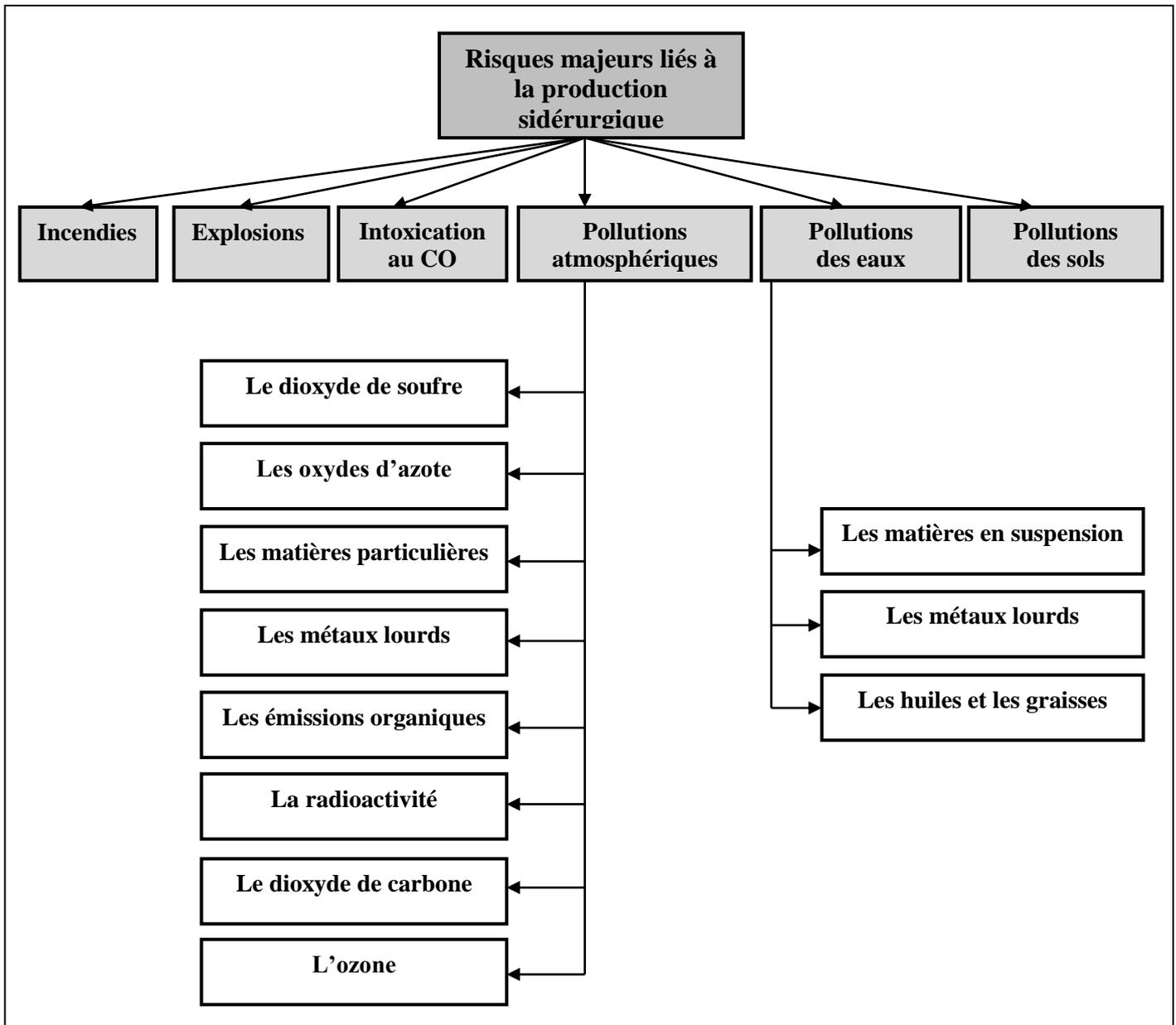


Fig. 53 : Les risques majeurs liés à la production sidérurgique.

4.2. Risques sidérurgiques professionnels :

Selon le Bureau International du Travail, les activités associées à l'industrie du fer et de l'acier exposent parfois les travailleurs à de nombreux dangers; les activités ou conditions régnant dans les lieux de travail peuvent provoquer des incidents, des lésions, des accidents mortels, des

atteintes à la santé ou des maladies (Bureau International du Travail, 2005). Dans cette partie de la thèse, nous présentons les principaux risques professionnels liés aux activités sidérurgiques selon leurs apparitions dans le process de fabrication :

4.2.1. Les risques professionnels dans les cokeries :

Les cokeries sont des usines où le charbon est pyrolysé dans des fours à l'abri de l'air pour produire du coke utilisé en tant qu'agent réducteur, combustible et support du minerai dans les hauts fourneaux pour obtenir la fusion de la fonte brute. Elles figurent parmi les usines les plus polluantes pour l'environnement (air et sols) et les plus dangereuses pour la santé des travailleurs (Officiel Prévention 2015).

La majeure partie du coke est produite dans des fours de cokéfaction à récupération de sous-produits, conçus et exploités pour collecter les matières volatiles provenant du charbon. Ces fours se composent de trois parties: les cellules, les carneaux de chauffage et le régénérateur (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005). A l'exception de l'acier et du béton formant leur ossature, les fours sont construits en briques réfractaires. Une batterie comprend habituellement quelque 45 fours distincts. Les cellules ont généralement une hauteur de 1,8 à 6,7 m et une longueur de 9,1 à 15,5 m; la température y est de 1535 °C à la base des carneaux. La durée de cokéfaction, variable selon la taille du four, se situe le plus souvent entre 16 et 20 heures (Masaitis, 2001).

Dans les grands fours verticaux, un wagon-chargeur (enfourneuse) amène le charbon des trémies aux bouches situées à la partie haute du four. Quand la cokéfaction est terminée, un bélier pousse le coke hors du four depuis l'un des côtés. Les dimensions du bélier sont légèrement inférieures à celles du four de façon à éviter tout contact avec le garnissage intérieur. Le coke tombe dans un wagon à coke ou dans le guide-coke, situé du côté de la batterie opposé au bélier, d'où il est transporté vers la tour d'extinction pour être refroidi à l'eau avant d'être déchargé sur le quai à coke. Sur certaines batteries, le coke chaud est éteint à sec pour récupérer une quantité de chaleur non négligeable pour la production de vapeur (Masaitis, 2001).

La carbonisation du charbon pour la production de coke donne lieu à des réactions complexes. Dans un premier temps, on trouve, parmi les produits de décomposition du charbon, de l'eau, des oxydes de carbone, du sulfure d'hydrogène, des composés hydro-aromatiques, des paraffines, des oléfines ainsi que des composés phénoliques et azotés. Les synthèses et les dégradations qui se produisent au sein de ces produits primaires dégagent de grandes quantités d'hydrogène, de méthane et d'hydrocarbures aromatiques (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005). La décomposition ultérieure des composés azotés complexes produit de

l'ammoniac, du cyanure d'hydrogène, des bases de pyridine et de l'azote. L'extraction continue de l'hydrogène des résidus se trouvant dans les fours produit le coke dur souhaité (Masaitis, 2001).

4.2.1.1. Les risques physiques :

L'activité continue dans les cokeries implique un travail de nuit ou posté en équipes alternantes. La perturbation des rythmes du sommeil peut entraîner la survenue d'accidents accrue due à la somnolence et au manque de vigilance induit, lié à l'augmentation du temps de réaction aux aléas (Officiel Prévention 2015).

Les opérations de déchargement, de préparation et de manutention portent sur des milliers de tonnes de charbon, ce qui entraîne du bruit, des vibrations (Masaitis, 2001) et des grandes quantités de poussière accumulée qui peuvent provoquer des maladies pulmonaires chez les travailleurs exposés (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005), et aussi augmenter la probabilité explosions (Masaitis, 2001).

Pendant la cokéfaction, les principaux problèmes physiques sont la chaleur ambiante et la chaleur rayonnante qui règnent, en particulier en haut des batteries, là où se trouvent la majorité des travailleurs. Le bruit peut être aussi un problème sur les équipements mobiles, surtout celui qui provient des mécanismes d'entraînement et d'éléments vibrants mal entretenus. De plus, des appareils produisant des rayonnements ionisants ou des faisceaux laser sont parfois employés pour positionner des équipements mobiles (Masaitis, 2001).

Ainsi, de nombreuses machines sont susceptibles d'avoir des organes en mouvement qui provoquent des risques de coincements, de coupures aux mains, de lacérations des avant-bras, en particulier lors des mises en marche intempestives, des arrêts anormaux suite à une rupture d'énergie ou lors des nettoyages par exemple (Officiel Prévention 2015).

Ils existent aussi autres risques physiques par exemple ; chutes de plain pied sur sol glissant, inégal ou encombré, projections de particules dans les yeux, troubles musculosquelettiques causés par les activités en station debout prolongée, s'effectuant dans des postures complexes et avec des gestes répétitifs ou dans des espaces confinés notamment pour la réfection des fours, électrocution par contact direct (trolleyes ...) (Officiel Prévention 2015).

4.2.1.2. Les risques chimiques :

La plupart des risques de santé liés à la cokéfaction proviennent des produits chimiques volatils dégagés au moment du chargement ou encore pendant la cokéfaction et le défournement du

coke (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005). Ces émissions contiennent de nombreux hydrocarbures aromatiques polycycliques qui pénètrent dans l'organisme par voie transcutanée et par voie respiratoire, dont certains sont cancérigènes (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005) - (Officiel Prévention 2015). Ainsi, des fumées et vapeurs d'hydrocarbures aromatiques peuvent provoquer : des troubles neurologiques (céphalées, vertiges, agitation, irritabilité, somnolence, convulsions, ébriété), des affections gastro-intestinales accompagnées de vomissements à répétition, des anémies dues à la toxicité pour les cellules sanguines et la moelle osseuse (benzolisme), des affections des voies respiratoires supérieures et inférieures : manifestations aiguës comme les irritations pulmonaires et laryngo-pharyngées, ou manifestations respiratoires chroniques (bronchites, emphysème), des irritations oculaires (conjonctivites) et cutanées, et une ototoxicité en particulier pour le toluène, le xylène et le styrène (Officiel Prévention 2015).

Egalement, des atteintes respiratoires sont causées par l'inhalation d'autres gaz irritants, asphyxiant et/ou toxiques que dégage la pyrolyse du charbon (H_2S , NH_3 , HCN , CO , NO , NO_2 , SO_2 ...) l'inhalation de ces gaz provoque des affections des voies respiratoires supérieures et inférieures aiguës ou chroniques en pénétrant dans les bronchioles et alvéoles pulmonaires (Officiel Prévention 2015).

Des poussières de charbon et de coke irritantes en suspension dans l'air peuvent causer une rhinite ou une inflammation de la muqueuse nasale. Certaines particules très fines réussissent à traverser la cavité nasale et à s'attaquer à la trachée et aux poumons, ou elles engendrent une inflammation des muqueuses de la trachée (trachéite) ou des bronches (bronchite), mais surtout parviennent à atteindre les alvéoles pulmonaires, et s'y accumuler si l'intensité ou la fréquence d'exposition dépasse le seuil d'élimination naturelle du corps par le mucus (biopersistence) (Officiel Prévention 2015).

Les poumons sont alors constamment exposés aux risques liés à la poussière respirée et l'inhalation excessive de poussière peut causer une pneumopathie : la formation d'un tissu fibreux ou cicatriciel (nodules) peut porter atteinte à la fonction pulmonaire et donne lieu à une affection appelée anthracose (Officiel Prévention 2015).

4.2.1.3. Les risques mécaniques :

Les risques inhérents à la préparation du charbon, de même que ceux liés aux wagons, aux barges et à la circulation des véhicules ainsi qu'au déplacement des tapis transporteurs, devraient être reconnus comme tels. La plupart des accidents se produisent quand des personnes sont

heurtées, coincées ou happées par des engins, quand elles font une chute de hauteur ou encore lors qu'elles oublient d'immobiliser ces engins en verrouillant leurs commandes (Masaitis, 2001).

Les principaux risques mécaniques sont liés aux équipements mobiles côté bélier, côté coke, et au wagon-chargeur en haut des batteries. Pendant pratiquement toute la campagne, ces équipements mobiles fonctionnent dans un espace restreint. Les coincements ou heurts par des équipements mobiles sur rails sont responsables du plus grand nombre des accidents mortels survenus aux fours à coke (Masaitis, 2001). Les brûlures superficielles de la peau par des matières ou des surfaces incandescentes (Bureau International du Travail, 2005) et les irritations oculaires dues à des poussières sont moins graves mais plus fréquentes (Masaitis, 2001).

4.2.1.4. Les risques thermiques :

Lors de la production de coke, la température du four, selon le processus, se trouve à moyenne température de 700 à 900 °C ou à haute température de 900 °C jusqu'à 1300 °C, et le gaz de cokerie à des températures entre 750 et 900° C. Du fait de ces procédés, les abords des cokeries sont donc particulièrement exposés à l'énergie rayonnante des infrarouges, aux températures élevées et aux risques de brûlures thermiques : à la sortie du four les matières sont à une température d'environ 800 °C, et le gaz qui sort des fours est à une température d'environ 600 °C (Officiel Prévention 2015).

Le contact direct de la peau avec des surfaces chaudes peut bien entendu d'abord provoquer de très graves brûlures cutanées, mais la proximité d'une source de chaleur peut aussi entraîner des céphalées, hypersudation, tachycardie, hypotension et, conjuguée à des températures de l'air élevée, provoquer des malaises dus à la déshydratation et des troubles circulatoires. Au-delà de 25 °C, l'inconfort se fait ressentir avec, de plus, toutes les conséquences psychologiques que cela peut avoir sur la précision des gestes, la vigilance et donc la sécurité (diminution des capacités de réaction, irritabilité, agressivité) (Officiel Prévention 2015).

Les expositions au rayonnement infrarouge provenant des surfaces et matières chaudes, dont la densité de puissance transférable est beaucoup plus forte qu'en convection, peuvent augmenter le risque de cataracte et d'altération rétinienne et cornéenne ou de brûlures ou d'irritations cutanées (Officiel Prévention 2015).

4.2.1.5. Les risques sonores :

Les sources de bruits dans les cokeries sont nombreuses : les équipements de mélange, les stations de broyage, les installations de criblage du charbon et du coke, les appareils de compression du gaz sont très bruyants (Officiel Prévention 2015). Les niveaux de pression acoustique engendrés par les bruits des machines (sans insonorisation adaptée) dans les cokeries peuvent dépasser 85 dB (Officiel Prévention 2015). En dehors des atteintes au système auditif (déficit auditif pouvant entraîner à la longue une surdité professionnelle, acouphènes...), le bruit ambiant peut entraîner une gêne ou un stress vecteur de troubles du psychisme et de pathologies qui nuisent non seulement à la santé du travailleur mais aussi à la sécurité de son travail par baisse de vigilance et de dextérité ou de concentration (Officiel Prévention 2015).

4.2.1.6. Les mesures de sécurité et de santé :

Selon l'Encyclopédie de sécurité et de santé au travail (Masaitis, 2001), il est nécessaire de confiner et d'isoler les systèmes de criblage, de broyage et de transport sur bande pour maintenir les concentrations de poussières à des niveaux acceptables pendant la préparation du charbon. En plus de l'emploi de produits de mouillage pour le charbon, il peut être indispensable d'installer des captages à la source. La mise en place de programmes d'entretien et de surveillance des bandes transporteuses est impérative pour réduire les débordements et éviter de souiller par du charbon les passages le long des équipements de traitement et les transporteurs. Le système transporteur sera équipé de dispositifs permettant de réduire efficacement les déversements accidentels et de maintenir le confinement (racleurs de bandes, jupes, régulateurs de tension des bandes, etc.).

Compte tenu de la toxicité des hydrocarbures aromatiques polycycliques émis pendant la cokéfaction, il est important de contenir et de collecter ces émissions, de préférence en associant des moyens de prévention technique, des méthodes de travail éprouvées et un programme d'entretien. Il est également nécessaire de disposer d'appareils de protection respiratoire performants. Les contrôles devraient porter sur les points suivants (Masaitis, 2001):

- une procédure de chargement conçue et appliquée pour éliminer les émissions en maîtrisant le volume de charbon enfourné, le positionnement précis du chariot au-dessus du four, l'ajustement correct des télescopes et l'enfournement du charbon suivant une séquence laissant un passage suffisant au-dessus du charbon pour permettre l'évacuation des émissions vers le barillet collecteur et la fermeture immédiate des bouches après le chargement;

- la création d'un bon tirage à partir de deux ou de plusieurs points dans le four en cours de chargement et un système d'extraction conçu et mis en œuvre pour maintenir une dépression et un débit suffisants;
- des joints étanches à l'air sur les barres de nivelage pour réduire les infiltrations en cours de charge et des couteaux pour enlever les amas de carbone;
- une pression uniforme et suffisante dans le conduit menant au barillet pour évacuer les émissions;
- le contrôle de l'étanchéité de la porte d'évacuation et des joints, ainsi que la propreté des joints côté bélier et côté coke;
- le bouchage par un lut des couvercles et des portes et l'entretien des joints de porte aussi souvent que nécessaire pour diminuer les émissions après le chargement;
- la réduction des apports de matière crue par chauffage uniforme du charbon pendant une durée appropriée;
- la mise en place de grandes enceintes sur toute la zone côté coke pour limiter les émissions pendant le défournement, ou l'utilisation de hottes mobiles se déplaçant d'un four à l'autre au moment du défournement;
- des visites de routine et des programmes de maintenance pour assurer un confinement correct des émissions;
- des cabines pressurisées et climatisées pour les conducteurs d'engins mobiles afin de limiter leur exposition aux substances toxiques et à la chaleur. La réalisation d'une cabine pressurisée implique d'intégrer ce critère dès le stade de sa construction et de prévoir des portes et des fenêtres hermétiques.
- Il faut aussi former les travailleurs pour qu'ils emploient de bonnes méthodes de travail et les sensibiliser à une bonne application des procédures pour réduire les émissions.
- Enfin, le contrôle de l'exposition courante des travailleurs devrait permettre de vérifier que les niveaux d'exposition sont acceptables. Une surveillance continue des émanations de gaz et la mise en place de mesures de secours s'imposent, du fait principalement de la présence de monoxyde de carbone dans les fours à coke. Un programme de surveillance médicale devrait également être mis en œuvre.

4.2.2. Les risques professionnels dans les aciéries :

D'après l'explication détaillée présentée dans le premier chapitre (paragraphe 5.1), on distingue deux procédés de fabrication de l'acier; la filière traditionnelle ; elle se base sur la fabrication de fonte à partir de minerai de fer, de coke et de castine dans des hauts fourneaux avec passage dans des convertisseurs à l'oxygène pour brûler le carbone de la fonte et obtenir un acier

liquide. Et la filière électrique, qui vise à transformer des aciers et des ferrailles de récupération en acier liquide dans des fours à arc électrique.

Dans les deux cas, les aciéristes utilisent des installations et des équipements qui exposent les travailleurs à des fortes chaleurs, des rayons infrarouges, des gaz, des poussières et des produits chimiques, dont certains peuvent provoquer des risques menaçants la santé et le bien être des travailleurs, parmi ces risques on trouve :

4.2.2.1. Les risques thermiques :

Selon l'étude menée par l'association Officiel Prévention en 2015, les halles des aciéries sont particulièrement exposées à l'énergie rayonnante des infrarouges, aux températures élevées et aux risques de brûlures thermiques, en particulier évidemment aux postes de coulée qui, de ce point de vue, sont les plus pénibles de l'aciérie. Le suivi de la fusion, la proximité du métal en fusion, le contact avec des machines ou outillages chauds, le décrassage de la surface du bain liquide, de la poche de coulée, et notamment pendant les périodes de montage, réglage et maintenance sont les principales sources de risque thermique (Officiel Prévention 2015).

Le contact direct de la peau avec des surfaces chaudes ou des métaux en fusion peut d'abord provoquer de très graves brûlures cutanées, lors du transport du métal fondu ou par flammèches et coulures, débordements, jets ou d'éruptions de métal incandescent ; ces risques de brûlures se rencontrent à de nombreux stades du processus de fabrication de l'acier : aux hauts-fourneaux pendant la coulée du métal ou du laitier en fusion, en provenance des poches de coulée ou des mélangeurs (Masaitis, 2001) - (Officiel Prévention 2015). Mais la proximité d'une source de chaleur peut aussi entraîner des céphalées, hypersudation, tachycardie, hypotension et, conjuguée à des températures de l'air élevée, provoquer des malaises dus à la déshydratation et des troubles circulatoires. Au-delà de 25 °C, l'inconfort se fait ressentir avec, de plus, toutes les conséquences psychologiques que cela peut avoir sur la précision des gestes, la vigilance et donc la sécurité (diminution des capacités de réaction, irritabilité, agressivité) (Officiel Prévention 2015).

Ainsi, les expositions au rayonnement infrarouge provenant du métal en fusion, dont la densité de puissance transférable est beaucoup plus forte qu'en convection, peuvent augmenter le risque de cataracte et d'altération rétinienne et cornéenne ou de brûlures ou d'irritations cutanées. Les risques oculaires sont fortement aggravés par les rayons directs lorsque le travailleur fixe la source IR de la lumière aveuglante provenant des fours de manière prolongée, en restant immobile dans son axe, mais il faut aussi tenir compte des rayons indirects par réflexion sur des surfaces réfléchissantes (Officiel Prévention 2015).

Enfin, l'exposition chronique aux chaleurs intenses augmente le risque de développement de toutes les maladies cardio-vasculaires : c'est particulièrement le cas pour le travail devant les hauts-fourneaux et face aux fours, dans les fours, les répartiteurs et les lingotières pendant les réparations, qui implique des efforts pénibles dans une ambiance surchauffée. Il faut aussi tenir compte du choc thermique provoqué lors du passage en cabine climatisée après une exposition à la chaleur (Officiel Prévention 2015).

4.2.2.2. Les risques chimiques :

Les sources d'émission de poussières et de gaz sont très nombreuses : les trémies percées, les manques d'étanchéité des circuits et des jonctions, les poussières de silice chaude au démoulage, la démolition et la réfection des poches, le nettoyage des lingotières, les échappements du gueulard des hauts-fourneaux, les émanations de gaz provenant des vannes, les fumées lors de la coulée etc...., Parmi ces émissions on constate ; les métaux lourds et de la silice, du spath fluor employé comme fondant dans les fours, les gaz produits tels que le monoxyde de carbone, les dioxydes de soufre et d'azote, les composés organiques volatils (dont le benzène) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Officiel Prévention 2015).

Les postes de travail les plus fortement exposés aux émissions de poussières nocives et de gaz toxiques sont ceux des ponts roulants, du bassin de coulée, de démolition et de réfection des fours, d'entretien électrique, mécanique et de dépoussiérage. L'exposition aux poussières métallurgiques ou minérales peut générer des affections des voies respiratoires supérieures et inférieures : manifestations aiguës comme les irritations pulmonaires et laryngo-pharyngées (rhinites, trachéites...), ou manifestations respiratoires chroniques (bronchites, BPCO, emphysème, asthme) et des affections graves sous forme de silicose, sidérose ou cancers pulmonaires (Officiel Prévention 2015).

Des atteintes respiratoires sont causées par l'inhalation d'autres gaz irritants, asphyxiant et/ou toxiques que dégager les hauts-fourneaux ou les convertisseurs : H₂S, HCL, NH₃, CO, NO, NO₂, SO₂ ... L'inhalation de ces gaz provoque des affections des voies respiratoires supérieures et inférieures aiguës ou chroniques en pénétrant dans les bronchioles et alvéoles pulmonaires (Officiel Prévention 2015).

Ainsi, la chaux chargée dans le four électrique avec les ferrailles, peut occasionner des brûlures à la peau, aux yeux et aux muqueuses et des dermatoses chroniques. Le carbure de calcium, la cyanamide calcique, utilisés comme agent de désulfuration ou de nitruration de l'acier, provoquent des irritations de la peau et des muqueuses (Officiel Prévention 2015).

Enfin, il faut aussi tenir compte de l'éventuelle contamination radioactive des métaux de récupération (Officiel Prévention 2015).

4.2.2.3. Les risques physiques :

Les énergies mécaniques colossales mises en œuvre dans les aciéries sont sources de risques physiques importants, liés aux mouvements d'équipements lourds aux tailles impressionnantes manœuvrant plusieurs tonnes de métal en fusion (basculeurs de poche, ponts roulants, gros engins automoteurs de levage et de manutention de charges ...) (Officiel Prévention 2015).

Les machines susceptibles d'avoir des organes en mouvement provoquent des risques de coupure aux mains, de lacérations des avant-bras, en particulier lors des mises en marche intempestives, des arrêts anormaux suite à une rupture d'énergie ou lors des nettoyages par exemple. La manipulation de la ferraille et l'utilisation d'outils au finissage ou à l'expédition occasionne des risques de coupures (Officiel Prévention 2015).

Si la mécanisation et l'automatisation des opérations ont beaucoup réduit les manipulations manuelles, subsistent encore des situations où le port de lourdes charges et des contraintes posturales exigeantes du rachis sont à l'origine d'accidents de travail concernant la colonne vertébrale (Officiel Prévention 2015).

Un trafic intense d'engins lourds, de chariots de manutention, est intrinsèquement dangereux, générant potentiellement des accidents graves. Les dangers concernent non seulement les conducteurs d'engins mais également tous les aciéristes qui se trouvent à proximité, qui peuvent être heurtés par l'engin ou sa charge du fait de l'inattention, du manque de visibilité, ... Le danger de collision avec d'autres engins dans la même zone de travail est possible (Officiel Prévention 2015).

Le déplacement des engins sur le site peut générer des risques de heurts avec les travailleurs à pied. Par ailleurs, les nombreux ponts roulants (par exemple pour le transport des poches) entraînent des risques de l'élingage des charges ou ceux des autres accessoires de levage, rupture de l'élingue, déséquilibre et glissement de la charge, qui représentent de sérieux dangers pour les pontonniers ou les travailleurs à proximité (Masaitis, 2001) - (Officiel Prévention 2015). Il existe aussi des risques de Chutes du plain pied sur sol glissant du fait de la graisse, huiles répandues ..., inégal ou encombré, projections de corps étrangers dans les yeux en particulier aux opérations de finissage de l'acier, électrocution par contact direct, sont des risques omniprésents dans les aciéries (Officiel Prévention 2015).

4.2.2.4. Les risques sonores :

Les sources de bruits dans les aciéries sont nombreuses : le bruit des souffleries, le bruit émis par le four à arc électrique (notamment pendant la phase de fusion pouvant atteindre 120 dB(A)), les centrales à oxygène et les extracteurs de gaz, le bruit de la manutention des ferrailles et de l'enfournement dans la cuve...etc, génèrent des niveaux sonores importants susceptibles de provoquer des lésions auditives (Masaitis, 2001) - (Officiel Prévention 2015).

La démolition et la mise en place des réfractaires à l'aide d'outils pneumatiques sont des opérations très bruyantes, les cabines des ponts roulants sont particulièrement exposées au bruit (Officiel Prévention 2015).

En dehors des atteintes au système auditif (déficit auditif pouvant entraîner à la longue une surdité professionnelle, acouphènes...), le bruit ambiant peut entraîner une gêne ou un stress vecteur de troubles du psychisme et de pathologies qui nuisent non seulement à la santé de l'aciériste mais aussi à la sécurité de son travail par baisse de vigilance et de dextérité ou de concentration (Officiel Prévention 2015).

4.2.2.5. Les risques d'incendie et d'explosion :

Les risques majeurs d'explosions et d'incendies se produisant dans les fours des aciéries sont souvent dus à l'entrée en contact d'eau (qui peut être présente dans la mitraille ou dans les moules humides ou provenir de fuites dues soit à un vice de construction soit au système de refroidissement du four) avec les métaux en fusion à la présence d'oxygène et d'hydrocarbures inflammables qui sont omniprésents dans les aciéries (Masaitis, 2001) - (Bureau International du Travail, 2005) - (Officiel Prévention 2015).

La vaporisation d'eau contenue dans le métal ou le laitier en fusion expose à un risque d'explosion : en effet, le contact d'objets humides et a fortiori d'eau avec un bain de métal en fusion peut provoquer des projections explosives de métal liquide dans un vaste périmètre, avec risque de propagation d'un incendie (Masaitis, 2001) - (Officiel Prévention 2015).

Les incendies et les explosions dans les fours peuvent aussi être dus à l'inflammation de substances volatiles ou de combustibles (Bureau International du Travail, 2005).

Un incendie peut survenir également du fait des équipements électriques à haute et moyenne tension (tunnels et passages de câbles, transformateurs, tableaux de distribution électrique ...) (Officiel Prévention 2015).

4.2.2.6. Les mesures de sécurité et de santé :

Compte tenu de la dangerosité et de la variété des risques professionnels au sein des aciéries, le Bureau International du Travail a proposé dans son travail «Recueil de directives pratiques sur la sécurité et la santé dans l'industrie du fer et de l'acier » un ensemble de mesures préventives visant à minimiser ces risques qui menacent la santé et la sécurité des travailleurs. Nous citons les suivantes (Bureau International du Travail, 2005) :

- Ce qui concerne les travailleurs des fours, seules les personnes autorisées devraient pouvoir s'approcher des fours.
- Il devrait y avoir un système efficace de ventilation générale et de ventilation par aspiration à la source, avec des collecteurs de poussières et de fumées incorporés.
- L'efficacité des systèmes de ventilation devrait être vérifiée régulièrement.
- Les sacs à poussière devraient être remplacés au moment indiqué.
- Des lunettes de sécurité ou des masques de protection résistant aux rayons ultraviolets (UV) et/ou infrarouges devraient être fournis aux travailleurs autorisés qui doivent inspecter visuellement les fours.
- Des détecteurs permanents devraient être installés pour alerter rapidement en cas d'augmentation du niveau de gaz toxiques.
- Des appareils respiratoires autonomes à pression positive devraient être disponibles pour permettre un sauvetage rapide en cas d'accumulation de gaz toxiques. Les appareils respiratoires devraient être vérifiés et entretenus régulièrement; ils ne devraient être utilisés que par des personnes ayant reçu une formation appropriée.
- Les personnes travaillant dans la zone où se trouvent les fours et autour de cette zone devraient être munies d'un équipement de protection individuelle adapté pour les protéger contre les brûlures occasionnées par le métal en fusion, contre le bruit et les dangers physiques et chimiques.
- Ce qui concerne les incendies et les explosions, les procédures les plus dangereuses sont celles qui accompagnent l'allumage et l'extinction des fours. Les fours chauffés au gaz devraient être munis de dispositifs destinés à éviter que le combustible non utilisé ne s'accumule et ne prenne feu. L'alimentation des fours chauffés au gaz ou au mazout doit comporter un dispositif de coupure automatique.
- Les opérateurs devraient être formés aux méthodes de travail sûres. Le bâtiment devrait être conçu pour résister au feu et être doté de systèmes automatiques d'extinction, si possible intégrés dans les procédés.

- Des évaluations devraient être entreprises pour déterminer les risques de dissémination de substances toxiques non liés aux procédés des fours ainsi que le risque de dispersion des produits de combustion, et l'impact potentiel d'une explosion sur la zone environnante.
- Des contrôles de sécurité périodiques devraient être effectués afin de s'assurer que les risques sont clairement définis et que les mesures de prévention sont maintenues à un niveau optimal.
- Le matériel réfractaire (par exemple les creusets, les cuves, les poches de coulée) et les outils devraient être préchauffés et séchés avant utilisation afin de réduire au minimum le risque d'explosion. Les garnitures réfractaires devraient être régulièrement inspectées pour détecter une éventuelle usure.
- Les fours ne devraient pas fonctionner au-delà de leur durée de vie.
- Ce qui concerne les intoxications par les oxydes de carbone, des précautions particulières devraient être prises pour la protection des travailleurs des hauts-fourneaux susceptibles d'être exposés aux gaz à forte teneur en oxyde de carbone, tels que les gaz des hauts-fourneaux et les gaz de fours à coke.
- Les employeurs, en coopération avec les travailleurs et leurs représentants, devraient mettre en œuvre un processus d'analyse des dangers et d'évaluation des risques aux fins de déterminer les zones dans lesquelles du gaz contenant de l'oxyde de carbone est susceptible de s'échapper et de s'accumuler, notamment dans celles où sont appliquées des technologies nouvelles.
- Les travailleurs susceptibles d'être exposés à ces gaz devraient recevoir une formation appropriée de façon à pouvoir identifier les symptômes d'une intoxication à l'oxyde de carbone.
- Les zones où l'oxyde de carbone risque de s'accumuler au point de pénétrer dans les zones de travail devraient être munies de capteurs automatiques permanents d'oxyde de carbone et de systèmes d'alarme de façon à signaler le plus tôt possible les dégagements éventuels de gaz toxiques.
- Des contrôles permanents des niveaux d'exposition devraient être effectués. Les travailleurs qui pénètrent dans des zones présentant des dangers d'exposition au gaz devraient être équipés d'écrans de contrôle portables pour surveiller la teneur en gaz. Les travailleurs qui pénètrent dans des zones où existe un danger immédiat pour la vie ou la santé devraient également être pourvus d'appareils respiratoires autonomes.

- Des appareils respiratoires autonomes et un matériel de réanimation devraient être disponibles en tout temps pour l'équipe d'aide médicale d'urgence, et les opérateurs devraient être formés à leur utilisation.
- Des exercices de sauvetage dans les zones exposées au gaz devraient être effectués régulièrement.

4.2.3. Les risques professionnels dans les laminoirs :

Généralement, les laminoirs sont des usines de très grande taille fabriquant des produits plats (plaques, tôles ...) ou des produits longs (rails, poutrelles, tubes ...) par compression continue d'acier entre deux cylindres : le laminage à chaud est suivi d'un laminage à froid si des exigences élevées de finition sont nécessaires (chapitre 1, paragraphes 5.2 et 5.3) (Officiel Prévention, 2015).

4.2.3.1. Les risques thermiques :

Du fait des procédés de laminage à chaud, les halles des laminoirs sont particulièrement exposées à l'énergie rayonnante des infrarouges qui peuvent augmenter le risque de cataracte et d'altération rétinienne et cornéenne ou de brûlures ou d'irritations cutanées (Officiel Prévention, 2015).

La proximité d'une source de chaleur peut provoquer des brûlures cutanées (Schneider 2001) - (Bureau International du Travail, 2005) - (Officiel Prévention, 2015) et aussi entraîner des céphalées, hypersudation, tachycardie, hypotension et, conjuguée à des températures de l'air élevée, provoquer des malaises dus à la déshydratation et des troubles circulatoires. Au-delà de 25 °C, l'inconfort se fait ressentir avec, de plus, toutes les conséquences psychologiques que cela peut avoir sur la précision des gestes, la vigilance et donc la sécurité (diminution des capacités de réaction, irritabilité, agressivité) (Officiel Prévention, 2015).

Enfin, l'exposition chronique aux chaleurs intenses augmente le risque de développement de toutes les maladies cardio-vasculaires : c'est particulièrement le cas pour le travail devant les laminoirs à chaud et face aux fours, dans les fours pendant les réparations, qui implique des efforts pénibles dans une ambiance surchauffée (Officiel Prévention, 2015).

4.2.3.2. Les risques chimiques :

Plusieurs études ont montré que l'utilisation de grandes quantités d'huile, d'agents antirouille et de produits de dégraissage et autres solvants organiques, parfois appliqués par pulvérisation, d'acides forts pour le décapage représente un risque chimique cutané et respiratoire important dans les laminoirs (Officiel Prévention, 2015). Ainsi, l'émanation de vapeurs métalliques, d'ozone et autres gaz toxiques notamment lors des opérations d'écricquage à la flamme, de soudage

et d'oxycoupage des brames, des blooms ou des produits laminés ainsi que de poussières métalliques émises par les actions mécaniques de meulage, cisailage ... provoquent des pathologies respiratoires (Officiel Prévention, 2015).

En laminoirs, les travailleurs risquent aussi d'être exposés aux gaz nocifs de combustion des fours, et aux vapeurs d'eau utilisées pour le refroidissement qui sont incommodantes et potentiellement contaminées (Officiel Prévention, 2015).

Parmi les atteintes provoquées par les produits chimiques dans un laminoir, on trouve (Officiel Prévention, 2015) ;

- la lubrification par les brouillards d'huile peut altérer la santé des travailleurs par contact ou inhalation des lubrifiants et des additifs qu'ils contiennent, de même que ceux générés dans le laminage à froid : irritations de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires supérieures, des nausées, des vomissements et des céphalées.
- Les huiles réutilisées sans désinfection peuvent provoquer des pathologies respiratoires (asthme et pneumopathies) dues aux réactions allergiques et aux bactéries présentes dans les brouillards et fumées de dégradation des huiles générés par les cylindres au contact du fluide lubrifiant.
- Les brouillards acides qui se dégagent des bacs de décapage risquent de causer de sévères irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires.
- Les acides très corrosifs utilisés (sulfurique, chlorhydrique, fluorhydrique et nitrique) peuvent engendrer des ulcérations cutané-dermiques profondes et douloureuses, mais aussi des lésions aux yeux par projection.
- En cas d'inhalation massive suite à une fuite ou déversement importants, une intoxication aiguë par les vapeurs des bains acides peut être redoutée.
- Les vapeurs très volatiles des solvants organiques utilisés lors du nettoyage ou du dégraissage des opérations de finition sont toxiques par inhalation pour le système nerveux, et des irritants cutanés et pulmonaires.
- Toutes les fumées métallurgiques peuvent entraîner des pathologies respiratoires (toux, expectoration, essoufflement), particulièrement pour certains alliages avec des oxydes de métaux dangereux pour la santé (plomb, cadmium, chrome...) qui peuvent également être présents dans les fumées.
- L'inhalation de poussières ou de fumées contenant des particules de fer ou d'oxyde de fer peut provoquer la sidérose, pneumoconiose de surcharge, car les particules de fer n'exercent pas d'effet toxique sur le poumon : la maladie tend à disparaître lorsque cesse l'exposition.

- L'intoxication chronique au plomb, par inhalation de fumées et de poussières, expose les travailleurs à des maladies professionnelles à long terme (saturnisme), par effets cumulatifs : troubles du système nerveux, anémie, insuffisance rénale, altération de la fertilité.
- Les fumées d'oxydes métalliques sont par ailleurs allergisantes et peuvent être à l'origine de véritables asthmes professionnels, urticaire, œdème de Quincke.
- La démolition des réfractaires des fours, le meulage avec un abrasif contenant de la silice occasionnent des dégagements de poussières susceptibles de contenir de la silice cristalline : en étant inhalées souvent et en séjournant longtemps dans le tissu pulmonaire.
- Les très fines poussières de silice provoquent une inflammation chronique des muqueuses pulmonaires, la formation d'un tissu pulmonaire fibreux, la constitution de nodules, entraînant une maladie respiratoire, une pneumoconiose fibrosante nommée silicose, se traduisant par un essoufflement à l'effort (dyspnée) et de la toux au début, jusqu'à une déficience respiratoire très grave et une insuffisance cardiaque.
- Par ailleurs, les poussières de silice cristalline peuvent induire une irritation des yeux et provoquer l'apparition de bronchites chroniques.
- L'inhalation des émissions de polluants gazeux (le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de soufre émis par les fours, des oxydes d'azote dégagés par les chalumeaux de découpage, et l'ozone produit lors du soudage bout à bout) provoque des irritations et affections des voies respiratoires supérieures et inférieures aiguës ou chroniques en pénétrant dans les bronchioles et alvéoles pulmonaires.
- Le monoxyde de carbone (CO) est facteur de risque d'ischémie et provoque des maux de tête, une fatigue, des nausées, des vertiges et peut entraîner une grave asphyxie.
- Les eaux employées pour l'aspersion et le refroidissement des produits et des cylindres provoquent de grandes quantités de vapeurs nauséabondes et nuisant à la visibilité. Ces vapeurs peuvent être chargées de microorganismes susceptibles d'engendrer des atteintes cutanées et respiratoires.

4.2.3.3. Les risques physiques :

Les énergies mécaniques colossales mises en œuvre dans les laminoirs sont sources de risques physiques importants, liés aux mouvements de ferrailles et d'équipements lourds aux tailles impressionnantes (Officiel Prévention, 2015).

Les machines susceptibles d'avoir des organes en rotation, les bords de tôle en mouvement, provoquent des risques de coupure aux mains (Schneider 2001) - (Bureau International du Travail, 2005) - (Officiel Prévention, 2015), de lacérations des avant-bras (Officiel Prévention, 2015), de happements des mains (Schneider 2001) - (Officiel Prévention, 2015), des doigts, des cheveux ou

manches des vêtements dans les cylindres (Officiel Prévention, 2015), en particulier lors des mises en marche intempestives, des arrêts anormaux suite à une rupture d'énergie ou lors des nettoyages par exemple. Des ruptures des bandes métalliques de ligature des bobines sont susceptibles d'entraîner des fouettements dangereux (Officiel Prévention, 2015). Ainsi, dans tout laminoir, il existe des risques de coincement entre les rouleaux (Bureau International du Travail, 2005).

La manipulation de la ferraille et l'utilisation d'outils coupants au finissage ou à l'expédition occasionne des risques de coupures sévères (Officiel Prévention, 2015).

Si la mécanisation et l'automatisation des opérations ont beaucoup réduit les manipulations manuelles, subsistent encore des situations où le port de lourdes charges et des contraintes posturales exigeantes du rachis sont à l'origine d'accidents de travail concernant la colonne vertébrale (dorsalgies, lombosciatiques) (Officiel Prévention, 2015).

Le trafic intense d'engins lourds, de chariots de manutention, est intrinsèquement dangereux, générant potentiellement des accidents graves (Schneider 2001) - (Officiel Prévention, 2015). Les dangers concernent non seulement les conducteurs d'engins mais également tous les lamineurs existants à proximité qui peuvent être heurtés par l'engin ou sa charge du fait de l'inattention, du manque de visibilité, ... Le danger de collision avec d'autres engins dans la même zone de travail est possible. Le déplacement des engins sur le site peut générer des risques de heurts avec les travailleurs à pied (Officiel Prévention, 2015).

Par ailleurs, les nombreux ponts roulants entraînent des risques de l'élingage des charges ou ceux des autres accessoires de levage, rupture de l'élingue, déséquilibre et glissement de la charge, qui représentent de sérieux dangers pour les pontonniers ou les travailleurs à proximité (Officiel Prévention, 2015).

Nous pouvons également trouver des Chutes de plain pied sur sol glissant du fait de la graisse, huiles répandues ..., inégal ou encombré, projections de corps étrangers dans les yeux en particulier aux opérations de finissage, électrocution par contact direct, sont des risques omniprésents dans les laminoirs (Officiel Prévention, 2015).

4.2.3.4. Les risques sonores :

L'exposition des travailleurs aux niveaux sonores élevés dans les laminoirs est l'un des risques professionnels les plus importants (cette problématique sera discutée en détail dans le chapitre n° : 3). Plusieurs études ont trouvé que les sources de bruits dans les laminoirs sont nombreuses : le bruit continu des roulements, des redresseuses, des ébavureuses, des meuleuses, des scies, des pompes à eau, le bruit émis par la rotation des cylindres, par la chute des barres dans les augets, entraînent des niveaux sonores incessants de 85 à 90 dB(A) couramment constatés dans les

halles des laminoirs, avec des pics de 115 dBA ou plus qui ne sont pas rares (Schneider, 2001) - (Officiel Prévention, 2015).

En dehors des atteintes au système auditif (déficit auditif pouvant entraîner à la longue une surdité professionnelle, acouphènes...), le bruit ambiant peut entraîner une gêne ou un stress vecteur de troubles du psychisme et de pathologies qui nuisent non seulement à la santé du lamineur mais aussi à la sécurité de son travail par baisse de vigilance et de dextérité ou de concentration (Officiel Prévention, 2015).

4.2.3.5. Risques d'incendie et d'explosion :

Les risques majeurs d'explosions et d'incendies liés à l'acier brulant, à la présence d'oxygène et d'hydrocarbures inflammables, aux réparations sur les circuits hydrauliques, sont omniprésents dans les laminoirs (Officiel Prévention, 2015).

Un incendie peut survenir également du fait d'un dysfonctionnement des gros moteurs et des équipements électriques à haute et moyenne tension (tunnels et passages de câbles, transformateurs, tableaux de distribution électrique ...). Les fuites de combustibles gazeux des vannes d'alimentation des fours ou des conduites de distribution représentent aussi un danger redoutable (Officiel Prévention, 2015).

4.2.3.6. Les mesures de sécurité et de santé :

Vu les risques professionnels élevés en fréquence et en gravité dans les laminoirs, un haut niveau de prévention, de contrôle et de protection doit être suivi. Parmi les actions préventives qui doivent être prises, on trouve (Bureau International du Travail, 2005) - (Officiel Prévention, 2015) :

- Les angles rentrants des rouleaux doivent être protégés efficacement en fonction d'une évaluation appropriée des risques et l'encadrement doit veiller strictement à empêcher toute opération sur les machines en mouvement ;
- Les éléments dangereux devraient être protégés pour empêcher les graves lésions causées par les machines à cisailer, à décolleter, à ébarber et par les machines à guillotine ;
- Un programme efficace de verrouillage et d'avertissement devrait être établi, mis en œuvre et contrôlé aux fins de l'entretien et des réparations ;
- Il convient de veiller à éviter que les travailleurs ne subissent des coupures dues aux laminoirs à tôles minces et aux laminoirs à bandes ;
- Des passerelles en nombre suffisant, munies de glissières appropriées, devraient être mises en place et leur utilisation devrait être obligatoire ;

- Des caillebotis, des matériaux absorbants et des bottes antidérapantes devraient être fournis; en outre, le plancher devrait être nettoyé périodiquement pour empêcher les glissades, les faux pas et les chutes ;
- Une bonne planification permet fréquemment de diminuer le nombre de rouleaux à changer. Le changement des rouleaux sur les bancs ne devrait pas être effectué avec précipitation et sans l'aide d'outils appropriés ;
- Emulsions d'huile de laminage, lubrifiants et agents de refroidissement devraient être remplacés régulièrement aux fins d'éviter toute contamination bactérienne. Les biocides, utilisés à cet effet, ne devraient pas, soit isolément, soit associés à d'autres substances, être toxiques pour les travailleurs ;
- Les cabines de commandes devraient être conçues de façon ergonomique ;
- Les salariés doivent être aussi informés à propos des produits dangereux mis en œuvre et formés aux pratiques professionnelles sécuritaires ;
- La prévention la plus efficace est la prévention primaire avec la mise en place de technologies qui permettent des actions sur les produits (suppression ou emploi de produits de substitution de moindre impact potentiel sur l'homme) et/ou des actions sur les procédés (emploi de matériels ou de machines supprimant ou limitant au maximum les impacts, par de très faibles rejets atmosphériques, par de bas niveaux sonores...) ;
- La prévention collective implique l'utilisation de systèmes de fabrication isolés et automatisés et de dispositifs mécaniques comme l'extraction de poussières et de vapeurs qui permettent de réduire l'exposition des travailleurs, des captages à la source avec des systèmes d'aspiration localisée, en particulier lorsque l'on ne peut pas remplacer des produits chimiques dangereux par d'autres pour des raisons techniques ;
- Enfin, le port d'équipement de protection individuel (combinaison, gants, chaussures et lunettes de protection, masques...) est obligatoire pour réduire le risque d'exposition non totalement éliminé par les mesures de protection collectives, ainsi que la présence d'installations et de matériel de premier secours. De plus, un suivi médical renforcé et une bonne formation continue des lamineurs à la sécurité sont indispensables.

Chapitre n°3 :

**ÉTUDE DE CAS : ÉVALUATION DE
L'EXPOSITION AUX BRUIT DES
TRAVAILLEURS DANS UN LAMINOIR DE
ROND À BÉTON DU COMPLEXE
SIDERURGIQUE D'EL HADJAR (ANNABA -
ALGÉRIE) SELON LA NORME EUROPÉENNE
NF EN ISO 9612 (2009)**



CHAPITRE III : Évaluation de l'exposition aux bruit des travailleurs dans un laminoir de rond à béton du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba - Algérie) selon la norme européenne NF EN ISO 9612 (2009)

Le bruit sur le lieu de travail est un problème qui existe depuis des années. Même si beaucoup a déjà été fait pour résoudre ce problème, il persiste. Certains types d'industrie ont un niveau de bruit plus élevé telle que l'industrie du fer et de l'acier ce qui augmente l'exposition au risque pour les ouvriers sidérurgiques. Où nous avons déjà démontré dans les parties précédentes de notre thèse que le problème du bruit touche toutes les étapes de fabrication du fer sans exception, Cela nous a amené à nous concentrer dans cette partie sur le problème du bruit en termes d'exposition des travailleurs et les moyens les plus adéquats pour réduire cette exposition en milieu sidérurgique. Nous avons choisi comme exemple le laminoir rond à béton du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (Annaba).

Nous savons tous que l'exposition quotidienne à des niveaux de bruit élevés constitue un facteur de risque qui peut entraîner une surdité d'origine professionnelle, ce qui porte atteintes au niveau de l'oreille interne. Sachant que cette atteinte augmente selon la durée d'exposition et aussi selon l'intensité du bruit. Le présent travail consiste à réaliser l'évaluation des risques par exposition au bruit dans les différentes zones de l'unité LRB (Laminoir Ronds   Béton) selon la norme NF EN ISO 9612 : 2009, afin de pouvoir adopter les mesures préventives les plus adéquates pour sécuriser les travailleurs d'une part, et constituer une base de données pour l'élaboration d'un programme de prévention des risques professionnels liés au bruit, d'autre part.

Notions fondamentales :

Avant d'aller plus loin dans ce travail, nous devons aborder tout d'abord certains concepts de base qui aident le lecteur à comprendre le contenu de notre travail.

1. Le son :

Les sons font tellement partie de notre univers qu'ils nous imprègnent de façon consciente et inconsciente dans les domaines les plus variés de notre vie (Boudet, 2005). Du point de vue physique, les sons sont définis comme une sensation auditive causée par les perturbations d'un milieu physique matériel élastique (air, eau...) et engendrée par la stimulation des éléments sensoriels de l'oreille interne (cellules ciliées), le plus souvent par les ondes acoustiques. Ils sont associés au mouvement oscillatoire d'un système vibrant (source sonore). Ce phénomène crée une onde acoustique qui se propage dans toutes les directions à une vitesse de 340 m/s (célérité du son dans l'air) (Roberto Casati, 1994) - (Pierre Canetto, 2007) - (Bernard-Masse, 2011) - (Remy, 2013) - (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, 2012). On distingue donc que les éléments nécessaires à l'existence d'un son sont:

Une source qui produit le son par la vibration d'un corps solide, liquide ou gazeux. L'origine de cette vibration peut-être de diverses natures : choc, frottement, variation de pression, stimulation électrique... (Agence culturelle alsace, 2009).

Un milieu qui transmet les vibrations produites par la source sonore à l'air ambiant auquel elles imposent une variation de pression. Ces variations de pression sont des ondes sonores qui se propagent dans l'air et dans tout milieu élastique - sauf dans le vide - sans qu'il y ait déplacement de matière, mais seulement transmission d'énergie de proche en proche : la vibration provoque le déplacement des particules autour de l'objet qui s'entrechoquent avec les particules voisines pour revenir à leur point de départ. Ce mouvement de particules se propage en s'atténuant, car une perte d'énergie se produit au fur et à mesure que le champ sonore engendré par la vibration s'étend (Agence culturelle alsace, 2009) - (Pujol, 2012).

D'autre part, l'amortissement du son modifié par la viscosité de l'air croît avec la fréquence : les sons aigus portent moins loin que les sons graves à intensité égale (Agence culturelle alsace, 2009).

Un récepteur qui est l'oreille et l'ouïe : pour devenir des sons, ces vibrations doivent agir sur un de nos sens, c'est l'ouïe. Notre oreille est sensible aux vibrations entre 16 Hz et 20 000 Hz (le HERTZ est l'unité de mesure de la fréquence : 1 Hz = 1 oscillation par seconde) (Berard, 2005) - (Bouland Catherine, 2010) - (Remy, 2013); en dessous de 16 Hz ce sont des infrasons que nous

pouvons percevoir par la paroi abdominale. Au-dessus de 20 000 Hz, il s'agit d'ultrasons que seuls certains animaux perçoivent : chiens, chauve-souris, dauphins... (Berard, 2005).

2. Les caractéristiques physiques du son :

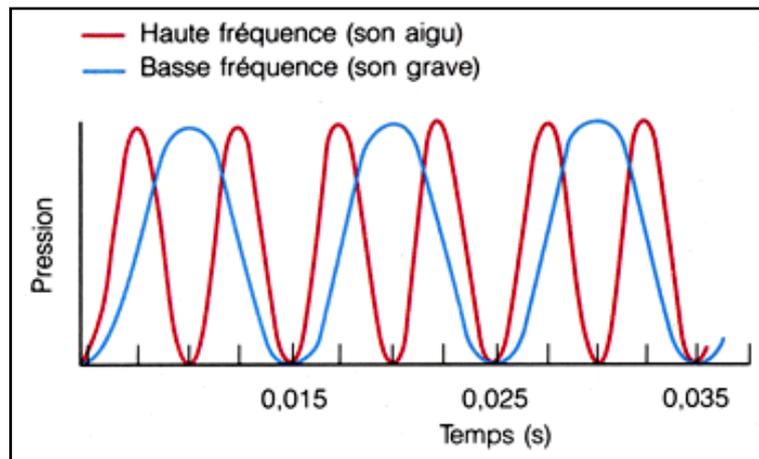
Généralement, le son est caractérisé par :

Sa fréquence correspond au nombre de vibrations par seconde émises par la source sonore (Berard, 2005) - (Pierre Canetto, 2007) - (Bouland Catherine, 2010), mesurée en Hertz, noté Hz. Elle est directement liée à la hauteur du son perçu. Les sons de basses fréquences « sons graves » se répartissent de quelques dizaines à quelques centaines d'Hertz et les hautes fréquences « sons aigus » se répartissent sur les milliers d'Hertz, appelés kilohertz, notés kHz (Pierre Canetto, 2007) - (Bouland Catherine, 2010).

Un son composé d'une seule fréquence est appelé « son pur ». Généralement un son est la résultante de nombreux sons purs, de fréquences et d'amplitudes différentes (Bouland Catherine, 2010).

La perception humaine est complexe, elle varie avec le niveau et avec la fréquence. Par exemple, pour les sons de niveaux courants (vie quotidienne), l'oreille atténue les sons fortement en basses fréquences et légèrement en hautes fréquences. Pour les sons de niveaux élevés, l'oreille atténue peu en basses fréquences, mais significativement en hautes fréquences (Pierre Canetto, 2007).

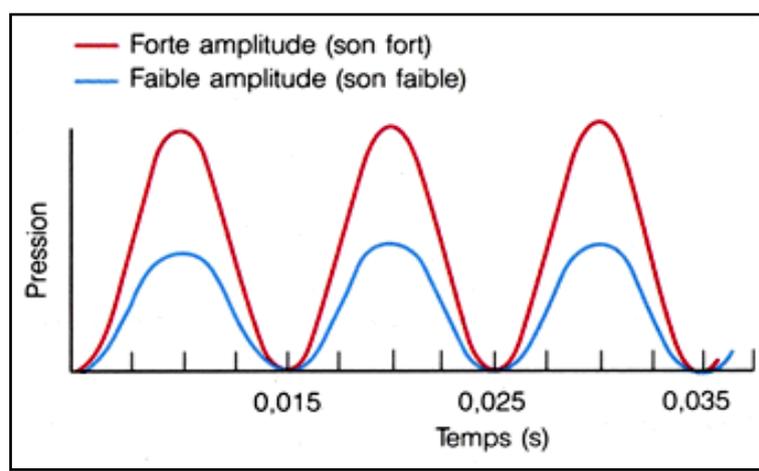
Afin de prendre en compte cet effet physiologique, on applique au son, mesuré en dB, un filtre qui pondère le niveau en fonction de la fréquence selon des courbes moyennes. Ces filtres sont identifiés par des lettres : on a ainsi la courbe dite « A » pour les niveaux courants et la courbe « C » pour les niveaux élevés. Selon que l'on utilise telle ou telle courbe, on parlera de dB(A) ou dB(C). Le dB(A) est l'unité la plus courante dans les mesures de bruit réalisées dans un contexte d'exposition humaine (Pierre Canetto, 2007) - (Berard, 2005).



typ-son-jvc.e-monsite.com

Fig. 54 : La fréquence du son.

Son Niveau sonore (L'amplitude) c'est la variation de pression maximale atteinte par rapport à une pression de référence, correspond dans le langage courant, au " volume " sonore, se compte en décibels, notés « dB » (Pierre Canetto, 2007) qui a été choisi en l'honneur d'Alexander Graham Bell, le Canadien qui a inventé le téléphone et qui s'est grandement intéressé aux problèmes des personnes sourdes (Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail, 2014). Elle se calcule comme le rapport entre le niveau de pression acoustique mesuré (P) et le niveau de pression acoustique de référence (P₀) (Atienza, 2008) - (Bouland Catherine, 2010). Le niveau de pression de référence correspond approximativement au seuil de perception de l'oreille humaine; il est égal à une pression acoustique de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (Pascals), ou 20 µPa (Atienza, 2008) - (Bouland Catherine, 2010), par contre, le seuil de douleur, se situe à environ 20 Pa, soit une pression acoustique un million de fois plus élevée (Bouland Catherine, 2010) - (Pierre Canetto, 2007).



Vetopsy.fr

Fig. 55 : L'amplitude du son.

On choisit d'exprimer ce rapport sous une forme logarithmique pour le ramener dans des proportions raisonnables ; niveau de pression acoustique (L_p) est ainsi défini (Atienza, 2008) :

$$L_p = 10 \log (P/P_0)^2 \text{ en dB(A)}$$

Sa durée d'apparition, c'est le dernier paramètre qui caractérise un son. Elle est évaluée selon deux échelles de temps différentes ; la première échelle appelée l'échelle courte, de l'ordre de la seconde, qui permet l'étude des sons brefs (bruits d'impact, bruits impulsionnels) ou variant rapidement (Bouland Catherine, 2010) - (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, 2013). Par contre la deuxième échelle est moins fine (heure, journée) utilisée pour l'étude des bruits dans l'environnement et permet notamment d'apprécier la gêne. Dans ce domaine, on emploie fréquemment le niveau sonore équivalent (L_{eq}) afin d'évaluer la dose de bruit reçue pendant un temps déterminé (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, 2013).

3. Le bruit :

Nous savons tous que les sons purs n'existent pas dans la nature, nous entendons le plus souvent des sons complexes constitués de plusieurs sons purs émis simultanément. Lorsque le nombre de sons purs mélangés s'élève et accroît la complexité du son, on parle de « bruit ».

Quel que soit le qualificatif employé « bruit », « nuisances sonores », « nuisances acoustiques », « tapage »..., il renvoie toujours à la même idée de sensation désagréable, indésirable, voire insupportable (Chantal Laroche, 2003) - (Pierre Canetto, 2007) - (Le Nost, 2007) (Jaworski, 2012). Cette image négative sur le bruit est largement affirmée par les multiples dictionnaires et encyclopédies de la langue française, qui donnent diverses définitions du mot « bruit ». À titre d'exemple, le dictionnaire *Larousse* le définit comme « un ensemble de son sans harmonie » (Kzyl-Orda, 1997). Ainsi le dictionnaire *encyclopédique des pollutions*, considère le bruit comme « une nuisance, provoquée par des sons d'intensité trop forte dont les effets nocifs peuvent être accrus par des fréquences trop basses ou trop élevées » (Ramade, 2000). Les définitions techniques renforcent cette conception négative et au même temps subjective (*le même son peut être utile, agréable ou gênant selon qui l'entend et à quel moment* (Bartoli, 2017)) du phénomène qui influe d'une façon ou d'une autre sur notre ouïe (Jaworski, 2012). Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le bruit est « un phénomène acoustique produisant une sensation auditive désagréable ou gênante ». L'association Française de Normalisation (AFNOR), qui en donne la définition la plus complète, le présente comme « toute sensation auditive désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composantes définies » (Jaworski, 2012).

Notons que toutes les définitions précédentes sont associées à un effet négatif du bruit, ce qui peut apparaître réducteur. Un bruit peut avoir un effet agréable, comme par exemple le bruit des oiseaux (Le Nost, 2007). Par ailleurs, l'absence de bruit (le silence) n'est pas forcément souhaitable : Dans son travail de thèse sur la caractérisation de la qualité sonore de l'environnement urbain, Maffiolo a défini le terme bruit comme *son qui fait effet, sans a priori* nécessairement négatif (Maffiolo, 1999) - (Le Nost, 2007). Pour notre étude relative à des bruits émis par des sources industrielles, nous nous restreindrons aux définitions qui sont associées à un effet négatif du bruit.

4. Le bruit de l'environnement et les différentes sources de bruit :

Dans notre travail, nous ne nous intéressons pas au bruit en tant que phénomène purement physique, mais en tant que phénomène environnemental, qui constitue un risque pour la santé et perturbe la qualité de vie, Ce qui nous oblige à passer du terme « bruit » à un terme plus large et plus expressif, c'est le « bruit de l'environnement ».

En 2003, le Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit et l'Association des Maires des Grandes Villes de France, ont effectué une étude qui montre que la population urbaine française place le bruit au premier rang des nuisances de la vie quotidienne, devant les problèmes d'insécurité (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit & Association des Maires des grandes villes de France, 2003) - (Le Nost, 2007). Cette étude recense les principales sources de bruit citées par les personnes interrogées, et elle affirme que les sources de bruit les plus connues au sein de la population sont ; « le voisinage immédiat, le trafic routier, les établissements accueillant du public, les attroupements tardifs sur la voie publique, les activités commerciales et artisanales ou industrielles, et enfin les 2 roues à moteur ».

Toutes ces sources participent à la formation d'un nouveau concept que nous appelons « le bruit de l'environnement » ou bien « le bruit dans l'environnement », qui est défini dans la directive Européenne 2002/49/CE comme étant « un son extérieur non désiré ou nuisible résultant d'activités humaines, y compris le bruit émis par les moyens de transport, trafic routier, ferroviaire et aérien ou provenant de sites d'activité industrielle » (Parlement Européen, 2002).

5. Le bruit en milieu de travail (Le bruit industriel):

Le bruit en milieu de travail est l'une des nuisances industrielles la plus répandue dans tous les secteurs d'activité professionnelle, il constitue un grand risque sur la santé des employés concernés. Ce danger impose aux chefs d'entreprise de s'investir dans la prévention des risques liés aux bruits et réduire aussi bas que possible les niveaux d'exposition sonore aux postes de travail.

Selon le Bureau International de Travail, aux Etats-Unis plus de 9 millions de travailleurs sont exposés à des niveaux quotidiens moyens de 85 dB(A) (Suter, 1997). On estime à 5,2 millions le nombre de travailleurs exposés à des niveaux de bruit supérieurs à 85 dB(A) dans les industries manufacturières et les services généraux (Suter, 1997) - (Onur Çelik, 1988), ce qui représente environ 35% du nombre total de travailleurs des industries manufacturières des Etats-Unis (Suter, 1997) - (Franks J.R., 1990) - (Chantal Laroche, 2003).

En Grande Bretagne, on estime à plus de 2 millions le nombre de Britanniques régulièrement exposés à un bruit intense sur leur lieu de travail, dont 1,1 million sont exposés à des niveaux supérieurs à 85 dB(A) (Michael, 2005). Cette situation entraîne, selon les estimations, une surdité, un bourdonnement d'oreille ou d'autres affections auditives chez 170 000 personnes. On recense, dans le groupe d'âge de 35 à 64 ans, 153 000 hommes et 26 000 femmes éprouvant de graves difficultés auditives imputables au bruit sur leur lieu de travail, ce qui augmente la prévalence des troubles graves de l'audition à 1,9 % pour l'ensemble des professions (Michael, 2005).

En Egypte plus de 2 millions de travailleurs sont exposés à des niveaux de bruit supérieurs à 85 dB(A) (Ali, 2011). Au Québec, on estime à 56% la proportion de travailleurs exposés à des doses de bruit supérieures à 85 dB (A) - 8h, dans le secteur des industries lourdes (Deguise, 1988).

En Europe, près de 60 millions de travailleurs sont exposés à des niveaux de bruit potentiellement dangereux pendant au moins un quart de leur temps de travail (Phan Chan Thé, 2008). En 2003, près d'un tiers des salariés français enquêtés dans le cadre de l'enquête Sumer déclare être exposé à des nuisances sonores (Phan Chan Thé, 2008) - (P. Rucay, 2010) - (Laurence Martinez, 2011). Près de 7 % des salariés subissent des bruits nocifs définis par une exposition pendant plus de 20 heures par semaine à un niveau dépassant le seuil de 85 dB(A) (Phan Chan Thé, 2008) - (P. Rucay, 2010). Par ailleurs, 25 % des salariés sont soumis à d'autres bruits dépassant 85 dB(A) pendant moins de 20 heures par semaine, ainsi qu'à tous les bruits gênants de niveau sonore inférieur (Phan Chan Thé, 2008) - (P. Rucay, 2010). Selon la même l'enquête, les salariés soumis au bruit nocif sont exposés à de nombreuses autres contraintes physiques, chimiques ou organisationnelles (Phan Chan Thé, 2008).

L'enquête Sumer a montrée aussi que la surdité professionnelle crée un coût direct pour les entreprises de l'ordre de 100 000 euros par salarié. Elle se place, en France, au quatrième rang des maladies professionnelles déclarées et reconnues dans le cadre du régime général de la Sécurité Sociale (Laurence Martinez, 2011).

Sur la base de ces statistiques, on peut constater que l'exposition excessive au bruit est un dénominateur commun aux milieux de travail industriels (Chantal Laroche, 2003). Et selon le Bureau International du Travail (Suter, 1997), les niveaux sonores dangereux sont très faciles à repérer dans la grande majorité des cas. Il est possible technologiquement de lutter contre le bruit excessif en appliquant les techniques disponibles, en modifiant la conception de l'équipement ou des procédés ou en transformant a posteriori des machines bruyantes. Mais bien trop souvent, rien n'est fait. Cette inertie s'explique par plusieurs raisons. Tout d'abord, bien que de nombreuses solutions de lutte contre le bruit soient très peu coûteuses, d'autres peuvent s'avérer très onéreuses, en particulier lorsque l'objectif vise un abaissement des nuisances sonores à des niveaux de 85 ou 80 dB(A). L'absence de programmes de lutte contre le bruit et de programmes de conservation de l'audition s'explique avant tout par le fait que, malheureusement, le bruit est souvent accepté comme un «mal nécessaire», lié à l'activité industrielle et qui fait partie du métier. Le bruit dangereux ne provoque ni hémorragie, ni fracture, ni lésion bizarre et, si les travailleurs parviennent à supporter les premiers jours ou semaines d'exposition, ils ont souvent l'impression qu'ils «se sont habitués» au bruit. En fait, ce qui est plus probable, c'est qu'ils ont commencé à subir une perte auditive temporaire qui perturbe leur sensibilité auditive pendant leur journée de travail et disparaît souvent pendant la nuit. Ainsi, l'augmentation de la perte auditive induite par le bruit est insidieuse dans la mesure où elle progresse au fil des mois et des années jusqu'à atteindre le stade d'un handicap auditif. Car les pertes auditives induites par le bruit deviennent permanentes et, lorsqu'elles s'ajoutent à la déficience naturelle liée à l'âge, elles risquent de conduire à la dépression et à l'isolement dans la seconde moitié de la vie. C'est avant le début de la perte auditive qu'il faut prendre des mesures préventives.

6. Les niveaux de bruit et réglementation :

6.1. Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A : L_{pAeqT}

Le bruit se caractérise à chaque instant (t) par le niveau de pression acoustique instantané, $L_p(t)$, exprimé en décibels. Pour prendre en compte les variations de $L_p(t)$ durant le temps de travail, on définit une durée T (quelques minutes, une heure ou 8 heures par exemple) et on évalue le niveau du bruit pendant T selon une moyenne en énergie (L.Thiéry, 2009). C'est ce qu'indique le niveau acoustique continu équivalent mesuré durant T , noté L_{pAeqT} , il est dix fois le logarithme décimal du rapport de la moyenne temporelle du carré de la pression acoustique pondérée A (p_A), pendant un intervalle de temps donné de durée T (commençant à t_1 et finissant à t_2), au carré d'une valeur de référence (p_0) (AFNOR, 2009):

$$L_{p,A,eqT} = 10 \log \left(\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right) \text{ dB (A)}$$

Où : $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Quand la durée totale effective d'une journée de travail est notée T_e , la dose de bruit reçue par un travailleur s'exprime par la valeur de L_{pAeqTe} (L.Thiéry, 2009).

6.2. Niveau de pression acoustique de crête: $L_{p,Cpeak}$

Les chocs métalliques intenses, les tirs et d'autres opérations très bruyantes mais brèves produisent des bruits impulsionnels. Un indicateur d'exposition complémentaire au bruit moyen est alors à prendre en compte : c'est le niveau de pression acoustique de crête, noté $L_{p,Cpeak}$. Mesuré en dB(C), il indique la valeur maximale de la pression acoustique instantanée $L_p(t)$ observable durant une période de temps représentative de la journée de travail (L.Thiéry, 2009).

Le $L_{p,Cpeak}$ est dix fois le logarithme décimal du rapport du carré de la pression acoustique de crête pondérée C, p_{Cpeak} , au carré d'une valeur de référence, p_0 , exprimé en décibels (AFNOR, 2009).

$$L_{p,Cpeak} = 10 \log \frac{p_{Cpeak}^2}{p_0^2} \text{ dB (C)}$$

Où la valeur de référence, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

6.3. De L_{pAeqTe} à $L_{EX,8h}$:

D'une entreprise à l'autre et parfois au sein d'une même entreprise, l'amplitude des journées de travail varie entre groupes de travailleurs. Or la dose quotidienne de bruit dépend du niveau moyen du bruit L_{pAeqTe} et de la durée quotidienne effective de travail T_e . Pour tenir compte de ces faits, le critère légal a été rendu indépendant des différences de durée quotidienne du travail. Il « normalise » par une durée de référence fixée à 8 heures la dose quotidienne de bruit reçu. C'est ce qui conduit au « niveau d'exposition quotidienne au bruit » noté $L_{EX,8h}$, exprimé en dB(A) et évalué en trois étapes (L.Thiéry, 2009) ; la première est la détermination de la durée totale effective T_e de la journée de travail de chaque groupe, la deuxième étape est l'estimation ou mesure du niveau de pression acoustique continu équivalent L_{pAeqTe} pour la totalité de la journée de travail (éventuellement dans chaque tâche ou phase de travail), et la troisième étape c'est la normalisation de la dose de bruit que définissent T_e et L_{pAeqTe} en appliquant la durée de référence réglementaire de 8 heures afin d'obtenir le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8h}$.

6.4. Réglementations et Seuils d'exposition :

Généralement, les normes et les lois internationales relatives à la sécurité et la santé en locaux de travail sont élaborées par les pays industrialisés, par contre les pays en voie de développement ont traditionnellement adopté les règlements établis par ces pays. En ce qui concerne la réglementation sur le bruit en milieu de travail, il existe deux normes qui inspirent la plupart des législations relatives au bruit dans le monde, qui sont la norme ISO 1999 (International Organization for Standardization, 1990) et la directive européenne 2003/10/CE (Journal officiel de l'Union européenne, 2003).

Les exigences de ces deux normes sont graduées en fonction de la position du niveau d'exposition sonore du travailleur par rapport à des seuils qu'elles définissent ; selon que l'exposition dépasse ou non ces seuils.

Les paramètres quantifiant l'exposition sonore n'ont pas changé depuis l'apparition de la norme ISO 1999 en 1990 (International Organization for Standardization, 1990), qui sont l'exposition quotidienne $L_{EX,8h}$ exprimée en dB (A) représente la « dose journalière » de bruit reçu ; elle peut être étendue à une exposition hebdomadaire, et la pression acoustique de crête exprimée en Pascal (Pa) caractérise les niveaux impulsionsnels de bruit ; il est désormais spécifié qu'elle doit être mesurée en pondération C ; l'usage en mesure lui préfère le paramètre $L_{p,Cpeak}$, niveau de pression acoustique de crête, quantifié en dB(C).

Ces deux paramètres sont comparés à des seuils appelés « les valeurs d'exposition déclenchant l'action » ; sont des niveaux d'exposition mesurés à l'emplacement du travailleur et indépendants de son équipement de protection individuel ; ce ne sont pas des valeurs « à ne pas dépasser » mais des seuils à partir desquels une liste d'actions donnée doit être entreprise. Deux seuils sont donnés : la valeur d'action inférieure et la valeur d'action supérieure, notées « VAI » et « VAS ». La distinction de ces deux valeurs permet de moduler le niveau des actions à entreprendre en fonction de la gravité de la situation : elles sont plus « contraignantes » à partir de la VAS (Canetto P. , 2006).

En 2003, l'Union Européen a adopté une nouvelle directive, c'est la directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit), cette directive fixe également une nouvelle valeur appelée « la valeur limite d'exposition », notée « VLE » (Journal officiel de l'Union européenne, 2003) - (Canetto P. , 2006) - (Bernhard Claude-Alain, 2007). Elle est pour sa part un niveau à ne pas dépasser, et le dépassement de cette valeur implique

un risque important de détérioration de la santé et n'est par conséquent pas acceptable. Cet aspect « santé » amène implicitement à comparer ce seuil à l'exposition « dans l'oreille » du travailleur. Contrairement aux VAI et VAS, la VLE prend en compte l'atténuation apportée par le protecteur individuel contre le bruit (PICB) lorsqu'il est porté par le travailleur (Canetto P. , 2006).

Seuils	Paramètre	Ancienne réglementation	Nouvelle réglementation
EXPOSITION QUOTIDIENNE			
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action	$L_{EX,8h}$	85 dB(A)	80 dB(A)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action	$L_{EX,8h}$	90 dB(A)	85dB(A)
PRESSION ACOUSTIQUE DE CRETE			
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action	$L_{p,Cpeak}$	135 dB(C)	135 dB(C)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action	$L_{p,Cpeak}$	140 dB(C)	137 dB(C)
VALEUR LIMITE D'EXPOSITION			
Exposition quotidienne	$L_{EX,8h}$	Aucune	87 dB(A)
Valeur limite de crête	$L_{p,Cpeak}$	Aucune	140 dB(C)

(Canetto P. , 2006)

Tab. 04 : Évolution des seuils dans la nouvelle réglementation.

Ainsi, les mesurages de l'exposition au bruit en locaux de travail doivent être effectués selon des normes. En 2002, l'association AFNOR a publié une norme qui fixe les méthodes de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail, c'est la norme NF S 31-084 (AFNOR, 2002). Et en 2009, cette norme a été substituée par la norme internationale NF EN ISO 9612 relative à la détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail (AFNOR, 2009), elle a été applicable dès sa parution et a offert l'avantage d'harmoniser les pratiques métrologiques liées à l'application de la directive 2003/10/CE (L.Thiéry, 2009).

7. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION AUX BRUIT DES TRAVAILLEURS DANS UN LAMINOIR DE ROND À BÉTON DU COMPLEXE SIDÉRURGIQUE D'EL-HADJAR (ANNABA - ALGÉRIE) SELON LA NORME EUROPÉENNE NF EN ISO 9612 (2009) :

7.1. Présentation générale du complexe sidérurgique :

7.1.1. Historique :

L'idée de création d'un grand pôle industriel de sidérurgie à Annaba était prévue pendant la période coloniale dans le plan de Construction de 1958, où la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) a été créée afin de réaliser un haut-fourneau ainsi que ses annexes, mais n'a pas été réalisé (Mebtoul, 2015) - (SIDER El Hadjar, 2016). Après l'indépendance, l'état algérien a créé, le 03 Septembre 1964, La Société Nationale de Sidérurgie (SNS) qui a été chargée de la construction du complexe sidérurgique d'El Hadjar. Et en 1969, le complexe est entré en production après son

inauguration par le Président de l'état Algérien Houari Boumédiène (Mehtoul, 2015) - (SIDER El Hadjar, 2016).

En 1983, la restructuration de l'industrie algérienne donne naissance à l'Entreprise Nationale Sider qui devient Groupe Sider en 1995, pour passer de l'entreprise administrée à l'Entreprise Publique Économique (EPE/SPA) avec un plan de redressement en 1999, donnant naissance à 25 entreprises industrielles autonomes (filiales) (Mehtoul, 2015).

En 2001, c'était le partenariat entre LNM (Inde) et SIDER (Algérie) qui donne naissance à ISPAT Annaba. Le complexe d'El Hadjar avait été cédé à Mittal en 2001, qui détenait 70% du capital social et 30% par l'Etat algérien à travers SIDER (Mehtoul, 2015). Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : Alfasid, Almain, Gessit, Iman, Amm, Comersid, Alfatub, Cryosid et Fersid (SIDER El Hadjar, 2016). Et en décembre 2004, la société change de dénomination après la fusion de LNM holding et ISPAT International et elle était devenue Mittal Steel Annaba (SIDER El Hadjar, 2016).

Par la suite, durant l'année 2013, la société Mittal Steel Annaba change sa dénomination une autre fois à ArcelorMittal Algérie après la signature d'un accord stratégique entre ArcelorMittal et SIDER par lequel, la participation d'ArcelorMittal dans le capital de la société passe à 49% et celle de SIDER à 51% (SIDER El Hadjar, 2016). Cet accord prévoyait un important plan de développement des ressources humaines au travers de formations intensives destinées aux employés afin de s'adapter aux nouvelles technologies prévues pour le site. L'objectif était d'augmenter la capacité de production du complexe d'El Hadjar (Annaba) à 2,2 millions de tonnes par an, et de renforcer les capacités de l'aval par l'implantation d'un nouveau laminoir de rond à béton et de fil machine d'une capacité de 1million de tonnes. Cela impliquait la modernisation de la filière fonte d'Annaba, notamment du haut-fourneau, ainsi que les installations de préparation matière, aciéries et laminoirs existants et la construction d'une nouvelle filière électrique (Mehtoul, 2015).

Et en août 2016, La société devient Algérienne à 100% « SIDER EL HADJAR » suite à la signature de l'accord de transfert de la totalité des actions détenues auparavant par le groupe ArcelorMittal vers le groupe public IMETAL (SIDER El Hadjar, 2016).

7.1.2. Localisation du complexe sidérurgique :

Le complexe sidérurgique d'El hadjar est constitué d'un ensemble d'atelier ayant pour objectif la production de l'acier et sa transformation, il s'étend sur plus de 850 ha. Le complexe est situé dans la commune de Sidi-Amar distant de 3 km de la daïra d'El-Hadjar et de 12 km d'Annaba. Il est limité au Nord par la Cité Sidi-Amar, à l'Est par l'agglomération de Bergougga (commune de

Sidi Ammar), à l'Est-sud Est par l'Oud Meboudja et la Daïra d'El-Hadjar, et au Sud-ouest par l'Ouest de la localité Derradji Redjem, commune de Sidi-Ammar (Institut Supérieur Optime, 2008).



Fig. 56 : Localisation du complexe sidérurgique d'El Hadjar - Annaba.

6.1.1. Les principales activités du complexe sidérurgique :

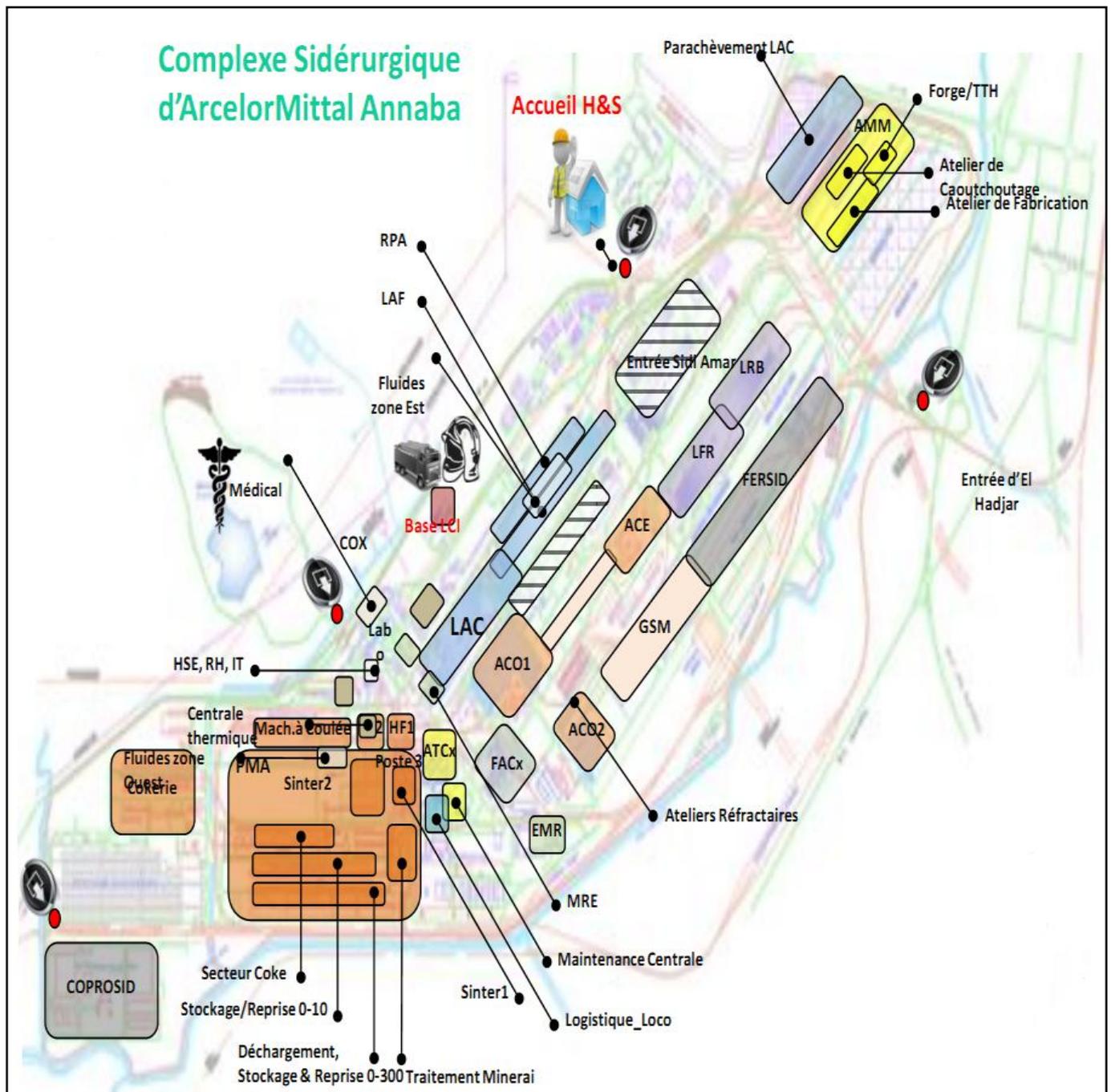
Le complexe sidérurgique d'El Hadjar a pour mission de valoriser le minerai de fer national et de fabriquer des demi-produits sidérurgiques nécessaires aux autres branches du secteur de l'industrie. Il contient les installations suivantes :

Dénomination des installations	Activité principale
Cokerie	Production du coke
Unité de préparation matière et aggloméré (PMA)	Production d'aggloméré
Hauts fourneaux (HFx)	Production de la fonte liquide
Aciéries à oxygène (ACO1 et ACO2)	Acier liquide ACO1: Brames ACO2: Billettes
Aciérie électrique (ACE)	Acier liquide, billettes et lingots
Laminoir à chaud (LAC)	Bobines
Laminoir à froid (LAF)	Bobines, Bobines galvanisée, TN 40 galvanisées
Laminoir à fil et rond (LFR, LRB)	Fil machine et rond à béton
Unité de tuberie sans soudure (TSS)	Tubes casing et pipe line
Ateliers de construction (ATC) (AMM)	Maintenance
Atelier de traitement de surface	Electrodéposition du cuivre - nickel et chrome

(Institut Supérieur Optime, 2008)

Tab. 05 : Les principales activités du complexe sidérurgique d'El Hadjar - Annaba.

En outre, pour ses besoins d'énergie et de fluides, le complexe est équipé par trois centrales thermiques d'une capacité totale de 65mW/h, quatre centrales à oxygène d'une capacité totale de 3500 m³/h, et trois usines à eau d'une capacité de 28400 m³/h.



biblio.univ-annaba.dz

Fig. 57 : Organisation du complexe sidérurgique El Hadjar Annaba.

7.2. Présentation du laminoir de rond à béton LRB :

7.2.1. Historique de l'unité LRB:

Le laminoir rond à béton (LRB) est un train à rond à béton au niveau du complexe sidérurgique d'El Hadjar - Annaba (ArcelorMittal, 2010), avec une capacité de production de 400 000 t/an (Institut Supérieur Optime, 2008) et un effectif de 151 Travailleurs (ArcelorMittal, 2011) -

(Wahiba Meddeb, 2016). C'est le dernier né du complexe, réalisé dans un temps record avoisinant une année, toutes opérations confondues (génie civil et montage) réalisées par une main d'œuvre Algérienne, avec un bureau d'étude étranger comme support d'engineering, et un groupe de jeune Algérien issue de l'unité LFR (*Laminoir à fil et rond*). Il est fabriqué par la firme italo-autrichienne « *VAI POMINI* ». La première billette est passée par le train de laminage le 16 décembre 2003 à 21h15 (VAI POMINI, 2002).

7.2.2. Les différentes zones de l'unité LRB:

Le laminoir rond à béton contient plusieurs zones, qui sont codés selon le découpage machine de l'unité, élaboré par un service spécial :

Atelier de rectification des cylindres : C'est l'atelier de préparation et réparation de tout matériel lié à la production du rond à béton, tel que ; cage, guide cylindre...etc.



Fig. 58 : Atelier de rectification des cylindres.

Zone fluide : C'est une station qui regroupe les bâches à eau (bâche de rétention), les aérateur-refrigerants pour refroidissement des eaux, et les pompes qui refoulent l'eau des trois circuits dont l'objectif est refroidissement des installations à savoir le four, les cylindres, les centrales hydrauliques ...etc.

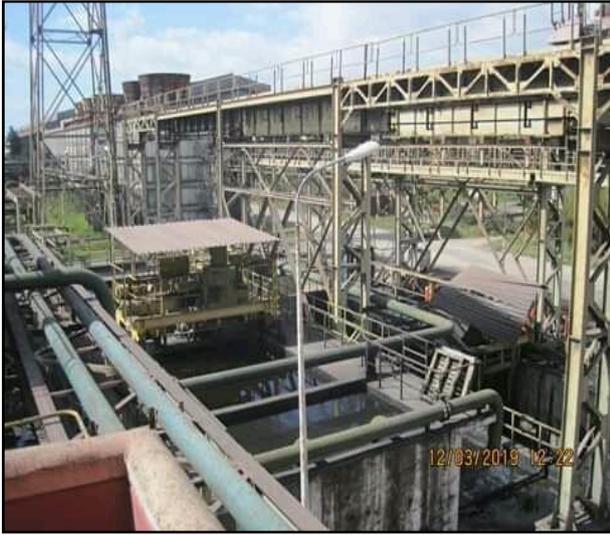


Fig. 59 : Zone fluide.



Fig. 60 : Salle des pompes.

Parc à billette : Espace de stockage des matières premières (les billettes) fabriquées par les aciéries (ACO2 et AC électrique) et acheminées par voie ferroviaire.



Fig. 61 : Parc à Billette.

Zone four : C'est un four automatisé à 100%, il est divisé en quatre zones principales ; la zone de préchauffage (800C°), la zone de réchauffage (1110 - 1200C°), la zone de normalisation gauche (1130 C°), et la zone de normalisation droite (1130 C°). Le four est de type à longerons mobiles qui assure et facilite l'avancement des billettes.



Fig. 62 : Zone Four.

Train de laminage : Le train de laminage est composé de 16 cages de laminage (la cage de laminage : c'est un ensemble mécanique composé de palier et cylindre) où la billette subit plusieurs transformations passant par les cages de laminage de la cage n°1 jusqu'à la cage n°16. On distingue ici trois types de cage ; le premier type regroupe six cages dégrossisseuses, équipés de cylindre de 510mm (numéroté de 1 à 6), le deuxième type regroupe quatre cages intermédiaires, équipées de cylindre de 420mm (numéroté de 7 à 10), et le troisième type regroupe six cages finisseuses, équipées de cylindre de 420mm (numéroté de 11 à 16).

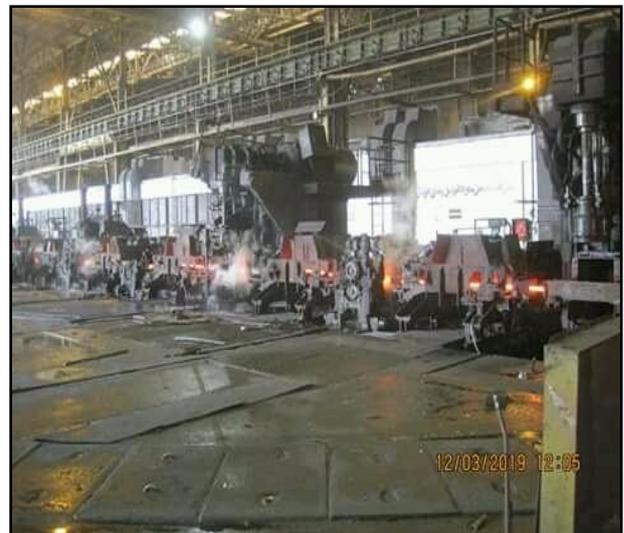


Fig. 63 : Train de laminage.

Zone Thermex : Un système de trempe est installée entre la dernière cage finisseuse et la plaque de refroidissement afin de garantir une limite d'élasticité élevée et permet d'obtenir de l'acier soudable à béton armé. Juste après le Thermex on trouve une cisaille coupante de longueur 60 m appelé cisaille n°41.



Fig. 64 : Zone Thermex.

Lit de refroidissement : C'est la zone de refroidissement du produit fini (rond à béton) à l'air libre.



Fig. 65 : Zone Lit de refroidissement.

Zone d'Expédition : La zone d'expédition débute par une cisaille géante appelé cisaille n°50/51 assure le cisailage du produit en barres de 12m. Une ligatureuse est installée juste après la cisaille afin d'assembler les barres en bottes de 20 barres. Donc C'est la zone où les fardeaux du rond à béton seraient expédiés aux clients.

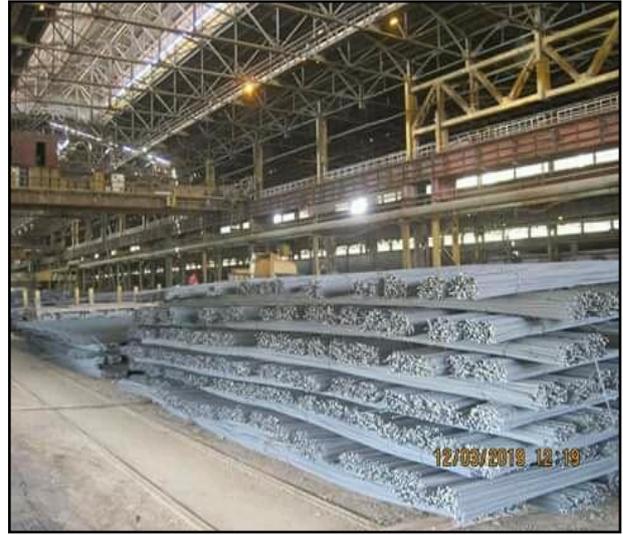


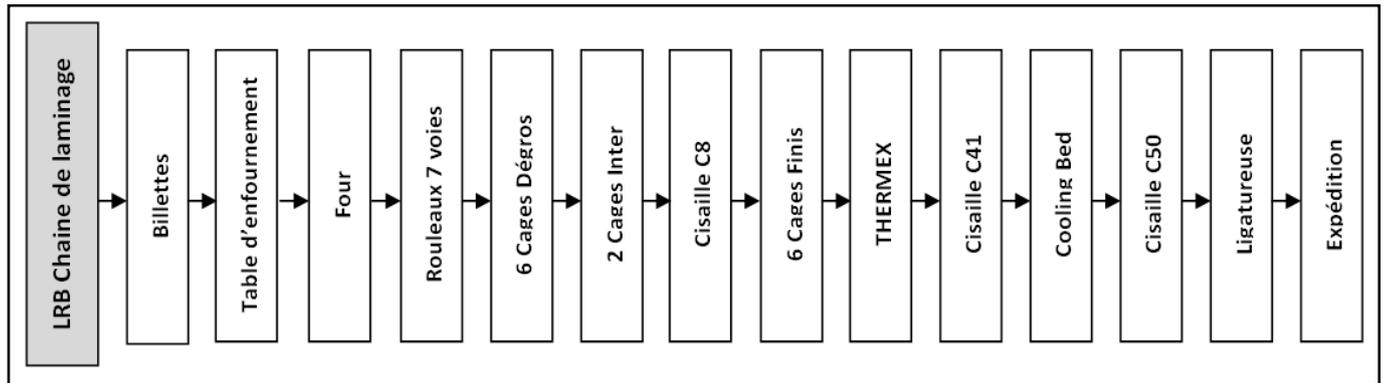
Fig. 66 : Zone d'expédition.

Salle électrique : C'est la salle qui alimente les machines et les installations en énergie électrique.



Fig. 67 : Salle électrique.

7.2.3. Procédé de fabrication du rond à béton :



(Serradj Tayeb, 2010)

Fig. 68 : Représentation schématique du procédé de fabrication.

Les billettes sont la matière première utilisée dans la fabrication du rond à béton destiné à la construction, venant de l'aciérie à oxygène n° 2 et de l'aciérie électrique (Institut Supérieur Optime, 2008) - (ArcelorMittal, 2010). Elles sont stockées dans un parc à billette d'une manière qui assure le bon conditionnement des billettes et les prévenir contre la tortuosité.

Au début, les billettes sont transportées vers la table de chargement du four par un pont roulant. Ensuite, elles sont insérées dans la première partie du four l'une derrière l'autre où elles sont préchauffées attentivement et uniformément à une température de 800 c°, avec une chaleur venant de la zone de réchauffage.



Fig. 69 : Pont Roulant.

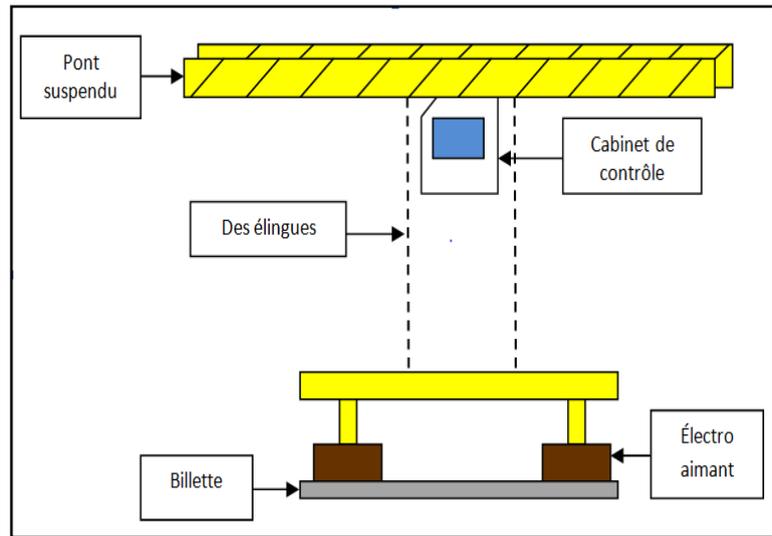


Fig. 70 : schéma d'un pont roulant.



Fig. 71 : table de chargement.

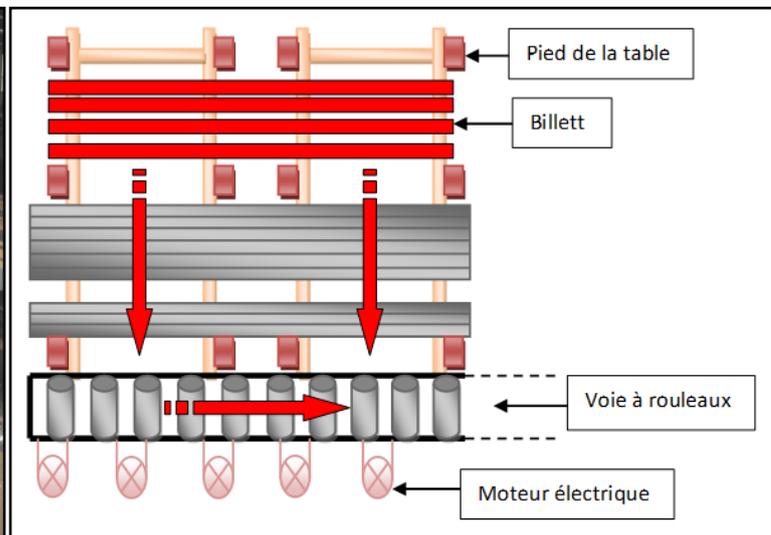


Fig.72 : Schéma de la table de chargement

Après que les billettes sont préchauffées, elles se déplacent vers la deuxième zone du four, c'est la zone de réchauffage afin d'assurer un réchauffage avec une température plus élevée varie entre 1110 à 1200 c°. Le four du laminoir est équipé par un mur de séparation situé entre la zone de préchauffage et celle de réchauffage afin de limiter le pliage des billettes et les pertes d'écaillés et aussi pour éviter la radiation des zones à températures élevées. Ensuite les billettes chauffées se déplacent vers la troisième et la quatrième zone du four, sont des zones de normalisation ou bien égalisation des billettes avec une température varie entre 1110 et 1140 c°.



Fig.73 : Four.

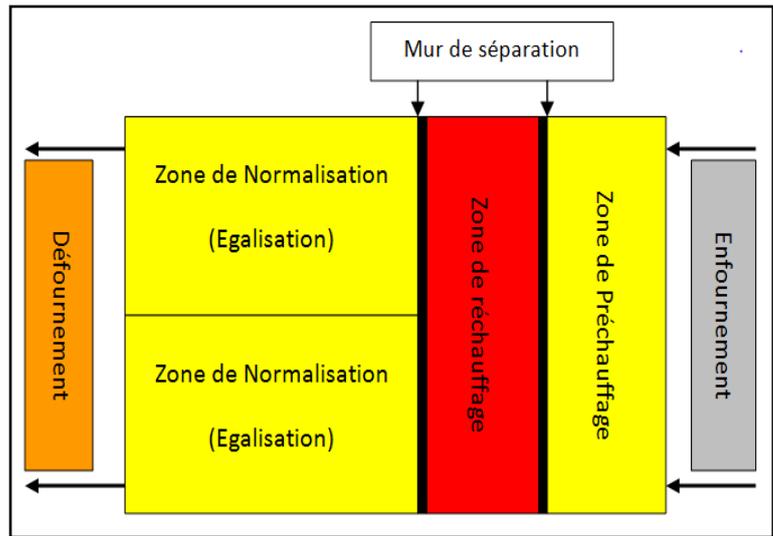


Fig.74 : Schéma du four.

Après le chauffage, les billettes sorties au four sur une voie à rouleaux, l'extraction des billettes se fait par la frappe de la tige défourneuse d'un côté et d'un rouleau pinceur de l'autre côté. Puis, elles traversent la zone de laminage où elles subissent plusieurs transformations passant par les cages de laminage où le métal laminé prend sa forme technique finale selon la nuance demandée.



Fig. 75 : Train de laminage.

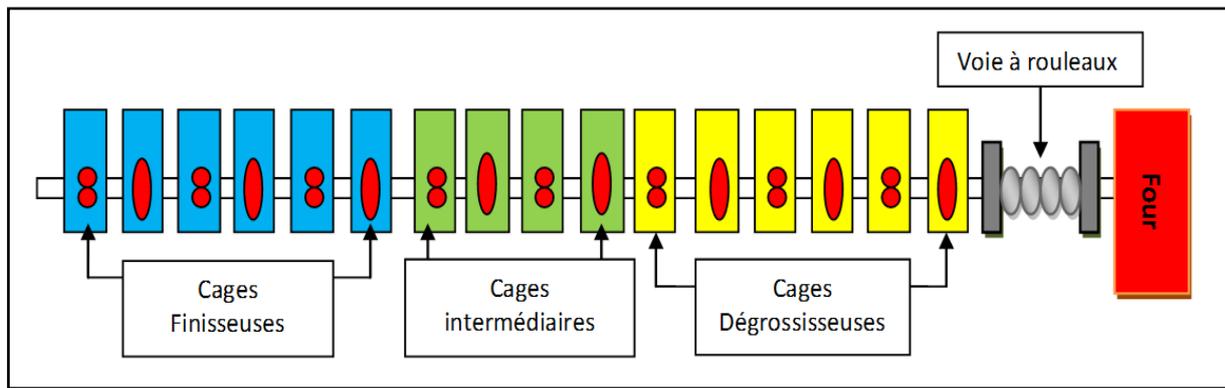


Fig. 76 : Schéma du train de laminage.

Par la suite, le métal chaud (600° - 700°) subit un changement des paramètres physicochimiques après une trempe à l'eau au niveau du THERMEX, afin d'être cisailé en barres de longueur de 60m.



Fig. 77 : Thermex.

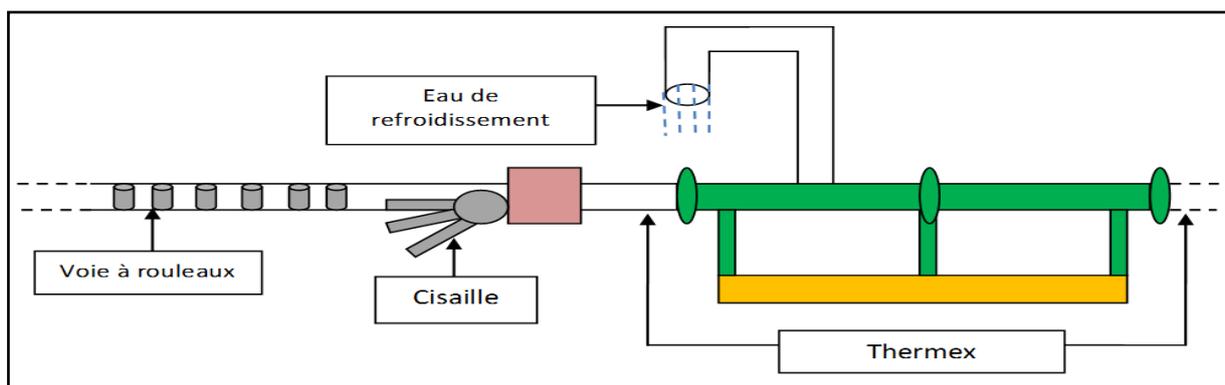


Fig. 78 : Représentation Schématique de la zone Thermex.

Ces barres sont acheminées vers un lit de refroidissement final via une voie à rouleaux, elles s'allongent en longueurs de 60m, 48m, 36m ou 24m (en multiple de 12 m) pour les préparer à la phase expédition en bottes commerciales de longueur de 12m. La coupe de 12m se fait par une cisaille à froid de 180 Tonnes.



Fig. 79 : Lit de refroidissement.

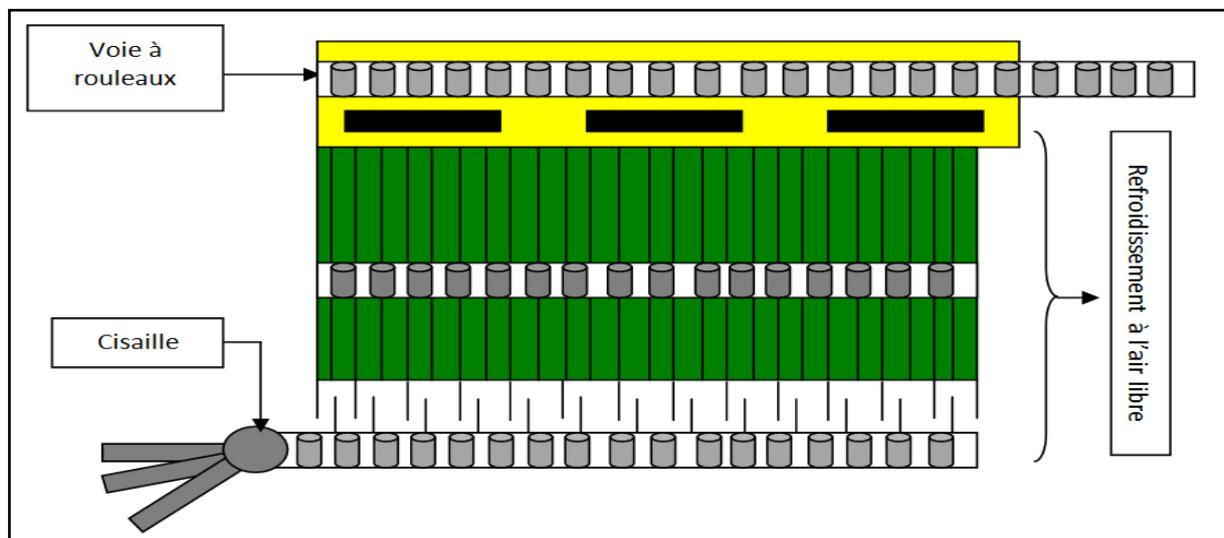


Fig. 80 : Schéma du lit de refroidissement.

Une fois ces barres cisailées et regroupées en bottes de 20 barres de poids de 02 tonnes, elles sont serrées, ligaturées et stockées dans un hangar pour être expédié vers le client.



Fig. 81 : Ligatureuse.



Fig. 82 : Bottes de 20 barres.

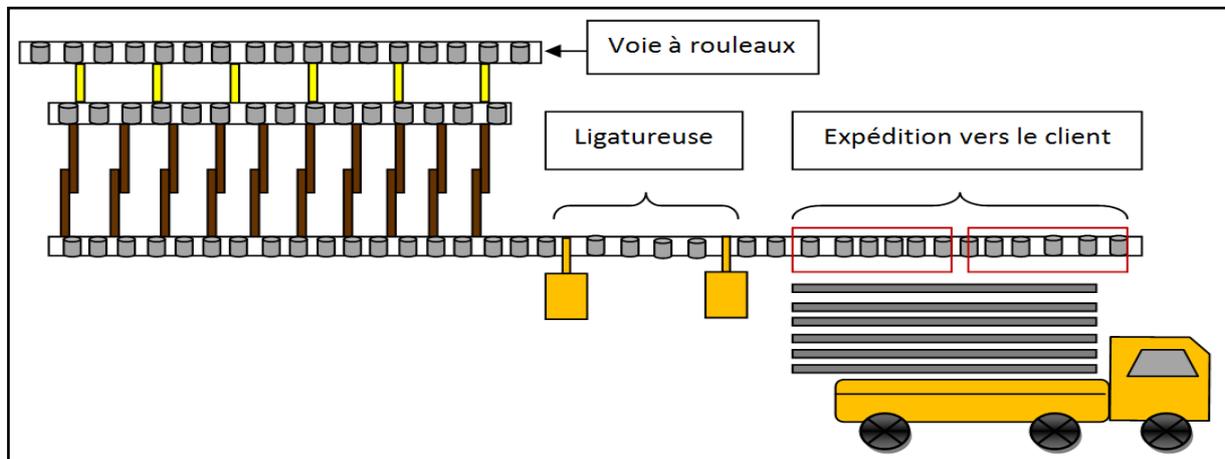


Fig. 83 : Représentation schématique de la phase d'expédition du produit fini vers le client.

7.3. Méthodologie de mesurage des niveaux d'exposition au bruit :

Les mesures ont été réalisées selon la norme NF EN ISO 9612 : 2009 (Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail). Cette norme internationale fournit une approche par étapes permettant de déterminer le niveau d'exposition au bruit en milieu de travail par mesurage de niveaux de bruit (AFNOR, 2009).

Les étapes chronologiques sont les suivantes :

- Étape 1: Analyse du travail
- Étape 2: stratégie de mesurage
- Étape 3: Mesurages
- Étape 4: Traitement des erreurs et incertitudes
- Étape 5: Calculs de l'incertitude et présentation des résultats.

7.3.1. Analyse du travail : Identification des postes à évaluer et définition des groupes d'exposition homogène au bruit selon la norme NF EN ISO 9612 (2009) :

Les normes relatives au mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail indiquent que pour réduire le nombre de mesures nécessaires lorsque des travailleurs effectuent des tâches similaires, il est possible, après enquête sur les postes de travail analogues et vérification acoustique, de choisir plusieurs postes de travail représentatifs et d'estimer que tous les travailleurs du groupe considéré ont le même niveau d'exposition que le niveau mesuré pour les postes de travail choisis.

Nous appelons ces groupes des Groupes d'Exposition Homogène au bruit (GEH). Les groupes d'expositions homogènes au bruit sont des groupes de travailleurs exposés de façon analogue à des sources de bruit semblables dans un même lieu au cours de la journée de travail (AFNOR, 2009).

Selon l'organigramme fonctionnel de l'unité LRB et les informations collectées et après une longue concertation avec les responsables de l'unité, on a regroupé les travailleurs en groupes d'exposition homogène au bruit sur la base de la position du travailleur par rapport aux sources de bruit, c'est-à-dire nous les avons regroupé par zone de travail, ce qui nous permet de réduire les efforts de mesure. Les groupes d'exposition homogène au bruit sont indiqués dans le tableau suivant :

Groupe n° :	Zone	Nbre du personnel	Profession du personnel
1	Zone Direction	8	Divisionnaire
			Chef de service exploitation
			SRDC LRB
			Chef BTF (Bureau Technique Fabrication)
			Calibreur principal
			Préparateur principal usinage
			Préparateur principal cages
			Préparateur principal guides
2	Zone Four	15	Pontier
			Classeur billettes
			Responsable four
			Opérateur four
3	Zone Laminage (Groupe Exploitation)	29	Chef de poste exploitation
			Pontier
			Opérateur PC2
			Lamineur DEGROS
			Lamineur INTER
	Lamineur		
	Zone Laminage (Groupe Maintenance)	25	Chef de poste maintenance
			Mécanicien
			Electricien

			Automaticien
			Chef d'atelier (Hydraulique)
			Technicien Hydraulicien
			Hydraulicien
			Graisser
4	Zone Préparation	13	CM montage cages
			Monteur cages
			Tourneur CNC
			Fraiseur
			Tourneur
5	Zone Expédition	30	Surveillant ligne
			Opérateur PC3
			Chef de poste
			Agent expédition
			Pontier
			Chef d'atelier mécanique
			Technicien mécanicien
			Mécanicien
			Soudeur
6	Zone Fluide	11	Chef secteur fluide
			Opérateur fluide (Jour)
			Opérateur fluide (3.8)
7	Groupe d'Intervention Electrique	8	Chef secteur électricité
			Ingénieur régulation
			Automaticien
			Instrumentiste
			Ingénieur électricien
			Electricien
8	Zone Bâtiment Technique	12	Agent SAP
			Agent intendance
			Dessinateur archiviste
			Technicien de zone four
			Technicien de zone laminage
			Technicien de zone lam, ligne, cool
			Technicien de zone bras, exp
			Hydraulique, Pneumatique
			Technicien de zone fluide
			Technicien de zone électricité, régulation.

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 06 : les groupes d'exposition homogène au bruit de l'unité LRB.

7.3.2. Sélection de la stratégie de mesurage :

7.3.2.1. Stratégie de mesurage :

Selon la norme NF EN ISO 9612 (2009), la sélection d'une stratégie de mesure appropriée est influencée par plusieurs facteurs, tels que la complexité de la situation de travail, le nombre de travailleurs concernés, la durée effective de la journée de travail, le temps disponible pour le mesurage, l'analyse et la quantité d'informations détaillée requise.



Fig. 84 : Sonomètre utilisé dans les mesures.

7.3.3. Mesurages :

Les mesures ont été effectuées pendant que l'entreprise passe par une période délicate en raison d'un arrêt au niveau du haut fourneau pendant longtemps, ce qui a conduit à un arrêt de la production de l'acier, le matériau de base utilisé dans la fabrication des billettes, qui sont à leur tour considérées comme matière première principale qui alimente le laminoir de rond à béton. À cette époque l'unité LRB a recouru à la politique d'importation de matières premières afin de répondre aux besoins du marché algérien, et éviter l'arrêt des équipements du laminoir pendant une longue période, ce qui peut entraîner des dommages et des pertes à l'unité.

En combinant les efforts des responsables de l'unité et de l'équipe de travail, nous avons pu fournir des conditions de travail normales sans interruption de la production pendant trois jours (*le 02, 03 et 04 mars 2014*), période représentative pour éliminer les suspicions et réduire les incertitudes.

Ainsi, plusieurs mesures ont été prélevées pour chaque zone, et à différents moments de la journée de travail, avec le changement de l'endroit de mesurage (*poste de travail*) chaque prélèvement, afin de donner des résultats plus précis.

Le nombre de prélèvements a été déterminé en fonction du niveau de bruit de la zone, plus la zone est bruyante plus le nombre de prélèvements est élevé. Les mesures prélevées sont enregistrées dans les tableaux ci-dessous.

7.3.3.1. Les mesures du 02/03/2014 :

Grp : n°	Zone	N	n	$L_{p,A,eqT,n}$ et L_{cpKmax}							
1	Direction	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	64.0	65.3	65.2				
				L_{cpKmax}	87.2	86.9	89.3				
2	Four	15	6	$L_{p,A,eqT,n}$	88.4	88.1	87.2	88.7	84.9	101.2	
				L_{cpKmax}	104.5	106.3	107.1	109.3	105.1	115.5	
3	Laminage	Exploitation	29	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.5	91.7	92.1	96.4	98.0	93.9
					L_{cpKmax}	105.4	107.3	112.4	110.9	111.6	109.7
	Maintenance	25	6	$L_{p,A,eqT,n}$	88.7	89.8	91.3	88.7	87.6	87.4	
				L_{cpKmax}	103.1	105.3	106.4	104.6	102.8	102.8	
4	Préparation	13	6	$L_{p,A,eqT,n}$	88.0	87.6	85.7	85.4	79.6	84.7	
				L_{cpKmax}	107.7	103.7	107.5	104.4	98.3	107.1	
5	Expédition	30	6	$L_{p,A,eqT,n}$	90.1	89.8	96.3	93.3	86.8	87.3	
				L_{cpKmax}	106.3	111.7	123.4	119.2	109.5	108.3	
6	Fluide	11	6	$L_{p,A,eqT,n}$	77.9	68.2	91.8	88.3	88.1	86.6	
				L_{cpKmax}	105.6	102.2	105.8	103.9	106.7	104.3	
7	Intervention électrique	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	74.9	79.5	72.9				
				L_{cpKmax}	96.0	101.7	98.3				
8	Bureau Technique	12	3	$L_{p,A,eqT,n}$	73.8	63.7	68.1				
				L_{cpKmax}	102.9	91.1	100.0				

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 07 : Les prélèvements du 02/03/2014.

$L_{p,A,eqTe}$: Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A.

L_{cpKmax} : Niveau de pression acoustique de crête.

N : Nombre de personnels

n : Nombre d'échantillons

Traitement des mesures:

1/ Zone direction :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 64.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 65.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 65.2 \text{ dB})$$

$L_{p,A,eqT,1}$: Niveau de pression acoustique continu pondéré A du 1^{er} prélèvement.

$L_{p,A,eqT,2}$: Niveau de pression acoustique continu pondéré A du 2^{ème} prélèvement.

$L_{p,A,eqT,3}$: Niveau de pression acoustique continu pondéré A du 3^{ème} prélèvement.

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A : la moyenne énergétique des valeurs mesurées de $L_{p,A,eqTe}$ est calculée à l'aide de l'équation Suivante :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,n}} \right) \text{ dB}$$

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 64.0} + 10^{0,1 \times 65.3} + 10^{0,1 \times 65.2}) = 64.87 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A : pour une durée effective de la journée de travail $T_e = 7\text{h } 30 \text{ min}$ et un niveau de bruit moyen $L_{p,A,eqTe} = 64.87 \text{ dB}$, le niveau

d'exposition quotidienne au bruit pondéré A pour ce groupe d'exposition homogène au bruit est calculé de l'équation suivante :

$$L_{EX,8H} = L_{p,A,eqTe} + 10 \lg \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dB}$$

$$L_{EX,8H} = 64.87 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 64.58 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) : l'incertitude-type u_1 , est donnée par l'équation suivante :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT})^2 \right]}$$

Où :

N : est le nombre total d'échantillons de la fonction.

$L_{p,A,eqT,n}$: est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pour l'échantillon n de niveaux de bruit de la fonction;

$\bar{L}_{p,A,eqT}$: est la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A pour la fonction, c'est-à-dire :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{p,A,eqT,n}$$

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (64.0 + 65.3 + 65.2) = 64.83 \text{ dB}$$

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(64.0 - 64.8)^2 + (65.3 - 64.8)^2 + (65.2 - 64.8)^2]} = 0.717 \rightarrow u_1 = 0.84 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$: l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$ pour le niveau d'exposition au bruit pondérée A, est donnée par l'équation suivante :

$$u^2(L_{EX,8H}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

Où :

$c_1 u_1$: est la contribution à l'incertitude, de l'échantillonnage des niveaux de bruit par fonction est donnée dans la norme NF EN ISO 9612 (2009), en fonction du nombre N, d'échantillons de niveaux de bruit de la fonction et de l'incertitude-type u_1 , des valeurs mesurées $L_{p,A,eqT,n}$.

c_2 et $c_3 = 1$: sont les coefficients de sensibilité, associés respectivement à l'incertitude due aux instruments et à l'incertitude due à une sélection imparfaite de la position de mesure.

$u_2 = 0.7$: Incertitude-type, due à l'instrument de mesurage (sonomètre de classe 1).

$u_3 = 1$: Incertitude-type, due à la position de mesure est de 1,0 dB.

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 4.05 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.01 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$: l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$ pour le niveau d'exposition au bruit pondérée A, est calculée par l'équation suivante :

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times u \text{ dB}$$

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.01 = 3.31 \text{ dB}$$

2/ Zone four:

($L_{p,A,eqT,1} = 88.4 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,2} = 88.1 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,3} = 87.2 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,4} = 88.7 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,5} = 84.9 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,6} = 101.2 \text{ dB}$)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 88.4} + 10^{0,1 \times 88.1} + 10^{0,1 \times 87.2} + 10^{0,1 \times 88.7} + 10^{0,1 \times 84.9} + 10^{0,1 \times 101.2})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 94.28 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 94.28 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 93.99 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (88.4 + 88.1 + 87.2 + 88.7 + 84.9 + 101.2) = 89.7 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(88.4 - 89.7)^2 + (88.1 - 89.7)^2 + (87.2 - 89.7)^2 + (88.7 - 89.7)^2 + (84.9 - 89.7)^2 + (101.2 - 89.7)^2 \right]} = 5.77 \text{ dB}$$

$$u_1 = 2.40 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 5.1 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.25 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.25 = 3.71 \text{ dB}$$

3/ Zone laminage (Groupe exploitation) :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 89.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 91.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 92.1 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 96.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 98.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 93.9 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89.5} + 10^{0,1 \times 91.7} + 10^{0,1 \times 92.1} + 10^{0,1 \times 96.4} + 10^{0,1 \times 98.0} + 10^{0,1 \times 93.9})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 94.55 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 94.55 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 94.26 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.5 + 91.7 + 92.1 + 96.4 + 98.0 + 93.9) = 93.6 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(89.5 - 93.6)^2 + (91.7 - 93.6)^2 + (92.1 - 93.6)^2 + (96.4 - 93.6)^2 + (98.0 - 93.6)^2 + (93.9 - 93.6)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 3.16 \rightarrow u_1 = 1.77 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.4 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.4^2 + 0.7^2 + 1^2 = 3.45 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.85 = 3.05 \text{ dB}$$

4/ Zone laminage (Groupe maintenance) :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 88.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 89.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 91.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 88.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 87.6 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 87.4 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 88.7} + 10^{0,1 \times 89.8} + 10^{0,1 \times 91.3} + 10^{0,1 \times 88.7} + 10^{0,1 \times 87.6} + 10^{0,1 \times 87.4})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 89.13 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 89.13 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 88.84 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (88.7 + 89.8 + 91.3 + 88.7 + 87.6 + 87.4) = 88.9 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(88.7 - 88.9)^2 + (89.8 - 88.9)^2 + (91.3 - 88.9)^2 + (88.7 - 88.9)^2 + (87.6 - 88.9)^2 + (87.4 - 88.9)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 1.45 \rightarrow u_1 = 1.20 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.6 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 1.85 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.36 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.36 = 2.24 \text{ dB}$$

5/ Zone préparation :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 88.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 87.6 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 85.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 85.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 79.6 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 84.7 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 88.0} + 10^{0,1 \times 87.6} + 10^{0,1 \times 85.7} + 10^{0,1 \times 85.4} + 10^{0,1 \times 79.6} + 10^{0,1 \times 84.7})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 85.85 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A :

$$L_{EX,8H} = 85.85 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 85.56 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (88.0 + 87.6 + 85.7 + 85.4 + 79.6 + 84.7) = 85.1 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(88.0 - 85.1)^2 + (87.6 - 85.1)^2 + (85.7 - 85.1)^2 + (85.4 - 85.1)^2 + (79.6 - 85.1)^2 + (84.7 - 85.1)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 3.01 \rightarrow u_1 = 1.73 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.4 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.4^2 + 0.7^2 + 1^2 = 3.45 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.85 = 3.05 \text{ dB}$$

6/ Zone expédition :

($L_{p,A,eqT,1} = 90.1$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 89.8$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 96.3$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 93.3$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 86.8$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 87.3$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 90.1} + 10^{0,1 \times 89.8} + 10^{0,1 \times 96.3} + 10^{0,1 \times 93.3} + 10^{0,1 \times 86.8} + 10^{0,1 \times 87.3})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 91.94 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 91.94 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 91.65 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (90.1 + 89.8 + 96.3 + 93.3 + 86.8 + 87.3) = 90.6 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(90.1 - 90.6)^2 + (89.8 - 90.6)^2 + (96.3 - 90.6)^2 + (93.3 - 90.6)^2 + (86.8 - 90.6)^2 + (87.3 - 90.6)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 3.63 \rightarrow u_1 = 1.90 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.4 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.4^2 + 0.7^2 + 1^2 = 3.45 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.85 = 3.05 \text{ dB}$$

7/ Zone fluide :

($L_{p,A,eqT,1} = 77.9$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 68.2$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 91.8$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 88.3$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 88.1$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 86.6$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 77,9} + 10^{0,1 \times 68,2} + 10^{0,1 \times 91,8} + 10^{0,1 \times 88,3} + 10^{0,1 \times 88,1} + 10^{0,1 \times 86,6})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 87.48 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 87.48 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 87.19 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (77.9 + 68.2 + 91.8 + 88.3 + 88.1 + 86.6) = 83.4 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(77.9 - 83.4)^2 + (68.2 - 83.4)^2 + (91.8 - 83.4)^2 + (88.3 - 83.4)^2 + (88.1 - 83.4)^2 + (86.6 - 83.4)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 8.81 \rightarrow u_1 = 2.96 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 2.6 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 2.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 8.25 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.87 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.87 = 4.73 \text{ dB}$$

8/ Zone intervention électrique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 74.9 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 79.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 72.9 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 74,9} + 10^{0,1 \times 79,5} + 10^{0,1 \times 72,9}) = 76.67 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 76.67 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 76.38 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (74.9 + 79.5 + 72.9) = 75.76 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(74.9 - 75.7)^2 + (79.5 - 75.7)^2 + (72.9 - 75.7)^2]} = 3.38 \rightarrow u_1 = 1.83 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 3.1 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 3.1^2 + 0.7^2 + 1^2 = 11.1 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 3.33 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 3.33 = 5.49 \text{ dB}$$

9/ Zone bureau technique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 73.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 63.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 68.1 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 73,8} + 10^{0,1 \times 63,7} + 10^{0,1 \times 68,1}) = 70.38 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 70.38 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 70.09 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (73.8 + 63.7 + 68.1) = 68.53 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(73.8 - 68.5)^2 + (63.7 - 68.5)^2 + (68.1 - 68.5)^2]} = 5.06 \rightarrow u_1 = 2.25 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 5.2 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 5.2^2 + 0.7^2 + 1^2 = 28.53 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 5.34 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 5.34 = 8.81 \text{ dB}$$

7.3.3.2. Les mesures du 03/03/2014 :

Grp : n°	Zone	N	n	$L_{p,A,eqT,n}$ et L_{cpKmax}							
1	Direction	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	63.7	63.7	65.2				
				L_{cpKmax}	86.0	89.5	91.4				
2	Four	15	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.0	87.0	86.7	87.9	85.9	100.1	
				L_{cpKmax}	114.9	104.2	107.9	108.7	105.8	114.8	
3	Lamination	Exploitation	29	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.9	92.2	92.0	95.6	97.8	94.3
					L_{cpKmax}	107.0	118.5	106.8	110.4	111.7	111.0
	Maintenance	25	6	$L_{p,A,eqT,n}$	88.3	88.8	93.1	88.8	88.2	89.8	
				L_{cpKmax}	104.2	104.6	108.8	103.6	107.4	105.3	
4	Préparation	13	6	$L_{p,A,eqT,n}$	86.9	87.8	86.4	84.2	80.1	80.0	
				L_{cpKmax}	107.2	105.4	109.0	102.4	100.6	102.8	
5	Expédition	30	6	$L_{p,A,eqT,n}$	92.1	95.7	91.0	90.9	95.4	91.7	
				L_{cpKmax}	107.5	118.6	117.8	115.0	114.3	109.8	
6	Fluide	11	6	$L_{p,A,eqT,n}$	75.3	69.5	88.4	87.5	88.4	87.2	
				L_{cpKmax}	98.8	95.1	105.7	104.1	105.0	104.4	
7	Intervention électrique	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	72.8	76.3	75.7				
				L_{cpKmax}	94.8	98.3	98.0				
8	BTE	12	3	$L_{p,A,eqT,n}$	70.2	68.2	65.7				
				L_{cpKmax}	100.0	98.6	87.3				

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 08 : Les prélèvements du 03/03/2014.

Traitement des mesures:

1/ Zone direction :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 63.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 63.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 65.2 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 63.7} + 10^{0,1 \times 63.7} + 10^{0,1 \times 65.2}) = 64.25 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 64.25 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 63.96 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (63.7 + 63.7 + 65.2) = 64.2 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(63.7 - 64.2)^2 + (63.7 - 64.2)^2 + (65.2 - 64.2)^2]} = 0.866 \rightarrow u_1 = 0.93 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.6$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 4.05 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.01 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.01 = 3.31 \text{ dB}$$

2/ Zone four:

($L_{p,A,eqT,1} = 89.0 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,2} = 87.0 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,3} = 86.7 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,4} = 87.9 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,5} = 85.9 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,6} = 100.1 \text{ dB}$)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89,0} + 10^{0,1 \times 87,0} + 10^{0,1 \times 86,7} + 10^{0,1 \times 87,9} + 10^{0,1 \times 85,9} + 10^{0,1 \times 100,1})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 93.35 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 93.35 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 93.06 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.0 + 87.0 + 86.7 + 87.9 + 85.9 + 100.1) = 89.4 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} [(89.0 - 89.4)^2 + (87.0 - 89.4)^2 + (86.7 - 89.4)^2 + (87.9 - 89.4)^2 + (85.9 - 89.4)^2 + (100.1 - 89.4)^2]}$$

$$u_1^2 = 5.29 \rightarrow u_1 = 2.30 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 5.1 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.25 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.25 = 3.71 \text{ dB}$$

3/ Zone laminage (Groupe exploitation) :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 89.9 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 92.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 92.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 95.6 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 97.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 94.3 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89.9} + 10^{0,1 \times 92.2} + 10^{0,1 \times 92.0} + 10^{0,1 \times 95.6} + 10^{0,1 \times 97.8} + 10^{0,1 \times 94.3})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 94.36 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 94.36 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 94.07 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.9 + 92.2 + 92.0 + 95.6 + 97.8 + 94.3) = 93.6 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(89.9 - 93.6)^2 + (92.2 - 93.6)^2 + (92.0 - 93.6)^2 + (95.6 - 93.6)^2 + (97.8 - 93.6)^2 + (94.3 - 93.6)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 2.84 \rightarrow u_1 = 1.68 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 2.3 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.5 = 2.47 \text{ dB}$$

4/ Zone laminage (Groupe maintenance) :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 88.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 88.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 93.1 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 88.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 88.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 89.8 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 88.3} + 10^{0,1 \times 88.8} + 10^{0,1 \times 93.1} + 10^{0,1 \times 88.8} + 10^{0,1 \times 88.2} + 10^{0,1 \times 89.8})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 89.89 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 89.89 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 89.60 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (88.3 + 88.8 + 93.1 + 88.8 + 88.2 + 89.8) = 89.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(88.3 - 89.5)^2 + (88.8 - 89.5)^2 + (93.1 - 89.5)^2 + (88.8 - 89.5)^2 + (88.2 - 89.5)^2 + (89.8 - 89.5)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 1.85 \rightarrow u_1 = 1.36 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 2.3 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.51 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.5 = 2.47 \text{ dB}$$

5/ Zone préparation :

($L_{p,A,eqT,1} = 86.9$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 87.8$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 86.4$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 84.2$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 80.1$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 80.0$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 86.9} + 10^{0,1 \times 87.8} + 10^{0,1 \times 86.4} + 10^{0,1 \times 84.2} + 10^{0,1 \times 80.1} + 10^{0,1 \times 80.0})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 85.21 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 85.21 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 84.92 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (86.9 + 87.8 + 86.4 + 84.2 + 80.1 + 80.0) = 84.2 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(86.9 - 84.2)^2 + (87.8 - 84.2)^2 + (86.4 - 84.2)^2 + (84.2 - 84.2)^2 + (80.1 - 84.2)^2 + (80.0 - 84.2)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 3.45 \rightarrow u_1 = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.4 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.4^2 + 0.7^2 + 1^2 = 3.45 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.85 = 3.05 \text{ dB}$$

6/ Zone expédition :

($L_{p,A,eqT,1} = 92.1$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 95.7$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 91.0$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 90.9$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 95.4$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 91.7$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 92,1} + 10^{0,1 \times 95,7} + 10^{0,1 \times 91,0} + 10^{0,1 \times 90,9} + 10^{0,1 \times 95,4} + 10^{0,1 \times 91,7})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 93.28 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 93.28 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 92.99 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (92.1 + 95.7 + 91.0 + 90.9 + 95.4 + 91.7) = 92.8 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(92.1 - 92.8)^2 + (95.7 - 92.8)^2 + (91.0 - 92.8)^2 + (90.9 - 92.8)^2 + (95.4 - 92.8)^2 + (91.7 - 92.8)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 2.17 \rightarrow u_1 = 1.47 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 2.3 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.5 = 2.47 \text{ dB}$$

7/ Zone fluide :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 75.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 69.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 88.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 87.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 88.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 87.2 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 75,3} + 10^{0,1 \times 69,5} + 10^{0,1 \times 88,4} + 10^{0,1 \times 87,5} + 10^{0,1 \times 88,4} + 10^{0,1 \times 87,2})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 86.22 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 86.22 + 10 \lg \left(\frac{7.5}{8} \right) = 85.93 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (75.3 + 69.5 + 88.4 + 87.5 + 88.4 + 87.2) = 82.7 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(75.3 - 82.7)^2 + (69.5 - 82.7)^2 + (88.4 - 82.7)^2 + (87.5 - 82.7)^2 + (88.4 - 82.7)^2 + (87.2 - 82.7)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 8.21 \rightarrow u_1 = 2.86 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 2.6 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 2.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 8.25 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.87 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.87 = 4.73 \text{ dB}$$

8/ Zone intervention électrique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 72.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 76.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 75.7 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0.1 \times 72.8} + 10^{0.1 \times 76.3} + 10^{0.1 \times 75.7}) = 75.1 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 75.1 + 10 \lg \left(\frac{7.5}{8} \right) = 74.81 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (72.8 + 76.3 + 75.7) = 74.9 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(72.8 - 74.9)^2 + (76.3 - 74.9)^2 + (75.7 - 74.9)^2]} = 1.87 \rightarrow u_1 = 1.36 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 3.1 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 3.1^2 + 0.7^2 + 1^2 = 8.25 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 3.33 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 3.33 = 5.49 \text{ dB}$$

9/ Zone bureau technique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 70.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 68.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 65.7 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 70.2} + 10^{0,1 \times 68.2} + 10^{0,1 \times 65.7}) = 68.4 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 68.4 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 68.11 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (70.2 + 68.2 + 65.7) = 68.03 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(70.2 - 68)^2 + (68.2 - 68)^2 + (65.7 - 68)^2]} = 2.26 \rightarrow u_1 = 1.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 3.1 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 3.1^2 + 0.7^2 + 1^2 = 8.25 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 3.33 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 3.33 = 5.49 \text{ dB}$$

7.3.3.3. Les mesures du 04/03/2014 :

Grp : n°	Zone	N	n	$L_{p,A,eqT,n}$ et L_{cpKmax}							
				$L_{p,A,eqT,n}$	L_{cpKmax}	$L_{p,A,eqT,n}$	L_{cpKmax}	$L_{p,A,eqT,n}$	L_{cpKmax}		
1	Direction	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	63.2	65.2	64.7				
				L_{cpKmax}	89.0	89.3	89.1				
2	Four	15	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.4	87.6	89.2	87.8	84.5	100.8	
				L_{cpKmax}	112.4	107.1	111.2	108.9	105.8	115.9	
3	Laminage	Exploitation	29	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.0	91.9	92.0	96.0	97.7	95.6
					L_{cpKmax}	105.8	107.1	108.0	109.9	111.9	112.8
	Maintenance	25	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.6	91.4	90.5	87.9	88.6	88.8	
				L_{cpKmax}	104.8	105.8	105.9	105.6	107.6	104.6	
4	Préparation	13	6	$L_{p,A,eqT,n}$	87.2	88.3	86.2	82.0	87.3	82.1	
				L_{cpKmax}	105.4	104.9	106.5	103.2	100.9	108.0	
5	Expédition	30	6	$L_{p,A,eqT,n}$	89.8	90.3	97.2	92.4	94.5	91.9	
				L_{cpKmax}	106.2	106.7	123.0	114.6	113.7	110.7	
6	Fluide	11	6	$L_{p,A,eqT,n}$	76.1	65.5	87.3	86.5	88.1	86.4	
				L_{cpKmax}	97.8	93.3	105.2	103.9	106.5	103.9	
7	Intervention électrique	8	3	$L_{p,A,eqT,n}$	72.9	67.2	70.5				
				L_{cpKmax}	98.3	91.7	96.2				
8	BTE	12	3	$L_{p,A,eqT,n}$	65.0	59.4	62.3				
				L_{cpKmax}	92.3	88.0	90.8				

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 09 : Les prélèvements du 04/03/2014.

Traitement des mesures:

1/ Zone direction :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 63.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 65.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 64.7 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 63.2} + 10^{0,1 \times 65.2} + 10^{0,1 \times 64.7}) = 64.44 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 64.44 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 64.15 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (63.2 + 65.2 + 64.7) = 64.36 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(63.2 - 64.3)^2 + (65.2 - 64.3)^2 + (64.7 - 64.3)^2]} = 1.04 \rightarrow u_1 = 1.02 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.6$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 4.05 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.01 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.01 = 3.31 \text{ dB}$$

2/ Zone four:

($L_{p,A,eqT,1} = 89.4 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,2} = 87.6 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,3} = 89.2 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,4} = 87.8 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,5} = 84.5 \text{ dB}$, $L_{p,A,eqT,6} = 100.8 \text{ dB}$)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89,4} + 10^{0,1 \times 87,6} + 10^{0,1 \times 89,2} + 10^{0,1 \times 87,8} + 10^{0,1 \times 84,5} + 10^{0,1 \times 100,8})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 94.01 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 94.01 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 93.72 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.4 + 87.6 + 89.2 + 87.8 + 84.5 + 100.8) = 89.88 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} [(89.4 - 89.8)^2 + (87.6 - 89.8)^2 + (89.2 - 89.8)^2 + (87.8 - 89.8)^2 + (84.5 - 89.8)^2 + (100.8 - 89.8)^2]}$$

$$u_1^2 = 5.62 \rightarrow u_1 = 2.37 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 5.1 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 2.25 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.25 = 3.71 \text{ dB}$$

3/ Zone laminage (Groupe exploitation) :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 89.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 91.9 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 92.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 96.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 97.7 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 95.6 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89.0} + 10^{0,1 \times 91.9} + 10^{0,1 \times 92.0} + 10^{0,1 \times 96.0} + 10^{0,1 \times 97.7} + 10^{0,1 \times 95.6})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 94.63 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A :

$$L_{EX,8H} = 94.63 + 10 \lg \left(\frac{7.5}{8} \right) = 94.34 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.0 + 91.9 + 92.0 + 96.0 + 97.7 + 95.6) = 93.7 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(89.0 - 93.7)^2 + (91.9 - 93.7)^2 + (92.0 - 93.7)^2 + (96.0 - 93.7)^2 + (97.7 - 93.7)^2 + (95.6 - 93.7)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 3.23 \rightarrow u_1 = 1.80 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 1.4 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 1.4^2 + 0.7^2 + 1^2 = 3.45 \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.85 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.85 = 3.05 \text{ dB}$$

4/ Zone laminage (Groupe maintenance) :

($L_{p,A,eqT,1} = 89.6$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 91.4$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 90.5$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 87.9$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 88.6$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 88.8$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89.6} + 10^{0,1 \times 91.4} + 10^{0,1 \times 90.5} + 10^{0,1 \times 87.9} + 10^{0,1 \times 88.6} + 10^{0,1 \times 88.8})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 89.63 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 89.63 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 89.34 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.6 + 91.4 + 90.5 + 87.9 + 88.6 + 88.8) = 89.46 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(89.6 - 89.4)^2 + (91.4 - 89.4)^2 + (90.5 - 89.4)^2 + (87.9 - 89.4)^2 + (88.6 - 89.4)^2 + (88.8 - 89.4)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 1.30 \rightarrow u_1 = 1.14 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.6 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 1.85 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.36 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.36 = 2.24 \text{ dB}$$

5/ Zone préparation :

($L_{p,A,eqT,1} = 87.2$ dB, $L_{p,A,eqT,2} = 88.3$ dB, $L_{p,A,eqT,3} = 86.2$ dB, $L_{p,A,eqT,4} = 82.0$ dB, $L_{p,A,eqT,5} = 87.3$ dB, $L_{p,A,eqT,6} = 82.1$ dB)

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 87,2} + 10^{0,1 \times 88,3} + 10^{0,1 \times 86,2} + 10^{0,1 \times 82,0} + 10^{0,1 \times 87,3} + 10^{0,1 \times 82,1})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 86.15 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 86.15 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8}\right) = 85.86 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (87.2 + 88.3 + 86.2 + 82.0 + 87.3 + 82.1) = 85.51 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(87.2 - 85.5)^2 + (88.3 - 85.5)^2 + (86.2 - 85.5)^2 + (82.0 - 85.5)^2 + (87.3 - 85.5)^2 + (82.1 - 85.5)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 2.76 \rightarrow u_1 = 1.66 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 2.3 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.5 = 2.50 \text{ dB}$$

6/ Zone expédition :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 89.8 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 90.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 97.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 92.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 94.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 91.9 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 89,8} + 10^{0,1 \times 90,3} + 10^{0,1 \times 97,2} + 10^{0,1 \times 92,4} + 10^{0,1 \times 94,5} + 10^{0,1 \times 91,9})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 93.48 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 93.48 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 93.19 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (89.8 + 90.3 + 97.2 + 92.4 + 94.5 + 91.9) = 92.68 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(89.8 - 92.6)^2 + (90.3 - 92.6)^2 + (97.2 - 92.6)^2 + (92.4 - 92.6)^2 + (94.5 - 92.6)^2 + (91.9 - 92.6)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 2.77 \rightarrow u_1 = 1.66 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 0.9 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 0.9^2 + 0.7^2 + 1^2 = 2.3 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 1.5 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 1.5 = 2.50 \text{ dB}$$

7/ Zone fluide :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 76.1 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 65.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 87.3 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,4} = 86.5 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,5} = 88.1 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,6} = 86.4 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{6} (10^{0,1 \times 76.1} + 10^{0,1 \times 65.5} + 10^{0,1 \times 87.3} + 10^{0,1 \times 86.5} + 10^{0,1 \times 88.1} + 10^{0,1 \times 86.4})$$

$$L_{p,A,eqTe} = 85.46 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 85.46 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 85.11 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{6} (76.1 + 65.5 + 87.3 + 86.5 + 88.1 + 86.4) = 81.65 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{5} \left[(76.1 - 81.6)^2 + (65.5 - 81.6)^2 + (87.3 - 81.6)^2 + (86.5 - 81.6)^2 + (88.1 - 81.6)^2 + (86.4 - 81.6)^2 \right]}$$

$$u_1^2 = 9.06 \rightarrow u_1 = 3.01 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 2.6 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 2.6^2 + 0.7^2 + 1^2 = 8.25 \text{ dB}$$

$$u(L_{EX,8H}) = 2.87 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 2.87 = 4.73 \text{ dB}$$

8/ Zone intervention électrique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 72.9 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 76.2 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 70.5 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 72,9} + 10^{0,1 \times 76,2} + 10^{0,1 \times 70,5}) = 70.78 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 70.78 + 10 \lg \left(\frac{7,5}{8} \right) = 70.49 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (72.9 + 76.2 + 70.5) = 70.2 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(72.9 - 70.2)^2 + (76.2 - 70.2)^2 + (70.5 - 70.2)^2]} = 2.86 \rightarrow u_1 = 1.69 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 3.1 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 3.1^2 + 0.7^2 + 1^2 = 11.1 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 3.33 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 3.33 = 5.49 \text{ dB}$$

9/ Zone bureau technique :

$$(L_{p,A,eqT,1} = 65.0 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,2} = 59.4 \text{ dB}, L_{p,A,eqT,3} = 62.3 \text{ dB})$$

Calcul du niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A :

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{3} (10^{0,1 \times 65,0} + 10^{0,1 \times 59,4} + 10^{0,1 \times 62,3}) = 62.81 \text{ dB}$$

Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A:

$$L_{EX,8H} = 62.81 + 10 \lg \left(\frac{7.5}{8} \right) = 62.52 \text{ dB}$$

Calcul de la moyenne arithmétique de N échantillons de niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A :

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{3} (65.0 + 59.4 + 62.3) = 62.23 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type (u_1) :

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{2} [(65.0 - 62.2)^2 + (59.4 - 62.2)^2 + (62.3 - 62.2)^2]} = 2.80 \rightarrow u_1 = 1.67 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude-type composée $u(L_{EX,8H})$:

$$c_1 u_1 = 3.1 \text{ dB}$$

$$u^2(L_{EX,8H}) = 3.1^2 + 0.7^2 + 1^2 = 11.1 \text{ dB} \rightarrow u(L_{EX,8H}) = 3.33 \text{ dB}$$

Calcul de l'incertitude élargie $U(L_{EX,8H})$:

$$U(L_{EX,8H}) = 1.65 \times 3.33 = 5.49 \text{ dB}$$

7.4. Présentation des résultats :

7.4.1. Les résultats du 02/03/2014 :

Grp	Zone	N	L_{PAeqTe} dB	L_{cpKmax} dB	$L_{EX,8H}$ dB	$U_{(L_{EX,8H})}$ dB	DER (h, mn)	ADE (h, mn)	
1	Direction	8	64.87	89.3	64.58	3.31	7h : 30mn	8h	
2	Four	15	94.28	115.5	93.99	3.71	7h : 30mn	1h	
3	Laminage	Grp Exploitation	29	94.55	112.4	94.26	3.05	7h : 30mn	1h
		Grp Maintenance	25	89.13	106.4	88.84	2.24	7h : 30mn	4h
4	Préparation	13	85.85	107.7	85.56	3.05	7h : 30mn	8h	
5	Expédition	30	91.94	123.4	91.65	3.05	7h : 30mn	2h	
6	Fluide	11	87.48	106.7	87.19	4.73	7h : 30mn	4h	
7	Intervention électrique	8	76.67	101.7	76.38	5.49	7h : 30mn	8h	
8	BTE	12	70.38	102.9	70.09	8.81	7h : 30mn	8h	

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 10 : Les résultats du 02/03/2014.

N: Nombre de personnels

$L_{P,A,eqTe}$: Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A.

L_{cpKmax} : Niveau de pression acoustique de crête.

$L_{EX,8H}$: Niveau d'exposition quotidienne au bruit pondéré A

DER: Durée d'exposition au risque

ADE^{13} : Durée journalière d'exposition au risque autorisée

$U_{(L_{EX,8H})}$: L'incertitude élargie.

7.4.2. Les résultats du 03/03/2014 :

Grp	Zone	N	L_{PAeqTe} dB	L_{cpKmax} dB	$L_{EX,8H}$ dB	$U_{(L_{EX,8H})}$ dB	DER (h, mn)	ADE (h, mn)	
1	Direction	8	64.25	91.4	63.96	3.31	7h : 30mn	8h	
2	Four	15	93.35	114.9	93.06	3.71	7h : 30mn	1h	
3	Laminage	Grp Exploitation	29	94.36	118.5	94.07	2.47	7h : 30mn	1h
		Grp Maintenance	25	89.89	108.8	89.60	2.47	7h : 30mn	4h
4	Préparation	13	85.21	109.0	84.92	3.05	7h : 30mn	8h	
5	Expédition	30	93.28	118.6	92.99	2.47	7h : 30mn	1h	
6	Fluide	11	86.22	105.7	85.93	4.73	7h : 30mn	8h	
7	Intervention électrique	8	75.1	98.3	74.81	5.49	7h : 30mn	8h	
8	BTE	12	68.4	100.0	68.11	5.49	7h : 30mn	8h	

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 11 : Les résultats du 03/03/2014.

¹³ La durée journalière d'exposition a été comptée conformément à la norme NF S 31-084 (AFNOR, 1987).

7.4.3. Les résultats du 04/03/2014 :

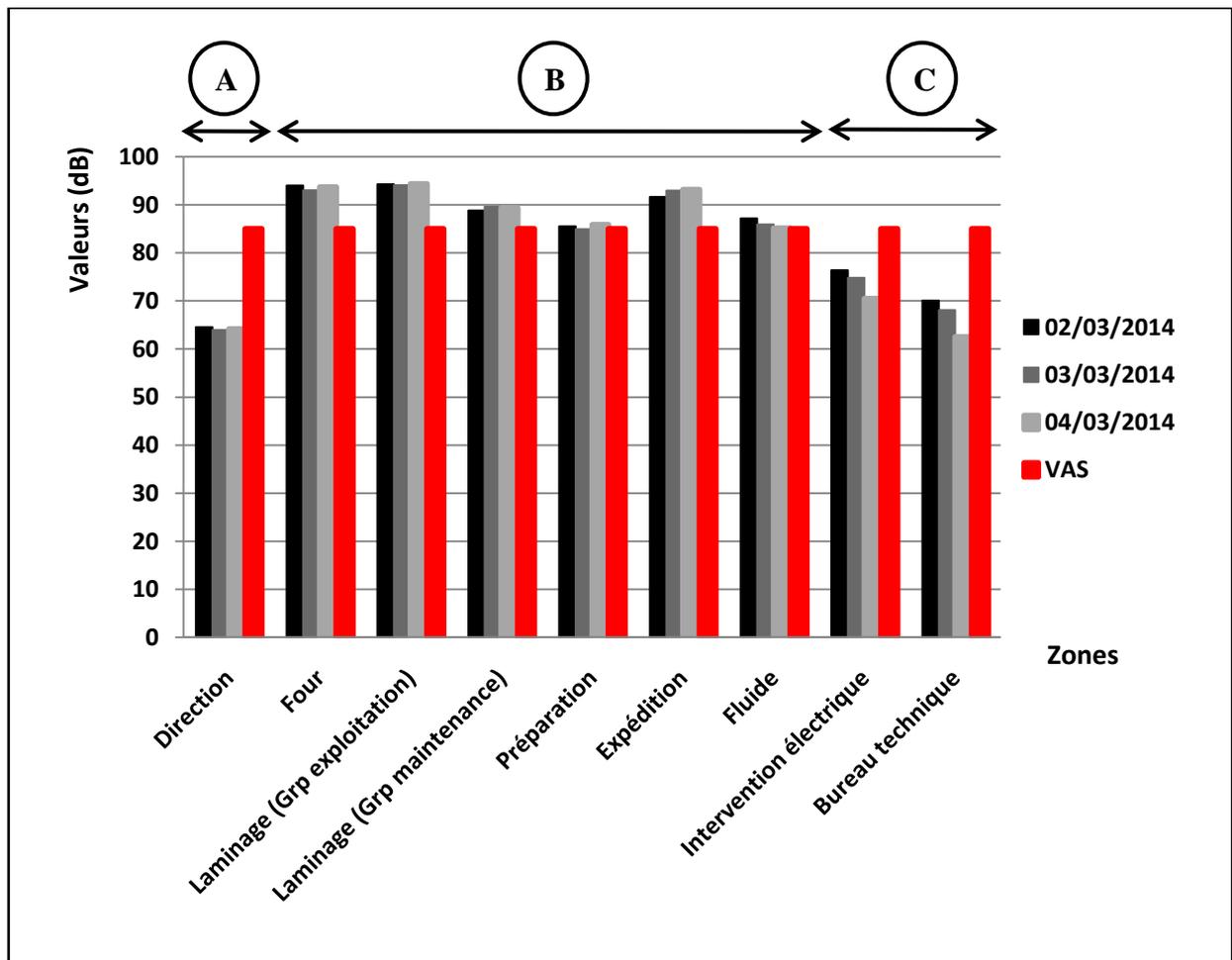
Grp	Zone	N	L_{PAeqTe} dB	L_{cpKmax} dB	$L_{EX,8H}$ dB	$U_{(L_{EX,8H})}$ dB	DER (h, mn)	ADE (h, mn)	
1	Direction	8	64.44	89.3	64.15	3.31	7h : 30mn	8h	
2	Four	15	94.01	115.9	93.72	3.71	7h : 30mn	1h	
3	Laminage	<i>Grp Exploitation</i>	29	94.63	112.8	94.34	3.05	7h : 30mn	1h
		<i>Grp Maintenance</i>	25	89.63	107.6	89.34	2.24	7h : 30mn	4h
4	Préparation	13	86.15	108.0	85.86	2.50	7h : 30mn	8h	
5	Expédition	30	93.48	123.0	93.19	2.50	7h : 30mn	1h	
6	Fluide	11	85.46	106.5	85.11	4.73	7h : 30mn	8h	
7	Intervention électrique	8	70.78	98.3	70.49	5.49	7h : 30mn	8h	
8	BTE	12	62.81	92.3	62.52	5.49	7h : 30mn	8h	

(Wahiba Meddeb, 2016)

Tab. 12 : Les résultats du 04/03/2014.

7.5. Analyse et interprétation des résultats :

Après l'application de la stratégie de mesurage basée sur la fonction pour déterminer les niveaux d'exposition au bruit (AFNOR, 2009), les principaux résultats finaux obtenus sont ; le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8H}$ pour chaque poste de travail et l'incertitude élargie U (Pedro M. Arezes, 2012). Les niveaux d'exposition au bruit quotidien sont présentés dans le graphique suivant :



(Wahiba Meddeb, 2016)

Fig. 85 : Représentation graphique de l'exposition des travailleurs au bruit (unité LRB).

Zone A: niveau d'exposition quotidienne au bruit < 85 dB

Zone B: niveau d'exposition quotidienne au bruit > 85 dB

Zone C: niveau d'exposition quotidienne au bruit < 85 dB

Il est évident que tous les ouvriers de LRB ne subissent pas la même intensité de bruit, la figure n°85 reproduisant les postes de travail exposés au bruit montre, trois zones d'expositions homogènes nécessitant des mesures de protection appropriées (Directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil, 2003) - (Canetto P. , 2006) - (P. Rucay, 2010). La première zone (A), avec un niveau quotidien d'exposition au bruit inférieur à 85 dB ¹⁴, elle regroupe la direction ; six bureaux rassemblés dans un petit bâtiment de deux étages (R+1), en charpente métallique avec des murs en brique, ce dernier est considéré comme un bon isolant phonique (Direction générale Humanisation du travail, 2005), ainsi l'emplacement du bâtiment auprès de la porte principale du laminoir (10 mètres environ) joue un rôle important dans la dissipation des ondes sonores en dehors du laminoir, ce qui explique également les faibles niveaux sonores dans cette zone.

¹⁴ 85 dB : Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action VAS (Directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil, 2003).

La seconde zone (B) avec des niveaux quotidiens d'exposition au bruit dépassent les 85 dB, c'est la zone la plus sensible dans le laminoir du rond à béton car elle contient plus que 80% des travailleurs du LRB, et elle concentre un ensemble d'équipements fonctionnant en même temps sans interruption sauf en cas d'interventions (maintenance), particulièrement le four, le train de laminage, le thermex et le lit de refroidissement :

La zone four comprend le four et sa table de chargement. Les principales sources de bruit dans cette zone proviennent : du déplacement des biellettes sur la table de chargement (contact entre des pièces solides), des moteurs électriques qui alimentent la voie à rouleau qui facilite l'entrée des biellettes dans le four, des moteurs électriques qui alimentent le four, du bruit généré par les ventilateurs qui aspirent les gaz du four et les transfèrent vers l'installation de récupération des gaz, et enfin du contact entre les courants d'air chaud (1000 C° à-peu-près) avec l'air ambiant crée des turbulences génèrent des niveaux de bruit élevés (Canetto P. , 2006) particulièrement lors de l'ouverture de la porte du four pendant l'entrée de la biellette au four. Mais ce qui rend la situation un peut supportable, c'est que la majorité des travailleurs se rassemblent dans une cabine isolée située à coté du four, en plus comme il est un four automatisé, il ne nécessite pas beaucoup de main d'œuvre sauf dans les cas nécessitant une intervention manuelle.

La zone train de laminage, comprend le train de laminage et le thermex, c'est la zone la plus bruyante dans le laminoir de rond à béton, où on a enregistré des niveaux de bruit dépassant les 94 dB. En ce qui concerne le train de laminage son bruit est souvent généré par l'interaction entre les barres de fer enflammées et les cages du train (pièces solides) (Driscoll, 1997) - (Canetto P. , 2006). Dans le thermex les niveaux sonores élevés sont causées par des claquements (crépitations) provoqués par le contact entre les barres de fer enflammées avec l'eau froide. Ainsi, que par le contact entre l'écoulement d'eau à haute vitesse avec les parois des conduites métalliques (Canetto P. , 2006).

La zone préparation, c'est l'atelier de réparation de tout matériel lié à la production du rond à béton, le bruit ici est de moindre intensité (ne dépasse pas 85 dB). Il provient de l'usage d'outils électriques (perceuses meuleuses etc.) et autres outils manuels comme un marteau ou effort appliqué sur des objets métalliques par exemple.

La zone d'expédition où le rond à béton est coupé, refroidie et ligaturé en bottes afin de le préparer à l'expédition vers le client. Les niveaux sonores élevés dans cette partie du laminoir sont dû principalement aux bruits produits par les cisailles et aussi par le déplacement des barres de fer dans le lit de refroidissement, dans les deux cas la source de bruit reste toujours une source solidienne, c'est à dire des bruits générés par un contact entre des pièces solides : barre de rond à béton / cisaille – Barre de rond à béton / lit de refroidissement (Canetto P. , 2006).

La zone fluide, est une station située en dehors des limites du laminoir, son rôle est de refroidir les eaux produites du processus de fabrication du rond à béton et les repompé afin d'alimenter les différentes installations du laminoir. La salle des pompes est considérée comme l'endroit le plus bruyant et le plus sensible, elle contient une petite chambre qui constitue un point de rassemblement pour les 11 travailleurs de la zone fluide, c'est la zone où les mesures ont été prises. La salle des pompes contient quatre pompes géantes alimentées par des gros moteurs électriques produisant un bruit intolérable, mais ce qui atténue un peu les niveaux sonores élevés est l'existence d'un mur isolant entre la salle des pompes et le point de rassemblement des travailleurs de la zone. Le contact entre l'écoulement des eaux à haute vitesse avec un élément solide génère des turbulences (Canetto P. , 2006) ce qui constitue également une source importante de bruit.

La troisième zone (C), où le niveau d'exposition quotidien au bruit est inférieur à 85 dB, composée des bureaux techniques et de la salle électrique, la salle d'intervention électrique, située au sous-sol du laminoir, elle est complètement isolée des équipements bruyants, principalement le train de laminage. Et les bureaux techniques, un bâtiment situé à l'extérieur du laminoir, ce qui en fait une zone très calme.

Apporter les mesures correctives pour diminuer l'impact du bruit est devenu dans le monde industriel une nécessité sociale impérieuse. La littérature traitant des impacts sur la santé des travailleurs est très proluxe, elle fait état de nombreux impacts à fort pouvoir handicapant (Wahiba Meddeb, 2016). Plusieurs études ont suggéré que l'exposition prolongée au bruit en milieu de travail a des effets importants sur la santé des personnes exposées, qui sont de deux ordres ; les effets auditifs et les effets extra auditifs (D. Banerjee, 2008) - (P. Rucay, 2010) - (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2013). Aussi, l'impact direct sur l'audition vient en première position (Osguthorpe JD, 1991) - (Hasan S, 1994) - (Onur Çelik Ş. Y., 1998) - (D. Banerjee, 2008) - (P. Rucay, 2010), il peut commencer par une fatigue auditive temporaire lorsque le travailleur présente une baisse auditive correspondant à un déplacement temporaire des seuils d'audition, au cours d'une journée bruyante, dans ce cas le travailleur récupère une grande partie du déficit transitoire entre la fin d'un poste de travail et le début du suivant (Suter, 1997), et se terminer par des pertes auditives partielles ou totales après une accumulation de fatigue auditive pendant des jours, des mois et des années d'exposition, ces pertes auditives sont irréversibles et peuvent compromettre l'avenir professionnel ou social de l'individu (Organisation mondiale de la Santé, 1980) - (Osguthorpe JD, 1991) - (Onur Çelik Ş. Y., 1998) - (Conseil général de la Loire, 2012) - (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit, 2013). Ici, la nocivité du bruit est liée à un certain nombre de paramètres tels que ; la qualité, la pureté, l'intensité, l'émergence et le rythme, la vulnérabilité individuelle, la périodicité et le plus

important c'est la durée d'exposition au bruit (Osguthorpe JD, 1991) - (Hasan S, 1994) - (Suter, 1997) - (Onur Çelik Ş. Y., 1998) - (Bruno Vincent, 2011) - (Conseil général de la Loire, 2012).

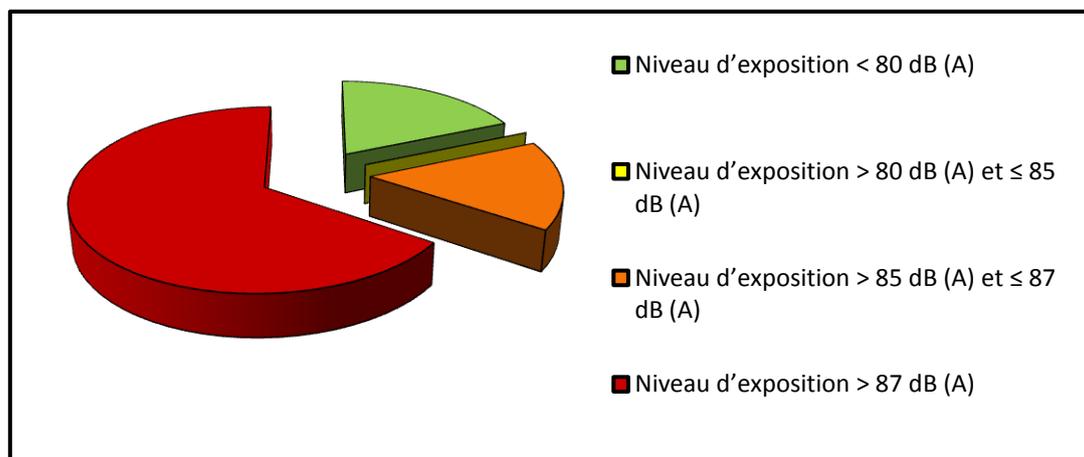
Et puis, en deuxième position on trouve les effets extra auditifs, les effets du bruit agissent également sur le système nerveux (Ta-Yuan Chang, 2012), du fait de l'étroite interconnexion des voies nerveuses, les messages nerveux d'origine acoustique atteignent de façon secondaire d'autres centres nerveux et provoquent des réactions plus ou moins spécifiques et plus ou moins marquées au niveau de fonctions biologiques ou de systèmes physiologiques (Aslak Fyhri, 2010) - (Conseil général de la Loire, 2012). Un bruit peut accélérer la fréquence cardiaque (Conseil général de la Loire, 2012) - (Zara Ann Stockholm, 2014) et respiratoire, augmenter la pression artérielle (Aslak Fyhri, 2010) - (Conseil général de la Loire, 2012) - (N. Hammoudi, 2013), diminuer le transit intestinal, modifier la composition des sucs gastriques pouvant favoriser l'installation d'un ulcère (Conseil général de la Loire, 2012), agir sur le système endocrinien (Ta-Yuan Chang, 2012) et le système immunitaires (Conseil général de la Loire, 2012) - (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2013), et altérer profondément la qualité du sommeil (Aslak Fyhri, 2010) - (M.-P. Jiménez-Tejada, 2012). Ainsi, les travaux portant sur le lien entre exposition au bruit et santé mentale ont montré que le bruit constituait un véritable facteur de stress environnemental (Gaudemaris R, 1998) - (Taleb A, 2003) - (Aslak Fyhri, 2010).

En outre, de nombreuses études ont montré que les effets extra-auditives du bruit ne se limitaient pas aux effets physiologiques, d'autres effets psychosociologiques ont été documentés dans la littérature scientifique, qui se traduisent par la gêne qui constitue l'un des effets du bruit les plus étudiés, l'agressivité et troubles du comportement et en fin la détérioration des performances professionnelles et l'interférence avec la communication (Suter AH, 1992) - (Suter, 1997) - (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2013).

Tenant compte des fonctions multiples et variées du personnel, il a été constaté lors de l'analyse effectuée au niveau du LRB que 18,54% des travailleurs de l'atelier sont soumis à des niveaux d'exposition quotidienne inférieurs à 80 dB (valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action) (Directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil, 2003), dans cette situation il est nécessaire de mentionner sur la machine son niveau sonore, au poste de travail, lorsqu'il dépasse 70 dB(A). Dans le cas où le niveau d'exposition au bruit dépasse 80 (dB), l'employeur doit mettre à disposition des travailleurs des protections individuelles contre le bruit (casque antibruit, bouchons d'oreille), les informer et les former à la problématique du bruit (risques liés au bruit, les mesures et les moyens de prévention collective et individuelle, l'usage des protections individuelles contre le bruit) (INRS, 2009) - (P. Rucay, 2010) et proposer des examens audiométriques préventifs.

Alors que 15,90% des ouvriers du LRB subissent des niveaux d'exposition entre la valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action 85 dB et la valeur limite d'exposition 87 dB (Directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil, 2003), dans ce cas l'employeur doit mettre en œuvre un programme de mesures techniques de réduction d'exposition au bruit, impose le port de protections individuelles, met en place une signalisation sur les lieux de travail bruyants et limitation d'accès et s'assure d'une surveillance médicale renforcée de ses employés (INRS, 2009).

La valeur limite d'exposition 87 dB, ne peut être dépassée en aucun cas. Mais, il est bien mentionné dans la figure n°86, que 65,56% des travailleurs de l'atelier LRB sont soumis à des niveaux d'exposition supérieurs à 87 dB. Dans ce cas l'employeur doit mettre en œuvre des mesures de réduction d'exposition sonore immédiate, et assurer de les appliquer vigoureusement (INRS, 2009) .



(Wahiba Meddeb, 2016)

Fig. 86 : Représentation graphique des pourcentages des niveaux d'exposition au bruit de l'atelier LRB.

En ce qui concerne les mesures techniques de réduction d'exposition au bruit, on doit comprendre en premier lieu, que le mauvais état d'une installation industrielle est souvent générateur de vibrations et par voie de conséquence de bruit (présence de jeux, problème de lubrification, dispositifs silencieux défectueux...etc). Une inspection de la machine bruyante est donc une action utile avant toute analyse et une bonne maintenance est un auxiliaire à ne pas négliger dans la lutte contre le bruit (Canetto P. , 2006).

Théoriquement, le moyen le plus efficace pour maîtriser le bruit consiste tout d'abord à éviter l'entrée de la source de bruit dans l'usine, par la mise en place d'un véritable programme «Achetez silencieux» visant à doter le lieu de travail de matériels conçus pour émettre peu de bruit (Driscoll, 1997) - (Canetto P. , 2006) - (Officiel Prévention, 2010). Il y a lieu aussi d'exiger au fournisseurs de machines et d'installations des valeurs d'émission basses, garanties dans le contrat

de vente (Officiel Prévention, 2010). Pratiquement, en LRB, l'employeur peut appliquer telles procédures si par exemple un moteur, une machine ou un équipement est endommagé et il décide de le remplacer par un autre.

En cas où l'usine a été déjà installée (le cas du LRB), il est nécessaire d'identifier l'origine du bruit. Dans les anciennes installations un bruit est généré en majeure partie par des impacts mécaniques, par des écoulements d'air ou de fluides à haute vitesse, par les vibrations des surfaces d'une machine et, assez souvent, par le produit lui-même pendant sa fabrication (Driscoll, 1997). Une fois la source du bruit est identifiée, il convient de déterminer quels sont les moyens de réduction du niveau sonore dont on dispose. La démarche standard appliquée dans le cadre de la maîtrise des risques de santé consiste à examiner les différentes solutions techniques applicables au niveau de la source, de la propagation et de la réception (Driscoll, 1997).

La première étape de la lutte contre le bruit devrait consister à essayer de le traiter à la source. En cas de sources multiples dans une même machine, il est nécessaire d'étudier élément par élément les mécanismes générateurs de bruit (Driscoll, 1997).

En ce qui concerne le bruit excessif produit par des impacts mécaniques, les solutions à étudier peuvent inclure des méthodes visant à réduire la force appliquée, à diminuer la distance entre les composants, à équilibrer les masses en rotation et à installer des éléments antivibratiles (Driscoll, 1997) - (CSST, 1998).

Pour ce qui est du bruit provenant d'écoulements de fluides à grande vitesse, la principale modification consiste à réduire la vitesse du fluide, à condition que cela soit possible (Driscoll, 1997). On peut parfois diminuer la vitesse en augmentant la section du conduit. Il faut aussi éliminer les obstacles dans les conduits afin d'obtenir un écoulement laminaire, ce qui aura pour conséquence de réduire les variations de pression et les turbulences dans le fluide transporté (Driscoll, 1997). Enfin, l'installation d'un silencieux convenablement dimensionné peut permettre d'abaisser très sensiblement le niveau sonore global (Driscoll, 1997) - (CSST, 1998).

Enfin, dans beaucoup de situations, c'est le produit en cours de fabrication qui peut être lui-même une source importante de rayonnement sonore. Dans ce cas, il est important de chercher des moyens pour mieux maintenir le produit pendant sa fabrication (Driscoll, 1997).

La modification de la source du bruit est devenue souvent irréalisable. Dans certains cas, il peut même arriver qu'il soit pratiquement impossible d'identifier la source du bruit. Lorsqu'une de ces situations se présente, le recours à des mesures techniques pour traiter le bruit au cours de sa

propagation peut contribuer efficacement à réduire le niveau sonore global. Les deux mesures essentielles de réduction du bruit au cours de sa transmission sont les encoffrements acoustiques et les écrans antibruit (Driscoll, 1997).

Il est possible aussi, d'installer des cabines ou des locaux insonorisés pour isoler les travailleurs et les mettre à l'abri de niveaux sonores excessifs. L'exposition quotidienne au bruit sera diminuée dans la mesure où une partie importante du temps de travail est passée dans la cabine (Driscoll, 1997).

7.6. Cartographie de bruit de l'unité LRB :

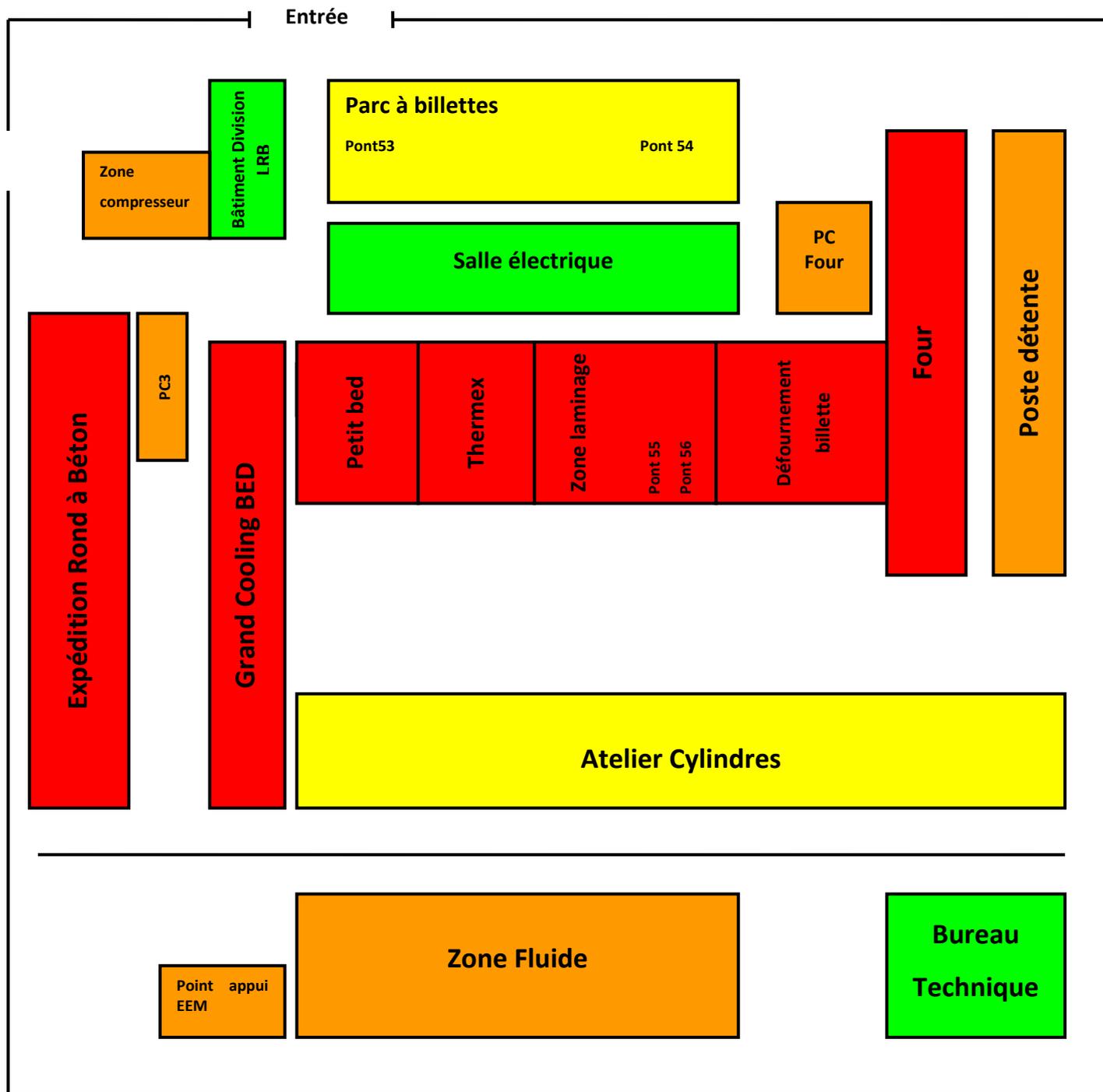


Fig. 87 : Cartographie de bruit de l'unité LRB.

Légende :

- Zone avec un niveau d'exposition quotidienne au bruit < 80 dB (A)
- Zone avec un niveau d'exposition quotidienne au bruit > 80 dB (A) et ≤ 85 dB (A)
- Zone avec un niveau d'exposition quotidienne au bruit > 85 dB (A) et ≤ 87 dB (A)
- Zone avec un niveau d'exposition quotidienne au bruit > 87 dB (A)

Conclusion générale :

L'industrie du fer est de l'acier joue un rôle important dans le développement de l'économie Algérienne, en particulier le complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba, qui est considéré parmi les plus grands complexes sidérurgiques en Afrique du Nord et dans le monde Arabe, ce qui a amené l'Etat à allouer un budget considérable pour encourager et développer les investissements dans ce domaine par la création d'autres complexes sidérurgiques dans différentes régions du pays. Mais, il faut prendre en considération que ce type d'industrie constitue une source très importante de bruit qui peut porter atteinte à la santé des travailleurs.

Dans ce contexte nous avons effectué une étude approfondie basée sur une méthode d'expertise reposant sur des données scientifiques, proposées par l'organisation mondiale de normalisation ISO en collaboration avec la commission électrotechnique internationale CEI, permettant l'identification de tous les postes de travaux atteint dans le laminoir de rond à béton du complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba.

L'évaluation des risques par exposition au bruit des travailleurs du laminoir de rond à béton a été effectuée par prise de différentes mesures. Les prélèvements réalisés ont couvert toute la zone du laminoir de rond à béton en tenant compte du choix de l'emplacement des zones à incidence sonore importante. La démarche utilisée a été inspirée de la norme NF EN ISO 9612 : 2009 pour être en adéquation avec les exigences du système de management de l'environnement qui est en cours de mise en œuvre dans l'entreprise.

Des calculs des niveaux d'expositions quotidiennes au bruit ont été faits dans le but d'identifier précisément les postes de travaux les plus exposés. Les résultats obtenus sont comparés aux seuils légaux préconisés par les normes internationales. Et ils ont montrés que environ 70% des travailleurs du laminoir sont soumis à des niveaux de bruit dépassant la valeur limite d'exposition 87 dB. Ce qui prouve que le bruit en milieu sidérurgique constitue un risque que nous ne pouvons pas négliger. Cela nécessite l'élaboration d'un plan d'action préventif et correctif afin de sécuriser les travailleurs du laminoir d'une part, et constituera un support important à l'entreprise afin qu'elle puisse répondre aux préoccupations de l'étude d'impact et préparer les procédures exigées par le système de management de l'environnement (NF EN ISO 14001) en cours de mis en place au complexe sidérurgique d'autre part.

Références bibliographiques :

1. **Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit. (2013).** *Guide - bruit et santé.* Consulté le 11 05, 2017, sur Guide " Bruit et santé " - Centre d'information et de documentation sur le bruit: <http://www.bruit.fr/images/stories/pdf/guide-bruit-sante-cidb-2013.pdf>
2. **Ministère de la Transition écologique et solidaire. (2017).** *Prévention des risques et lutte contre les pollutions : Inspections des Installations Classées.* Consulté le 02 17, 2018, sur Sidérurgie - Inspection des Installations Classées: www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Siderurgie.html
3. **Actu-Environnement. (2003).** *Dictionnaire Environnement.* Consulté le Janvier 18, 2018, sur Risque - Définition - Actu Environnement: <https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire-environnement/definition/risque.php4>
4. **Adamson IY., P. H. (1999).** Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction. *Toxicology and Applied Pharmacology* , 157 Issue 1, 43-50.
5. **Adamson IY., P. H. (2000).** Zinc is the toxic factor in the lung response to an atmospheric particulate sample. *Toxicology and Applied Pharmacology* , 166 Issue 2, 111-119.
6. **AFNOR. (2002).** *Acoustique. Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail.* Paris: AFNOR.
7. **AFNOR. (2009).** *NF EN ISO 9612 (Acoustique: Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail).* La Plaine Saint-Denis Cedex, France: AFNOR.
8. **AFNOR. (1987).** *NF S 31-084 - Acoustique. Méthode de mesurage des niveaux sonores en milieu de travail en vue de l'évaluation du niveau d'exposition sonore quotidienne des travailleurs.* Paris: AFNOR.
9. **Afsset. (2006, Avril).** *Bruit.* Consulté le Mars 15, 2013, sur http://www.sante-environnement-travail.fr/IMG/pdf/16_bruit_v3.pdf
10. **Agence culturelle alsace. (2009).** *Définition du son - E-book de la sonorisation.* Consulté le 09 25, 2017, sur Définition du son: <http://www.sonorisation-spectacle.org/definition-du-son.html>
11. **Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2013).** *Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental.* Maisons-Alfort Cedex, France: Anses Éditions.
12. **Alexander, D. (2002).** From civil defence to civil protection – and back again. *Disaster Prevention and Management* 11 , 209-213.

13. **Ali, S. A. (2011).** Industrial noise levels and annoyance in Egypt. *Applied Acoustics* , 221-225.
14. **Amphoux, P. (1991).** Aux écoutes de la ville : la qualité sonore des espaces publics européens. (*Rapport n° 94*) . Lausanne, Institut de recherche sur l'Environnement Construit: Ecole Polytechnique de Lausanne.
15. **Antoine J., P. R. (1996).** L'activité sidérurgique et les risques de pollution des sols. *METALLURGICAL Research & Technology* , 93 (11), 1467-1476.
16. **ArcelorMittal Annaba. (2013).** Organigramme fonctionnel de la zone de production Produits Longs. Annaba, Direction PLG, Algérie.
17. **ArcelorMittal. (2010).** *General presentation of the zone of the long products.* Adresse: BP 2055 Sidi Amar - El Hadjar - Annaba – Algérie / Site Web: <http://www.arcelormittal.com>, Algeria: ArcelorMittal.
18. **ArcelorMittal. (2006).** *Prévention des risques liés au bruit (Module d'information et de sensibilisation du personnel).*
19. **Aslak Fyhri, G. M. (2010).** Noise, sleep and poor health: Modeling the relationship between road traffic noise. *Science of the Total Environment* , 4935 – 4942.
20. **Association Française de Normalisation. (2009).** *NF EN ISO 9612 (Acoustique: Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail).* La Plaine Saint-Denis Cedex, France: AFNOR.
21. **ASTIER, J. (2009, 6 10).** Elaboration et recyclage des métaux. *Techniques de l'ingénieur* .
22. **ASTIER, J. (2009).** *Sidérurgie.* Techniques de l'ingénieur.
23. **Atienza, R. (2008).** *Introduction à l'acoustique.* France: École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.
24. **Bartoli, G. (2017).** *Santé et sécurité au travail (Dossier bruit).* Paris: Institut national de recherche et de sécurité.
25. **Basson, E. (2017).** *World Steel In Figures 2017.* China: World Steel Association.
26. **Béguin, J.-M. (2001).** *La sidérurgie française (Une industrie en pleine refonte).* France: SESSI, service de la Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes (DiGITIP).
27. **Benhassine W, B. N. (2012).** *Intoxication au monoxyde de carbone (CO) d'origine professionnelle.* Faculté de medecine, Algérie: Université se Batna.

- 28. Berard, J.-M. (2005).** *Les bruits de voisinage (Guide à l'usage des maires)*. France: Direction Régionale de l'Environnement - AUVERGNE.
- 29. Bernard-Masse, C. (2011).** *L'acoustique du cabinet dentaire : enquête d'opinion auprès de chirurgiens-dentistes de Meurthe et Moselle et étude d'un cas particulier*. Nancy, Faculté de chirurgie dentaire, France: Université Henri Poincaré Nancy I.
- 30. Bernhard Claude-Alain, D. P.-B. (2007).** *INTRODUCTION A L'HYGIENE DU TRAVAIL (Un support de formation)*. Suisse, Institut universitaire romand de Santé au Travail : World Health Organization.
- 31. Blond, E. (2003).** Dégradation thermomécanique des réfractaires au contact de laitiers sidérurgiques. *Mécanique- Génie mécanique- Génie civil* , 165.
- 32. Bocoum, H. (2002).** *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique - Une ancienneté méconnue (Afrique de l'Ouest et Afrique centrale)*. Paris, France: UNESCO.
- 33. Boudet, A. (2005, 12 05).** *Une approche sensorielle et expérimentale du son : partie 1*. Consulté le 10 05, 2017, sur Son_ hauteur et fréquence. Cours pour débutants: http://www.spirit-science.fr/doc_musique/Sensation-sonore.html
- 34. Bouland Catherine, D. G. (2010).** *Notions acoustiques et indices de gêne*. Bruxelles: Bruxelles environnement - Observatoire des données de l'environnement.
- 35. Bourouga Moncef, S. L. (2017).** 2nd International Conference on Water Resources (ICWR). *Evaluation de la pollution des rejets liquides industriels, cas du complexe sidérurgique d'El-Hajar Annaba (NE ALGERIEN)* (p. 5). ResearchGate.
- 36. Bruno Vincent, V. G. (2011).** *Les effets du bruit sur la santé*. Lyon: acoucity.
- 37. Bureau International du Travail. (2005).** *Recueil de directives pratiques sur la sécurité et la santé dans l'industrie du fer et de l'acier* (Vol. Première édition). Genève, Suisse: Organisation internationale du Travail.
- 38. Canetto, P. (2006).** *dossier médico-technique: Une nouvelle réglementation sur le bruit au travail*. France: Institut National de Recherche et de Sécurité.
- 39. Canetto, P. (2006).** *Techniques de réduction du bruit en entreprise - Quelles solutions, comment choisir* (éd. INRS ED 962). Paris, France: Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.
- 40. Canetto, P. (2006).** Une nouvelle réglementation sur le bruit au travail. *107*, 297–307.

- 41. Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail. (2014, 3 5).** *Bruit en milieu de travail - Notions de base*. Consulté le 11 13, 2017, sur Bruit en milieu de travail - Notions de base : Réponses SST: http://www.cchst.com/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html
- 42. Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit & Association des Maires des grandes villes de France. (2003).** *Les nuisances sonores dans les grandes villes et agglomérations*. Paris, France: CIDB.
- 43. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. (2012).** *SONS : Définition de SONS*. Consulté le 09 25, 2017, sur Son: <http://www.cnrtl.fr/definition/sons>
- 44. Chantal Laroche, M. V. (2003).** Bruit. *Environnement et santé publique - Fondements et pratiques* , 479-497.
- 45. CIEMRA. (2017).** *L'histoire de l'Acier*. Consulté le 08 21, 2017, sur L'histoire de l'acier - Ciemra:http://www.ciemra.fr/sites/default/files/File/Fiches_comprendre/Fiche_2_age_fer_ere_acier.pdf
- 46. Conseil général de la Loire. (2012).** *Plan de prévention du bruit dans l'environnement - Du conseil général de la Loire*. Rhône-Alpes, Département de la Loire, France: Conseil général de la Loire.
- 47. Costes, F. (2004).** *Modélisation thermomécanique tridimensionnelle par éléments finis de la coulée continue d'aciers*. Paris: école nationale supérieure des mines de Paris.
- 48. CSST. (1998).** *Réduire le bruit en milieu de travail - Information générales et techniques illustrées*. Québec: Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec.
- 49. D. Banerjee, S. C. (2008).** Modeling of road traffic noise in the industrial town of Asansol, India. *Transportation Research Part D* , 539–541.
- 50. Dassens, A. (2007).** *Méthode pour une approche globale de l'analyse de risques en entreprise*. (t. d. l'environnement, Éd.) Mulhouse: Université de Haute Alsace.
- 51. Deguise, C. (1988).** L'heure des bilans: les services. *Santé et Société* , 31-34.
- 52. Dejean, G. (2014).** *Valorisation de laitiers sidérurgiques comme matériaux de stockage thermique pour procédés énergétiques durables. Application au CSP et au CAES*. UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA.
- 53. D'Ercole, R. (1994).** Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine* 4 , 87-96.

- 54. Desponds, J. (2007).** *Management et Négoce internationaux: Gestion des risques et audit.* Genève: Ernst & Young SA.
- 55. Direction générale Humanisation du travail. (2005).** *BRUIT- SERIE STRATEGIE SOBANE - Gestion des risques professionnels.* (T. e. Service public fédéral Emploi, Éd.) Bruxelles.
- 56. Directive 2003/10/CE du parlement européen et du conseil. (2003).** Les prescriptions minimales de sécurité relatives à l'exposition aux risques dus aux agent physiques (bruit).
- 57. Djoudi, K. (2018).** *L'industrie Sidérurgique dans le Monde Arabe.* Algérie: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- 58. Douafer, L. (2010).** *Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur, Helix aspersa (Mollusca, Gasteropoda): inventaire, activité enzymatique et composition physico-chimique du sol.* Annaba, Département de Biologie - Faculté des sciences, Algérie: Université Badji-Mokhtar Annaba.
- 59. Driscoll, D. P. (1997).** *Chapitre 47 - Le bruit (Les mesures techniques de lutte contre le bruit).* (B. I. Travail, Éd.) Consulté le 05 20, 2019, sur Chapitre 47 - Le bruit: <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo047.htm>
- 60. Dubey B.L., D. P. (1988).** Projective value of somatic Inkblot Series II. *Journal of personality and clinical studies* , 8, 173-176.
- 61. Duport, O. (2012).** *Minerai de fer, l'émergence d'une nouvelle commodité sur les marchés financiers.* Genève, Filière (Économie d'entreprise): Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE).
- 62. Entreprise SOLO METRAVIB. (2005).** *Manuel d'utilisation Sonomètre intégrateur à mémoire SOLO.* Centre Technique TOULOUSE.
- 63. European Commission. (2000).** *European Commission Position paper on EU Noise Indicators.* Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- 64. Faure, P. (2012).** *La filière acier en France et l'avenir du site de Florange.* (M. d. productif, Éd.) Paris, France: Conseil générale de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies.
- 65. Faure, P. (2012).** *La filière acier en France et l'avenir du site Florange.* Paris, conseil général de l'économie de l'industrie, de l'énergie et des technologies, France: Ministère du redressement productif.
- 66. Francis Douay, T. S. (2003).** *Pollution industrielle par les métaux: les sols et les récoltes fortement...* Consulté le 3 27, 2018, sur <https://www.gazettelabo.fr/archives/breves/2003/0703/pollution.htm>

- 67. Franks J.R. (1990).** *Number of workers exposed to Occupational Noise*. Cincinnati, Department of Health and Human Services, U.S.: NIOSH Publications on Noise and Hearing.
- 68. G.Maeder, J. (1995).** *Précis de métallurgie (élaboration, structures-propriétés et normalisation)*. Paris: NATHAN-AFNOR.
- 69. Gallienne, N. (2014).** *Modélisation thermomécanique de maçonneries (Endommagement d'un piédroit de cokrie sous l'effet de la poussée du charbon)*. (U. d'Orléans, Éd.) Orléans, Génie Mécanique, France: Laboratoire PRISME.
- 70. Gardes, L. (2001).** *Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME: Application au secteur de traitement de surface*. France: Institut des sciences appliquées de Lyon et Ecole Nationale Supérieure des mines de Saint Etienne.
- 71. Gaudemaris R, M. N. (1998).** Contrainte de l'environnement de travail et pathologie cardiovasculaire : bilan des études épidémiologiques et perspectives. *Rev Med Trav* , 24–37.
- 72. Gaver, W. (1993).** What in the world do we hear ? An ecological approach to auditory event perception. *Ecological Psychology* , 51 (n° 1), 1-29.
- 73. Gillard, A. (2012, 01 19).** *CHAPITRE I : les origines* - www.valleedusamson.be. Consulté le 12 23, 2018, sur CHAPITRE I LES ORIGINES ET L'EVOLUTION DE LA FABRICATION DU FER ETAT DE LA QUESTION: <http://www.valleedusamson.be/index.php/bibliographies/l-industrie-du-fer-dans-le-comte-de-namur/chapitre-i-les-origines>
- 74. Groupement de la Sidérurgie. (2016).** *Rapport annuel: L'Acier Belge en 2015*. Direction de l'organisation professionnelle de la sidérurgie belge. Bruxelles: Groupement de la Sidérurgie.
- 75. Hajj, C. E. (2013).** *Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech) d'un site industriel*. Saint-Etienne: Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- 76. Hasan S, B. M. (1994).** Noise induced hearing loss in industrial workers of Karachi. 5.
- 77. Hassid, O. (2008).** *La gestion des risques*. Paris: DUNOD.
- 78. Heran LeRoy O., S. N. (1997).** *Le bruit dans le travail*. Paris, Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques: Ministère du travail et des Affaires sociales.
- 79. Houzé, C. (2013).** *Etude de la valorisation des laitiers de l'industrie sidérurgique et de production des alliages silicomanganèse* (éd. Université Paris-Est). Paris: Spécialité Structure et Matériaux.

- 80. INERCO Prevencion de Riesgos. (2011).** *Rapport d'évaluation des risques par exposition au bruit dans les postes de travail des installations de FERTIAL à ANNABA (ALGERIE)*. Annaba.
- 81. INRS. (2016).** *Dossier: Prévention et risques industriels*. Paris: Institut National de Recherche et de Sécurité.
- 82. INRS. (2009).** *évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit*. paris.
- 83. INRS. (2007, juillet).** *Le bruit*. Consulté le Mars 15, 2013, sur <http://www.inrs.fr/accueil/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-TJ.../tj16.pdf>
- 84. Institut Supérieur Optime. (2008).** *Audit Environnemental du complexe sidérurgique ArcelorMittal Annaba*. Annaba: Optime.
- 85. International Organization for Standardization. (1990).** *ISO 1999: Acoustique. Détermination de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du dommage auditif induit par le bruit*. Saint-Denis La Plaine: AFNOR.
- 86. ISO. (2002).** *Guide ISO/CEI 73: Management du risque - Vocabulaire- Principes directeurs de l'utilisation dans les normes*. Organisation internationale de normalisation.
- 87. Jaworski, V. (2012).** Le bruit et le droit. *persee* , 83-94.
- 88. Jean Philibert, A. V. (2002).** *Métallurgie (Du minerai au matériau)*. Paris, France: Dunod.
- 89. Jean-Herman Guay. (2016, 7 6).** *Production minérale: fer en millions de tonnes /2000/- Monde/ carte et ... - Perspective Monde - Université de Sherbrooke*, 6.7.2016. (P. monde, Éditeur, & Perspective monde) Consulté le 1 27, 2019, sur Perspective monde: Outil pédagogique des grandes tendances mondiale de puis 1945: <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/stats/0/2000/fr/5/carte/RS.IRO.PROD.PP.MT/x.html>
- 90. Journal officiel de l'Union européenne. (2003).** *DIRECTIVE 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 6 février 2003 - concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit)*. Bruxelles, (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1): Journal officiel de l'Union européenne.
- 91. Karagiannis G., -M. (2010).** *Méthodologie pour l'analyse de la robustesse des plans de secours industriels*. Saint Etienne: Ecole nationale supérieure des Mines de Saint Etienne.
- 92. Kzyl-Orda, A. (1997).** *Larousse encyclopédique illustré*. Paris: Larousse.
- 93. König, C. (2017, 01 31).** *Âge du fer: quelques étapes (Dossier - Le fer tombe le masque)*. (FUTURA SCIENCES) Consulté le 12 21, 2018, sur *Âge du fer: quelques étapes / Dossier - Futura-*

Sciences : <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/chimie-fer-tombe-masque-565/page/3/>

94. L.Thiéry et P.Canetto. (2009). *Evaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit* (éd. 1re édition). Paris, France: Institut national de recherche et de sécurité.

95. Lacroix, J. (2007). *Analyse et gestion des risques - Dans Les Grandes entreprises " Impacts et rôle pour la DSI "*. Paris: CIGREF.

96. Laurence Martinez, D. B.-P.-M. (2011). Reconnaissance des surdités professionnelles : il faudrait réduire le nombre de dossiers mal documentés soumis au Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles. *La presse médicale* , 40 (5), e286–e295.

97. Le Coze, J. (2008). Histoires de fontes. Entre le phlogistique et la plombagine : où situer la « fonte à l'oxygène » ? *Académie des sciences de l'institut de France* , 772-787.

98. Le Nost, G. (2007, 07 11). Contribution à l'étude de l'impact environnemental sonore des sites industriels: une typologie perceptive de sources de bruit. 245. Lyon, Ecole doctorale: Mécanique, Energétique, Génie civil et Acoustique, France: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

99. Lekane, M. (2017). *John Cockerill 200 ans d'avenir*. Liège, Belgique: Maison de la métallurgie et de l'industrie de Liège.

100. Leroy, S. (2010). *Circulation au moyen âge des matériaux ferreux issus des Pyrénées ariégeoises et de la Lombardie. Apport du couplage des analyses en éléments traces et multivariées*. Belfort, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, France: HAL archives-ouvertes.

101. Lévy J., L. M. (2003). *Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés*. Paris: Belin.

102. M.-P. Jiménez-Tejada, J. ..-G. (2012). Noise, what noise? Raising awareness of auditory health among future primary-school teachers. *Teaching and Teacher Education* , 1083-1090.

103. Maffiolo, V. (1999). De la caractérisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l'environnement urbain. *Thèse d'Acoustique* , 285. Le Mans, Université du Mans.

104. Margossian, N. (2003). *Guide pratique des risques professionnels (Caractéristiques - Réglementation - Prévention)*. Paris: DUNOD.

105. Margossian, N. (2007). *Risque chimique*. Paris: DUNOD.

106. Margossian, N. (2006). *Risques et accidents industriels majeurs : Caractéristiques - Réglementation - Prévention*. Paris: DUNOD.

- 107. Masaitis, J. (2001).** *Chapitre 73 - La sidérurgie (L'industrie du fer et de l'acier)*. Consulté le 02 25, 2018, sur Chapitre 73 - La sidérurgie: www.ilocis.org/fr/documents/ilo073.htm
- 108. Masroui F., P. A. (2009, Février).** *Classification des risques*. Consulté le Février 06, 2018, sur Classification des risques: http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_2/co/Module_Etage_2_7.html
- 109. Maurin, M. (1998).** Une caractérisation de l'émission acoustique des véhicules au cours des déplacements. *Acoustique* , 43-57.
- 110. Maytaal Angel, V. T. (2017).** *LA PRODUCTION D'ACIER MONDIALE EN HAUSSE DE 0,8% EN 2016*. Consulté le 08 17, 2017, sur La production d'acier mondiale en hausse de 0,8% en 2016 - Capital.fr: <http://www.capital.fr/economie-politique/la-production-d-acier-mondiale-en-hausse-de-0-8-en-2016-1202293>
- 111. Mbuligwe, S. (2004).** Levels and influencing factors of noise pollution from small scale industries in a developing country. *Environnemental management* , 33 (6), 830-839.
- 112. Mebtoul, A. (2015, 10 14).** Le complexe sidérurgique ArcelorMittal d'El Hajar : l'histoire d'un échec patent du gouvernement. *Le Matin d'Algérie* .
- 113. Mengual P., -G. (2005).** *Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations: Vers un instrument méthodologique d'autodiagnostic*. Paris: Ecole des mines de Paris - Sophia Antipolis.
- 114. Michael, A. (2005).** Programme de réduction du bruit au travail du HSE (Royaume-Uni). *MAGAZINE de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail* , pp. 5-7.
- 115. Monique Tanguy, Daniel Ansart. (2012).** Comment fabrique-t-on l'acier? (ArcelorMittal, Éd.) 12.
- 116. Murry, G. (2004-2010).** *Métallurgie: Métaux-Alliages-Propriétés*. Paris: Dunod.
- 117. N. Hammoudi, S. A. (2013).** Rôle du bruit dans le développement de l'hypertension artérielle en milieu aéroportuaire. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie* , 166–171.
- 118. Obersdörster, G. (1992).** Pulmonary deposition, clearance and effects of inhaled and insoluble cadmium compounds. *118*, 189- 204.
- 119. Officiel Prévention. (2015, 7).** *La prévention des risques professionnels dans les aciéries*. Consulté le 04 16, 2018, sur Dossiers CHSCT : La prévention des risques professionnels dans les aciéries: www.officiel-prevention.com/formation/fiches-metier/detail_dossier_CHSCT.php?rub=89&ssrub=206&dossid=537

120. Officiel Prévention. (2015, 06). *La prévention des risques professionnels dans les cokeries.* Consulté le 06 25, 2018, sur Dossiers CHSCT: La prévention des risques professionnels dans les cokeries: www.officiel-prevention.com/formation/fiches-metier/detail_dossier_CHSCT.php?rub=89&ssrub=206&dossid=537

121. Officiel Prévention. (2015, 09). *La prévention des risques professionnels dans les laminoirs.* Consulté le 06 26, 2018, sur Dossiers CHSCT _ La prévention des risques professionnels dans les laminoirs: www.officiel-prevention.com/formation/fiches-metier/detail_dossier_CHSCT.php?rub=89&ssrub=206&dossid=537

122. Officiel Prévention. (2010). *Lutte contre le bruit sur les lieux de travail.* Consulté le 05 20, 2019, sur Dossiers CHSCT _ Lutte contre le bruit sur les lieux de travail: http://www.officiel-prevention.com/sante-hygiene-medecine-du-travail-sst/lutte-contre-le-bruit/detail_dossier_CHSCT.php?rub=37&ssrub=43&dossid=111

123. Olivier, M. (2006). *Les aciers dans la construction.* Cedex - FRANCE: Les Grandes Ateliers de l'Isle d'Abeau.

124. Onur Çelik, Ş. Y. (1988). Hearing parameters in noise exposed industrial workers. *Auris Nasus Larynx (International journal of ORL and HNS)* , 25, 369-375.

125. Organisation mondiale de la santé. (1980). *Critères d'hygiène de l'environnement 12 " Le Bruit "*. Genève: Organisation mondiale de la santé et Programme des Nation Unies pour l'Environnement.

126. Osguthorpe JD, K. A. (1991). Occupational hearing conservation. 14.

127. P. Rucay, C. F.-F. (2010). Le bruit dans un service de restauration collective hospitalière " Noise assessment in a hospital catering department ". *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement* , 882-887.

128. P. Rucay, C. F.-F. (2010). Le bruit dans un service de restauration collective hospitalière. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement* , 882-887.

129. Parlement Européen. (2002). *Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement.* France: Journal officiel des Communautés européennes.

130. Pedro M. Arezes, C. B. (2012). Measurement strategies for occupational noise exposure assessment: A comparison study in different industrial environments. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 172-177.

- 131. Phan Chan Thé, É. (2008).** Notions de base pour l'évaluation et le mesurage du bruit au travail. *Les fiches-conseils du médecin du travail* (N°97), 88-90.
- 132. Pierre Canetto, N. G. (2007).** *Le bruit* (Vol. 5ème édition). Paris: Institut national de recherche et de sécurité.
- 133. Popescu Maria, B. J.-M. (1998).** *Analyse et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels : Emissions, fumées, odeurs et poussières* (Vol. 15). Lavoisier TEC et DOC.
- 134. Pujol, S. (2012).** *Le bruit environnemental en milieu urbain : exposition d'une population d'enfants et performances scolaires*. Besançon, UFR Sciences medicales et pharmaceutiques, France: Université de Franche-Comté.
- 135. Raïs Hassen, M. (2012).** *Gestion des risques : Mesures et Stratégies (Analyse empirique de la gestion des risques dans les entreprises non financières Françaises.)*. Toulouse: Université Toulouse 1 Capitole (UT1 Capitole) .
- 136. Ramade, F. (2000).** *Dictionnaire encyclopédique des pollutions*. Paris: Ediscience international.
- 137. Redouane-Salah S., B. H. (2004).** Effets des rejets métalliques des aciéries du complexe sidérurgique d'El-Hadjar d'Annaba sur un modèle cellulaire marin: Tetraselmis suecica. *Sciences & Technologie , C* (22), 121-124.
- 138. Remy, N. (2013).** *Environnement sonore (Caractéristiques physiques des sons et des bruits – Notions de bases)*. France: école nationale supérieure d'architecture de grenoble.
- 139. René Frecaut, M. R. (1981).** Quelques aspects de la pollution industrielle en Lorraine. *Revue Géographique de l'Est , Tome XXI* (3), 163 - 184.
- 140. RNCAN. (2016).** *Cahier d'information sur les minéraux et les métaux - 2016*. Ressources naturelles Canada.
- 141. Roberto Casati, J. D. (1994).** La philosophie du son. Chapitre 3: Sons et evenements. *HAL archives-ouvertes ,* 36-47.
- 142. Sammut, M. (2007).** *Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique - Approche de l'impact toxicologique des poussières*. Marseille, Géosciences de l'Environnement, France: Université Paul Cézanne Aix-Marseille III.

- 143. Sarreste, F. (2008).** *La sidérurgie ancienne dans le Bas Maine (VIIIe s. av. J.-C. _ XVe s. ap. J.-C.)*. Tours, Histoire / Archéologie: Université de FRANÇOIS - RABELAIS.
- 144. Sauce, G. (2009).** *Analyse de risque incendie sur un ERP*. UNIT : Projet Cyber Ingénierie des Risques en Génie Civil.
- 145. Schlaefli, A. (2011).** *Cours Informatique CFP S "La sidérurgie"*.
- 146. Schneider, H. (2001).** *Chapitre 73 - La sidérurgie (L'industrie du fer et de l'acier)*. Consulté le 02 25, 2018, sur Chapitre 73 - La sidérurgie: www.ilocis.org/fr/documents/ilo073.htm
- 147. Schütz, D. (2003).** Les risques sidérurgiques. *Regards* , n° 6 (N°ISSN : 1632-1057).
- 148. Serradj Tayeb, C. H. (2010).** *Evaluation de l'impact environnemental de deux laminoirs à chaud d'aciérie en Algérie*. Alexandrie, Egypte: Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, 28 – 31 mars 2010, Alexandrie, Egypte.
- 149. SIDER EL Hadjar. (2016).** Complexe sidérurgique d'El Hadjar (HISTORIQUE). Annaba, Département IT Développement, Algérie: SIDER EL HADJAR.
150. Société Chimique de France. (2016). *Fer, aciers, sidérurgie - Société Chimique de France*. Consulté le 07 24, 2017, sur Matières premières: <http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/metaux/fe/textfe.htm>
- 151. Superior Optime institute. (2008).** *Environmental audit of the steel-making complex ArcelorMittal Annaba*. Annaba.
- 152. Suter AH. (1992).** Communication and job performance in noise: A Review. *ASHA monographs* , 28, 1-84.
- 153. Suter, A. H. (1997).** *La nature et les effets du bruit*. Consulté le 08 12, 2018, sur Chapitre 47 - Le bruit: <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo047.htm>
- 154. Taleb A, M. B. (2003).** Exposition au bruit, environnement psychosocial et hypertension artérielle en milieu de travail. *Arch Mal Prof* , 246–52.
- 155. Ta-Yuan Chang, C.-S. L.-H.-Y.-S. (2012).** Effects of environmental noise exposure on 24-h ambulatory vascular properties in adults. *Environmental Research* , 112 –117.
- 156. Théberge, M.-C. (2002).** *Evaluations environnementales : Guide Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs (Document de travail)*. Québec: Ministère de l'Environnement.
- 157. Tomsin, P. (2011).** Un survol de l'histoire de la sidérurgie. *Des usines et des hommes* , 6-15.
- 158. VAI POMINI. (2002).** Spécifications Techniques d'un laminoir pour ronds et profilés. Annaba, Algeria.

- 159. Villemeur, A. (1988).** *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Paris: Eyrolles.
- 160. Wahiba Meddeb, K. T. (2016).** Assessment of exposure to noise of workers to a reinforcing bar rod mill ArcelorMittal Algeria. *Archives of acoustics* , 41 (02), 339-344.
- 161. World steel association. (2018).** *Acier 2018: la situation de production : minerais, fonte, fer, et acier*. World steel association.
- 162. Zara Ann Stokholm, Å. M. (2014).** Recent and long-term occupational noise exposure and salivary cortisol level. *Psychoneuroendocrinology* , 21—32.

Annexe A :

1. Les pays producteurs du minerai de fer :

Pays	Valeurs	Classement	Pays	Valeurs	Classement
Chine	1309,00	1	Corée du Nord	5,30	22
Australie	519,69	2	Sierra Leone	5,20	23
Bésil	400,60	3	Égypte	3,93	24
Inde	136,52	4	Norvège	3,42	25
Russie	104,00	5	Nouvelle-Zélande	2,39	26
Ukraine	67,15	6	Autriche	2,14	27
Afrique du Sud	67,10	7	Bosnie-Herzégovine	2,08	28
États-Unis	53,20	8	Algérie	1,70	29
Kazakhstan	52,61	9	Viêt Nam	1,52	30
Iran	48,00	10	Swaziland	1,03	31
Canada	39,43	11	Corée du Sud	0,59	32
Suède	26,54	12	Allemagne	0,45	33
Mexique	22,60	13	Colombie	0,39	34
Chili	17,33	14	Pakistan	0,38	35
Venezuela	16,00	15	Thaïlande	0,26	36
Indonésie	12,00	16	Philippine	0,22	37
Mauritanie	11,50	17	Tunisie	0,22	38
Malaisie	10,28	18	Azerbaïdjan	0,21	39
Pérou	8,22	19	Maroc	0,10	40
Mongolie	7,56	20	Nigeria	0,07	41
Turquie	7,00	21			
Totaux	2967,93				

(Jean-Herman Guay, 2016)

Tab. 13: Production mondiale du minerai de fer en millions de tonnes 2012.

2. Principaux pays producteurs mondiaux d'acier en 2015 et 2016 (en millions de tonnes):

Country	2016		2015	
	Rank	Tonnage	Rank	Tonnage
China	1	808.4	1	803.8
Japan	2	104.8	2	105.1
India	3	95.6	3	89.0
United States	4	78.5	4	78.8
Russia	5	70.8	5	70.9
South Korea	6	68.6	6	69.7
Germany	7	42.1	7	42.7
Turkey	8	33.2	9	31.5
Brazil	9	31.3	8	33.3
Ukraine	10	24.2	10	23.0
Italy	11	23.4	11	22.0
Taiwan, China	12	21.8	12	21.4
Mexico	13	18.8	13	18.2
Iran	14	17.9	14	16.1
France	15	14.4	15	15.0
Spain	16	13.6	16	14.8
Canada	17	12.6	17	12.5
Poland	18	9.0	19	9.2
Vietnam	19	7.8	24	5.6
Belgium	20	7.7	21	7.3
United Kingdom	21	7.6	18	10.9
Austria	22	7.4	20	7.7
Netherlands	23	6.9	22	7.0
South Africa	24	6.1	23	6.4
Saudi Arabia	25	5.5	27	5.2
Czech Republic	26	5.3	26	5.3
Australia	27	5.3	29	4.9
Egypt	28	5.0	25	5.5
Indonesia (e)	29	5.0	30	4.9
Slovak Republic	30	4.8	31	4.6
Sweden	31	4.6	32	4.4
Kazakhstan	32	4.2	34	3.9
Argentina	33	4.1	28	5.0
Finland	34	4.1	33	4.0
Malaysia (e)	35	4.0	35	3.8
Thailand	36	3.8	36	3.7
Pakistan	37	3.6	39	2.9
Romania	38	3.3	37	3.4
United Arab Emirates	39	3.1	38	3.0
Qatar	40	2.5	40	2.6
Byelorussia	41	2.2	41	2.5
Luxembourg	42	2.2	42	2.1
Portugal	43	2.0	43	2.0
Oman (e)	44	2.0	44	2.0
Switzerland (e)	45	1.5	46	1.5

Hungary	46	1.3	45	1.7
Colombia	47	1.3	49	1.2
North Korea(e)	48	1.3	48	1.3
Serbia	49	1.2	53	1.0
Peru	50	1.2	51	1.1
Others		12.8		14.7
World		1629.6		1620.0

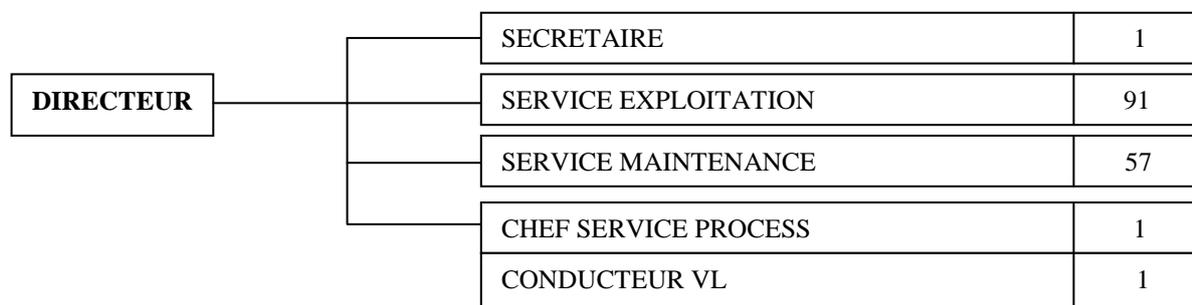
Basson 2017

Tab. 14 : Principaux pays producteurs mondiaux d'acier en 2015 et 2016.

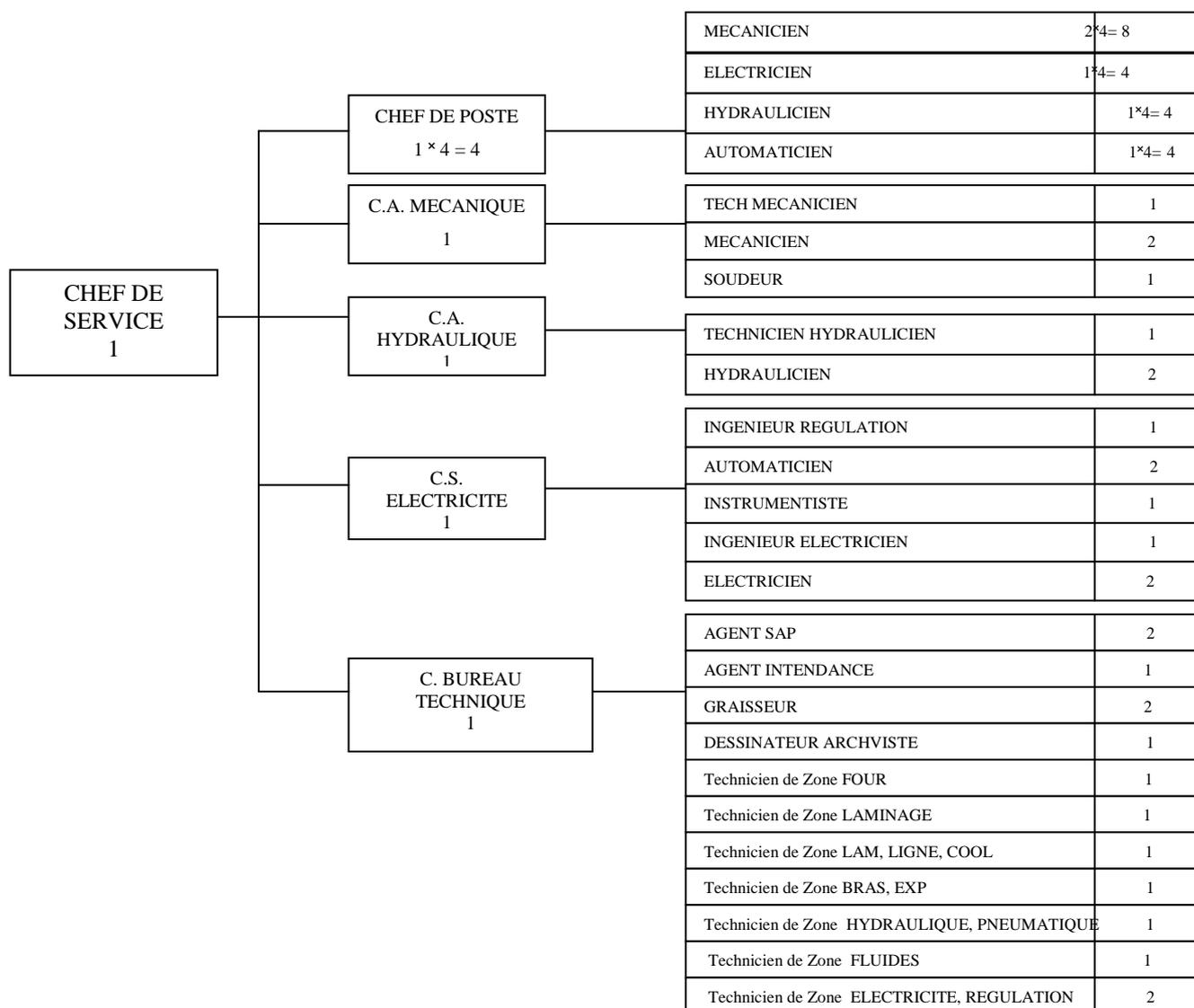
Annexe B :

Organigramme fonctionnel de l'unité LRB :

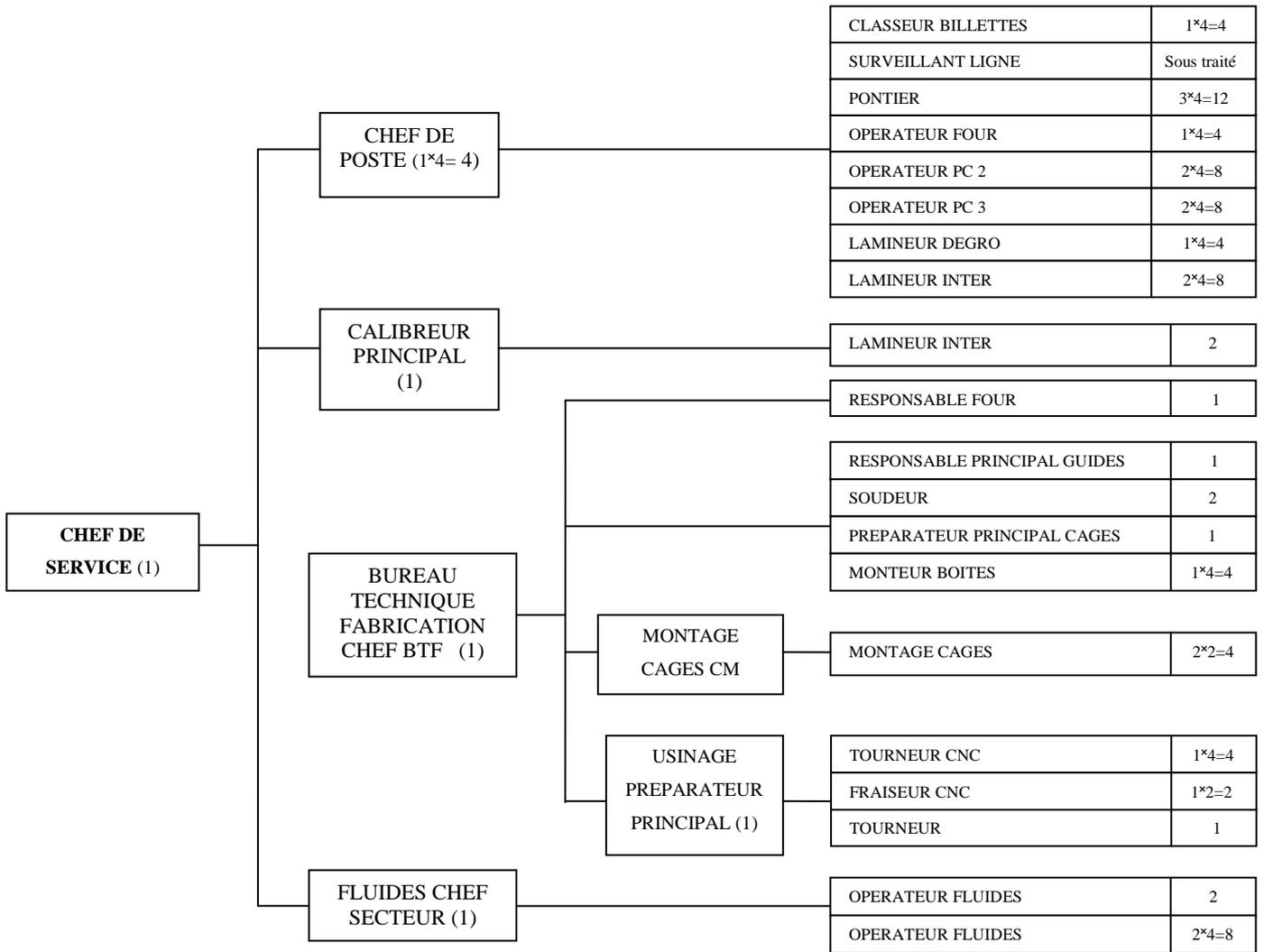
1. Organigramme fonctionnel général de l'unité LRB (ArcelorMittal Annaba, 2013) :



2. Organigramme fonctionnel de l'unité LRB (service maintenance) (ArcelorMittal Annaba, 2013) :



3. Organigramme fonctionnel de l'unité LRB (service exploitation) (ArcelorMittal Annaba, 2013):



Annexe C :



CONSTAT DE VERIFICATION
VERIFICATION CERTIFICATE

N° CV-DTE-T-07-PVE-30999

DELIVRE A :
ISSUED FOR :
SCV SA

INSTRUMENT VERIFIE
CHECKING INSTRUMENT

Désignation : Sonomètre Intégrateur
Designation : Integrator Sound Level Meter

Constructeur : 01dB-Metravib
Manufacturer :

Type : SOLO 02 N° de serie : 40359
Type : Serial number :

N° d'identification :
Identification number

Date d'émission : 24/07/07

Ce constat comprend 6 pages
This certificate includes pages

LE RESPONSABLE METROLOGIQUE
DU LABORATOIRE
THE METROLOGICAL HEAD OF THE LABORATORY

Philippe POURTAU

LA REPRODUCTION DE CE CONSTAT N'EST AUTORISEE QUE SOUS
LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRAL

THIS CHECKING REPORT MAY NOT BE REPRODUCED OTHER THAN IN
FULL BY PHOTOGRAPHIC PROCESS

CE DOCUMENT NE PEUT PAS ETRE UTILISE EN LIEU ET PLACE
D'UN CERTIFICAT D'ETALONNAGE. CE DOCUMENT EST
REALISE SUIVANT LES RECOMMANDATIONS DU FASCICULE DE
DOCUMENTATION X 07-011

THIS DOCUMENT CAN'T BE USED AS CALIBRATION
CERTIFICATE. THIS DOCUMENT, THIS DOCUMENT IS MADE WITH
STANDARD X 07-011 RECOMANDATION.

01dB-Metravib

Siège social : 200, Chemin des Ormesaux - F - 69578 Limonest Cedex
Tel. +33 (0)4 72 52 48 00 - Fax. +33 (0)4 72 52 47 47
www.01db-metravib.com

SAS au capital de 3.915 € - SIREN : 409 899 708 00019 - 409 899 708 1025 Lyon - ATE 743 B - TVA F + 33 409 899 709



DTE T FOR 9172 C.doc

IDENTIFICATION :
IDENTIFICATION

	Sonomètre <i>Sound level meter</i>	Préamplificateur <i>Preamplifier</i>	Microphone <i>Microphone</i>
Constructeur : <i>Manufacturer</i>	01dB-Metravib	01dB-Metravib	Rion
Type : <i>Type</i>	SOLO 02	PRE 21 S	UC 52
Numéro de série : <i>Serial number</i>	40359	13176	114049

PROGRAMME DE VERIFICATION :
CHECKING PROGRAM

Ce Sonomètre a été vérifié sur les caractéristiques suivantes :

- Réponse en fréquence du sonomètre seul en champ libre
- Linéarité
- Pondérations fréquentielles A-B-C-Z
- Bruit de fond
- Indicateur de surcharge
- Filtre 1/1 et 1/3 octave

The Sound level meter has been checking on different characteristic:

- *Free field frequency response of the sound level meter*
- *Linearity*
- *A-B-C-Z Weighting*
- *Background noise*
- *Overload indicator*
- *1/1 and 1/3 Octave filter*

METHODE DE VERIFICATION :
CHECKING METHOD

Préalablement à la vérification, l'appareil est resté 24 heures dans une salle climatisée à 23°C +/- 5°C. Les autres caractéristiques sont étalonnées avec un multimètre et un générateur étalonnés en amplitude et en fréquence.

Before calibrated, instrument has been staying 24 hours in a air conditioning room at 23 °C +/- 5°C. The others characteristics are calibrated with multimeter and generator calibrated in amplitude and in frequency.

CONDITIONS DE VERIFICATION :
CHECKING CONDITIONS

Date de l'étalonnage : 17/07/2007
Date of Calibration
Nom de l'opérateur : Christophe Deltour
Operator Name
Instruction d'étalonnage : P118-NOT-01-02.doc
Calibration instruction

Pression atmosphérique : 99,61 kPa
Static pressure
Température : 23,6 °C
Temperature
Taux d'humidité relative : 38 %HR
Relative humidity

01dB-Metravib

Siège social : 200, Chemin des Ormeaux • F - 69578 Limonest Cedex
Tel. 1 33 (0)4 72 52 45 00 • Fax. 1 33 (0)4 72 52 47 47
www.01db-metravib.com

SAS au capital de 2.015.510€ - SIRET : 152 859 706 000 9 - 409 859 706 RCS Lyon - APE : 743 B - TVA FR B2 : 409 859 706



MOYENS DE MESURES UTILISES POUR LA VERIFICATION:

INSTRUMENTS USED FOR CHECKING

Désignation	Constructeur	Type	N° de série	N° d'identification
<i>Designation</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Type</i>	<i>Serial number</i>	<i>Identification number</i>
Générateur de fonction / Waveform generator	Hewlett-Packard	HP 33120 A	US36028745	1163
Atténuateur / Attenuator	01 dB-Metravib	---	---	1268
Atténuateur / Attenuator	01 dB-Metravib	---	---	1114
Calibreur acoustique / Calibrator	01 dB-Metravib	Cal21	50241881	1410
Multimètre / Multimeter	Hewlett-Packard	HP 34401 A	3146A24774	1407
Multimètre / Multimeter	Hewlett-Packard	HP 34401 A	US36138775	1160
Préamplificateur / Preamplifier	01 dB-Metravib	PRE 12 H	000842	1181
Préamplificateur / Preamplifier	01 dB-Metravib	PRE 12 H	011200	1182
Calibreur acoustique / Calibrator	AKSUD	5117	---	1130
Amplificateur de mesure / Measuring amplifier	Bruel & Kjaer	2610	1078177	1006
Chambre sourde / Anechoic chamber	01 dB-Metravib	---	---	1080
Oscilloscope / Scope	Hameg	HM 404-2	44/00 5711	1166
Générateur de fonction / Waveform generator	Philips	PM 5191	NC 9445 05191001 NO	1001
Microphone / Microphone	Microtech Geffel	MK 250	2935	1234
Microphone / Microphone	Aksud	3201	49435	1119
Alimentation / Power supply	01 dB-Metravib	---	---	1232
Amplificateur de mesure / Measuring amplifier	Bruel & Kjaer	2610	1123273	1199

Tous les moyens de mesure utilisés sont raccordés aux étalons de référence de la société 01dB. Les étalons de référence de la société 01dB sont raccordés aux étalons nationaux par un étalonnage COFRAC. La liste de ces étalons est disponible sur simple demande auprès du responsable métrologique du laboratoire.

All the measuring instruments are calibrated to the 01dB reference standard. 01dB reference standard are calibrated to national standard with COFRAC certificate of calibration. The reference standard list is available on simple request to the metrological head of the laboratory.

RESULTATS :

RESULTS

Le jugement de conformité de chaque test est établi suivant les tolérances données dans les normes suivantes :

Conformity decision has been taken with the tolerances descriptions in the following standards :

IEC 60651 (10/2000) classe	2
IEC 60804 (10/2000) classe	2
IEC 1260 (07/1995) classe	2

01dB-Metravib

Siège social : 200, Chemin des Ormeaux • F - 69578 Limonest Cedex
 Tel. 1 33 (0)4 72 52 49 00 • Fax 1 33 (0)4 72 52 47 47
 www.01db-metravib.com

SAS au capital de 3,915 812 € - SIRET : 409 869 708 00019 - 409 869 708 RCS Lyon - APE 7123 B - TVA F 3 82 409 869 709



Réponse en fréquence du sonomètre seul en champ libre
Free field frequency response of the sound level meter

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Réponse en champ libre du sonomètre <i>Free field frequency response of the sound level meter</i>	Conforme <i>Conform</i>

Linéarité
Linearity

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Linéarité <i>Linearity</i>	Conforme <i>Conform</i>

Pondérations fréquentielles A-B-C-Z
A-B-C-Z Weighting

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Pondération fréquentielle A-B-C-Z <i>A-B-C-Z Frequency weighting</i>	Conforme <i>Conform</i>

Bruit de fond
Background noise

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Bruit de fond <i>Noise level</i>	Conforme <i>Conform</i>

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Bruit de fond filtre 1/1 Octave <i>1/1 Octave filter Noise level</i>	Conforme <i>Conform</i>

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Bruit de fond filtre 1/3 Octave <i>1/3 Octave filter Noise level</i>	Conforme <i>Conform</i>

Indicateur de surcharge
Overload indicator

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Indicateur de surcharge <i>Overload Indicator</i>	Conforme <i>Conform</i>

01dB-Metravib

Siège social - 200, Chemin des Ormesux • F - 69578 Limonest Cedex
Tel: 1 33 (0)4 72 52 48 00 • Fax: 1 33 (0)4 72 52 47 47
www.01db-metravib.com

SAS au capital de 3,915 € - DE - SIRET: 409 899 709 0001 9 - 409 899 709 1005 Lyon - APE 743 9 - TVA F R 82 409 899 709



DTE T FOR 9172 C.doc

Filtre d'octave
1/1 Octave filter

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Fréquence centrale filtre 1/1 octave <i>1/1 Octave filter central frequency attenuation</i>	Conforme <i>Conform</i>

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Réponse en fréquence filtre 1/1 octave <i>1/1 Octave frequency response</i>	Conforme <i>Conform</i>

Filtre de 1/3 d'octave
1/3 Octave filter

Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Fréquence centrale filtre 1/3 octave <i>1/3 Octave filter central frequency attenuation</i>	Conforme <i>Conform</i>

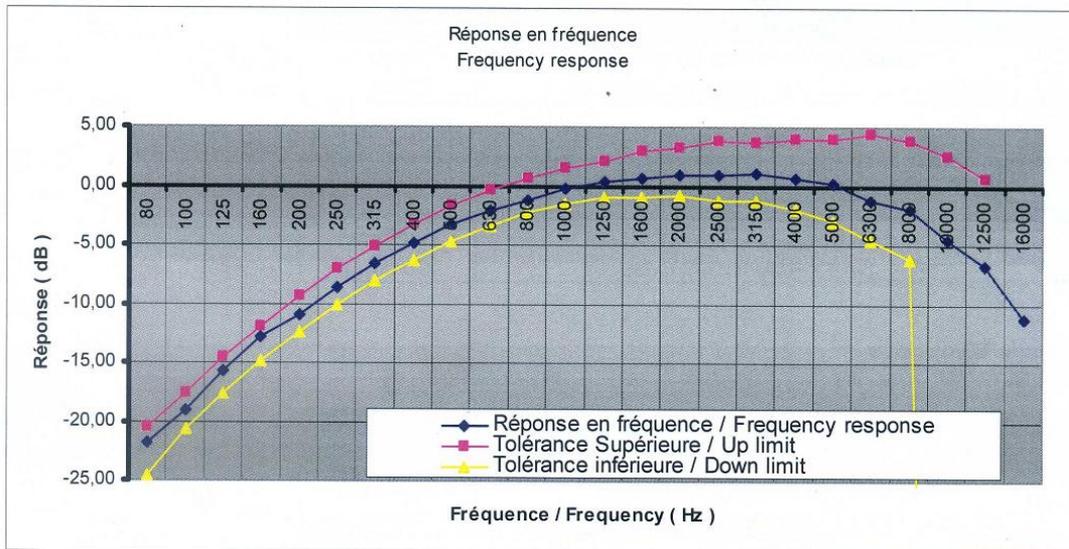
Description <i>Description</i>	Résultat <i>Result</i>
Réponse en fréquence filtre 1/3 octave <i>1/3 Octave frequency response</i>	Conforme <i>Conform</i>

01dB-Metravib

Siège social : 200, Chemin des Ormeaux • F - 69576 Limonest Cedex
Tél. : 33 (0)4 72 52 48 00 • Fax : 33 (0)4 72 52 47 47
www.01db-metravib.com
SAS au capital de 3,918,310€ - SIRET : 409 859 708 000 2 - / 09 859 708 805 Lyon - APE : 710 B - TVA FR 52 408 869 708

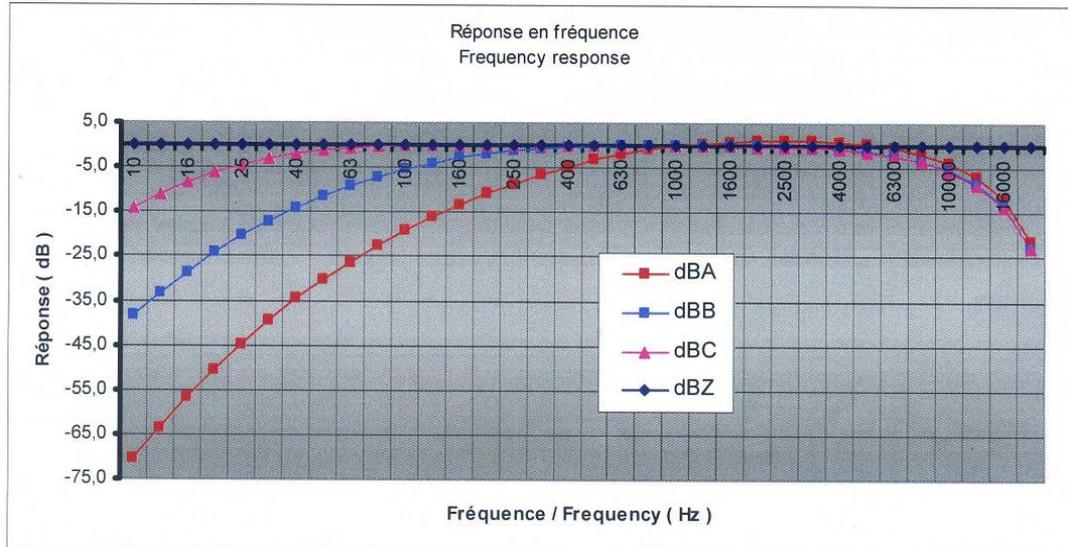


Annexe
 Annex



Réponse en champ libre du sonomètre en dBA avec tolérances de la Classe
 Free field frequency response dBA of the sound level meter with tolerances Class

2



Réponse en fréquence du sonomètre en électrique avec pondérations A-B-C-Z
 Electrical frequency response of the sound level meter with A-B-C-Z weightings

01dB-Metravib

Siège social : 200, Chemin des Ormeaux • F - 69578 Limonest Cedex
 Tél. : 33 (0)4 72 52 48 00 • Fax : 33 (0)4 72 52 47 47
 www.01db-metravib.com

SAS au capital de 3.915.810€ - SIREN : 409 859 709 00013 - 409 859 709 1025 Lyon - A.N.E. 743 3 - TVA F + 82 409 859 709



DTE T FOR 9172 C.doc