



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle
Spécialité : Intervention, Prévention

Thème

Elaboration d'une étude d'impact due à l'explosion d'un générateur « Explosion d'une chaudière dans une chaufferie urbaine »

Présenté et soutenu publiquement par :

TAIBI Djamel

et

MAMOUNI Abbes

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mm SERAT Zahira	MCB	Univ d'Oran 2/IMSI	Présidente
Mr NADJI Mohammed El Amine	MAA	Univ d'Oran 2/IMSI	Encadreur
Mr GUETARNI Mohamed Islam	MCB	Univ d'Oran 2/IMSI	Examineur

Année 2020/2021

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Nomenclature

Introduction Générale1

Chapitre I : L'intégrité De Développement Durable.....3

I-1. Introduction3

I-2. L'évolution Du Concept Du Développement Durable.....3

I-2-1. La Rencontre De Deux Courants : La Prise De Conscience Ecologique Et Le Notion De Développement3

I-2-2. Les Etapes Importantes.....5

I-2-2-1. Le Club De Rome (1972)5

I-2-2-2. La Conférence De Stockholm (1972) Et L'écodéveloppement.....5

I-2-2-3. Les Années 80.....5

I-2-2-4. Le Rapport Brundtland (1987).....5

I-2-2-5. Le Sommet De Rio De 1992.....6

I-2-2-6. La Conférence Mondiale Sur Les Droits De L'homme De (1993).....6

I-2-2-7. Le Sommet Mondial Sur Le Développement Social De 19956

I-2-2-8. Protocole De Kyoto (1997).....	7
I-2-2-9. Déclaration Du Millénaire (2000)	7
I-2-2-10. Le Sommet De La Terre A Johannesburg (2002)	7
I-2-2-11. L'état Français Adopte Sa Stratégie Nationale De Développement Durable (SNDD) (2003).....	7
I-2-2-12. Entrée En Vigueur Du « Protocole De Kyoto » (2005).....	8
I-2-2-13. Grenelle De L'environnement (France 2007).....	8
I-2-2-14. Adoption Du Paquet Climat-Energie Par L'union Européenne Avec L'objectif Dit Des « Trois Fois Vingt » Pour 2020 (2008).....	8
I-2-2-15. La Loi De Programmation Relative A La Mise En Œuvre Du Grenelle De L'environnement Est Votée (2009).....	8
I-2-2-16. Adoption De La Loi Dite « Grenelle II » (2010).....	8
I-2-2-17. Révision Du Paquet Climat-Energie De L'union Européenne Avec De Nouveaux Objectifs Pour 2030 (2014).....	9
I-2-2-18. Année 2015.....	9
I-2-2-19. Année 2017.....	9
I-2-2-20. Année 2018.....	9
I-2-2-21. Année 2019.....	10
I-2-2-22. Année 2020.....	10
I-3. Les Caractéristiques Du Développement Durable.....	10
I-4. Les Définitions Conceptuelles Et Opérationnelles Du Développement Durable.....	11
I-4-1. Recueil Des Définitions.....	11
I-4-2. Modèles Et Conditions D'application Du Développement Durable.....	13
I-5. Les Quatre Valeurs Fondamentales Du Développement Durable.....	14

I-6. Les Conditions A Remplir Pour La Poursuite Du Développement Durable Selon La Commission Mondiale Sur L'environnement Et Le Développement (CMED).....	14
I-7. Le DD : Processus Partenariale Et Participatif Engageant Les Responsabilité.....	14
I-8. Les Etudes D'impact Sur L'environnement (EIE).....	15
I-8-1. Définitions, Portée Et Objectifs Des EIE.....	15
I-8-2. Notice D'impact Sur L'environnement (NIE).....	16
I-9. L'évaluation Environnementale Stratégique (ESE)	16
I-9-1. Historique Et Rétrospective Des EIE.....	16
I-9-2. Sur Le Plan International.....	17
I-9-3. Sur Le Plan National.....	17
I-10. Les Acteurs Des EIE : Leur Rôle Dans Le Processus D'un Partenariat : « Promoteur-Collectivité ».....	19
I-11. Le Champ D'application De La Procédure De L'étude Ou De La Notice D'impact.....	24
I-11-1. Description De La Procédure D'étude Ou Notice D'impact.....	25
I-12. Rôle Des Différents Intervenants Dans La Procédure D'étude Ou Notice D'impact.....	26
I-12-1. Le Promoteur Ou L'acteur Du Projet.....	26
I-12-2. La Direction De L'environnement.....	26
I-12-3. Le Wali.....	27
I-12-4. Le Public.....	27
I-12-5. Le Ministre De L'environnement.....	27
I-13. Conclusion.....	28

Chapitre II : Etude Technologique Et Description Générale De La Centrale Thermo-Energétique.....	29
II -1. Introduction	29
II -2. Principe De Fonctionnement D'une Centrale Thermique.....	29
II -3. But Du Centrale Thermo-Energétique.....	31
II -4. Description Des Principaux Organes D'une Centrale Thermique.....	32
II -4-1. Turbine A Vapeur.....	32
II-4-1-1. Définition	32
II -4-1-2. Différents Catégories Des Turbines.....	32
II -4-1-3. Description De La Turbine A Vapeur.....	32
II -4-1-4.Principe De Fonctionnement.....	33
II -4-2. Générateur A Vapeur (Chaudière).....	35
II -4-2-1. Introduction.....	35
II -4-2-2. Principe De Fonctionnement De Générateur De Vapeur (D'une Chaudière).....	36
II -4-2-3. Classification Des Générateurs De vapeur.....	38
II -4-3. Condenseurs.....	39
II -4-3-1. Introduction.....	39
II -4-3-2. Classification Des Condenseurs.....	39
II -4-3-3. Principe De Fonctionnement.....	39
II -4-4. Pompes Centrifuges.....	40
II -4-4-1. Principe De Fonctionnement.....	40
II -5. Conclusion.....	41

Chapitre III : Etude Technologique De Générateurs De Vapeur Et Notions De Base Des Mécanismes De Transfert De Chaleur/ Dispositifs De Sécurité.....42

III -1. Introduction42

III -2. Différents Types Des Chaudières.....42

III -2-1. Chaudière A Tube Fumée.....42

III -2-1-1. Présentation.....42

III -2-1-2. Fonctionnement43

III -2-1-3. Précautions43

III -2-1-4. Production De Vapeur Surchauffée.....44

III -2-2. Chaudière A Tube D'eau.....44

III -2-2-1. Présentation44

III -2-2-2. Fonctionnement.....46

III -2-2-3. Précautions.....49

III -2-2-4. Production De Vapeur surchauffée.....49

III -3. Différents Composants D'un Générateur De Vapeur.....50

III -3-1. Réservoir.....50

III -3-2. Chambre De Combustion.....52

III -3-3. Echangeurs De Chaleur.....53

III -3-4. Bruleurs.....56

III -3-5. Evaporateur.....56

III -3-6. Enveloppe De Chaudière.....56

III -4. Alimentation Des Chaudières.....57

III -5. Contrôle Et Limitation De pression.....	58
III -5-1. Contrôle De Pression.....	58
III -5-1-1. Manomètre.....	58
III -5-1-2. Soupape De Sureté.....	59
III -5-1-3. Autres Dispositifs De Sécurité Sur Les Chaudières.....	60
III -6. Importance Et Modalités De l'entretien.....	61
III -7. Dégazeur.....	61
III -7-1. Définition.....	61
III -7-2. Principe De Fonctionnement.....	62
III -7-3. Rôle Du Dégazeur.....	62
III -8. Différents Types De Dégazeur.....	63
III -8-1. Dégazeur A Plateaux.....	63
III -8-2. Dégazeurs A Pulvérisation.....	63
III -8-3. Autres Types Des Dégazeurs.....	64
III -9. Eléments Du Dégazeur Thermique.....	64
III -10. Différents Catégories De Dégazage.....	65
III -10-1. Dégazage Mécanique (Physique).....	65
III -10-2. Dégazage Chimique.....	65
III -11. Notions De Base Des Mécanismes De Transfert De Chaleur Dans Les Générateurs De Vapeur.....	66
III -11-1. Problématique Des Générateurs De Vapeur.....	66
III -11-2. Causes D'explosion De Générateurs De Vapeur.....	67
III -11-2-1. Manque D'eau.....	67

III -11-2-2. Rupture Des Tubes.....	68
III -11-2-3. Mauvaise Combustion.....	69
III -11-2-3-A. Explosion Du Foyer.....	69
III -11-2-3-B. Fatigue Et Fragilisation Du Métal.....	70
III -11-2-3-C. Qualité De L'eau.....	70
III -12. Conclusion.....	71
Chapitre IV : Présentation Du Complexe GNL2/Z.....	72
IV-1. Historique Du Complexe GL2/Z.....	72
IV-2. Situation Géographique Du Complexe (Plan De Masse)	72
IV-3. Organisation Générale.....	75
IV-4. Renseignements Généraux Sur Complexe GP1Z.....	75
IV-4-1. Fonction De L'usine GL2/Z.....	76
IV-5. Description Detaille Du Procès.....	76
IV-5-1. Zone D'utilités.....	77
IV-5-2. Zone De Procède.....	77
IV-5-3. Zone De Stockage Et Chargement.....	81
IV-5-3-1. Chargement Et Installation D'expédition.....	82
IV-6. La Composition Du Gaz Naturel.....	83
IV-7. Description Des Composants De Base De La Chaudière	84
IV-8. Montage Panneau De Tube Du Four.....	85
IV-9. Composition Des Matériaux.....	86
IV-9-1. Remarque.....	86

IV-9-2. Danger.....	86
IV-10. Procédures Sécurité.....	87
IV-11. Conclusion.....	88
Chapitre V : Etude D'impact De L'explosion De Générateur A Vapeur.....	89
V-1. Introduction.....	89
V-2. Définition D'une Chaudière.....	89
V-3. Description Chaudière (Les Chaudières Dans Le Complexe GL2/Z).....	89
V-4. Rôle Des Chaudières Utilités Et Procès.....	89
V-5. Production De La Vapeur.....	89
V-5-1. Chaudière Utilité.....	90
V-5-2. Chaudière De Procède.....	90
V-5-3. Les Différents Parties D'une Chaudière.....	90
V-5-3-1. Les Principaux Equipements D'une Chaudière.....	90
V-5-3-1-1. Pompe D'alimentation.....	90
V-5-3-1-2. Bruleur.....	90
V-5-3-1-3. Economiseur.....	91
V-5-3-1-4. Ballons De Chaudières.....	91
V-5-3-1-5. Surchauffeur.....	91
V-5-3-1-6. Désurchauffeur.....	92
V-5-3-1-7. Réseau D'injection De Phosphates.....	92
V-6. Le Circuit Eau- Vapeur Dans Le Complexe.....	93
V-6-1. Réseau Vapeur.....	93

V-6-1-1. Distribution Du Vapeur.....	93
V-6-1-2. Réseau HP 62 Bars/440°C.....	93
V-6-1-3. Réseau MP 17.2 Bars/304°C.....	93
V-6-1-4. Réseau BP 4.5 Bars/229°C.....	94
V-7. Besoin De Complexe En Vapeur.....	94
V-7-1. La Vapeur D'eau.....	94
V-7-2. Utilisation De La Vapeur.....	94
V-7-2-1. Préchauffage Du Gaz Naturel.....	94
V-7-2-2. Préchauffage Des Produits A Base Température.....	94
V-7-2-3. Préchauffage Des Produits Torchés.....	95
V-8. Description Du Dégazeur Au Niveau Du GV.....	95
V-8-1. Principe De Fonctionnement Du Dégazeur.....	95
V-8-1-1. Dégazeur Physique.....	95
V-8-1-2. Dégazeur Chimique.....	95
V-9. Causes De Percement Des Tube D'économiseur.....	95
V-10. Analyse Du Problème.....	97
V-11. La Conception De L'économiseur.....	98
V-12. Phénomène De Vortex Juste Apres La 1ere Rangée Du Tube (Sortie Cheminée)	100
V-13. Interprétation Du Mapping D'économiseur De La 570UA.....	101
V-14. Défaillance Des Tubes.....	101
V-15. Risques Incendie / Explosion.....	102
V-15-1. L'incendie.....	102

V-15-2. L'explosion.....	102
V-16. Situation Pouvant Créer Une Explosion.....	103
V-17. Chaudières Alimentées Au Gaz (Situation Pouvant Créé Une Explosion).....	103
V-18. Différents Impacts (Conséquences De L'explosion De La Chaudière).....	105
V-18-1. Sur Le Matériel.....	105
V-18-2. Sur Le Personnel.....	106
V-18-3. Sur Economie.....	106
V-19. Bilan.....	106
V-20. Arrêt Du Turbo-Alternateur Et Un Evaporateur.....	106
V-21. Conclusion.....	108
Chapitre VI : Quelque Cas D'explosion Dans Le Monde.....	109
VI -1. Exemple Des Cas D'explosion D'un Chaudière Dans Le Monde.....	109
VI-1-1. Explosion D'une Chaudière Dans Une Usine Agroalimentaire.....	109
VI-1-2. Explosion Dans Un Complexe Pétrochimique -Algérie – Skikda (19/01/2004).....	110
VI-1-3. Explosion A L'intérieur D'une Chaudière Au Gaz Naturel -France - Reims (30/05/2006).....	111
VI-1-4. Explosion Dans La Chaufferie D'une Distillerie -France - Mareuil-Sur-Aÿ (29/12/2005).....	111
VI-1-5. Explosion D'une Chaudière Dans Une Centrale Thermique- France - Dunkerque (17/07/2004)	112
VI-1-6. Explosion Dans Le Foyer D'une Chaudière Dans Une Usine De Fabrication D'emballages -France - Dijon (08/11/2002).....	113
VI-1-7. Explosion D'une Chaudière Dans Une Laiterie-France – Derval (05/11/2001).....	113
VI-1-8. Explosion Sur Le Circuit Vapeur D'une Chaudière -France- Venette (27/11/1999).	113

VI-1-9. Explosion D'une Chaudière A Gaz -France – Luttange (29/10/1999).....	114
VI-1-10. Explosion Une Chaufferie Dans Une Cimenterie -France – Airvault (17/09/1999).....	114
VI-1-11. Explosion Une Chaudière A Gaz - France – Bazouges (14/01/1997).....	114
VI-1-12. Explosion D'une Chaudière de 20,88 MW -France – Lyon (07/10/1994).....	115
VI-1-13. Explosion D'une Chaudière de 2,5 MW- France- Poitiers (09/12/1993).....	115
VI-1-14. Explosion Sur les installations de chauffage d'un immeuble d'habitation- France – Cholet (31/10/1993).....	115
VI-1-15. Explosion D'une Chaudière A Gaz - France - Le Creusot (08/04/1991).....	116
VI-1-16. Explosion D'une Chaudière A Gaz Naturel - Allemagne - Vohburg (15/02/1992).	116
VI-1-17. Explosion D'une Chaudière Dans Une Centrale Thermique - France - Le Havre (28/11/1984).....	116
VI-1-18. Explosion D'une Chaudière A Gaz Naturel - France – Boue (11/05/2009).....	117
VI-1-19. Explosion D'une Chaudière A Gaz- France - Gonfreville-L'orcher (13/03/2010)..	117
VI-1-20. Explosion d'une chaudière dans une usine sidérurgique France - Fos-Sur-Mer (10/10/2016).....	119
VI-2. Cas D'explosion D'un Chaudière En Detaille (France).....	120
VI-2-1. Le Site.....	120
VI-2-2. L'installation Impliquée.....	120
VI-2-3. L'accident, Son Déroulement, Ses Effets Et Ses Conséquences.....	122
VI-2-3-1. L'accident.....	122
VI-2-3-2. Les Conséquences.....	123
VI-3. Les Suites Données.....	126
VI-4. Les Enseignements Tirés.....	127

VI-5. Conclusion.....	129
Chapitre VII : Risques Lies A L'exploitation.....	130
VII-1. Introduction.....	130
VII-1. Influence De L'eau D'alimentation Et Du Combustion.....	130
VII -2-1. Influence De L'eau D'alimentation De La Chaudière.....	130
VII -2-1-1. Contrôle Des Propriétés Chimiques D'eau.....	130
VII-2-1-2. Propriétés Chimiques Requises Pour L'eau De Chaudière.....	131
VII-2-1-3. Fréquence Des Analyses.....	131
VII-2-1-4. Problèmes Causes Par L'eau.....	132
VII -2-1-4-1. La Corrosion.....	132
VII-2-1-4-2. L'entartrage.....	133
VII -2-1-4-3. L'encrassement Biologique.....	133
VII-2-1-4-4. Moussage Et Primage.....	134
VII-2-1-4-5. Quelques Contaminants De L'eau.....	135
VII -2-1-5. Les Facteurs Qui contribuent Dans Le Phénomène De Corrosion.....	135
VII-2-1-5-1. Influence De La Température.....	136
VII -2-1-5-2. Influence De L'oxygène Dissous.....	137
VII-2-1-5-3. Influence Du PH.....	137
VII-2-1-5-4. Influence De La Vitesse D'écoulement D'eau.....	137
VII -2-2. Influence De La Combustion.....	137
VII -2-2-1. Exploitation (La Combustion).....	137
VII-2-2-2. Mise En Service Des Bruleurs Et Fonctionnement.....	138

VII -2-2-3. Approvisionnement En Air De Combustion Des Bruleurs.....	138
VII-2-2-4. Extinction Des Bruleurs Par Excès D'air.....	141
VII-2-2-5. Défaillance Du Système De Sécurité De La Chaudière.....	142
VII-3. Prévention De Leurs Effets.....	142
VII-3-1. Lutte Contre Les Problèmes Causes Par L'eau.....	142
VII -3-2. Le Principe De Conditionnement De L'eau De Chaudière.....	143
VII-3-3. Lutte Contre Les Problèmes Causes Par La Combustion.....	145
VII-3-3-1. Traitement Des Nox.....	146
VII-3-3-2. Traitement Des SOx.....	148
VII-3-3-3. Dépoussiérage.....	149
VII-4. Risques Génères En Phase D'exploitation.....	152
VII-4-1. Exemple D'explosion D'une Chaudière.....	152
VII-4-2. Alarme Apparue Avant L'explosion.....	152
VII-4-3. Hypothèse Sur L'origine De L'incendie.....	152
VII-4-4. Risques Incendie_ Explosion.....	153
VII-5. Conclusion.....	156
Chapitre VIII : Mesures De Sécurité / Préconisations.....	157
VIII-1. Introduction.....	157
VIII-2. Mesures A Prendre Pour Eviter L'explosion.....	157
VIII-3. Précautions A Prendre Pour Le Démarrage.....	158
VII-3-1. Contrôles Avant Le Démarrage De La Chaudière.....	158

VIII-3-1-1. Les Critères De Conception Des Chaudières Pour Un Fonctionnement A Charge Nominale, Avec Un Temps Maximal De Service Effectif.....	159
VIII-3-1-2. Les Caractéristiques De Calcul En Considérant Un Fonctionnement A Charge Variable (25%L – 110%L), Avec Un Temps Maximal De Service Effectif.....	159
VIII-3-2. Démarrage De La Chaudière.....	160
VIII-4. Précautions Pour La Protection Du Surchauffeur.....	160
VIII-4-1. Inspections.....	160
VIII-4-2. Contrôle Et Surveillance	160
VIII-4-3. Recommandation Avant L’exploitation.....	161
VIII-5. Maintenance De Surchauffeur.....	161
VIII-6. Protection De Surchauffeur.....	161
VIII-6-1. Primage.....	162
VIII-7. Consignes De Sécurité Pour La Vapeur.....	163
VIII-8. Consignes De Sécurité Pour Les Fumées.....	164
VIII-9. Arrêts D’urgences.....	167
VIII-10. Conclusion.....	169
Conclusion Générale	170
Bibliographie.....	172
Annexes.....	176

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : (NADJI Mohamed El Amine), pour ses précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury :(Mme SERAT Zahira comme présidente et Mr GUETARNI Mohammed Islam comme examinateur pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Beaucoup de personnes ont contribué à la réalisation de ce travail, par leur amabilité leur soutien, leurs encouragements, leur disponibilité et leur aide, que ces personnes nous pardonnent...

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nos plus grand merci pour notre grand dieu tout puissant.

Dédicaces

On dédie ce modeste travail à nos parents.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, notamment nos enseignants, nos amis et nos proches.

Aux collègues de stage qui nous ont soutenu dans notre travail et encouragé notre idée pour perfectionner notre cursus.

Djamel & Abbas

Liste des figures

	Page
<i>Figure 1 : Modèle définissant le développement durable selon Salder et Jacobs</i>	13
<i>Figure 2 : Représentation schématique d'une centrale thermique</i>	29
<i>Figure 3 : Schéma simplifié d'une centrale thermique à vapeur</i>	31
<i>Figure 4 : Schéma T-H du cycle de Rankine</i>	33
<i>Figure 5 : Chaudière industrielle</i>	35
<i>Figure 6 : Chaudière industrielle</i>	36
<i>Figure 7 : Fonctionnement d'une chaudière</i>	37
<i>Figure 8 : Chaudière à tube de fumée</i>	43
<i>Figure 9 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à tube de fumée</i>	43
<i>Figure 10 : Chaudière à tube d'eau</i>	44
<i>Figure 11 : Différent types Générateur de vapeur</i>	44
<i>Figure 12 : Générateur de vapeur type radiant</i>	45
<i>Figure 13 : Principe de la circulation naturelle</i>	46
<i>Figure 14 : Principe de la circulation forcée</i>	46
<i>Figure 15 : Circuit Eau/Vapeur</i>	48
<i>Figure 16 : Circuit Air/Fumée</i>	49
<i>Figure 17 : Ballon supérieur (Drum)</i>	50
<i>Figure 18 : Les deux types de ballons</i>	51
<i>Figure 19 : Ballon supérieur</i>	52
<i>Figure 20 : Echangeur de chaleur</i>	53
<i>Figure 21 : Schéma d'économiseur</i>	54
<i>Figure 22 : Schéma d'économiseur</i>	54
<i>Figure 23 : Schéma de Surchauffeurs</i>	55
<i>Figure 24 : Schéma des surchauffeurs</i>	55
<i>Figure 25 : Représentation schématique d'un bruleur</i>	56
<i>Figure 26 : Schéma d'évaporateur</i>	56
<i>Figure 27 : Le manomètre</i>	58
<i>Figure 28 : Soupapes de sureté</i>	59
<i>Figure 29 : Dégazeur</i>	64
<i>Figure 30 : Dégazeur thermique</i>	65
<i>Figure 31 : Explosions des générateurs à vapeur</i>	67
<i>Figure 32 : Situation géographique</i>	73
<i>Figure 33 : Les zones de complexe GL2/Z</i>	74
<i>Figure 34 : Schéma synoptique d'un train de liquéfaction</i>	78
<i>Figure 35 : Représentation Schématique du procédé d'un train de liquéfaction</i>	78
<i>Figure 36 : Zone de procédé</i>	81
<i>Figure 37 : Zone de stockage GNL pour le chargement</i>	82
<i>Figure 38 : Photo d'un économiseur</i>	91
<i>Figure 39 : Dégazeur</i>	95
<i>Figure 40 : Schéma d'économiseur d'une chaudière</i>	96

<i>Figure 41 : Situation des tubes percés de l'économiseur de la chaudière 570UA</i>	<i>97</i>
<i>Figure 42 : Un tube d'économiseur percé</i>	<i>98</i>
<i>Figure 43 : L'économiseur de la chaudière de complexe GL2/Z.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 44 : L'économiseur de la chaudière de complexe GL1/Z.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 45 : Schéma du tourbillon de karman</i>	<i>100</i>
<i>Figure 46 : Mécanisme de la fissure de tube</i>	<i>100</i>
<i>Figure 47 : Photo de la zone la plus faible de tube d'économiseur.....</i>	<i>101</i>
<i>Figure 48 : Explosion d'une chaudière de Raffinage Skikda.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 49 : Schéma de l'alimentation en gaz de la chaudière HP4</i>	<i>121</i>
<i>Figure 50 : Explosion de la chaufferie</i>	<i>122</i>

Liste des tableaux

	Page
<i>Tableau 1 : Comparaison entre deux types de générateurs de vapeur.....</i>	38
<i>Tableau 2 : Composition du Gaz d'alimentation de GL2/Z.....</i>	74
<i>Tableau 3 : Les principales caractéristiques du complexe.....</i>	76
<i>Tableau 4 : Composition de calcul du MCR.....</i>	80
<i>Tableau 5 : Les composants du gaz naturel et leur température d'ébullition.....</i>	83
<i>Tableau 6 : La composition moyenne du gaz naturel de Hassi R'Mel.....</i>	83
<i>Tableau 7 : Composition du produit final (GNL)</i>	84
<i>Tableau 8 : Fiche technique d'une chaudière H.P (procès)</i>	92
<i>Tableau 9 : Tendances de l'eau suivant</i>	134

Liste d'abréviation

ABB : ASEA Brown Boveri (Entreprise Helvético-suédoises)
ATEX : Atmosphère Explosible
BP : Basse Pression
CNUCED : Conférence des Nations Unies sur L'environnement et Le Développement
CMED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement
CNE : Conseil National de l'Environnement
CTE : Centrale Thermo-Energétique
CO : Monoxyde De Carbone
CO2 : Dioxyde De Carbone
DD : Développement Durable
EIE : Etude D'impact Sur L'environnement
ESE : Evaluation Environnementale Stratégique
FMN (WWF): Fonds Mondial pour la Nature (World Wildlife Fund)
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FO : Fioul Oil
GPL : Gaz De Pétrole Liquéfié
GP1/Z : Gaz du pétrole d'Arzew (Complexe 1)
GL1/Z : Gaz liquéfié d'Arzew (Complexe 1)
GL2/Z : Gaz liquéfié d'Arzew (Complexe 2)
GL3/Z : Gaz liquéfié d'Arzew (Complexe 3)
GN : Gaz Naturel
GNL : Gaz Naturel Liquéfié
GV : Générateur de Vapeur
HP : Haute Pression
IHI: Ishikawajima-Harima Heavy Industries (Constructeur)
MIT: Massachusetts Institute of Technology
MP : Moyen Pression
MEA : Mono-éthanol-amine.
MCR : Multi Composant Réfrigérant
NIE : Notice D'impact Sur L'environnement
NOx : Oxydes D'azote
ONU : Organisation des Nations Unies

OID : Objectifs Internationales pour Développement
ONU : Organisation des Nations Unies
ONG : Organisations Non Gouvernementales
PCET : Plans Climat-Energie Territoriaux
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PGE : Plan de Gestion Environnementale
ppb : Partie par milliard
PVC : Poly. Chlore Vinyle
PH : Potentiel Hydrogène
SRCAE : Schémas Régionaux du Climat, de L'air Et de L'énergie
SMC : Stratégie Mondiale de la Conservation (UICN)
SONATRACH: L'entreprise Nationale De Transformation, Canalisation Et Commercialisation Des Hydrocarbures (groupe SONATRACH).
SONELGAZ : Société Nationale De L'électricité Et Du Gaz
SO_x : Oxydes De Soufre
SO₂ : Dioxyde De Soufre
TAC : Titre Alcalimétrique Complet
TiO₂ : Dioxyde De Titane
TH : Titre Hydrotimétrique ou « dureté de l'eau »
TAC : Titre Alcalimétrique Complet
UICN : Union Internationale pour la Conservation
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
VCM : Mono. Chlore Vinyle
V₂O₅ : Pentoxyde De Vanadium
Zn : Zinc

Nomenclatures

Symboles	Significations	Unités
P	La pression	Bar
T	La température	°C
ρ	Résistivité	$\Omega \cdot m$
R	Résistance	Ω
V	Vitesse	m/s
E_c	Energie Cinétique	joule (J)
P	Puissance (physique)	watt
D	Distance	mètre
D_v	Débit Volumique	m^3/s

Introduction Générale

Introduction Générale

Le développement de l'économie ne se fait pas sans heurts.

En plus de l'acquisition exponentielle des technologies nouvelles, il devient impératif de pouvoir contrôler leur processus afin de prévenir les risques et les dangers d'explosion qui peuvent en générer.

On se rappelle du terrible bilan des catastrophes, survenues dans le passé à travers le monde, qui n'ont épargné ni les pays du tiers monde, ni les pays industrialisés.

Pour cela, notre pays doit asseoir une conception nouvelle et rigoureuse de la sécurité sur des bases techniques et scientifiques, et lui donner une importance à sa juste valeur

La production de vapeurs ou d'eau chaude occupent une place dominante dans les activités industrielles, le principe est de chauffer de l'eau et produire de la vapeur, l'énergie thermique peut être produite de diverses manières soit par l'électricité (effet Joules), par combustion solide, liquide ou gazeuse...

Le Générateur à vapeur (chaudière) est l'un des composants clés d'une installation thermique. Sa fonction principale est de produire de l'eau chaude ou de la vapeur (à basse, moyenne ou haute température) pour différentes raisons telles que le chauffage centralisé, la production d'eau chaude sanitaire ou même pour la production de l'énergie électrique. Ce système est conçu pour opérer à de longues périodes et à des variations de charge incessantes, rapides et parfois importantes.

L'énergie thermique transférée (source de chaleur) peut être soit la chaleur dégagée par la combustion (de charbon, de fioul, de gaz, de bois, de déchets, etc.), soit la chaleur contenue dans un autre fluide (chaudière de récupération sur gaz de combustion ou gaz de procédés chimiques, chaudière « nucléaire » recevant la chaleur du circuit primaire, etc.), soit encore d'autres sources de chaleur (chaudières électriques, par exemple). Les chaudières sont aussi bien des systèmes industriels que domestiques.

À l'intérieur de la chaudière, ce fluide caloporteur peut être soit uniquement chauffé (c'est-à-dire qu'il reste en phase liquide), soit chauffé et vaporisé, soit chauffé, vaporisé puis surchauffé (donc avec passage de la phase liquide à la phase gazeuse)... Pendant l'opération, plusieurs problèmes peuvent être rencontrés et mener à limiter l'opération normale de l'installation produisant des troubles sérieux dans le programme de la production.

Des accidents qui menacent l'intégrité structurale du système et provoquent de sérieuses pertes économiques et parfois humaines peuvent en résulter.

Les chaudières à tubes de fumée sont exposées à un certain nombre de problèmes qui résultent à des degrés plus ou moins élevés que pour le cas des chaudières à tubes d'eau.

Les défaillances les plus graves sont en relation avec les charges thermiques importantes supportées par les tubes de la chaudière. En effet, le métal se trouve soumis à une variété de contraintes qui accélèrent l'altération de cohésion des matériaux sous les effets du flux de chaleur interne (haute température) et des phénomènes destructifs du côté externe (côté eau : Entartrage, corrosion, ébullition,...). Ces contraintes ont une influence sur le bon fonctionnement de la chaudière, et parfois des conséquences graves, telles que des explosions.

Ce travail fera un rappel sur les connaissances nécessaires à la compréhension du Fonctionnement des chaudières à vapeur et l'impact en cas d'explosion de ce générateur.

Dans le cadre de notre thème de mémoire de master nous avons réparti notre travail en huit chapitres :

- ❖ Une Introduction Générale
- ❖ Le premier chapitre décrit l'intégrité de développement durable.
- ❖ Le deuxième chapitre est une étude technologique et description générale de la centrale thermo-énergétique.
- ❖ Le troisième chapitre décrit une étude technologique de générateurs de vapeur et notions de base des mécanismes de transfert de chaleur/ dispositifs de sécurité.
- ❖ Le quatrième chapitre est une présentation du complexe (lieu de stage). Avec une description et mode de fonctionnement du générateur à vapeur type du complexe.
- ❖ Le cinquième chapitre est une étude sur l'impact d'une explosion d'un générateur de vapeur.
- ❖ Le sixième chapitre décrit quelque cas d'explosion dans le monde.
- ❖ Le septième chapitre est décrit les risques liés à l'exploitation.
- ❖ Le dernier chapitre est décrit les mesures de sécurité / préconisations.
- ❖ Et on clôt l'étude par une Conclusion Générale

CHAPITRE I

L'intégrité De Développement Durable

Chapitre I : L'intégrité De Développement Durable

I-1. Introduction

Le développement durable est devenu une réelle préoccupation des entreprises. Il s'agit, selon la définition proposée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement dans le Rapport Brundtland.

« Un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs⁸».

Le DD s'est construit comme une réponse des institutions et des entreprises aux préoccupations de la société civile et de certaines organisations non gouvernementales, relatives aux impacts environnementaux et sociaux de l'activité des principaux agents économiques sur leurs parties prenantes.

Pour certain nombre d'entreprise, l'engagement dans le DD est avant tout l'opportunité de transformer des obligations environnementales en outil de communication interne, et de se faire référencer par les fonds éthiques. Pour d'autres, il s'agit d'une continuité du concept de l'entreprise citoyenne.

Enfin, il existe des entreprises qui ont compris l'enjeu du DD pour l'avenir : elles tentent de mettre en place une véritable politique du DD, notamment la politique d'entreprise déployée dans le domaine des ressources humaines pour essayer de valider la réalité de l'avantage concurrentiel et de construire une performance durable.

I-2. L'évolution du Concept Du Développement Durable

I-2-1. La Rencontre De Deux Courants : La Prise De Conscience Ecologique Et La Notion De Développement

Historiquement, on peut dire que le¹ DD correspond à la rencontre de deux courants de réflexion déjà anciens.

•Le premier s'est développé dès les années 1950 autour de l'idée de «développement» qui s'est peu à peu opposé au concept purement économique de «croissance».

Le terme «développement» a surtout concerné au début les pays du Sud : il s'agissait du processus par lequel ces pays cherchaient à sortir de la pauvreté.

Sur le plan sémantique, il est beaucoup plus large que celui de croissance. Il intègre en effet des valeurs sociales et culturelles (la santé, l'éducation, la formation...) ainsi que des

¹ DD : développement durable

données non comptabilisées par le calcul économique classique (autoproduction, valeur des biens naturels...) ; il peut prendre en compte aussi de nombreuses consommations intermédiaires (par exemple les prélèvements sur la nature dans le cadre des processus de production) ainsi que les dérèglements ou perturbations des écosystèmes liés à l'activité économique.

L'idée de «développement» s'est progressivement généralisée et s'est appliquée aux pays industrialisés pour désigner certains aspects de leur activité économique et sociale. C'est ainsi qu'une réflexion a été menée en France, dès la fin des années 1950 autour du «développement régional» né lui-même de la prise de conscience que certaines parties du territoire national (le Centre, l'Ouest, le Sud-ouest...) risquaient de prendre du retard par rapport à la croissance extrêmement rapide du Bassin parisien et de quelques autres régions.

C'est également en prolongement des travaux sur le développement régional qu'est né plus tard le concept de «développement local» qui s'est voulu une réponse aux effets de la crise économique par la mobilisation des ressources des différents territoires.

- Le second concerne la prise de conscience écologique. L'idée d'une nécessaire protection de l'environnement et d'une utilisation aussi économe que possible des ressources naturelles s'est imposée à partir des années 1970. Il fallait mettre un frein aux gaspillages et aux dérèglements occasionnés par la croissance extrêmement rapide des années de l'après-guerre.

Cette prise de conscience des risques que nous faisons prendre à notre écosystème a conduit à élaborer dans un premier temps des actions et des politiques défensives, protectrices ou réparatrices.

Il fallait avant tout préserver la nature contre les risques d'agression du fait des activités humaines. C'est la période de la création, en France, des parcs nationaux, des réserves naturelles, du classement des grands sites naturels, des mesures de protection des espèces... Dans ce contexte, protection de l'environnement et activité économique s'opposent.

Dans les années 1980, une nouvelle étape est franchie dans la prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement. Les atteintes portées par l'homme à son milieu ne concernent pas uniquement les écosystèmes locaux et ne sont pas toutes visibles ; les menaces sont également globales et affectent la biosphère ; c'est la découverte du trou dans la couche d'ozone, de l'existence et de l'accroissement de l'effet de serre, du phénomène de désertification....Les politiques simplement protectrices ou réparatrices montrent leurs limites ; le mode de développement de nos sociétés ne peut que susciter de véritables interrogations.

C'est de la rencontre de ces deux mouvements que l'idée de DD est née. Selon René Passet: «une croissance du PIB accompagnée d'exclusion sociale, de déculturation et d'une dégradation du milieu naturel n'est pas un développement».

I-2-2. Les Etapes Importants

Le concept de développement durable s'est surtout construit au cours des trois dernières décennies du XXème siècle. Les années 60 ont été marquées par le constat que les activités économiques génèrent des atteintes à l'environnement (déchets, fumées d'usine, pollutions des cours d'eau, etc.).

Le développement durable en quelques dates:

I-2-2-1. Le Club De Rome (1972)

Les travaux du Club de Rome, à la fin des années 1960, sont souvent cités comme point de départ. Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) dénonce dans un rapport publié en 1972 et intitulé «Halte à la croissance», le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle du point de vue de l'épuisement des ressources, de la pollution et de la surexploitation des systèmes naturels.

I-2-2-2. La Conférence De Stockholm (1972) Et L'écodéveloppement

La notion d'écodéveloppement, sur laquelle travaille l'équipe d'Ignacy Sachs en France, s'attache à réconcilier deux approches apparemment antagonistes, celle du développement et celle de l'environnement, indissociables l'une de l'autre, et contribue à remettre en cause les modes de développement du Nord et du Sud, générateurs de pauvreté et de dégradations environnementales.

La conférence de Stockholm qui devait, à l'origine, être consacrée à l'environnement, s'ouvre donc modestement aux questions du développement.

La notion d'écodéveloppement aura cependant une vie courte puisqu'elle est condamnée officiellement par Henry Kissinger lors de la conférence de Cocoyoc (1974); elle sera désormais écartée du vocabulaire institutionnel international.

Mais l'idée d'un développement qui ne soit pas uniquement guidé par des considérations économiques mais également par des exigences sociales et écologiques va faire son chemin.

La notion d'écodéveloppement fera, en effet, l'objet d'une réappropriation par les Anglo-saxons qui lui substitueront la notion de «Sustainable Development».

I-2-2-3. Les Années 80

Cette période est marquée par une prise de conscience collective de l'existence de pollutions dépassant les frontières et de dérèglements globaux tels que le trou d'ozone, les pluies acides, la désertification, l'effet de serre, la déforestation ...

I-2-2-4. Le Rapport Brundtland (1987) [1]

En 1987, la publication de rapport notre avenir à tous de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement consacre le terme «Sustainable Development», proposé

par l'UICN en 1980 dans son rapport sur la stratégie mondiale de la conservation, successivement traduit en français par «Développement Soutenable» puis

«Développement Durable» ou «Développement Viable». Il est défini comme :

« Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs».

I-2-2-5. Le Sommet De Rio De 1992 [2]

En 1992, lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (²CNUCED ou sommet de la terre), le DD est consacré par 182 États. Lors du Sommet sont précisées les finalités du DD. Il s'agit de replacer les êtres humains au centre des préoccupations relatives au DD car ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature, notamment par la lutte contre la pauvreté dans le respect des générations présentes et futures. Il s'agit également de préserver les équilibres planétaires et les ressources environnementales pour un développement à long terme, en infléchissant les modes de développement et en éliminant les modes de production et de consommation non durables au profit de ceux qui seraient durables dont la diffusion doit être favorisée.

Les Etats présents à Rio ont également adopté Action 21 (communément appelé l'Agenda21 de Rio):

Il s'agit d'un programme global d'action à mettre en œuvre par les gouvernements, les institutions du développement, les organismes des Nations Unies et les groupes des secteurs indépendants dans tous les domaines où l'activité humaine affecte l'environnement. Ses 40 chapitres analysent la situation, exposent des stratégies et formulent 2500 près de recommandations et solutions à mettre en œuvre : ils décrivent les moyens nécessaires, notamment financiers et institutionnels, pour agir sur quatre champs : Le champ économique et sociale du développement ; la conservation et la préservation des ressources aux fins de développement ; la participation des groupes majeurs à l'élaboration et la mise en œuvre du développement; la mise en œuvre de moyens d'action transversaux permettant une inflexion du développement vers plus de durabilité.

I-2-2-6. La Conférence Mondiale Sur Les Droits De L'homme De (1993)

Cette conférence a insisté sur les droits des populations à un environnement sain et le droit au développement, deux exigences sujettes à controverse et auxquelles certains États Membres s'étaient opposés jusqu'au Sommet de Rio.

I-2-2-7. Le Sommet Mondial Sur Le Développement Social De 1995 [3]

A vu l'adoption par 128 chefs d'Etats et de gouvernements de la Déclaration sur le Développement Social, qui vise à faire face aux trois fléaux se développant dans tous les pays du monde : la pauvreté, le chômage et la désintégration sociale. Les Etats s'engagent

² CNUCED : Conférence des Nations Unies sur L'environnement et Le Développement

« À faire de la lutte contre la pauvreté, de la réalisation du plein emploi et de l'instauration d'une société où régneront la stabilité, la sécurité et la justice, leur objectif suprême ».

I-2-2-8. Protocole De Kyoto (1997) [4]

En 1997, le protocole de Kyoto fixe des objectifs de réduction pour les pays industrialisés au-delà de l'an 2000 : 5,2 % sur la période 2008-2012 par rapport à 1990 pour les pays industrialisés, 8 % pour l'Union européenne, 0 % pour la France. L'application du protocole de Kyoto se heurte à des difficultés croissantes, notamment sur la mise en œuvre des mécanismes de flexibilité : «Permis à polluer, développement propre».

I-2-2-9. Déclaration Du Millénaire (2000) [5]

En 2000, la Déclaration du millénaire de³ l'ONU réaffirme huit objectifs internationaux pour le développement (OID) :

- Réduire l'extrême pauvreté et la faim ;
- Assurer l'éducation primaire pour tous ;
- Promouvoir l'égalité des sexes et l'autonomisation des femmes ;
- Réduire la mortalité infantile, améliorer la santé maternelle ;
- Combattre le VIH / sida, le paludisme et d'autre ;
- Assurer un environnement durable ;
- Mettre en place un partenariat mondial pour le développement.

I-2-2-10. Le Sommet De La Terre A Johannesburg (2002) [6]

En août 2002, le Sommet mondiale a reconnu le rôle des entreprises dans le développement durable. Kofi Annan a notamment déclaré : «Nous réalisons que c'est seulement en mobilisant le secteur privé que nous ferons des propres significatifs. (...) Les problèmes environnementaux et sociaux ne peuvent être résolus qu'en mobilisant les entreprises privées, car les gouvernements ne peuvent agir seuls. La situation peut s'améliorer, si vous faites les bons choix. Si ce n'est le cas, la jeune génération fera pression sur les gouvernements pour réguler l'économie.» De nombreux secteurs (automobile, chimie, ciment, etc.) ont proposé des engagements et initiatives.

I-2-2-11. L'état Français Adopte Sa Stratégie Nationale De Développement Durable (SNDD) (2003)

³ ONU : Organisation des Nations Unies
OID : Objectifs Internationales pour Développement

I-2-2-12. Entrée En Vigueur Du « Protocole De Kyoto » (2005)

En France, une Charte de l'environnement est adoptée et est adossée à la constitution. Elle confère notamment une valeur constitutionnelle aux principes de prévention, de précaution et de responsabilité.

I-2-2-13. Grenelle De L'environnement (France 2007)

Le Grenelle Environnement est un ensemble de rencontres politiques organisées en France en octobre 2007, visant à prendre des décisions à long terme en matière d'environnement et de développement durable, en particulier pour restaurer la biodiversité par la mise en place d'une trame verte et bleue, et de Schémas régionaux de cohérence écologique, tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre et améliorant l'efficacité énergétique.

Le DD s'est imposé en trente ans comme la ligne de conduite de la plupart des pays développés : « Assimiler la politique écologique à un « retour en arrière » est une imposture. Les plus grandes pollutions s'observent au moins autant dans les pays riches que dans les pays pauvres. Les plus grands agresseurs du climat sont des pays riches et des pays pauvres. Et soyons réalistes. Il est peine perdue de tenter de convaincre les pays en développement et émergents qu'ils doivent rester durablement pauvres parce que la croissance leur serait interdite. Il est peine perdue de tenter de convaincre les Français qu'ils doivent vivre dans la pénurie pour le bien-être des générations futures. L'enjeu est d'investir massivement pour créer les conditions de la croissance de demain. L'enjeu est un grand programme national et même européen. L'enjeu est de s'inscrire dans un nouveau mode de développement, un développement durable ».

Nicolas SARKOZY - Grenelle de l'environnement, 25 octobre 2007

I-2-2-14. Adoption Du Paquet Climat-Energie Par L'union Européenne Avec L'objectif Dit Des « Trois Fois Vingt » Pour 2020 (2008)

- Réduire de 20% les émissions de GES par rapport au niveau de 1990
- Améliorer de 20% l'efficacité énergétique
- Porter à 20% la part des énergies renouvelable

I-2-2-15. La Loi De Programmation Relative A La Mise En Œuvre Du Grenelle De L'environnement Est Votée (2009)

Du 7 au 18 décembre, les dirigeants du monde se rassemblent à Copenhague dans le cadre du Sommet de l'ONU sur le climat. Ainsi, le développement durable concilie efficacité économique, équité sociale et préservation de l'environnement et des ressources naturelles.

I-2-2-16. Adoption De La Loi Dite « Grenelle II » (2010)

Elle complète et territorialise la loi dite Grenelle I. Elle instaure notamment la mise en œuvre des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE), des plans climat-

énergie territoriaux (PCET) et l'obligation de réaliser des bilans carbone pour certains types d'établissements privés et publics.

I-2-2-17. Révision Du Paquet Climat-Energie De L'union Européenne Avec De Nouveaux Objectifs Pour 2030 (2014)

- Réduire de 40% les émissions de GES par rapport à 1990 (objectif contraignant)
- Améliorer de 27% l'efficacité énergétique
- Porter à 27% la part des énergies renouvelables

I-2-2-18. Année 2015

❖ Août 2015 :

Adoption de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte et publication au journal officiel le 18 août 2015. Cette loi doit permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le changement climatique et de renforcer son indépendance énergétique grâce à une série de mesures notamment sur la rénovation des bâtiments, le développement des transports propres, la lutte contre les gaspillages et la promotion de l'économie circulaire, le développement des énergies renouvelables, le renforcement de la sûreté nucléaire, la simplification des procédures...

❖ Décembre 2015 :

21ème Conférence des parties sur le changement climatique à Paris réunissant 195 Etats qui ont adopté le 12 décembre par consensus « l'accord universel de Paris ». Cet accord ambitieux et qualifié d'historique prévoit de maintenir le réchauffement planétaire « bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels » et de « poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C ».

I-2-2-19. Année 2017

- **1er juin** : les États-Unis décident de se retirer de l'accord de Paris sur le climat.
- **12 décembre** : One Planet Summit, réunion internationale sur les changements climatiques qui s'est tenue à La Seine Musicale, sur l'île Seguin, à Boulogne-Billancourt (France).

I-2-2-20. Année 2018

- **28 août** : en France, démission du ministre de la transition écologique Nicolas Hulot, qui met en cause un « modèle économique responsable de tous ces désordres climatiques » [7].
- **8 septembre** : première marche pour le climat organisée en France.

I-2-2-21. Année 2019

- **15 mai** : en France, création du Conseil de défense écologique lors d'un Conseil des ministres, annoncée par le président Emmanuel Macron, lors de sa conférence de presse du 25 avril faisant suite au grand débat national.
- **22 mai** : en France, la Loi relative à la croissance et la transformation des entreprises (dite loi Pacte) introduit dans le droit des sociétés français le statut d'entreprise à mission, qui donne à l'entreprise une finalité d'ordre social ou environnemental en plus du but lucratif.
- **25 novembre** : à l'occasion de la Conférence de Madrid de 2019 sur les changements climatiques (COP25), déclaration relative à l'urgence climatique du Conseil œcuménique des Églises [8].

I-2-2-22. Année 2020

- **29 juin** : en France, la Convention citoyenne pour le climat est reçue par le président de la République Emmanuel Macron pour entendre l'exposé et communiquer ses réponses.

I-3. Les Caractéristique De Développement Durable [9]

L'historique de la genèse du DD dégage les caractéristiques suivantes :

- Une approche mondiale qui cherche à dépasser le clivage Nord-sud en insistant sur le fait que la dégradation de l'environnement à une dimension planétaire. Cependant elle implique des réponses différenciées. Au nord, la limitation des déchets et des agents polluants comme le CO₂ est prioritaire, tandis qu'au sud c'est la maîtrise de la croissance démographique qui capte l'attention. La référence à l'expérience de l'Occident qui attribue un lien inversement proportionnel entre croissance économique et croissance démographique se heurte aujourd'hui au constat que les déchets et les agents polluants augmentent avec la croissance. Le changement qualitatif du sentier de la croissance nécessite un changement de la structure, de la production et de la consommation. Dans une optique économique, ce changement est obtenu par la prise en compte de tous les coûts, par le progrès technique et le changement des préférences des consommateurs.

- Une gestion écologique a comme objectif la transmission intergénérationnelle du capital naturel et la promotion de nouvelles images sociales de la nature qui voient dans les ressources naturelles une source de bien-être comme la beauté d'un site, la santé et les loisirs. Cette gestion cherche en premier lieu à atténuer l'irréversibilité de certaines actions polluantes commises dans le passé et tient compte du fait que nous ne disposons pas de substitutions pour certains écosystèmes à l'heure actuelle.

- Une prise de conscience des inégalités sociales et d'une éthique nouvelle cherche à remédier aux conditions inégales dans lesquelles s'expriment les choix économique individuels.

Seul le choix libre et non contraint par la pollution, la famine et l'ignorance est pertinente pour le fonctionnement des marchés et seul la réduction des inégalités de revenus et de fortunes permet de légitimer le DD à grande échelle. L'exigence d'une nouvelle éthique concerne surtout une responsabilité intergénérationnelle accrue.

I-4. Les Définitions Conceptuelles Et Opérationnelles Du Développement Durable [10]

I-4-1. Recueil Des Définitions

- Écodéveloppement (« Environmentally sound development »)

Maurice Strong et Ignacy Sachs

Concept qui désigne un type de développement intégré qui tient compte des contraintes écologiques et du long terme, un développement socio-économique écologiquement viable.

- **Développement autre ou société de conservation**

Fondation Dag Hammarsköld, Kimon Valaskis, Edward Goldsmith et Société Royale du Canada

Proposait un autre type de développement confiant en soi, endogène, centré sur les besoins réels, en harmonie avec la nature et ouvert au changement institutionnel.

- **Développement durable (axe conservation)**

⁴UICN, PNUE, FMN (WWF), FAO, UNESCO, Stratégie mondiale de la conservation (SMC)

La conservation au service du développement durable où le DD est défini comme la modification de la biosphère et l'emploi de ressources humaines, financières, vivantes et non vivantes, pour satisfaire aux besoins des hommes et améliorer la qualité de leur vie.

Pour assurer la pérennité du développement, il faut tenir compte des facteurs sociaux et écologiques, ainsi que des facteurs économiques, de la base des ressources vivantes et non vivantes, et des avantages et désavantages à long terme et à court terme des autres solutions envisageables.

- **Développement durable – CMED**

Revenons à la définition la plus couramment retenue, celle du Rapport Brundtland :

⁴UICN : Union Internationale pour la Conservation

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

FMN (WWF): Fonds Mondial pour la Nature (World Wildlife Fund)

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

CMED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

SMC : Stratégie Mondiale de la Conservation (UICN)

« Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

L'énoncé est simple et la durabilité ne semble trouver sa légitimité que dans la relation intergénérationnelle de satisfaction des besoins.

Une étude plus approfondie de cette définition est nécessaire ; elle fait apparaître trois composantes à la durabilité.

- La satisfaction des besoins peut être envisagée de manière « élargie » : elle comprend alors, outre la consommation de biens et services, l'ensemble des « biens primaires » et droits auxquelles aspirent les personnes, qu'il s'agisse des participations aux décisions politiques, du désir de relations sociales de la vue d'un beau paysage. Autant d'éléments qui concourent à « être bien ».

- La capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins pose le problème de la transmission, d'une génération à l'autre, des ressources disponibles : ressources naturelles, infrastructures, capitaux de toutes sortes. Si les ressources naturelles sont épuisées, l'environnement pollué, l'appareil de production en mauvais état, les systèmes sanitaire et éducatif déstructurés, le tissu social déchiré... (Tout cela en raison de catastrophes ponctuelles ou de politiques inappropriées..), il est probable qu'il sera difficile de répondre aux besoins du futur d'une manière équivalente à ce qui est fait aujourd'hui.

- Mais il est difficile d'aller plus loin dans ces affirmations compte tenu des incertitudes sur l'avenir.

- La question de l'équité, notamment entre générations. L'attitude des générations actuelles en matière de production, d'accumulation, de consommation, conditionne le bien-être des générations futures.

Mais il demeure difficile de prévoir avec précision les besoins, tant matériels qu'immatériels des générations futures. Tout au plus peut-on décider de ne pas priver les générations futures de ce qui fonde le bien-être actuel ; si ce principe est insuffisant, il permet néanmoins l'établissement de normes pour guider les politiques publiques.

A ce niveau on peut mettre en évidence trois critères constitutifs de la durabilité :

- L'accessibilité de tous à l'ensemble des biens et services ;
- Le renforcement des capacités de toutes sortes ;
- l'équité face à l'ensemble des ressources disponibles et transmissibles.

- **Développement durable - Sauver la planète**

UICN, PNUE, FMN (WWF), Sauver la planète: Stratégie pour l'Avenir de la Vie

La stratégie définit le développement durable par le fait d'améliorer les conditions d'existence des communautés humaines tout en restant dans les limites de la capacité de charge des écosystèmes.

I-4-2. Modèles Et Conditions D'application Du Développement Durable [11]

Des définitions sont issues des principes, des conditions et des modèles qui viennent en aide à l'application du DD. Dans bien des cas, la lecture des modèles permet une meilleure compréhension des notions associées à la définition du DD et la réflexion autour des conditions permet de susciter un questionnement lors de la conception de projets orientés vers un développement plus durable.

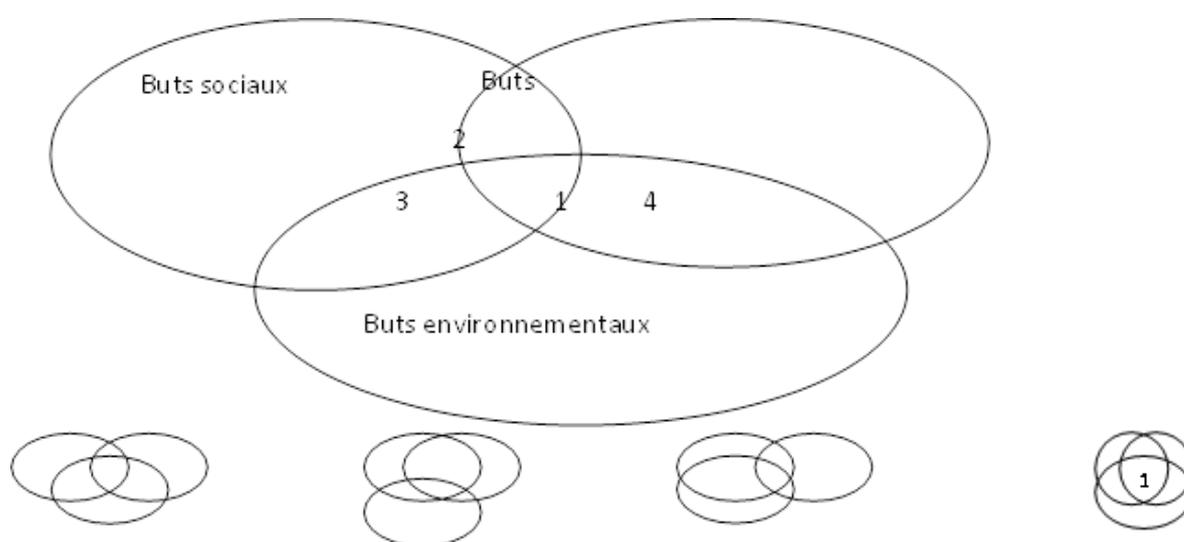


Figure 1 : Modèle définissant le développement durable selon Salder et Jacobs

1. Développement durable
2. Economie communautaire (ou sociale-démocrate selon Ferron 1993)
3. Conservation en équitable (ou système d'autoconsommation en agriculture durable selon Ferron 1993)
4. Intégration environnement-économie

Le modèle se fonde sur la théorie des ensembles. Il propose d'analyser le développement durable comme un ensemble de buts

Selon Ferron (1993), seuls les ensembles de l'équité sociopolitique (buts sociaux) et économie (buts économiques) peuvent se déplacer vers celui de l'environnement biophysique (buts environnementaux), qui est presque à sa limite. Ce déplacement permet l'atteinte d'un développement plus durable (accroissement de l'intersection des trois cercles « 1 »)

I-5. Les Quatres Valeurs Fondamentales De Développement Durable

- ✓ Forme de développement
- ✓ Socialement équitable
- ✓ Ecologiquement viable
- ✓ Economiquement efficace

Capable de Réduire les disparités riches-pauvres

I-6. Les Conditions A Remplir Pour La Poursuite Du Développement Durable Selon La Commission Mondiale Sur L'environnement Et Le Développement (CMED)

Des objectifs que devraient rechercher tous ceux qui entreprennent des activités dans le domaine du développement

Systeme politique :

Qui assure la participation effective des citoyens à la prise de décisions

Systeme social :

Capable de trouver des solutions aux tensions nées d'un développement déséquilibré.

Systeme international :

Qui favorise des solutions soutenables en ce qui concerne les échanges et le financement.

Systeme économique :

Capable de dégager des excédents et de créer des compétences techniques sur une base soutenue et autonome

Systeme de production :

Qui respecte l'obligation de préserver la base écologique en vue du développement

Systeme administratif :

Souple, capable de s'auto corriger

I-7. Le DD : Processus Partenariale Et Participatif Engageant Les Responsabilités [12]

La mise en œuvre du développement durable exige la mobilisation de tous les acteurs d'un territoire, d'une entreprise, ... pour permettre de bien formuler un projet commun, propre au groupe ainsi constitué. Toutes les compétences pressenties ou sensées être impliquées doivent être sollicitées sur plusieurs plans :

- Disciplinaire : économie, sociologie, écologie, ...
- Sectoriel : transport, déchets, eau, milieu naturel, développement social,

- Professionnel : élus, associations, entreprises, syndicats, administrations,
- Territorial : échelle nationale, régionale, (wilaya ou département), de l'agglomération.

Cette démarche dont l'enjeu est finalement de parvenir à inventer non seulement de nouveaux lieux de débats et d'échanges mais également de nouvelles procédures de concertation et de négociation, en un mot : concevoir de nouveaux modes de «Gouvernance».

En fin de compte, il s'agit d'aboutir à la conciliation de deux démarches ; approche descendante, dite « top-down » et approche ascendante dite « bottom-up », afin de garantir le succès d'un projet conçu de manière partenariale et coopérative.

Le DD implique et mobilise de manière particulière les citoyens quant à leur participation au processus de décision, car il s'agit de les associer dans tous les projets qui les concernent et de trouver aussi avec eux et d'autres partenaires socioéconomiques des solutions de compromis du fait souvent de la divergence d'intérêts des divers acteurs et eu égard aux contraintes.

I-8. Les Etude D'impact Sur L'environnement (EIE)

I-8-1. Définition, Portée Et Objectifs Des EIE

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est un instrument réglementaire, technique et scientifique, de planification, de gestion et d'aide à la prise de décisions.

L'EIE est venue en réponse aux préoccupations environnementales et sociales légitimes induites par un développement industriel accru, engendrant un développement considérable d'activités polluantes (hydrocarbures, mines, agroalimentaire, textile et cuir, papier, industries chimiques...), générant des déchets et des rejets importants, souvent anarchiques et illicites, sans traitement préalable et/ ou approprié, directement en milieu naturel, avec parfois des situations de pollutions, irréversibles de ressources naturelles précieuses (eau, terre à haute valeur agricole...) et de développement de maladies graves et invalidantes (maladies respiratoires, maladies dermatologiques, maladies des yeux).

Ces situations inquiétantes se développaient en raison d'un vide juridique et en l'absence de cadre législatif, réglementaire et institutionnel approprié et efficient.

L'EIE s'inscrit dans les principes du développement durable et est destinée à l'identification, l'évaluation et la prévention des risques et des conséquences réelles et potentielles de projets et activités de développement, sur le milieu naturel, l'hygiène, la salubrité et la sécurité publiques, et la préconisation, a priori, des mesures préventives, correctives et conservatoires requises pour les éliminer ou les atténuer.

Les EIE sont obligatoires et préalables à tout début de réalisation pour une certaine catégorie de projets d'aménagement et de construction, d'ouvrages d'art (grands projets, de barrages hydrauliques, d'autoroutes,...) et d'unités industrielles (établissements/installations classés...), selon leur envergure et la dimension des investissements prévus, et leurs incidences avérées /potentielles sur le milieu naturel.

Elles s'inscrivent dans le respect des principes fondamentaux énoncés dans les législations et réglementations nationales, à l'instar des principes généraux de la Loi-cadre algérienne n°03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable : du «pollueur-payeur», de «précaution», d'«intégration», de «substitution», de «prévention et de correction», d'«information et de participation du public»...

La portée des EIE est renforcée par les procédures de concertations intersectorielle et intra-sectorielle, d'information et de consultations publiques (cf. Enquêtes publiques, ...), ainsi que par une fiscalité écologique dissuasive fondée sur le principe du «pollueur –payeur».

Les EIE contribuent aussi à la compétitivité et à la durabilité des programmes et projets de développement concernés.

I-8-2. Notice D'impact Sur L'environnement (NIE)

«L'étude ou la notice d'impact sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects de projets, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné et figurant sur la liste des projets soumis à cette procédure.»

La notice d'impact sur l'environnement est requise, notamment, pour les projets de moindre importance, relativement à ceux de plus grande envergure et nécessitant une EIE.

Elle constitue une version plus succincte et simplifiée d'une EIE, mais doit être, en Algérie, en conformité avec les huit principes généraux de la Loi n°03-10 du 19 Juillet 2003 sur la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable et obéit aux obligations de décrire toutes les mesures auxquelles le projet doit satisfaire, en matière de protection de l'environnement, santé, hygiène et sécurité publiques.

I-9. L'évaluation Environnementale Stratégique (ESE)

L'EES est un autre instrument d'évaluation environnementale qui consiste en une étude permettant d'examiner la portée et la nature des risques et impacts environnementaux et socio-économiques potentiels en amont d'une série de projets, d'un programme, voire d'une politique ou d'une stratégie de développement, donc de dimension et d'envergure plus grande, à caractère stratégique, au niveau d'un pays, voire d'une région ou d'une institution .

I-9-1. Historique Et Rétrospective Des EIE

Introduites et appliquées soit sélectivement soit généralement dans de nombreux pays, les EIE constituent jusqu'à l'heure actuelle, l'instrument le plus pertinent et le plus approprié pour prévenir les impacts négatifs qu'une activité nouvelle risque de générer. L'expérience, sans aucune restriction ni doute, bonne et concluante, n'est pourtant pas mesurable. Elle le serait, si l'on pourrait comparer une évolution sans EIE à un développement avec l'application de l'EIE, une entreprise exclue par définition, car l'un des scénarios resterait

toujours fictif, et les conclusions seront, par conséquent, marquées par un manque de précision et de fiabilité, source de polémiques et d'interprétations subjectives.

Cependant, la bonne expérience se dessine, quand et si l'on se fie aux indicateurs : aucun pays ayant introduit l'instrument EIE, l'a abrogé depuis, et cela malgré une histoire de plus de deux décennies pour certains pays, et encore plus particulièrement :

-Malgré les réticences voire résistances dans de multiples cas, notamment expérimentées du côté de multiples promoteurs industriels mais aussi publics(développement agricole, grandes infrastructures hydrauliques, d'assainissement etc.),-malgré les coûts souvent non-négligeables à supporter par tous les partenaires de la procédure : l'administration compétente pour la mise en place et pour le fonctionnement des services hautement spécialisés et diversifiés(pluridisciplinaires...), et une infrastructure d'envergure, de fonctionnement complexe, à rayon national, trans-sectoriel..., et les promoteurs pour l'établissement de l'EIE et toutes les implications issues de la procédure, malgré une polémique péniblement entretenue par le milieu des grands pollueurs, qui tâchent à compenser la destruction (souvent irréversible) de l'environnement par des effets non-durables, malgré les déceptions que ressent essentiellement le milieu engagé et actif pour la protection de l'environnement réalisant la progression de grandes pollutions et l'aggravation des déprédations et des dommages, en dépit des résultats généralement positifs et réduisant tangiblement les émissions nuisibles, aux échelles nationales ainsi qu'à l'échelle globale.

L'on enregistre des variations que plusieurs pays ont introduit pour ajuster l'application de l'instrument aux conditions changeantes, conjoncturelles, ou encore réelles mais mal intégrées dans les procédures initiales, plutôt que le remise en cause de la nécessité de l'EIE.

I-9-2. Sur Le Plan International

Apparue en 1969 aux Etats-Unis d'Amérique (USA), à la faveur de la promulgation de la loi sur la politique environnementale (NEPA), l'EIE a, depuis, été progressivement introduite dans les législations nationales de tous les pays, notamment les pays développés et les pays émergents, ainsi que dans tous les instruments internationaux.

En effet, avec le développement des relations internationales et des préoccupations environnementales croissantes des populations et des efforts fournis par les pouvoirs publics pour assurer un développement durable, il était devenu impératif, à partir des années1970, d'inclure des études environnementales, les EIE en particulier, dans les instruments internationaux dédiés à la protection de l'environnement et au développement durable, tels que : la Déclaration de Stockholm (1972), la Charte Mondiale de la Nature (1982), les Lignes directrices du PNUE (1987), Sommet de la Terre de Rio (1992)....

I-9-3. Sur Le Plan National

Le corpus législatif et le contexte institutionnel algériens relatifs à la protection de l'environnement, qui a connu de nombreuses évolutions depuis les années 1970 (cf. mise en place du Conseil National de l'Environnement/CNE en 1974) et le premier texte régissant le

domaine de l'évaluation environnementale est le décret datant de 1976 relatif aux établissements insalubres, incommodes et dangereux.

Les notions d'installation classée et d'étude d'impact sur l'environnement ont été introduites pour la première fois par la loi cadre n°83-03 du 07 février 1983 relative à la protection de l'environnement (cf. Titres IV et V).

L'EIE a été explicitée juridiquement et techniquement par les dispositions du décret exécutif n°90-78 du 27 février 1990 relatif à l'étude d'impact sur l'environnement.

L'EIE devient une exigence préalable à toute autorisation administrative demandée pour la réalisation de nouvelles unités ou activités en vertu de la promulgation du décret exécutif n°98-339 du 03 Novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature.

❖ Les principaux textes législatifs et réglementaires dits de la 2ème génération, relatifs à ce domaine sont, plus particulièrement :

- La Loi n°03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement.
- Le Décret exécutif n°06-198 du 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement, qui abroge le décret n°98-339 cité supra, institutionnalise l'«étude de danger ».
- Le décret exécutif n°07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, qui liste les installations soumises à EIE et NIE.
- Le décret exécutif n°18-255 du 9 octobre 2018 modifiant et complétant le décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement ;
- Le décret exécutif n° 19-241 du 8 septembre 2019 modifiant et complétant le décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement ;

Ces deux derniers décrets ont été élaborés dans le cadre de la simplification des procédures administratives et la décentralisation de la délivrance de certains actes administratifs.

Et le décret n°07-145 et ses annexes qui introduit deux (02) éléments nouveaux :

- La notice d'impact sur l'environnement, (NIE)
- Le plan de Gestion Environnementale (PGE)

Et définit, d'autre part, les projets soumis à une étude d'impact sur l'environnement (EIE) et ceux soumis à une notice d'impact sur l'environnement (NIE).

Le dispositif juridique national comprend, également, de nombreux autres textes législatifs et réglementaires, sectoriels, ayant un lien spécifique direct et/ou indirect avec les EIE (cf. loi minière, Loi relative à l'eau, loi relative aux hydrocarbures, loi relative à la normalisation...)

I-10. Les Acteurs Des EIE : Leur Rôle Dans Le Processus D'un Partenariat : «Promoteur-Collectivité»

Les divers rôles des partenaires se développent autour de l'axe principal et de référence légale entre l'administration publique chargée de la gestion de l'environnement et du développement durable et l'acteur, - l'initiateur, le promoteur ou l'administrateur de l'activité prévue et objet de l'étude d'impact sur l'environnement.

Une «administration publique chargée de gestion de l'environnement», relève généralement mais non pas dans tous les cas connus -, de la haute instance politique instituée pour développer les politiques et les stratégies nationales en la matière.

D'habitude, les structures ministérielles délèguent l'application de la politique environnementale définie, à des entités administratives, établies au sein d'un ministère sectoriel ou fonctionnant sous tutelle ... Ces administrations conçoivent leurs propres règlements et procédures en conformité avec les lois régissant le domaine, le mandat, les prérogatives, les responsabilités et les actions publiques, et elles les appliquent après leur confirmation voire approbation par le décideur politique.

Elles se dotent des structures de fonctionnement et des capacités adéquates, pour, entre autres -, pouvoir assumer leur rôle dans la procédure EIE.

Ce dernier consiste essentiellement dans la prise en charge intégrale des intérêts de la collectivité civile, de leurs droits à un environnement sain, à un cadre de vie digne et correspondant à leurs aspirations légitimes, à l'amélioration de leur qualité de vie, à une nouvelle solidarité telle que précisée par la déclaration de Rio et par l'agenda 21 (et adoptés par les pays signataires) et au patrimoine éthique de la Nation, à l'équilibre sociétal, etc. des générations présentes et de celles de l'avenir.

Devant ce référentiel,

-L'administration instruit un requérant relatif aux EIE et à la procédure, lui fournira toute information et assistance nécessaire pour rassurer quelles EIE soient menées correctement, conforme aux lois et autres exigences légales, procédurales, techniques et scientifiques,

-elle reçoit les études d'impact sur l'environnement. L'administration chargera ses services techniques spécialisés de l'examen de l'EIE, et ces derniers entretiendront le dialogue technique avec les divers partenaires afin d'aboutir à une conclusion fiable et durable, sur le plan environnemental et englobant toutes les dimensions relevant de leur mandat.

-Ils informeront le décideur de leurs résultats d'examens.

-Il reviendra au décideur, de considérer dans l'intérêt exclusif du développement durable, national et global, des arguments et implications, non normalisés ni normalisables, et appartenant essentiellement mais non exclusivement, aux domaines de l'économie nationale, du développement social et culturel de la société ; ou d'autres critères pouvant relever, cas par cas, de la politique nationale d'un état et des conventions donc, des obligations internationales.

-L'administration informera le requérant de sa décision,-elle transformera par son acte, l'EIE dans une convention obligeant le requérant à remplir les termes de l'EIE (notamment relatifs à la réalisation de son action, aux mesures d'atténuation et/ou de compensation, à l'entretien lors des phases opérationnelles des activités, et du démantèlement...), et enfin elle veillera par des mesures prédéfinies, sur le fonctionnement des activités en stricte conformité avec les termes de l'EIE.

L'administration est mandatée à cet effet, et dotée des moyens lui permettant de contrôler à chaque instant et à chaque endroit sur le territoire de son pouvoir, et de faire intervenir des instances exécutives pour faire respecter la loi.

Dans certaines étapes et pour certaines actions relevant de son mandat, l'administration peut recourir à un renforcement de ses capacités techniques ou de décisions relatives à des activités plurisectorielles et transversales. A ces fins sont d'habitude associés aux Etapes en question:

- Soit des spécialistes provenant des services spécialisés d'autres départements, ou des secteurs universitaires et de recherche,
- Soit des comités interdépartementaux «ad hoc» assistant à l'identification et la détermination des décisions.

Le décideur peut être le représentant légal de l'administration publique, seul ou appuyé sur une délibération consensuelle d'un comité, mais peut aussi être une autre instance supérieure et politique, selon l'importance du cas, selon la structure d'une administration nationale...

Des variations, toutes justifiables et logiques, existent dans bien d'autres pays.

L'acteur, ou encore «le promoteur», - ou dans bien de cas, le représentant légal d'un promoteur public ou encore d'un organisme financier ou de développement international, assume un rôle initial : il est lui, l'auteur de son plan d'activités, de projet, d'intervention, ... et c'est à lui, par conséquent, de se conformer à la loi, ici environnementale. Pour c faire, il doit opérer, sur sa propre initiative et avec ses propres moyens.

La procédure ne distinguera pas entre différents types d'acteurs (publics ou privés, nationaux ou internationaux), la loi et son application s'appliqueront à tous les cas, sans différenciation ni raccourci.

-L'acteur recevra l'instruction légale par la loi écrite, une assistance conseil et davantage d'instructions de détail et d'information par les services de l'administration mandatée de la protection de l'environnement et du développement durable.

-Il se dotera des capacités requises pour mener à bien et en conformité avec la loi, les décrets, les arrêtés, termes de référence (TdR) et toute autre instruction ou information pertinente qui lui sera fournie par les services compétents de l'administration de l'environnement, et il suivra la procédure mise en place par l'administration pour l'EIE, son examen, décision et suivi.

-Il prendra soin de respecter l'indépendance des capacités d'études (consultant ou bureau d'études...) agissant pour son nom et compte, des raisons commerciales suivies par le promoteur avec l'activité objet de l'EIE, et il assumera les conséquences éventuelles d'une insubordination à cette règle.

-L'acteur aura tout droit de présenter aux services techniques spécialisés de l'administration, son EIE, et de défendre son évaluation environnementale. Dans des cas particuliers et complexes avec outre des impacts négatifs sur l'environnement, d'implications positives notables sur le développement durable, il peut être invité à présenter son étude et son évaluation devant le décideur, et le cas échéant, structures afférentes créées, devant le comité interdépartemental «ad hoc» statuant sur l'EIE.

-Il suivra les instructions issues de l'examen de son EIE et éventuellement préalables à l'achèvement de l'examen.

-Il acceptera par reconnaissance écrite de la réception de la décision de l'administration compétente portant sur l'EIE et les conditions environnementales préalables à la réalisation de son activité, les conditions, restrictions et autres clauses éventuellement liées à la décision, et il procédera rigoureusement en conformité avec cette EIE-Convention, lors de toutes les phases que connaîtra son activité : préparation, réalisation, opérations, arrêt et démantèlement, réhabilitation de l'environnement.

Cette rigueur paraît faire primer les critères environnementaux sur les intérêts économiques et/ou techniques d'un promoteur; cependant, la réalité témoigne du contraire: la compatibilité environnementale rassure la durabilité du développement objet de l'EIE, et seul un développement durable permet et garantit des bénéfices, à terme, sur le plan de l'économie nationale et sur celui de la rentabilité financière interne.

La population concernée : Etant le véritable groupe cible de tout effort pour la protection de l'environnement et le développement durable, la population concernée rentre dans cet axe en tant que partenaire premier, pour donner au dialogue et à la concertation dans le cadre de la procédure EIE, une forme fonctionnelle triangulaire.

Bien que leur cause est l'essentiel du mandat donné à une administration publique, dont l'action ne se justifie que par son objectif qui est identique à celui des populations concernées : le développement durable..., le rôle de ces dernières restera pour autant réel.

Une procédure est généralement instituée, réglementant l'association des habitants riverains à une activité polluante, au dialogue et donc à l'identification des solutions durables à chaque fois qu'une menace pèse d'une manière significative sur l'environnement naturel, social ou humain – habitat de ces populations.

Une telle association peut prendre forme d'une consultation, d'un forum de concertation, d'un référendum..., selon les traditions régionales et culturelles et selon les capacités propres à la population concernée, de participer et de contribuer efficacement, constructivement et en leur propre intérêt, au processus...

LES O.N.G: Cependant, dans de multiples cas, démunis des moyens de compréhension intégrale des interactions complexes entre une activité et les divers milieux, ou encore des moyens d'expression, la population concernée s'associe habituellement avec des organisations non gouvernementales (ONG) à vocation environnementale, possédantes compétences requises et étant reconnues et dotées des visas dus et d'usage à cet effet.

Donc, ces dernières assument un rôle de conseiller environnemental, appuyées sur leurs connaissances et sur leurs engagements particuliers et déclarés, et loyales à l'objectif de renforcer les populations exposées à des risques menaçant leur environnement.

Ces renforcements comprennent d'habitude des actions d'explication et d'analyse, ainsi qu'une fonction secondant les populations dans leur dialogue avec l'administration concernée, et lors de la défense de leurs droits à une protection et au développement durable de leur cadre de vie environnemental, social, culturel et économique.

Des actions autonomes de certaines ONG portées exclusivement par leurs propres idéaux, sont concevables. Pourtant, et particulièrement dans le cadre d'une EIE, la coordination et la concertation des solutions durables qui doivent s'en suivre, requièrent pour être efficaces et équitables, d'instruments et d'outils de gestion du dialogue relevant de l'expérience et de la culture distinctes propres à l'environnement objet du dialogue, et à son patrimoine historique. D'où l'usage, que seules des ONG nationales devront entrer en partenariat lors de la procédure d'EIE!

Les ONG à objectifs globaux environnementaux (changements climatiques, biodiversité, coopération internationale...), nationales et/ou internationales, et appelées par l'Agenda 21 à suivre aux invitations des gouvernements nationaux pour assister dans le développement des politiques environnementales et dans la prise des décisions relatives au développement durable, n'agiront que dans ces contextes précis, et comme éléments sources, - comme partenaire dans un dialogue politique environnementale, mais non en tant que partenaire dans le processus EIE.

Les capacités spécialisées du milieu universitaire et de la recherche technique et scientifique :

Tous les trois partenaires premiers, - l'acteur, l'administration publique et la population concernée, peuvent recourir aux capacités de pointe généralement existant aux niveaux universitaires et de la recherche scientifique.

En effet, le savoir accumulé à ces niveaux et notamment dans les domaines du développement durable en général, et de la protection de l'environnement en particulier, fait partie du patrimoine national, et son intégration dans tout effort aux mêmes buts relève de la logique et de rationalité d'approche.

Cependant, les modalités d'accès varient, selon la structure et le statut de la ressource, selon le domaine et la nature de l'appui demandé par un requérant, et enfin et aussi, selon le statut et les raisons du demandeur : public, à buts non-lucratifs, commerciaux...

Ces ressources peuvent intervenir sur les divers plans de l'étude et de l'analyse, de l'expertise ou encore de référence.

Ce qui précède s'applique en analogie également aux capacités et expériences accumulées par le niveau international, les divers centres d'information, de recherche, d'interventions diverses...

L'expérience internationale au service de la protection de l'environnement et du développement.

Ainsi, ce patrimoine global du savoir en matière du développement durable et de la protection de l'environnement est disponible pour servir de source active ou de référence pour toutes les étapes de la procédure EIE.

Il est diversifié selon ses raisons : régional et international, politique, stratégique ou opérationnel, centre d'information ou unité d'intervention, d'assistance ou de coopération, professionnelle ou financière, organisation, conseil, comité, projet...

La ressource que constitue ce patrimoine global comprend entre autres, un savoir pertinent et confirmé appartenant aux domaines :

-de la coopération internationale pour la protection de l'environnement et pour le développement durable, pour la lutte contre la désertification, pour une action concertée aux fins de contrôler les changements climatiques, pour développer des stratégies requises pour contenir les effets induits par le réchauffement d'atmosphère,

-de la protection, de la gestion et du développement des milieux atmosphériques, continentaux, forestiers, montagneux, littoraux, des sols arables..., marins et aquatiques, de la diversité biologique, des milieux humains :

- Le droit de l'homme,
- Le droit de tous, à un environnement sain et à l'amélioration de la qualité de vie,
- La lutte contre la pauvreté,
- La lutte contre l'intégration ralentie ou inégale des populations particulières appartenant aux groupes majeurs suivants : les populations des civilisations

- traditionnelles, les populations agro-rurales et les populations déplacées,
 - les enfants et la jeunesse, les femmes...
- de l'habitat humain, de la santé publique,
- des domaines du développement de l'industrie et du commerce, du tourisme, de l'agriculture, des finances...,
- le changement des structures de consommations,
- du développement des technologies nouvelles et propres, des biotechnologies, du transfert des technologies, de leur adaptation aux conditions variées et variables des divers environnements et paramètres d'applications,
- les domaines relatifs aux questions brûlantes portant sur les diverses natures de déchets : dangereux, toxiques radioactifs, solides, liquides et gazeux...
- du développement de la culture et de l'éducation environnementale, de la formation et du renforcement des capacités requises pour la maîtrise par les multiples acteurs et partenaires, de la protection de l'environnement et du développement durable.

Le processus de l'Etude d'Impact Environnemental (EIE) est une procédure interdisciplinaire et en plusieurs étapes pour s'assurer que les considérations environnementales sont prises en compte dans les décisions concernant les projets qui peuvent avoir un impact sur l'environnement. En termes simples, le processus EIE permet d'identifier les possibles effets environnementaux d'une activité proposée et la manière d'atténuer ces effets.

Le processus EIE vise à informer les décideurs et le public des conséquences environnementales de la mise en œuvre d'un projet proposé.

Le document EIE lui-même est un outil technique qui identifie, prédit et analyse les impacts sur l'environnement physique, mais aussi social, culturel, et sur la santé. Si le processus de l'EIE est bien mené, il identifie les alternatives et les mesures d'atténuation pour réduire l'impact environnemental du projet proposé. Le processus EIE joue également un rôle procédural important dans le processus décisionnel en général par la promotion de la transparence et la participation du public.

Il est important de noter que le processus de l'EIE ne garantit pas qu'un projet sera modifié ou rejeté si le processus révèle qu'il y aura des impacts environnementaux graves.

I-11. Le Champ D'application De La Procédure De L'étude Ou De La Notice D'impact

Conformément aux dispositions du décret exécutif n°07-144 du 19 mai 2007, les études d'impact sur l'environnement sont obligatoires pour les installations classées soumises à autorisation du ministre chargé de l'environnement ou à celle du Wali territorialement comptent Les notices d'impact sont requises pour les installations classées soumises à autorisation du président de l'Assemblée populaire communale.

Sont soumis également à études ou notices d'impact les projets fixés en annexe du décret exécutif n°18-255 du 09 octobre 2018 et le décret exécutif n°19-241 du 08 septembre 2019 modifiant et complétant le décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007.

Par ailleurs, le décret exécutif n°08-312 du 5 octobre 2008 précise les activités du secteur des hydrocarbures soumises à l'obligation de l'étude d'impact sur l'environnement, notamment les activités de recherche, de prospection et d'exploitation des hydrocarbures.

Les activités minières sont soumises également à études d'impact conformément aux dispositions de la loi n°01-10 portant loi minière et de ses décrets d'applications.

Cette obligation est précisée également par le décret exécutif n°07-144 précité.

La loi n°05-12 relative à l'eau, modifiée et complétée, a aussi prescrit les études d'impacts notamment pour :

- Les activités d'extraction des matériaux alluvionnaires,
- L'établissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres,
- L'établissement d'installations au pied des barrages, plans d'eau et ouvrages de dérivation en vue d'alimenter des usines hydroélectriques.

Ces obligations sont précisées respectivement par les décrets exécutifs n°09-376 du 16 novembre 2009 ; n°11-220 du 12 juin 2011 et le n°11-341 du 26 septembre 2011.

Les études d'impacts sont aussi requises pour les activités d'extraction des matériaux sur le rivage et ses dépendances conformément aux dispositions de la Loi n°02-02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.

I-11-1. Description De La Procédure D'étude Ou Notice D'impact

Il faut signaler tout d'abord, que les coûts inhérents à l'établissement de l'étude ou de la notice d'impact sont pris en charge, en entier, par le promoteur du projet.

Une fois l'étude ou la notice d'impact établie, elle est déposée par le promoteur du projet, en quatorze (14) exemplaires et deux (2) exemplaires en format numérique, au niveau du wali territorialement compétent.

Les procédures d'examen et d'approbation de l'étude ou de la notice d'impact ainsi que de l'enquête publique sont alors déclenchées conformément aux dispositions du décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 modifié et complété. Dans le cas particulier du domaine des hydrocarbures, le dossier de l'étude d'impact est déposé par le demandeur auprès de l'autorité de régulation des hydrocarbures. Lorsque le dossier est jugé recevable, les procédures d'examen et d'approbation de l'étude d'impact sont alors déclenchées conformément aux dispositions des articles 10 à 19 du décret exécutif n°08-312 du 5 octobre 2008 (Cf. Partie B, textes législatifs et réglementaires)

I-12. Rôle Des Différents Intervenants Dans La Procédure D'étude Ou Notice D'impact

I-12-1. Le Promoteur Ou L'acteur Du Projet

- Il doit déterminer si son projet doit faire l'objet d'une étude ou notice d'impact sur l'environnement.
- b- Il doit faire appel à un bureau d'étude agréé par le ministère chargé de l'environnement pour établir son rapport d'impact. Dans le cas particulier du domaine des hydrocarbures, le bureau d'étude doit être agréé conjointement par l'autorité de régulation des hydrocarbures et le ministère chargé de l'environnement.
- c- Remet son étude ou notice d'impact à l'administration, et fournit toute information jugée nécessaire.
- d- Produit un mémoire en réponse aux avis recueillis lors de l'enquête publique et aux conclusions de cette dernière

I-12-2. La Direction De L'environnement

a- Rappelle aux promoteurs leurs responsabilités en matière de protection de l'environnement.

b- Guide les promoteurs dans la recherche des bureaux d'études agréés pour l'établissement de leurs études ou notices d'impact.

c- Identifie aux promoteurs les principales préoccupations environnementales à prendre en compte dans la conception et l'exploitation des projets.

d- Identifie aux promoteurs les principaux impacts de leurs projets, en se basant sur son expérience en la matière.

e- Oriente les promoteurs vers les technologies propres et vers le choix de mesures efficaces.

f- Procède à l'examen préliminaire de l'étude ou de la notice d'impact.

g- Demande aux promoteurs toute information ou étude complémentaire requise.

h- Examine la notice d'impact et éventuellement saisit les départements ministériels concernés et fait appel à toute expertise.

i- Opère le contrôle et le suivi environnemental régulier du projet une fois qu'il a été autorisé.

I-12-3. Le Wali

a- Reçoit les études et les notices d'impacts et saisit la direction de l'environnement pour examen.

b- Prononce l'ouverture de l'enquête publique et désigne un commissaire enquêteur.

c- Reçoit les demandes éventuelles de consultation de l'étude ou de la notice d'impact et invite les demandeurs à les consulter et formuler leurs avis et observations.

d- Invite le promoteur du projet à produire un mémoire en réponse aux avis du public et aux conclusions du commissaire enquêteur.

e- Approuve la notice d'impact.

f-Notifie la décision d'approbation ou de rejet de l'étude ou de la notice d'impact au promoteur du projet.

I-12-4. Le Public

a-Consulte le rapport d'impact et donne son avis.

I-12-5. Le Ministre De L'environnement

a- Prend en considération le rapport de l'étude d'impact, et peut demander des informations complémentaires.

b- Prend les décisions nécessaires pour le bon déroulement de la procédure.

c- Saisi tout département ministériel, concerné par le projet, pour examiner.

I-13.Conclusion

En guise de conclusion, on peut définir le DD comme étant la mise en pratique de certains principes qui contribuent non seulement à la croissance économique mais également et surtout à l'amélioration des conditions sociales et du mieux-être des populations, à plus de justice et d'équité ainsi qu'au respect de l'environnement et de ses écosystèmes.

CHAPITRE II

**Etude Technologique Et Description Générale
De La Centrale Thermo-Energétique**

Chapitre II : Etude Technologique Et Description Générale De La Centrale Thermo-Energétique

II-1. Introduction

La centrale thermo-énergétique est une centrale qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur (charbon, gaz, fioul, biomasse ou déchets municipaux). La source de chaleur chauffe un fluide (souvent de l'eau) qui passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur). Cette vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique contenue dans la vapeur en énergie mécanique de rotation, puis en énergie électrique grâce à une génératrice découvrant [13].

La centrale thermo-énergétique est projetée pour répondre aux besoins du complexe en matière de services auxiliaires, à savoir :

- La vapeur;
- L'électricité;
- Gaz combustible;
- Air comprimé.

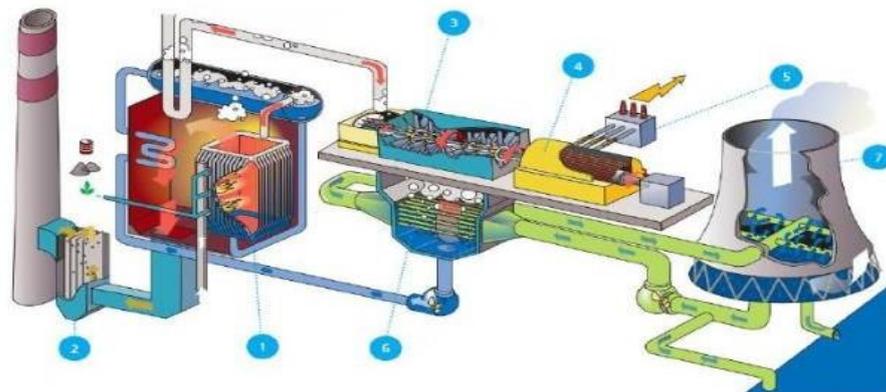


Figure 2 : Représentation schématique d'une centrale thermique [13]

Avec

- 1 Chaudière à vapeur
- 2 Electro filtre
- 3 Turbine à vapeur
- 4 Alternateur
- 5 Transformateur
- 6 Condenseur
- 7 Tour de refroidissement

II-2. Principe De Fonctionnement D'une Centrale Thermique

Une centrale thermique fonctionne grâce à la combustion du gaz naturel, du charbon pulvérisé ou du fuel dans une chaudière à vapeur. La chaleur des gaz de fumées et des flammes sert à chauffer la tuyauterie de la chaudière et transforme progressivement l'eau qui y

Chapitre II : Etude Technologique et Description Générale de la Centrale Thermo-Energétique

circule en vapeur. Les gaz de fumées s'échappent par la cheminée. Dans les centrales à charbon, un électro filtre en retient d'abord les particules de poussière.

La vapeur fait tourner la turbine à vapeur, qui à son tour entraîne l'alternateur pour produire l'électricité. Le transformateur élève la tension du courant produit, avant qu'il ne soit injecté dans le réseau de transport.

Après son passage dans la turbine où elle libère son énergie, la vapeur se condense et retourne sous forme d'eau vers la chaudière. Dans le condenseur, la vapeur glisse sur des milliers de tubulures remplies d'eau froide pompée des eaux de surface (eau de refroidissement) et lui cède sa chaleur.

La plupart des centrales refroidissent cette eau devenue relativement chaude, dans une tour de refroidissement, pour ensuite la réutiliser. Dans ces immenses tours de refroidissement, en forme d'hyperbole, l'eau entre en contact avec un courant d'air ascendant créé par le tirage naturel (effet de cheminée de la tour de refroidissement).

Lorsque des ventilateurs créent ce flux d'air, la tour de refroidissement est plus petite, l'eau se refroidit être tombée sous forme de gouttelettes dans la tour de refroidissement ; L'air réchauffé saturé de vapeur d'eau, s'échappe de la tour de refroidissement en un nuage de vapeur blanc. Une grande partie de l'eau de refroidissement refroidie est pompée vers le condenseur et réutilisée et seul (1-1,5) % s'évapore.

Une centrale thermique transforme (35 à 40) % de l'énergie du combustible en électricité. Elle fournit parfois aussi de la chaleur, sous forme de vapeur d'eau [13].

Après l'alimentation de la chaudière par l'eau, une combustion est produite dans la chambre de combustion en dégageant une quantité de chaleur qui chauffe et vaporise l'eau qui circule dans les tubes tapissant les parois de cette chambre.

La vapeur saturante humide formée est envoyée dans le ballon, le rôle de ce dernier est très important car il permet de séparer la vapeur du liquide.

La vapeur saturante sèche (*ne contient pas de gouttelettes d'eau liquide*) quitte le ballon et passe par les surchauffeurs de la chaudière en bénéficiant d'une augmentation d'enthalpie, après elle traverse la turbine se détend dans une turbine et abandonne une grande partie de son énergie.

La vapeur qui s'échappe de la turbine se dirige vers le condenseur. Après le changement de phase "vapeur-liquide" (*condensation*) dans le condenseur, il vient le rôle des pompes d'extraction pour extraire les condensats (*c.à.d. l'eau située dans le fond du condenseur*) et qui sont refoulés dans les réchauffeurs (1 et 2) alimentés par de la vapeur de soutirage, pour y arriver en fin dans la bêche alimentaire avec le système dégazage.

La bêche alimentaire constitue à la fois un réchauffeur particulier et une réserve d'eau, le dégazeur assure une teneur très faible en (O₂) dissous dans l'eau afin de limiter la corrosion des matériaux tel que les aubages de la turbine et les aubes de générateur de vapeur (chaudière).

Une fois l'eau est dégazée, il pénètre dans la bêche alimentaire, ensuite vient le rôle des pompes alimentaires qui effectuent une pression importante sur l'eau avant de la refouler dans la chaudière et le circuit tourne de nouveau.

Le refroidissement est assuré soit à l'aide de l'eau de mer ou l'eau d'un fleuve dans le cas d'un circuit ouvert et à l'aide de l'eau d'un circuit de réfrigération dans les cas d'un circuit fermé. Le condenseur travaille presque sous vide, la réalisation du vide est assurée par des pompes à vide.

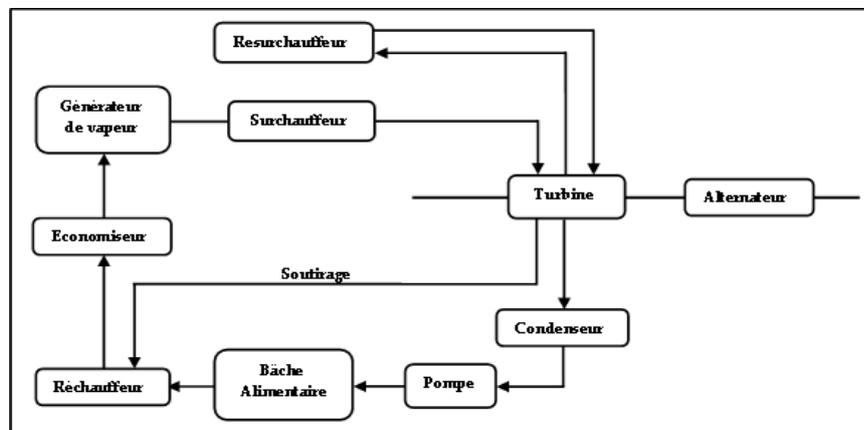


Figure 3 : Schéma simplifié d'une centrale thermique à vapeur [24]

II-3. But Du Centrale Thermo-Energétique

Les centrales thermiques sont des moyens de production d'électricité. Concrètement, elles produisent de l'électricité à partir de la vapeur d'eau, qui est produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz, de charbon ou de fioul qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur[14], l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension.

Et dont le circuit de refroidissement sert de source de chaleur pour l'application désirée. (C'est une manière de rentabiliser les inévitables pertes de ce type de centrales.)

- Les centrales sont rapides à construire ;
- Cette technologie offre une grande flexibilité d'utilisation qui permet de répondre rapidement et précisément à la demande ;
- La production ne dépend pas de conditions extérieures autres que l'approvisionnement en combustible (l'énergie éolienne, par exemple, ne fonctionne pas sans vent) ;

• Les centrales thermiques dites à cogénération permettent de produire de la chaleur en plus de l'électricité, avec un meilleur rendement énergétique global. Ces centrales peuvent aussi être de taille modeste et alimenter des réseaux de chauffage à distance et éviter le recours à des chaudières à mazout [15].

II-4. Description Des Principaux Organes D'une Centrale Thermique

Les principaux organes d'une centrale thermique sont :

- Turbine à vapeur.
- Chaudières / Générateur à vapeur
- Condenseurs
- Pompes Centrifuges

II-4-1. Turbine A Vapeur

II-4-1-1. Définition

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de *Clausius-Rankine*. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Elle transforme l'énergie thermique de la vapeur d'eau pendant la détente en énergie mécanique de rotation d'arbre pour entraîner un dispositif mécanique tournant [13].

II-4-1-2. Différents Catégories Des Turbines

Les turbines sont classées selon leur mode de fonctionnement ainsi qu'à leurs modestes constructions. On distingue trois grandes catégories de turbines :

- turbines hydrauliques ou à eau ;
- turbines à gaz ;
- turbines à vapeur.

Dans cette étude, on se limite à l'étude des turbines à vapeur.

II-4-1-3. Description De La Turbine A Vapeur

La turbine à vapeur comprend une partie fixe « *appelée stator* » qui porte des aubages directeurs. La vapeur en provenance de l'évaporateur est admise dans un collecteur. Elle s'écoule ensuite dans des canaux fixes (c'est là où l'énergie thermique se transforme en énergie cinétique) et dans des canaux mobiles (les énergies thermiques et cinétiques sont transformées en énergie mécanique).

Les canaux fixes et mobiles se succèdent les uns à la suite des autres dans le sens de l'écoulement. La vapeur en provenance du générateur de vapeur est introduite dans les premiers étages de la turbine à travers des vannes d'admission et des soupapes de réglage asservies aux dispositifs de sécurité et de réglage de la turbine.

La vapeur est détendue adiabatiquement en produisant un travail mécanique. La détente de la vapeur à travers les divers étages de la turbine se fait de façon différente selon qu'il s'agisse de turbines à action ou à réaction.

II-4-1-4. Principe De Fonctionnement

Les turbines à vapeur produisent de l'électricité en utilisant la vapeur produite par un générateur à vapeur alimentée par un combustible (charbon, gaz, uranium,) pour faire entraîner une génératrice électrique. Le cycle de la vapeur d'eau est une suite de transformations dans des systèmes ouverts successifs (chaudière, turbine. Condenseur et pompe d'alimentation) [16].

Le cycle de *Rankine* est à la base des machines utilisant la vapeur d'eau dans la centrale thermique [16]. Le cycle *Rankine*, utilisé dans les centrales thermiques, peut être représenté par un schéma T-H (Voir *Figure 4* ci-dessous) que présente un cycle de *Rankine* simple.

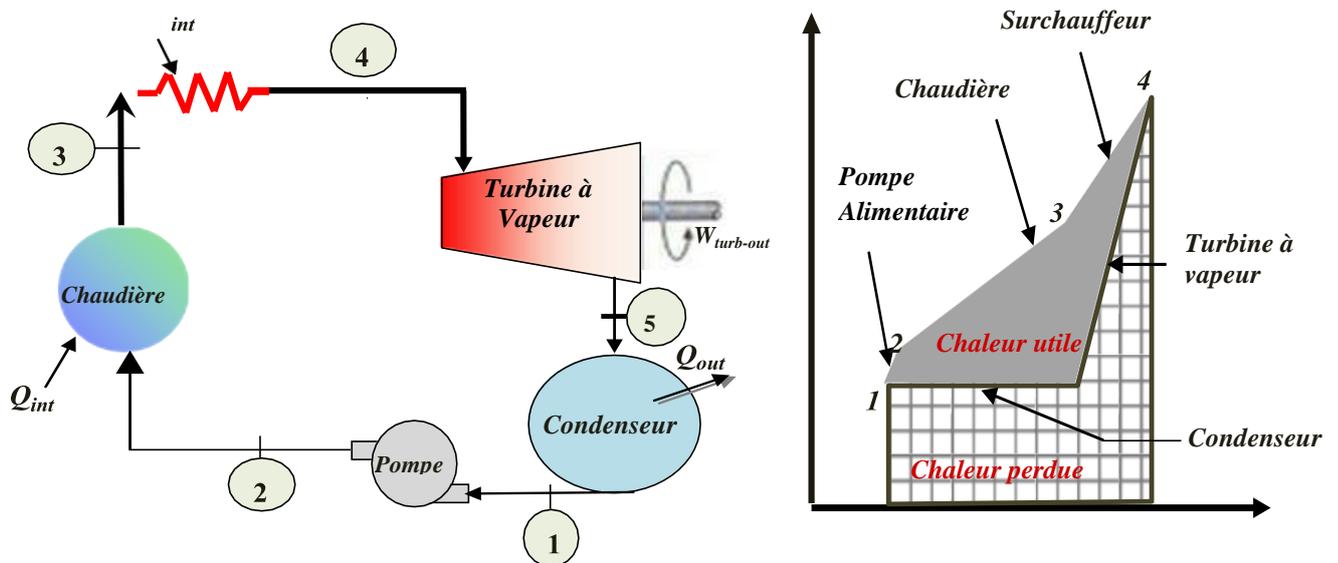


Figure 4 : Schéma T-H du cycle de Rankine [16]

Le premier processus du cycle de *Rankine* est l'augmentation de la pression de l'eau provenant du condenseur, à l'aide d'une pompe d'extraction. L'élévation de pression est accompagnée d'une légère augmentation d'enthalpie. La ligne (1-2) représente l'énergie ajoutée par la pompe alimentaire.

Le deuxième processus du cycle de *Rankine* (ligne (2-3)) correspond à un apport de chaleur (représentée par Q) à l'eau entrant dans la chaudière. L'eau, dans la chaudière, passe de liquide à l'état de vapeur, puis est séchée et surchauffée. La production de vapeur est supposée se produire à pression constante. De l'énergie est ajoutée à la vapeur lors de son passage à travers le surchauffeur (ligne (3-4)). La vapeur se détend et se refroidit en traversant la turbine, (ligne (4-5)). L'énergie de la vapeur se transforme en travail.

Le dernier processus du cycle de *Rankine* (ligne (5-1)), est la condensation de la vapeur à la sortie de la turbine. La condensation entraîne une perte considérable de chaleur, appelée « *chaleur de condensation* » [16].

➤ ***Avantages***

Le principal avantage des turbines à vapeur est qu'ils sont des moteurs à combustion externe. De ce fait, tous les combustibles (gaz, fuel, charbon, déchets, chaleur résiduelle) et notamment les moins chers peuvent être utilisés pour l'alimenter en vapeur. Le chauffage peut même se faire par énergie solaire. Le rendement peut atteindre des valeurs assez élevées d'où des frais de fonctionnement réduits [17].

➤ ***Inconvénients***

Le coût et la complexité des installations les réservent le plus souvent à des installations de puissance élevée pour bénéficier d'économies d'échelle. Hormis des cas particuliers, les moteurs et turbines à gaz sont mieux adaptés en dessous d'environ 10 MW. Le refroidissement du condenseur nécessite des grands débits d'eau ou des Aéro-réfrigérants encombrants ce qui limite d'emblée leur domaine d'emploi aux installations fixes ou navales [17].

Bien que les turbines à vapeur soient construites selon deux configurations différentes (à action ou à réaction), leurs éléments essentiels sont similaires. Elles se composent de tuyères ou de jets, et d'ailettes (aubes). La vapeur s'écoule dans les tuyères, dans lesquelles elle se dilate, ainsi, sa température diminue et son énergie cinétique augmente. La vapeur en mouvement exerce une pression contre les aubes, entraînant leur rotation. La disposition des jets et des aubes, fixes dépend du type de turbine. À la sortie du dernier condenseur, l'eau peut être de nouveau vaporisée et surchauffée, l'eau ou la vapeur récupérée en sortie est ramenée vers la chaudière par des pompes. La turbine à vapeur utilise les principes de la thermodynamique, lorsque la vapeur se dilate, sa température et donc son énergie interne diminue. Cette diminution de l'énergie interne accompagnée d'une augmentation de l'énergie cinétique sous forme d'une accélération des particules de vapeur (une réduction de 100 kJ de l'énergie interne, due à la dilatation, peut provoquer un accroissement de la vitesse des particules de vapeur de l'ordre de 2 800 km/h), à de telles vitesses, l'énergie disponible est très importante. Lorsque la pression de la vapeur d'eau en sortie de la turbine est égale à la pression atmosphérique, la turbine est dite à condensation. Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont généralement limitées à une température maximale de 580 °C dans le premier étage, et à une pression maximale d'admission de 170 à 180 bars.

II-4-2. Générateur A Vapeur (Chaudière)

II-4-2-1. Introduction

Une chaudière ou générateur de vapeur est un équipement servant à la transformation de l'eau liquide en vapeur, selon la température et la pression définie par la destination de cette vapeur, sous l'effet d'apport de chaleur.

L'apport de chaleur est généralement réalisé par la combustion d'un combustible dans le foyer de la chaudière. Il peut être aussi externe (gaz chauds des différents processus) [13].

L'objectif principal d'une chaudière est de produire de la vapeur d'eau en absorbant de la chaleur avec le meilleur rendement possible. Parmi les autres objectifs visés dans l'utilisation d'une chaudière, il faut souligner la pureté de la vapeur, sa fiabilité et la sécurité de marche [13].

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique. Son rôle est essentiellement de transmettre de l'énergie apparaissant sous forme de chaleur (avec ou sans combustion) à de l'eau sous pression pour obtenir soit de l'eau surchauffée sous pression, soit de la vapeur ou un fluide à l'état supercritique devenant de la vapeur par détente.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut être fournie par un combustible (gaz, Fioul, charbon...) ou une résistance électrique [18].



Figure 5 : Chaudière industrielle [18]

La chaudière est un générateur de chaleur produisant généralement de l'eau chaude pour le chauffage. Ce n'est pas la seule utilisation d'une chaudière qui peut produire de la vapeur, le plus souvent pour des applications industrielles. Une chaudière comporte un corps de chauffe avec un circuit d'eau intégré qui récupère la chaleur produite par un brûleur utilisant un combustible gaz, fioul, bois ... Elle présente de par son combustible, un rendement de combustion. Selon son dimensionnement et les différents appels de puissance, elle génèrera

un rendement de production. C'est dire qu'une chaudière qu'elle soit une chaudière gaz, ou une chaudière au fioul ou une chaudière bois pourra présenter différents rendements selon les applications auxquelles elle est destinée.

D'où la notion d'économies d'énergie et d'efficacité énergétique de la dite chaudière.

L'efficacité des chaudières est désormais réelle. Nous trouvons les meilleurs rendements avec les chaudières à condensation. La chaleur latente des fumées est ainsi récupérée sur le retour d'eau chaude de chauffage. Les fumées sortent plus froides et la chaleur transférée au circuit de chauffage.

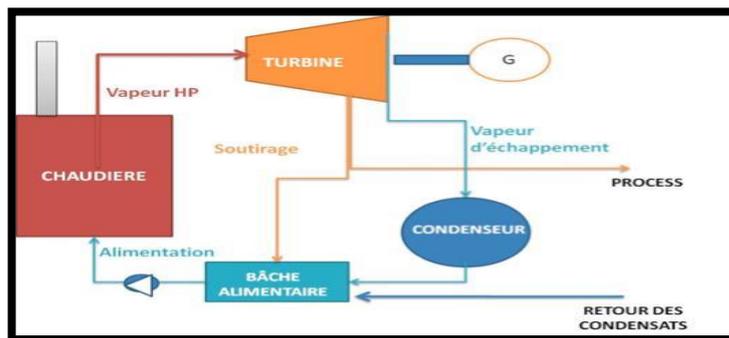


Figure 6 : Chaudière industrielle

La vapeur d'eau est utilisée dans la production d'énergie et dans de nombreux procédés industriels. La production d'électricité dépend en grande partie de la production de vapeur, que la chaleur soit produite à partir de charbon, de gaz, ou par fission nucléaire de l'uranium. Pour produire de la vapeur, il est nécessaire de chauffer l'eau à son point d'ébullition puis de fournir une quantité suffisante de chaleur pour changer l'eau bouillante en vapeur. Les techniques de production et d'utilisation de la vapeur sont donc d'importants aspects de la technologie de l'ingénierie. Le générateur de vapeur est l'un des moyens utilisés pour produire de la vapeur.

II-4-2-2.Principe De Fonctionnement De Générateur De Vapeur (D'une Chaudière)

Quel que soit le modèle de chaudière, le principe de fonctionnement repose sur des éléments qui varient peu :

- Une chaudière a besoin d'un carburant, d'une source d'énergie : bois, fioul, gaz, électricité, ou plus récemment, air.
- Pour les chaudières à combustion, le carburant est brûlé, et c'est cette action qui produit de la chaleur
- Pour les modèles électriques ou thermodynamiques, il n'y pas de combustion, mais l'utilisation d'une source d'énergie "invisible".
- Dans tous les cas, l'énergie utilisée ou dégagée par la combustion sert à produire de la chaleur, qui se transmet ensuite à des circuits reliés à des émetteurs de chaleur (radiateurs, planchers chauffants) et/ou au dispositif d'alimentation en eau chaude.
- Les vapeurs dégagées et résidus de combustion sont évacués, sauf dans les

modèles à condensation, dans lesquels la vapeur est réutilisée en circuit interne.

Les principaux composants d'une chaudière sont illustrés dans la (voir **Figure 7**) ci-dessous. Le combustible peut être toute substance qui est brûlée pour fournir de la chaleur ; de l'air est nécessaire à la combustion.

La combustion est un mélange de combustible et d'air brûlant pour produire de l'énergie calorifique. Le foyer est un espace clos à l'intérieure de la chaudière dans lequel se produit la combustion. Les gaz chauds qui en résultent entrent en contact avec la surface d'échange thermique avant d'être évacués à l'atmosphère par une cheminée.

Le gaz évacué de la chaudière est appelé « **gaz de combustion** ». La chaleur fournie par la flamme de combustion et le gaz chaud chauffe l'eau d'alimentation et la transforme en vapeur ou l'eau chaude. La vapeur ou l'eau chaude sont des fluides caloporteurs utilisés selon les exigences de l'installation, la purge n'est pas une forme utile d'énergie mais est une opération nécessaire à long terme pour le bon fonctionnement de la chaudière [19].

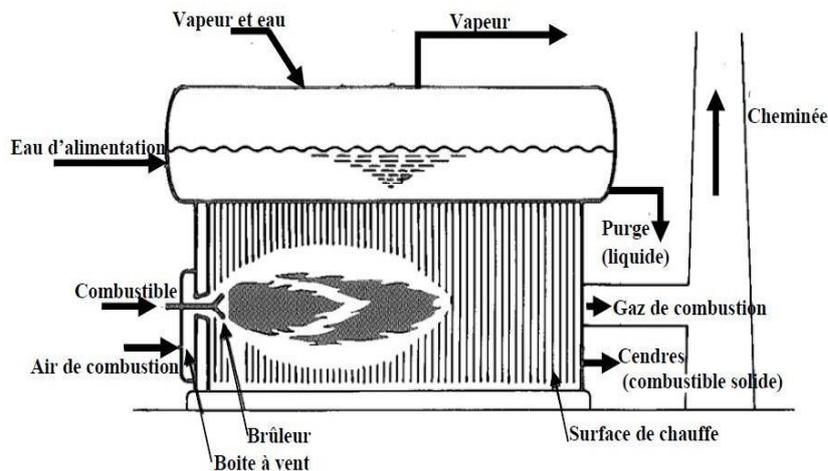


Figure 7 : Fonctionnement d'une chaudière [19]

Le principe de fonctionnement des générateurs à vapeur fait appel aux connaissances de thermodynamique et de transfert de chaleur. On peut faire facilement l'analogie avec une casserole remplie d'eau au contact d'une source de chaleur.

Ainsi l'eau contenue dans la casserole élève sa température jusqu'à sa température d'évaporation (ébullition); puis, elle change de phase et devient vapeur. La température de changement de phase correspond à l'état saturé de l'eau, elle est fonction de la pression du système. À la pression atmosphérique, l'eau s'évapore à 100°C.

La température de l'eau augmente par échange de chaleur et diminue lentement de densité. Ensuite, la température et la pression sont conservées et l'eau diminue de densité de façon significative pour changer de phase. Dans certains générateurs, on souhaitera une vapeur surchauffée, ou encore appelée « **vapeur sèche** ». Le calcul de l'énergie nécessaire à

Chapitre II : Etude Technologique et Description Générale de la Centrale Thermo-Energétique

l'évaporation peut se faire avec la différence des enthalpies et les chaleurs spécifiques (constante).

Les modes de transfert de chaleur, dans un générateur à vapeur par ordre d'importance sont le rayonnement, la convection et la conduction. Dans un premier temps, la combustion prenant place dans le foyer dégage une forte quantité de chaleur, matérialisée par une flamme qui est transférée par rayonnement. Puis les fumées chaudes parcourent la chaudière en transférant leurs potentielles énergétiques à l'eau par convection et conduction à travers les tubes.

Tableau 1 : Comparaison entre deux types de générateurs de vapeur [38]

Propriétés	Générateur de vapeur à tubes de fumée	Générateur de vapeur à tubes d'eau
Mise en route (à puissance équivalente).	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	Rapide
Adaptation aux changements de régime	Médiocre (inertie importante)	Bonne
Surface de chauffe	Moyenne	Elevée
Sécurité	Médiocre	Bonne
Encombrement	Faible	Fort
Prix	Limité	Elevé
Applications usuelles <ul style="list-style-type: none">• Puissance• Débit• Pression max d'utilisation	Moyennement élevée 1.5 à 25t/h 10 à 20bars	Importante Plus élevées 90 à 225bars

II-4-2-3. Classification Des Générateurs De vapeur

Les générateurs de la vapeur peuvent être classés de plusieurs façons:

- D'après la forme et la disposition des tubes,
- Nombre de réservoirs,
- Position des réservoirs,
- Méthode de circulation de l'eau et des fumées (naturelle ou forcée),
- Service (marin ou Stationnaire),
- Capacité (charge) et les conditions thermiques.

Généralement, les générateurs à vapeur industrielles sont de deux (02) catégories:

➤ *Chaudières conventionnelles*

Dans lesquelles la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau est fournie par combustible liquide ou gaz. Les fumées circulent à l'intérieur d'un faisceau tubulaire dans les chaudières conventionnelles. On distingue :

- 1-Chaudière à tubes de fumée, (*Fire-Tube Boiler*) ;
- 2-Chaudière à tubes d'eau, (*Water-Tube Boiler*).

➤ **Chaudières de récupération**

Utilisant la chaleur disponible dans les fluides de procédés à haut température ou dans les fumées des fours ou de turbines à gaz.

En fonction de la nature des fluides et de leur condition de disponibilité, les chaudières de récupération peuvent être construites comme les chaudières conventionnelles, n'en utiliser que des éléments ou encore faire l'objet d'une technologie spéciale [20].

II-4-3. Condenseurs

II-4-3-1.Introduction

Il est de coutume de désigner un condenseur par un appareil dont la fonction est de condenser de la vapeur, le réchauffage obligatoire du fluide froid auxiliaire n'étant qu'une conséquence (parfois nuisible). Par opposition aux échangeurs de chaleur (réchauffeurs) où la condensation de vapeur n'est qu'un moyen d'obtenir le but désiré : Le réchauffage d'un certain fluide [21].

II-4-3-2. Classification Des Condenseurs

Nous pouvons classer les condenseurs en deux grandes familles :

- Les condenseurs par surface, sans contact entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant, une surface d'échange s'interposant entre eux.
- Le condenseur par mélange avec, comme leur nom l'indique, mélange totale entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant.

Ces derniers restent très peu utilisés du fait de l'impossibilité de mélange entre la vapeur et l'eau de refroidissement, en générale de l'eau brute [21].

II-4-3-3. Principe De Fonctionnement

Les condenseurs sont souvent des échangeurs de chaleur à calandre et faisceau tubulaire.

La condensation se fait presque systématiquement dans la calandre. On utilise généralement des tubes d'un centimètre de diamètre et de longueur comprise entre 2 et 6 mètres, avec un pas triangulaire ou un pas carré. Un des critères pour ces choix est souvent la perte de charge, surtout pour des appareils travaillant à pression réduite.

Dans le cas d'une pompe à chaleur, le fluide frigorigène, après avoir emmagasiné de la chaleur et s'être évaporé dans l'évaporateur, circule dans un circuit fermé. Ensuite, il passe à proximité d'une source plus fraîche (air, sol ou eau) et ainsi se condense pour

refaire un cycle.

Cet échangeur de chaleur permet la condensation du fluide frigorigène.

Ce phénomène exothermique permet de restituer de la chaleur au médium (eau, air..), donc de le réchauffer. C'est par exemple le cas dans une chaudière à condensation [22].

II-4-4. Pompes Centrifuges

Les pompes centrifuges utilisent un principe roto dynamique, le plus souvent en utilisant une roue tournant à une fréquence élevée qui permet un modèle d'écoulement 'radial' ou 'axial'.

II-4-4-1. Principe De Fonctionnement

Une pompe centrifuge accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant un mouvement de rotation, donc une certaine puissance hydraulique.

Cette énergie hydraulique peut être vue comme la somme d'une énergie cinétique déterminée par le mouvement liquide dans le tube et d'une énergie potentielle stockée soit sous la forme d'un accroissement de pression soit sous celle d'une augmentation de hauteur (*théorème de Bernoulli*).

Le rendement varie en fonction du point de fonctionnement, et dépend également de la machine. Pour les machines usuelles, les catalogues de constructeurs indiquent qu'il se situe le plus souvent entre 70 % et 90 %.

Une pompe centrifuge ne délivre ni une quantité de liquide fixée, ni une pression déterminée : Le point de fonctionnement est déterminé par la résistance du circuit connecté à la pompe.

Elle augmente simultanément ces deux paramètres, en sorte que le débit obtenu dépend de la pression selon une certaine relation qui définit dans un graphique débit-pression, une courbe qu'on appelle « courbe caractéristique de la pompe ».

Les faisceaux typiques de courbes représentatives du fonctionnement d'une même machine équipée d'impulser de diamètres différents.

Cette courbe caractéristique est le plus souvent décroissante : La pression diminue quand le débit augmente, et affecte une forme grossièrement parabolique.

La pression obtenue lorsque la pompe fonctionne à débit nul est la pression maximale à laquelle le circuit aval puisse être soumis et constitue un paramètre de dimensionnement très important pour toute l'installation aval.

II -5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la centrale thermo-énergétique étudiée, son fonctionnement et ses différents éléments périphériques. De cette étude nous pouvons conclure que la CTE est un système assez complexe vue sa composition en plusieurs sous-systèmes, Chacun d'entre eux réalise une fonction spécifique (turbine à vapeur, générateur à vapeur, condenseurs, Pompes Centrifuges.) et quelle nécessite un haut niveau de surveillance pour obtenir un degré de sécurité suffisant.

CHAPITRE III

**Etude Technologique De Générateur De
Vapeur et Notions De Base Des Mécanismes De
Transfert De Chaleur / Dispositifs De Sécurité**

Chapitre III : Etude Technologique De Générateur De Vapeur et Notions De Base Des Mécanismes De Transfert De Chaleur / Dispositifs De Sécurité

III-1. Introduction

La chaudière (générateur de vapeur) est l'un des composants clés d'une installation thermique. Sa fonction principale est de produire de la vapeur (à basse, moyenne ou haute température). Cette vapeur est utilisée pour des raisons industrielles telles que la production de l'énergie électrique. Ce système est conçu pour opérer à de longues périodes et à des variations de charge incessantes, rapides et parfois importantes. Pendant l'opération, plusieurs problèmes peuvent être rencontrés et mener à limiter l'opération normale de l'installation produisant des troubles sérieux dans le programme de la production. Des accidents qui menacent l'intégrité structurale du système et provoquer de sérieuses pertes économiques et parfois humaines peuvent en résulter.

Les défaillances les plus graves des générateurs de vapeur en milieu industriel sont en relation avec les charges thermiques importantes supportées par les tubes vaporisateurs. En effet, le métal se trouve soumis à une variété de contraintes qui accélèrent l'altération de cohésion des matériaux sous les effets du flux de chaleur externe et du phénomène de l'ébullition du côté interne.

III-2. Différents Types Des chaudières

Les différents types des chaudières sont :

- Chaudière à tube fumée
- Chaudière à tube d'eau

III-2-1. Chaudière A Tube fumée

III-2-1-1. Présentation

Ce sont les chaudières les plus courantes dans l'industrie. Leur conception ne permet pas d'atteindre de haute pression, mais elles ont une grande réserve de vapeur et permettent d'absorber les demandes du réseau sans observer une trop grande baisse de pression.

L'appellation « tube de fumée » provient de la conception. En effet, le parcours des fumées

Ce tube de chaudières fournit un débit de vapeur de 1 à 25 t/h, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fuel [20].



Figure 8 : Chaudière à tube de fumée

III-2-1-2. Fonctionnement

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

Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par apport de calories [23].

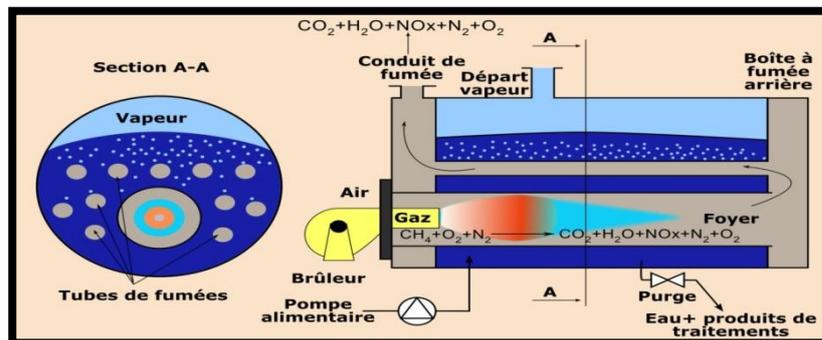


Figure 9 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à tube de fumée

La figure 9 montre le parcours des fumées dans les tubes et on peut observer que la combustion prend place au centre du générateur de vapeur.

III-2-1-3. Précautions

Il est impératif de traiter l'eau de chaudière afin d'éviter le dépôt de tartre à l'extérieur du tube foyer et des tubes de fumée. En effet, le tartre provoquerait un mauvais échange thermique, un temps de mise en pression-température plus long, un risque surchauffe au niveau de tube foyer, une surconsommation de combustible, une augmentation de température des fumées au niveau de la cheminée [17].

III-2-1-4. Production De Vapeur surchauffée

Il est nécessaire de recourir à un surchauffeur (source de chaleur indépendante), en aval de la chaudière à tube de fumée [17].

III-2-2. Chaudière A Tube d'eau

III-2-2-1. Présentation

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 t/h, en moyenne et haut pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou déchets [17].

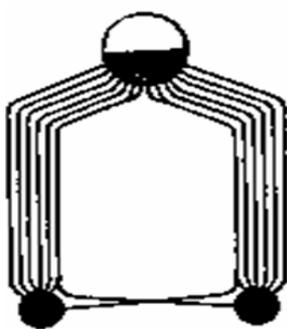


Figure 10 : Chaudière à tube d'eau

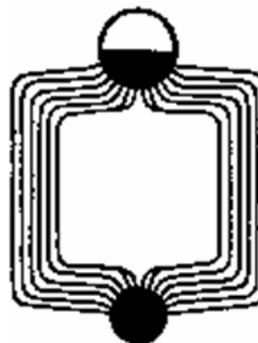
Les générateurs de vapeur à tubes d'eau sont généralement classés suivant les caractéristiques suivantes :

- La position du réservoir supérieur
- La nature de la circulation d'eau, naturelle ou forcée.
- Le nombre de ballons
- La capacité de la chaudière

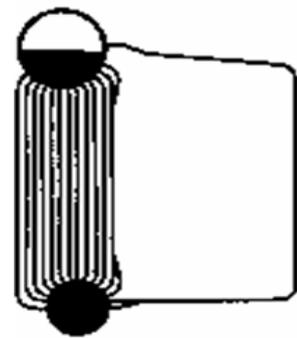
Ainsi et comme nous l'avons mentionné précédemment, il existe différents modèles, des générateurs de vapeur type-D, type-O, type-A, radiant, etc....



Générateur de vapeur type-A



Générateur de vapeur Type-O



Générateur de vapeur Type-D

Figure 11 : Différent types Générateur de vapeur

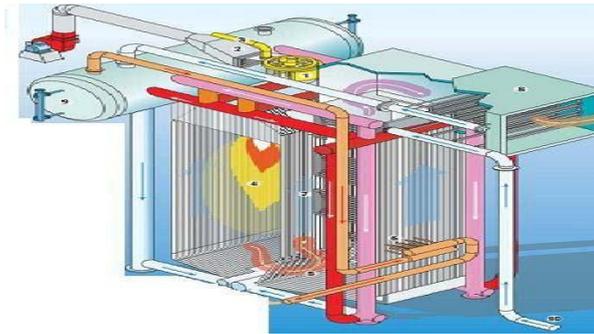


Figure 12 : Générateur de vapeur type radiant

❖ *Mode de circulation d'eau*

Le rôle de la circulation de l'eau ou de l'émulsion d'eau et de vapeur dans les tubes de la chaudière est d'assurer d'une part le refroidissement correct des tubes situés dans les zones les plus chaudes ou exposées au rayonnement direct du feu, et qui reçoivent à cette partie, le flux maximal de chaleur, et d'autre part, d'assurer la génération de la vapeur saturée, c'est-à-dire, le passage du fluide chauffé de l'état eau à l'état émulsion eau et vapeur. Il y a deux types principaux de circulation, la circulation naturelle et la circulation forcée.

➤ *Circulation naturelle*

Elle s'établit d'elle-même dans les circuits de la chaudière. Elle est assurée par la différence de poids entre deux colonnes de fluides, l'une contenant uniquement de l'eau, et l'autre un mélange d'eau et de vapeur. Il en résulte que la circulation est d'autant plus intense que la différence de masse volumique entre l'eau et la vapeur est plus grande. L'effet de la circulation naturelle diminue lorsqu'on se rapproche de la pression critique de 221 bars [24].

La limite pratique d'utilisation de la circulation naturelle est de 180 bars. Dans les chaudières à circulation naturelle on détermine les débits d'eau à l'entrée des différents circuits de façon à ce que l'ébullition se fasse en tout point sous forme nucléée [24,25], ce qui garantit un bon refroidissement des tubes vaporisateurs. Lorsque la puissance diminue, le taux de vapeur varie relativement peu et par suite le débit en circulation décroît beaucoup moins vite que le débit de vapeur de la chaudière, cela garantit d'autant mieux le refroidissement des tubes.

La circulation naturelle est donc relativement plus active à basse puissance, elle s'amorce facilement lors du démarrage des installations. Cela explique la souplesse et la simplicité des chaudières à circulation naturelle.

Il faut noter que la circulation naturelle dont le principe est schématisé par la (*Figure 13* ci-dessous), est meilleure lorsque la pression est basse, la hauteur motrice est plus grande à condition que les pertes de charge ne deviennent pas trop importantes, et la partie de chauffage soit située en partie basse des écrans.

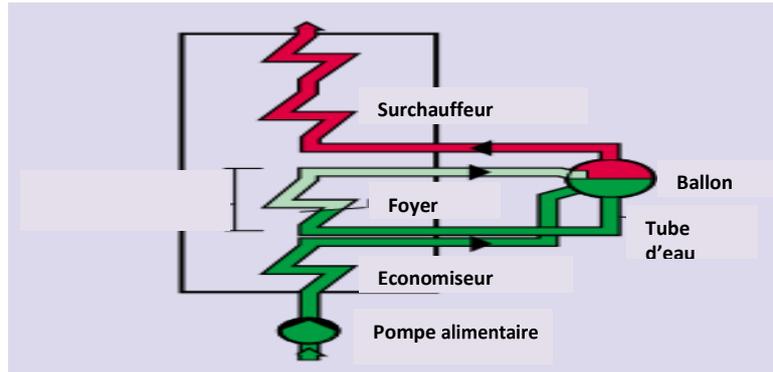


Figure 13 : Principe de la circulation naturelle

➤ *Circulation forcée*

La circulation d'eau dans une telle chaudière dont le principe est illustré par la figure ci-dessous, est assurée par les pompes d'alimentation dont la hauteur de refoulement est déterminée en tenant compte de la perte de charge totale des circuits évaporateurs et surchauffeurs[24]. Cette circulation permet une grande liberté dans la conception des circuits, puisque la circulation est toujours assurée. De plus, le diamètre des tubes peut être plus petit que dans les chaudières à circulation naturelle. Dans les chaudières à circulation forcée, l'eau étant vaporisée en totalité, le régime de vaporisation par film instable, puis par film stable s'établit nécessairement dans les parties finales du circuit, il faut alors contrôler que la vitesse de l'émulsion est suffisante pour assurer le refroidissement du tube. La chaudière à circulation forcée peut être utilisée pour toutes les pressions sous-critiques et supercritiques.

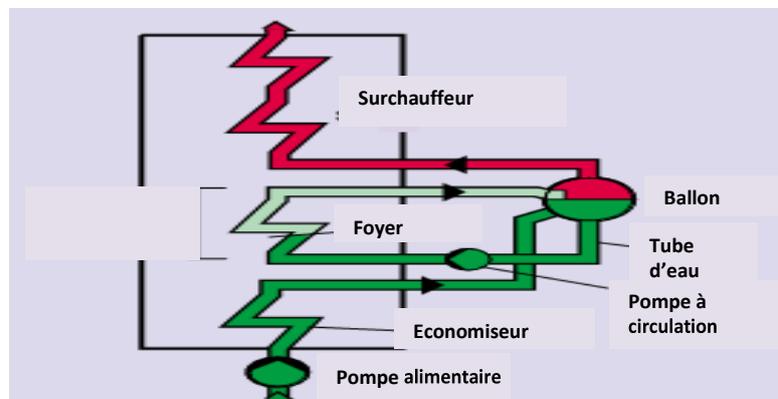


Figure 14 : Principe de la circulation forcée

III-2-2-2. Fonctionnement

Le fonctionnement de telle chaudière fait intervenir deux principaux circuits :

- 1- Un circuit Eau/vapeur dont le but est la transformation de l'eau en vapeur afin d'obtenir une vapeur à 400°C et 45bar ;
- 2- Et un circuit air/gaz qui sert à produire de la chaleur par la combustion. Ces deux circuits seront détaillés dans *la figure 15 & la figure 16*.

❖ *Circuit Eau/Vapeur*

• *Arrivée de l'eau d'alimentation*

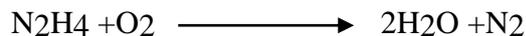
L'eau d'alimentation est stockée dans une bêche, provient en partie des condensas de vapeur en retour après utilisation, et l'eau déminéralisée. Cette eau est aspirée par une pompe et refouler dans le dégazeur pour éliminer l'oxygène « O₂ » qui existe dans l'eau. Ce dégazage se fait par deux méthodes en même temps :

▪ *Première méthode*

Consiste à faire un dégazage par la vapeur très basse pression (**VBB = 0.8**), on injecte la vapeur dans le dégazage, et grâce à un barbotage l'oxygène « O₂ » se dégage vers l'atmosphère.

▪ *Deuxième méthode*

On utilise dans cette méthode un produit chimique, le plus utilisable est l'hydrate d'hydrazine (N₂H₄), dont la réaction chimique, s'écrit comme suit :



Après ce phénomène de dégazage, les pompes aspirent l'eau du dégazeur et la refoule dans le ballon supérieur par le passage par l'économiseur.

• *Passage par l'économiseur*

L'économiseur reçoit l'eau d'alimentation refoulée par la ou les pompes alimentaires. Il est généralement situé sur le parcours des fumées, ce sont les fumées produites lors de la combustion qui cèdent leur chaleur à l'eau d'alimentation avant de passer au ballon supérieur.

• *Stockage dans le ballon supérieur*

L'eau venant de l'économiseur est stockée au niveau du ballon supérieur. Après, l'eau passe à travers des tubes appelés tubes écrans qui sont exposés directement aux flammes.

• *Passage par les surchauffeurs 1 et 2*

Si la température désirée de la vapeur n'est pas encore atteinte une valeur de 400°C à 405°C ou si la vapeur contient encore des goûtes d'eau, on a recouru au surchauffeur. Il consiste à faire passer la vapeur par des serpentins dans la chambre de combustion, ces derniers seront exposés à la chaleur fournit par la fumée. Ainsi on aura de la vapeur.

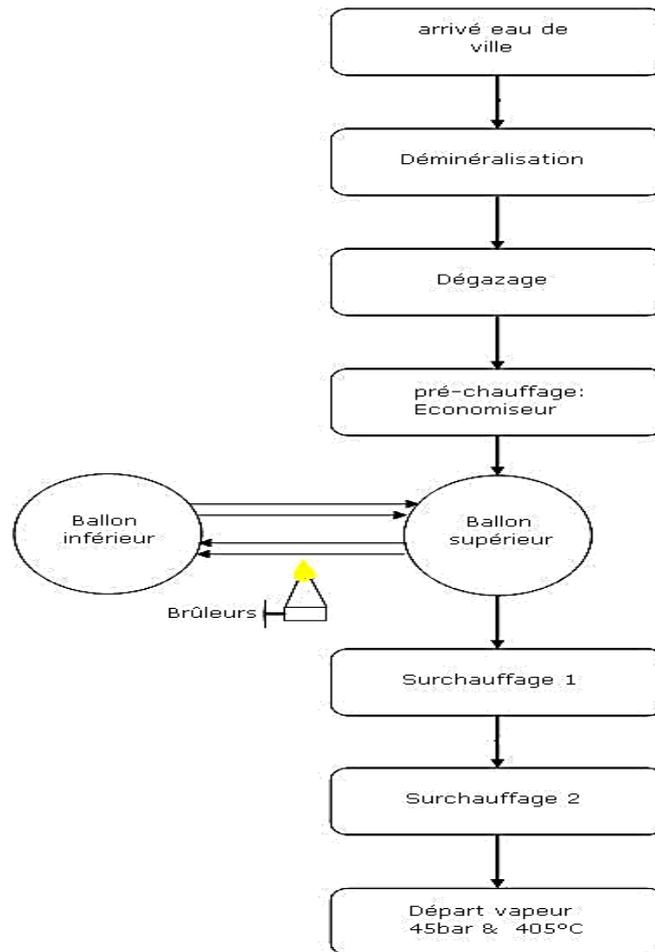


Figure 15 : Circuit Eau/Vapeur

❖ **Circuit Air/Gaz**

Dans le circuit air/gaz, comburant (air) aspiré par le ventilateur de soufflage à l'atmosphère est envoyé dans les brûleurs. Il est ensuite envoyé dans la chambre de combustion. L'oxygène de l'air se combine alors avec le combustible Fioul Oil (FO) en introduisant de la chaleur et les fumées [26].

Ces fumées passent ensuite par les tubes de l'économiseur pour l'échauffement de l'eau d'alimentation avant d'être évacuées vers l'atmosphère (voir **Figure 16**).

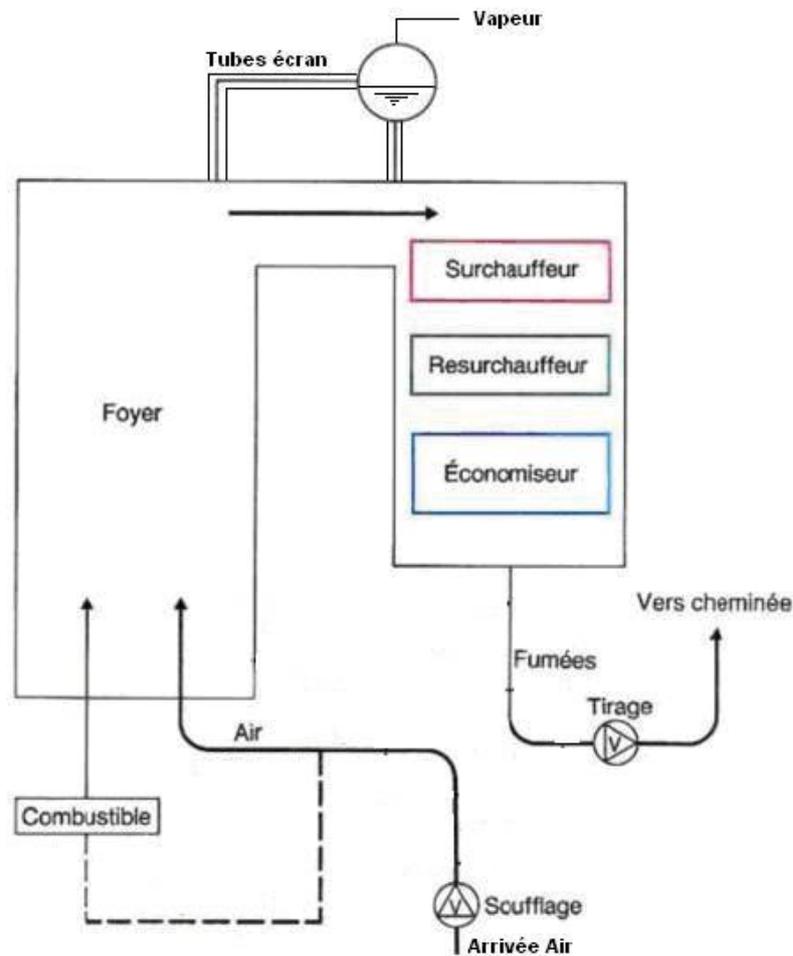


Figure 16 : Circuit Air/Fumée

III-2-2-3. Précautions

La formation de tartre dans les tubes serait préjudiciable au fonctionnement de la chaudière à tubes d'eau pour les mêmes raisons que celles évoquées à propos des chaudières à tubes de fumée. En outre, l'obturation des tubes pourrait se révéler dangereuse, ce qui ajoute à la nécessité de traiter l'eau de chaudière.

La paroi extérieure des tubes est exposée aux dépôts des suies et nécessite une action de ramonage pendant le fonctionnement de la chaudière. Cette action est obtenue par injection de vapeur ou d'air comprimé via un tube perforé [26].

III-2-2-4. Production De Vapeur surchauffée

Dans de telle chaudière à tubes d'eau, la tuyauterie qui prend en charge la vapeur saturée retourne dans le foyer, les gaz chauds apportent à cette vapeur saturée une énergie supplémentaire qui en élève la température sans en modifier la pression. On obtient ainsi de la vapeur surchauffée à la sortie [26].

III-3. Différents Composants D'un Générateur De Vapeur

La chaudière ou *générateur de vapeur* est pourvue d'appareils de sécurité qui assurent une production optimale dans les conditions d'exploitation normale et d'urgence. Elle se compose principalement de :

- Réservoir
- Chambre de combustion
- Echangeurs de chaleur
- Brûleurs
- Evaporateur
- Enveloppe de chaudière

II-3-1. Réservoir

C'est l'élément principal dans la chaudière, le réservoir est le lieu où elle reçoit le mélange d'eau et de vapeur qui provient des tubes d'écran et de faisceaux vaporisateurs.

Le ballon est un gros cylindre horizontal (voir **Figure 17**) à parois épaisses qui se trouve à la partie supérieure de la chaudière et dont le rôle est multiple, à savoir:

- La séparation de l'eau et de la vapeur contenues dans l'émulsion ;
- L'équilibrage des pressions eau et de vapeur grâce au maintien d'un plan d'eau ;
- L'introduction de l'eau d'alimentation dans le système évaporateur ;
- La répartition correcte de l'eau d'alimentation dans les tubes de descente, avec le minimum d'entraînement de vapeur ;
- L'introduction et la dilution des produits de traitement de l'eau de la chaudière ;
- L'extraction de déconcentration.



Figure 17 : Ballon supérieur (Drum)

Il existe deux types de ballons (voir **Figure 18** ci-dessous) :

- Le type B utilise la séparation par la gravité d'eau. Il contient des grilles de séchage (chicanes) pour séparer les gouttelettes d'eau dans la vapeur dans la partie haute du ballon pour n'avoir que de la vapeur sèche.
- Le type C utilise des séparateurs cyclones (à recommander aux pressions élevées). Ils utilisent la vitesse de rotation pour centrifuger et projeter l'eau sur les parois,

le long desquelles elle se rassemble, tandis que la vapeur se dégage au centre, avec une faible proportion d'eau entraînée.

Cette vapeur passe ensuite par des sècheurs qui se trouvent au-dessus des cyclones, en partie haute du ballon pour obtenir que de la vapeur sèche.

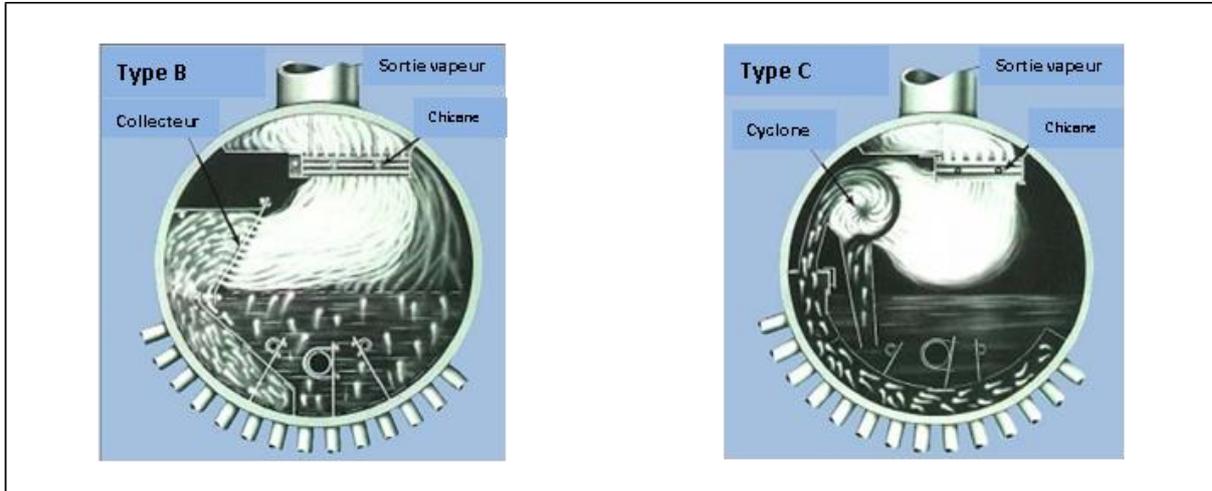


Figure 18 : Les deux types de ballons

L'efficacité des dispositifs de séparation ne peut être obtenue que si le niveau de l'eau dans le ballon est correctement réglé. En effet, si le niveau est trop haut et dépasse les dispositifs de mise en rotation des séparateurs centrifuges, ceux-ci ne peuvent assurer leur fonction et la séparation se fait mal, il y'a alors entrainement d'eau dans la vapeur. Par ailleurs, le niveau ne doit pas descendre en-dessous d'un seuil de sécurité, afin qu'il subsiste toujours une garde d'eau permettant d'éviter la création de vortex à l'intérieur des tubes de descente et d'assurer avec une sécurité suffisante, l'alimentation des écrans vaporisateurs. Le niveau doit donc être maintenu, quel que soit les conditions de fonctionnement, entre deux limites relativement rapprochées.

• Réservoir (Ballon supérieur)

Le ballon de vapeur est constitué de tôles laminées d'acier soudées par fusion, et tubulure en acier et trous d'homme, l'eau d'alimentation est introduite dans le ballon depuis l'économiseur via le condenseur.

La chaudière est équipée d'un grand ballon pour assurer un stockage approprié de vapeur et minimiser les fluctuations niveau d'eau résultant de changement brusque de demande en vapeur.

Le mélange vapeur / eau amené au ballon depuis les tubes montant et tubes de paroi de four est recueilli dans un compartiment constitué de chicanes intérieures, de ce compartiment la vapeur est dirigée vers les turbo séparateur.

En sortant des turbos séparateurs, la vapeur remonte uniformément et à une vitesse relativement faible vers une série de chicanes disposées dans la direction longitudinale du

ballon. Ces chicanes constituent la dernière étape de séparation d'eau.

La (**Figure 19** ci-dessous) représente le ballon supérieur, qui joue le rôle d'un réservoir dans lequel est stockée l'eau d'alimentation.

Il s'établit dans le réservoir un plan d'eau dont le niveau est maintenu à une valeur constante (50%). Au-dessus de ce plan, ce trouve la vapeur saturée ou humide qui se dégage vers l'échangeur de surchauffe.

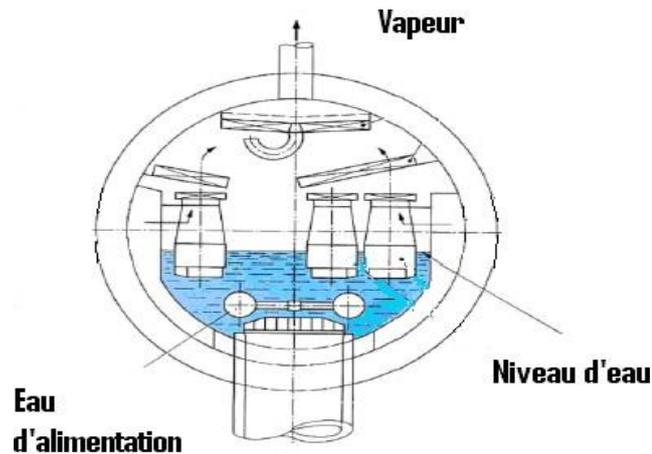


Figure 19 : Ballon supérieur

III-3-2. Chambre De Combustion

La chaudière est une enveloppe entièrement soudée à l'épreuve de pression constituée de panneaux tubulaires à ailettes soudées.

La chambre de combustion est un récipient de grand volume dont les parois sont refroidies à l'eau et où la combustion se produit, pour diriger les gaz de fumée vers la zone de convection.

- La paroi tubulaire de la chambre de combustion fait bouillir l'eau provenant de la paroi arrière de zone de récupération de chaleur.
- Les produits de la combustion sont refroidis par la paroi tubulaire de la chambre de combustion à la température de gaz appropriée.

C'est dans cette chambre que l'on brûle le mélange air combustible en libérant une certaine quantité de chaleur. Les murs latéraux et le plafond de cette chambre sont tapissés. L'échange thermique se fait par rayonnement, dans les tubes en acier appelés « tubes écrans». La sortie du gaz chaud (fumées) se fait généralement à travers une partie de la paroi latérale.

Donc c'est une chambre constituée par les tubes d'écrans vaporisateurs, dont le rôle principal est d'assurer la combustion dans des conditions correctes, à savoir une sécurité, un bon rendement, un minimum d'entretien, avec parfois la possibilité d'utiliser soit séparément

ou ensemble plusieurs combustibles afin d'assurer une partie non négligeable de l'échange thermique de la chaudière et de préférence une partie importante de la vaporisation.

La chaleur introduite dans la chambre de combustion après la combustion se divise en :

- Chaleur transférée au fluide directement par les parois ;
- Chaleur évacuée par les fumées à la sortie du foyer ;
- Chaleur perdue vers l'extérieur par les calorifugées du foyer (souvent négligeable, de l'ordre de 0.2%)

III-3-3. Echangeurs De Chaleur

Ils sont utilisés principalement pour transférer l'énergie contenue dans les gaz de combustion à la vapeur ou à l'eau. Ils sont constitués d'une multitude de tubes regroupés en panneaux ou éléments qui sont dans le même plan, parallèles au sens de parcours des fumées et équidistants entre eux d'un pas transversal (ST) (figure ci-dessous).

Dans un même élément, les tubes sont perpendiculaires au trajet des fumées, distants entre eux d'un pas longitudinal (SL), plus ou moins nombreux, alimentés en parallèle par le même collecteur d'entrée et débitant dans le même collecteur de sortie [24].

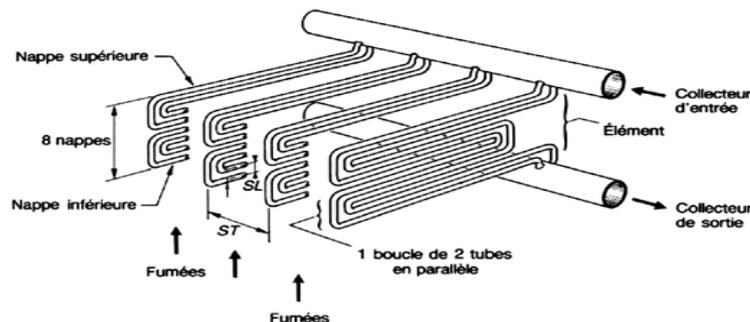


Figure 20 : Echangeur de chaleur

• Economiseur

L'économiseur (voir *Figure 21* ci-dessous) est un échangeur de chaleur à multi passages situé dans l'écoulement des gaz d'échappement chauds sortant du générateur de vapeur. Le rôle principal de celui-ci est de réchauffer l'eau d'alimentation avant son entrée dans la chaudière.

L'économiseur divisé parfois en différents éléments, est généralement constitué de tubes à ailettes ou de tubes lisses.

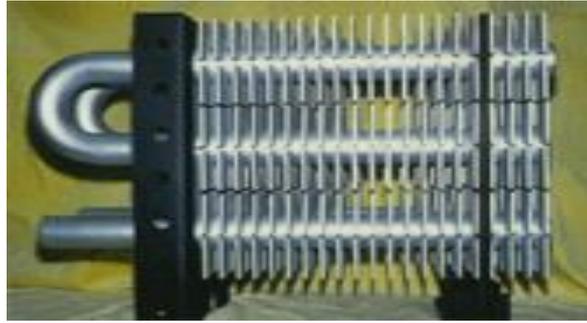


Figure 21 : Schéma d'économiseur

L'économiseur joue le rôle d'un échangeur de chaleur dont l'objectif est d'augmenter la température de l'eau d'alimentation qui provient du dégazeur à l'aide de la récupération d'une partie des calories restantes dans les gaz de combustion. L'économiseur est donc un échangeur de chaleur.

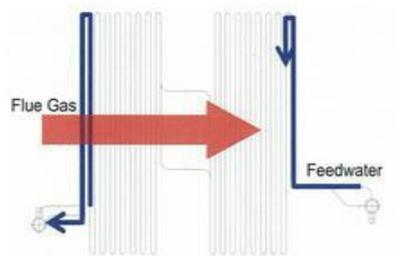


Figure 22 : Schéma d'économiseur

Soit l'économiseur a pour rôle de récupération de certains nombre de calories des fumées dégagées de la chaudière pour préchauffer l'eau d'alimentation de chaudière avant qu'elle soit introduite dans le ballon de vapeur.

L'économiseur est à tube à ailettes spirales et se situe à la partie la plus basse de la passe de retour : Il se compose de tubes horizontaux et parallèles.

L'eau d'alimentation est fournie au collecteur d'entrée d'économiseur via le clapet de retenue et la vanne d'arrêt. S'écoule vers le haut à travers les tubes économiseur (dans la direction opposée au gaz de carneau en vue d'un transfert de chaleur le plus rentable) et s'introduit dans le ballon de vapeur via le condenseur de désurchauffeur.

• *Surchauffeurs*

Ils sont situés sur le parcours des fumées entre la sortie de la chambre de combustion et l'économiseur. Le rôle des surchauffeurs (voir *Figure 23* ci-dessous) est d'augmenter la température de la vapeur à la température désirée sans changer la pression. La position du surchauffeur varie suivant le type de la chaudière et l'importance de la surchauffe de la vapeur. Ce sont généralement des échangeurs tubulaires et comprenant parfois deux parties, un surchauffeur primaire et un surchauffeur secondaire, comportant entre eux un système de régulation de température de la vapeur surchauffée.

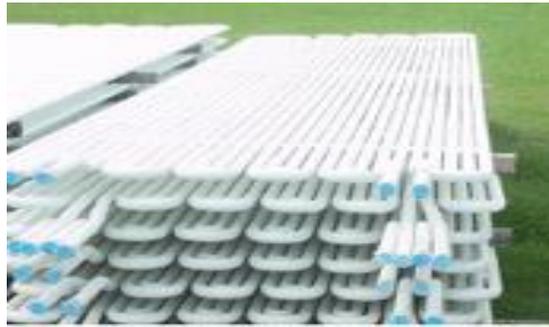


Figure 23 : Schéma de Surchauffeurs

Les surchauffeurs reçoivent extérieurement les gaz venant directement de la chambre de combustion. Ce sont les faisceaux tubulaires du générateur de vapeur qui sont soumis aux températures les plus élevées. La vapeur saturée venant de la partie haute de réservoir, passe dans les tubes des surchauffeurs, où sa température est élevée à pression constante.

Bien que la vapeur surchauffée ne dépasse pas la température maximale autorisée par le matériel, un système de « désurchauffe » est parfois installé. Il s'agit d'un refroidissement de la vapeur.

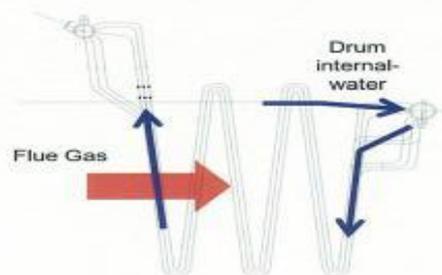


Figure 24 : Schéma des surchauffeurs

• Réchauffeurs

Les réchauffeurs ont un rôle identique à celui des surchauffeurs, à savoir élever la température de la vapeur surchauffée provenant de la turbine à un niveau déterminé.

Les réchauffeurs d'air absorbent la chaleur contenue dans les fumées. Ils présentent plusieurs avantages parmi lesquels, on peut citer:

- Accélération des réactions de la combustion.
- Diminution de l'encrassement des surfaces de chauffe par une combustion plus complète.
- Amélioration du rendement, par réduction des pertes dans les fumées.

• Désurchauffeurs

Destinés à refroidir et moduler la température de la vapeur surchauffée ou resurchauffée, ils sont rarement tubulaires mais généralement assimilables à des échangeurs par mélange puisqu'ils procèdent par injection d'eau dans la vapeur.

III-3-4. Bruleurs

Les brûleurs sont des mécanismes, dans lesquels l'énergie chimiquement liée dans les carburants est libérée lorsqu'on les brûle. Ils sont intégrés essentiellement dans des chaudières pour le chauffage de l'eau et la génération de vapeur.

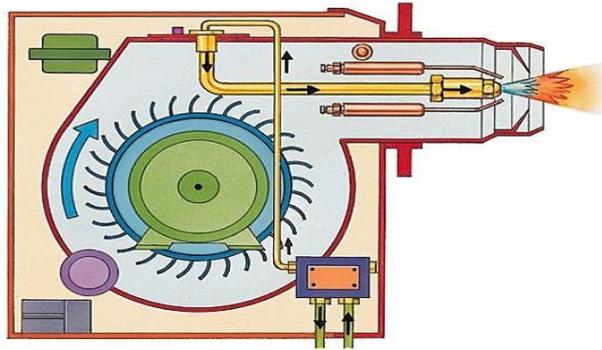


Figure 25 : Représentation schématique d'un bruleur

Les brûleurs doivent engendrer la meilleure combustion possible c'est pour cela qu'il faut assurer un mélange homogène entre le carburant et le comburant au niveau du foyer.

III-3-5. Evaporateur

L'évaporateur sert à réchauffer eau à l'intérieure du ballon, il est du type circulation naturelle et situé en aval de la surchauffeur primaire dans la zone de passe de retour.

Les tuyaux de descente non chauffés, les tubes en boucles inclinées et les tuyaux montants sont prévus pour maintenir la circulation appropriée et stable d'eau à toutes les allures de production de vapeur.

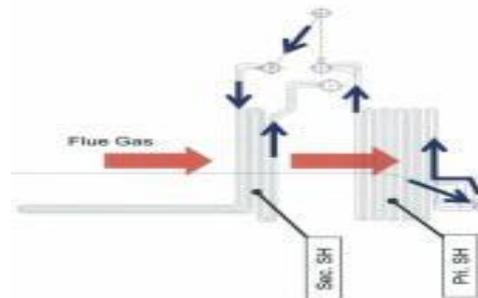


Figure 26 : Schéma d'évaporateur

III-3-6. Enveloppe De Chaudière

L'évaporateur, le surchauffeur, l'économiseur et le four sont enfermés dans une enveloppe intérieure format enceinte sous pression en assemblage soudé étanche aux gaz.

Quant à l'enveloppe extérieure, elle ne sert pratiquement que de couvercle du matériau calorifuge à libre dilatation thermique car elle ne nécessite pas d'être étanche à l'air.

III-4. Alimentation Des Chaudières

Curieusement il n'existe aucune prescription réglementaire sur les appareils d'alimentation des chaudières. Le bon sens exige qu'ils soient de puissance suffisante, en assez grand nombre et entraînés par des moteurs différents (électriques et vapeur) pour assurer en toutes circonstances l'apport d'eau nécessaire à la sécurité de fonctionnement.

On trouve encore pour l'alimentation des petites chaudières des pompes à plusieurs pistons entraînés par un moteur électrique.

Mais la majorité des appareils utilisés sont des pompes centrifuges simples ou multicellulaires pour les pressions élevées. Elles sont également entraînées par un moteur électrique, ou, dans les installations importantes, une turbine à vapeur.

En presque totalité les chaudières sont équipées de dispositifs d'alimentation automatique facilitant le maintien d'une position stable du niveau, nécessaire dans les générateurs modernes au taux de vaporisation élevé et à la réserve d'eau souvent faible.

Il existe deux familles d'appareils :

- Régulateurs par tout ou rien
- Régulateurs à action continue

Les premiers sont utilisés pour les chaudières de faible puissance. L'organe pilote est un flotteur ou un système à électrodes comme pour l'indication de niveau.

Il commande mécaniquement ou par un relais un commutateur qui provoque la mise en marche ou l'arrêt du moteur électrique.

Il est souhaitable que les variations du niveau qui résultent de ce mode d'alimentation ne soient pas trop grandes pour éviter les variations corrélatives de pression.

Les seconds s'imposent à toutes les chaudières d'un puissant ce horaire moyen ou élevée. Les dispositifs de pilotage et de commande sont variés : flotteurs, éléments à dilatation, mesureurs du débit de vapeur, etc... pour la première fonction ; transmission mécanique, à fluide auxiliaire, électrique pour la seconde. Au bout de la chaîne un clapet équilibré qui laisse passer plus ou moins d'eau dans la chaudière.

L'appareil d'alimentation ne peut être qu'une (ou plusieurs) pompe centrifuge pouvant supporter les variations de pression au refoulement qui résultent de l'ouverture plus ou moins grande du clapet.

Lorsqu'une chaudière est à alimentation automatique, quel que soit la catégorie, il est souhaitable qu'elle soit munie d'un appareil d'alarme.

Celui-ci doit être indépendant du dispositif de pilotage commandant l'alimentation. Si, de plus, elle est à conduite entièrement automatique le défaut d'alimentation doit provoquer l'arrêt du brûleur.

Pour éviter que l'eau de la chaudière reflue vers la pompe alimentaire lors de l'arrêt de celle-ci le règlement exige la présence d'un clapet de retenue. Celui-ci doit être placé sur la tubulure d'alimentation, le plus près possible de la chaudière [27].

III-5. Contrôle Et Limitation De pression

III-5-1. Contrôle De pression

La pression à l'intérieur de la chaudière ne doit jamais dépasser la valeur indiquée par le timbre. Pour la contrôler on dispose :

III-5-1-1. Manomètre

Qui doit être placé de telle façon qu'il soit bien visible par le surveillant ou le chauffeur.

Cet appareil est basé sur la déformation élastique d'un élément métallique sous l'effet de la pression. Le plus répandu est celui à tube de section elliptique (*dit de Bourdon*). Dans sa déformation le tube entraîne une aiguille qui se déplace sur un cadran gradué en unités de pression. Le tuyau reliant le manomètre à la chaudière est généralement recourbé pour faciliter la formation d'un bouchon d'eau, empêchant la vapeur d'atteindre l'élément déformable en le protégeant de la chaleur.

Le manomètre est monté sur un élément de liaison comportant un robinet à trois voies avec purge et un ajutage avec bride ou raccord de fixation du manomètre étalon.



Figure 27 : Le manomètre

Chapitre III : Etude Technologique de Générateurs de Vapeur et Notions de Base des Mécanismes de Transfert de Chaleur/ Dispositifs de Sécurité

Le dispositif permet soit d'isoler le manomètre soit de purger sa tubulure de communication soit de comparer ses indications avec celles du manomètre étalon préalablement fixé sur la bride ou le raccord prévu.

La purge d'un manomètre est à faire moins fréquemment que celle d'un niveau mais ne doit pas être négligée. Il est conseillé de la faire une fois par semaine sur les chaudières dont l'eau est traitée.

On doit mettre à profit cette opération pour s'assurer que, le manomètre étant isolé, l'aiguille revient bien à zéro. Il va de soi que toute anomalie constatée doit entraîner une intervention immédiate permettant d'y mettre fin.

Le cadran du manomètre doit porter à la graduation convenablement une marque très apparente (trait rouge par exemple) indiquant la pression à ne pas dépasser (timbre) [27].

III-5-1-2. Soupape De Sureté

Pour éviter ce dépassement, elles doivent évacuer à l'atmosphère l'excès de vapeur éventuel.

Elles sont constituées pour l'essentiel d'un clapet normalement appuyé sur son siège par un poids ou un ressort et empêchant l'échappement de la vapeur, tant que la pression limite prévue n'est pas atteinte.

Lorsque cela se produit la force exercée par la vapeur sur le clapet l'emporte sur celle produite par le poids ou le ressort. Le clapet se soulève permettant la sortie de la vapeur jusqu'à ce que la pression revienne au-dessous de la valeur déréglage.



Figure 28 : Soupapes de sureté

Aux chaudières à haute pression, pour permettre une plus grande précision, la levée du clapet se fait par l'intermédiaire d'un piston monté dans le corps de la soupape et d'un diamètre sensiblement plus grand que le clapet.

La vapeur est admise sous le piston par l'intermédiaire d'un « clapet pilote » qui s'ouvre lorsque la pression limite est atteinte. Ces soupapes sont dites « assistées ».

Le réglage des soupapes est un facteur important de sécurité. Aussi est-il rigoureusement interdit de la modifier soit en surchargeant le contre poids soit en augmentant

la tension du ressort.

L'échappement de la vapeur à la sortie des soupapes doit être canalisé pour éviter que des projections d'eau atteignent le personnel. Mais la gaine ou le tuyau ne doivent pas gêner son écoulement. Le règlement précise que la pression à la chaudière ne doit pas excéder de plus de 10% le timbre pendant le fonctionnement des soupapes.

Il convient de noter que dans les installations à fonctionnement automatique les variations de pression commandent le débit de combustible.

A la pression maximale un « manostat » coupe l'alimentation du brûleur, ce qui évite pratiquement tout déplacement du timbre. Un tel dispositif ne dispense pas pour autant des soupapes de sûreté [27].

III-5-1-3. Autres Dispositifs De Sécurité Sur Les chaudières

➤ *Vanne d'arrêt de vapeur*

Elle n'a pas une fonction permanente de sécurité. Mais elle est indispensable pour permettre d'isoler un générateur du circuit qu'il dessert en cas d'incident ou d'accident sur ce dernier. Il est recommandé de la manoeuvrer régulièrement et d'éviter de la bloquer en fin de course par une couverture trop brutale.

➤ *Vanne de vidange*

Même remarque que pour la précédente. Cette vanne est au point bas de la chaudière. Son étanchéité est à vérifier fréquemment surtout aux chaudières à fonctionnement discontinu arrêtées la nuit.

➤ *Clapet de retenue de vapeur*

Il s'agit d'un clapet ayant une fonction analogue à celui disposé sur l'alimentation en eau. Il n'est exigé par le règlement sur les tubulures de sortie que lorsque plusieurs chaudières alimentent en vapeur un même collecteur.

En cas d'avarie importante à une de ces chaudières il empêche la vapeur produite par les autres de refluer vers elle. Il n'est pas imposé lorsque les prises de vapeur ont un diamètre inférieur à 80 mm.

➤ *Fermeture automatique des foyers et des cendriers*

Aux chaudières à tubes d'eau la rupture d'un tube peut entraîner un flux de vapeur et de gaz brûlants vers l'extérieur ou même la projection de charbon incandescent lorsqu'on utilise ce combustible.

Pour éviter ce risque le règlement prévoit que tous les orifices, portes et regards, doivent être munis de dispositifs à volet équilibré se fermant automatiquement sous l'effet du flux.

L'encore on remarquera que l'encombre de chaudières concernée sa diminué rapidement avec la généralisation des parois étanches [27].

III-6. Importance Et Modalités De l'entretien

L'entretien contribue dans une large mesure à maintenir les caractéristiques de Fonctionnement initiales des chaudières et à assurer leur longévité. Il comporte deux postes principaux :

- Le nettoyage des surfaces d'échange au contact des gaz
- La protection contre les dépôts de tartre des surfaces baignées par l'eau et leur élimination éventuelle.

Il comprend également la « maintenance » des équipements annexes devenus de plus en plus importants et perfectionnés [27].

En ce qui concerne le nettoyage des surfaces coté gaz, Ces surfaces se couvrent progressivement de suies et de cendres qui gênent la transmission calorifique et provoquent une augmentation de la température des fumées.

Il convient de les enlever dans toute la mesure du possible. On procède pour cela à des ramonages [17].

III-7. Dégazeur

III-7-1. Définition

Un dégazeur ou dés-aérateur, est un dispositif destiné à éliminer l'oxygène ou d'autres gaz dissous dans l'eau remplissant les circuits des chaudières. Il en existe deux types :

- Circuits à plateaux
- Et circuits à pulvérisation.

Le *dégazeur* intervient dans le poste d'eau comme un réchauffeur par mélange, c'est un échangeur qui réchauffe l'eau d'extraction jusqu'à la température de saturation de la vapeur de chauffe, il assure le dégazage physique afin d'extraire les gaz dissous qui peuvent provoquer des corrosions dans la chaudière .l'eau à dégazer et la vapeur de soutirage Parcourant la tourelle dans le même sens du haut vers le bas.

III-7-2. Principe De Fonctionnement

Le rôle du dégazeur est d'enlever l'oxygène dissous dans l'eau. Cette étape est indispensable pour la protection des ballons de chaudière ; la présence d'oxygène dissous étant source de corrosion. L'élévation de température de l'eau (soit aux alentours de 105 °C) est obtenue par cette injection de vapeur sous une pression de 0,1bar.

L'eau d'alimentation du dégazeur coule à travers la tête pour entrer en contact à contrecourant avec la vapeur qui permet de porter cette eau à une température d'ébullition et éliminer les gaz dissous afin d'obtenir une eau traitée prête à être exploitée.

L'eau dégazée est reprise par une pompe alimentaire afin d'alimenter le ballon supérieur de la chaudière. Avant d'atteindre ce ballon, l'eau passe dans un économiseur pour récupérer une partie de l'énergie thermique des fumées. Les régulations assurent un niveau constant jusqu'au ballon supérieur. La température de l'eau dans la chaudière est élevée jusqu'à 300°C. Les ballons supérieurs des chaudières sont purgés automatiquement lorsque la conductivité de l'eau devient trop élevée (risque d'encrassement) [28].

III-7-3. Rôle Du Dégazeur

Le dégazeur est le gardien d'une installation de chaudières. Son rôle est d'enlever autant des gaz dissous dans l'eau d'alimentation des chaudières que possible. La concentration en oxygène à la sortie de dégazeur doit être uniformément à moins de 10 ppb. Comme autre assurance contre l'effet destructif de l'oxygène dissous, une quantité de carbohydrazide devrait être injecté.

➤ *Efficacité de dégazage*

L'efficacité de dégazage dépend de trois facteurs :

- Le fait que les gaz sont soit ionisés (il réagit avec l'eau), soit dissous sous forme de gaz libre.
- La pression relative exercée par le gaz dans l'eau et dans l'atmosphère (pression partielle).
- La température.

Chacun de ces paramètres joue un rôle dans le dégazage physique.

L'oxygène ne s'ionise pas quand il est dissout dans l'eau. Il est présent essentiellement comme «oxygène libre». Il diffère du gaz carbonique et de l'ammoniac. La teneur en oxygène pourra donc être diminuée efficacement jusqu'à une faible concentration par des méthodes physiques, alors que le gaz carbonique et l'ammoniac ne seront éliminés que dans la mesure où ils sont présents sous forme non ionisée.

L'oxygène dissout dans l'eau exerce une pression proportionnelle à sa concentration. L'eau en conséquence, dissoudra de l'oxygène uniquement jusqu'au moment où un équilibre de pression sera atteint entre l'oxygène dans l'eau et celui dans l'atmosphère environnante.

Le dégazage physique détruit volontairement cet équilibre. Ceci est réalisé en entourant l'eau avec de la vapeur qui ne contient pas d'oxygène. La différence de pression oblige l'oxygène à quitter l'eau. La vapeur est alors mise à l'atmosphère pour maintenir constamment une concentration basse en oxygène dans le milieu.

Les gaz ne peuvent pas se dissoudre dans l'eau à sa température de saturation (température d'ébullition à une pression donnée) En pratique, cependant, la solubilité des gaz libres n'est jamais nulle, car la température de la vapeur est toujours légèrement supérieure à celle de l'eau. Ceci permet aux gaz d'être plus solubles dans l'eau que dans la vapeur [29].

III-8. Différents Types De Dégazeur [30]

III-8-1. Dégazeur A Plateaux

Une cuve est surmontée d'un dôme vertical contenant des plateaux perforés. L'eau d'alimentation pénètre dans la section de dégazage verticale au-dessus des plateaux perforés et s'écoule vers le bas à travers les perforations. La vapeur basse pression pénètre sous les plateaux perforés et remonte à travers les perforations.

La vapeur d'eau entraîne le gaz dissous dans l'eau d'alimentation et sort par l'évent au sommet du dôme. L'eau dégazée s'écoule dans le bas de la cuve avant d'être pompée vers le système de chaudière de production de vapeur. La vapeur de chauffage à basse pression pénètre dans le récipient horizontal à travers un tube d'aspersion dans le fond de la cuve.

III-8-2. Dégazeurs A Pulvérisation

C'est une cuve généralement horizontale ayant une section préchauffage et une section de purge d'air. Les deux sections sont séparées par une chicane. La vapeur d'eau basse pression pénètre dans le récipient à travers un barboteur dans le fond de la cuve. L'eau d'alimentation de chaudière est pulvérisée dans la section, où elle est préchauffée par la vapeur qui s'élève de l'injecteur. La buse permet la pulvérisation d'eau d'alimentation et la section de préchauffage permet de chauffer l'eau d'alimentation de la chaudière à sa température de saturation afin de faciliter l'élimination des gaz dissous.

L'eau d'alimentation préchauffée s'écoule ensuite dans la section de désaération, où elle est purgée de son air par la vapeur qui monte à partir du système de dispositif de pulvérisation. Les gaz extraits sortent par l'évent en partie supérieure de la cuve.

L'eau d'alimentation désaérée est pompée à partir du fond de la cuve vers le système de chaudière de production de vapeur.

III-8-3. Autres Types Des Dégazeurs

- Dégazeurs sous vide.
- Dégazeurs combinés.
- Dégazeurs thermiques.
- Dégazeurs thermiques à pulvérisation.



Figure 29 : Dégazeur

III-9. Eléments Du Dégazeur Thermique [31]

La bêche alimentaire doit constituer une réserve d'eau suffisante pour prévenir l'interruption de l'approvisionnement d'eau de la chaîne de traitement. Elle doit également être de capacité suffisante pour s'adapter à tout afflux de retour de condensat qui peut être perdu par débordement au travers du trop-plein. Les bêches alimentaires sont cylindriques horizontales en acier au carbone ou acier inoxydable, elles sont protégées par une peinture antirouille ou même calorifugées par une laine de roche d'épaisseur 100mm recouverte d'une tôle.

❖ **Soupape** : C'est un organe de sécurité, il permet d'éviter les surpressions Son dimensionnement est fonction du débit de la ligne de réchauffage et de l'excès d'énergie des condensats, il se trouve à la partie supérieure de la bêche ;

❖ **Trop plein** : Il permet le débordement de l'eau de la bêche à l'égout en cas de défaillance de la régulation de niveau ;

❖ **Vidange**: Il permet de vider l'eau de la bêche à l'égout afin de permettre les opérations de maintenance ;

❖ **Départ pompe** : Il permet le gavage des pompes alimentaires de la chaudière ;

❖ **Dôme de dégazage** : Il permet de réduire et de garantir la teneur en oxygène de l'eau de chaudière. Il est constitué d'une colonne équipée d'un garnissage structuré, d'un distributeur de liquide, d'une injection vapeur, d'un piquage de retour condensat ;

❖ **Trou d'homme** : Il permet l'accès dans l'enveloppe afin d'effectuer des opérations de maintenance ou d'inspection ;

❖ **Dosage chimique** : Il permet l'injection des produits de traitement en dessous le plan d'eau d'alimentation. Le tube est conçu avec de l'acier au carbone ou en PVC ;

Chapitre III : Étude Technologique de Générateurs de Vapeur et Notions de Base des Mécanismes de Transfert de Chaleur/ Dispositifs de Sécurité

❖ **Injection de vapeur** : Une ligne complétée de buses permet le réchauffage de l'eau par injection de vapeur. Elle se trouve à niveau supérieur ou latéral sous l'alimentation d'eau ;

❖ **Prise d'échantillon** : Il permet de prélever des échantillons d'eau de la bache pour les analyser ;

Régulation de niveau Sonde de niveau : Elle permet de mesurer le niveau d'eau réel dans la bache ; Indicateur de niveau : Il permet de visualiser (et/ou mesurer) le niveau d'eau réel dans la bache ;

❖ **Thermomètre** : Il permet de visualiser la température de la bache ;

❖ **Capteur de température** : Il permet de mesurer la température dans la bache dans le cas d'une régulation proportionnelle ;

❖ **Pressostat** : Organe de sécurité. Il permet de mesurer la pression dans la bache

❖ **Manomètre**: Il permet de visualiser la pression dans la bache ;

❖ **Capteur de pression** : Il permet de mesurer la pression dans la bache ;

❖ **Déverse** : Elle assure l'évacuation de la vapeur provenant de la rampe d'injection vers atmosphère.

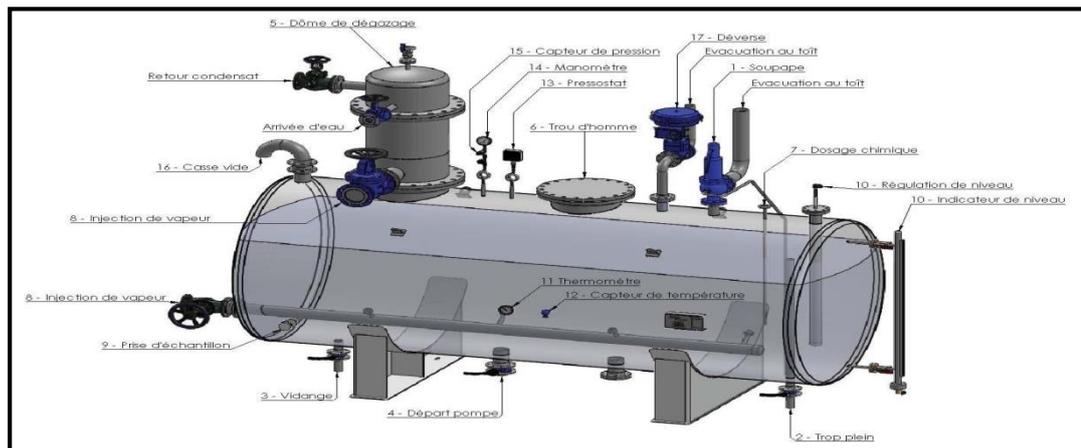


Figure 30 : Dégazeur thermique

III-10. Différents Catégories De Dégazage

III-10-1. Dégazage Mécanique(Physique)

L'eau arrive à travers des collecteurs communs, retour condensat 62 bar venant du train et l'eau distillé venant du dessalement, cette eau transite un clapet circulaire contient 11 pulvérisateurs qui atomise cette eau et la vapeur passe à contre-courant pour chasser les gaz dissous vers l'atmosphère par un évent situé au-dessus du dégazeur.

III-10-2. Dégazage Chimique

Pour éliminer les dernières traces d'oxygène dissous, il faut ajouter des réducteurs chimiques, ce sont des produits qui réagissent directement avec l'oxygène. Une gamme de réducteurs est disponible chacun ayant un domaine d'application : L'hydrazine, le sulfite de sodium, la carbohydrazide.....etc.

L'hydrazine était le produit le plus couramment utilisé avant que ne soient émises des réserves sur son utilisation du fait de sa toxicité en concentration élevée.

Le produit utilisé actuellement par le complexe est la carbohydrazide.

III-11. Notions De Base Des Mécanismes De Transfert De Chaleur dans Les Générateurs De Vapeur

Dans un générateur de vapeur, il existe un mélange complexe des trois modes d'échanges de Chaleur (rayonnement, convection, conduction). La dominance des échanges par convection et rayonnement diminue l'importance de la conduction.

Dans un premier temps, les méthodes de calculs, pour les modes de transfert de chaleur, sont présentées indépendamment.

Dans un deuxième temps, les méthodes de calculs sont combinées dans le but de faire un bilan global dans un générateur de vapeur.

III-11-1. Problématique Des Générateurs de vapeur

Les générateurs de vapeur sont soumis à des conditions sévères de haute température, haute pression, environnement corrosif et un fonctionnement continu. Toutes ces conditions menacent l'intégrité du système et peuvent dans certains cas, Provoquées l'explosion du générateur de vapeur. Généralement, les explosions des Générateurs de vapeur sont de deux (02) sortes :

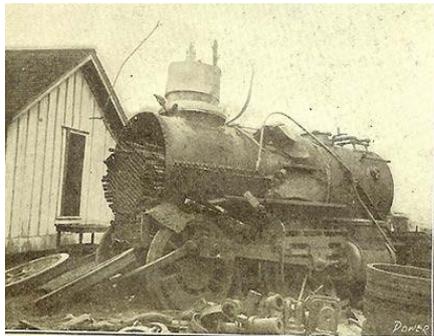
1. Explosion des parties sous pression (*côté eau*).
2. Explosion de la chambre de combustion (*côté feu*)

* Les explosions de chaudière dues à la surpression interne sont généralement désastreuses, souvent catastrophiques avec des dommages souvent étendus au Personnel.

Voici quelques exemples sur les conséquences d'explosion des générateurs de vapeur à travers l'histoire.

Chapitre III : Etude Technologique de Générateurs de Vapeur et Notions de Base des Mécanismes de Transfert de Chaleur/ Dispositifs de Sécurité

London, 15 Avril 1862
Texas, 8 Février 1911.



New-Hampshire, 22 Mai 1893
Singapour, 9 Décembre 2000



Figure 31 : Explosions des générateurs à vapeur

Les figures ci-dessus représentent quelques exemples d'explosion des générateurs de vapeur.

III-11-2. Causes D'explosion De Générateurs De Vapeur

Les causes qui conduisent à l'explosion d'une chaudière sont diverses. Les plus importantes et les plus fréquentes étant:

III-11-2-1. Manque D'eau

Pour une chaudière, le manque d'eau est sans doute l'incident le plus sérieux qui puisse survenir, car, le niveau d'eau dans le ballon diminue rapidement et les parois des tubes sont surchauffées. Cet incident peut être provoqué par un mauvais fonctionnement de l'alimentation, causé par la défaillance d'une pompe d'eau alimentaire, la carence de la commande automatique, ou par une rupture dans un tube, etc. Cet accident menace l'intégrité structurale du système et provoque l'explosion des parties sous pression du générateur de vapeur [32].

Les opérations à effectuer dans ce cas sont [33] :

- Stopper les feux immédiatement (ils seront coupés automatiquement si le niveau de l'eau est très bas).
- Prendre l'alimentation en manuelle et procéder à:
 - a) Si le débit d'eau d'alimentation, bien qu'insuffisant, s'est maintenu il faut

le réduire progressivement sans toutefois l'annuler. Si l'eau d'alimentation, après disparition temporaire, redevient disponible, il faut reprendre l'alimentation à un débit très nettement inférieur à celui enregistré au moment de l'incident, pour le stabiliser à une valeur faible correspondant à celle de la dernière phase du cas précédent.

Le but de la mise en commande de l'alimentation et de la réduction graduelle du débit d'eau est d'éviter de baigner brutalement certaines parties sous pressions où le métal aurait pu être surchauffé :

- A faible débit, et feux stoppés, le niveau doit se refaire très lentement. Il faut donc suivre la montée pour la mise à niveau normale, puis fermer l'alimentation pour contrôler la tenue de ce niveau. S'il se maintient, (preuve que la chaudière n'a pas souffert) l'unité pourra être normalement remise à feu.

- Si le niveau ne se maintient pas, il faut réduire la pression de la vapeur graduellement en ouvrant la purge à la sortie du surchauffeur. La chaudière se refroidit peu à peu, et le débit d'air est réduit. Dès que la chaudière est refroidie et sa pression abaissée à la pression atmosphérique, le ventilateur sera arrêté.

- Ne jamais vider la chaudière jusqu'à ce que le foyer soit assez froid. Avant la vidange de la chaudière, examiner l'unité pour y déceler les effets possibles d'une surchauffe localisée tels que fuites ou déformation de certaines parties sous pression.

III -11-2-2. Rupture Des Tubes

Plusieurs paramètres peuvent produire une rupture dans les tubes vaporisateurs, on peut citer la défaillance ou la corrosion des tubes. Quand l'incident se produit, le ballon supérieur (réservoir) se vide rapidement. L'eau d'alimentation qui entre dans le réservoir vient directement en contact avec les parois du ballon, ce qui entraîne des tensions dangereuses du fait de la grande différence de température entre l'eau d'alimentation et celle des tôles.

Les opérations à effectuer dans le cas de cet incident sont les suivantes :

- Si la fuite dont la conséquence est une perte d'eau peu importante, le niveau doit être maintenu et la chaudière mise hors service de manière normale ;

- En cas de rupture créant une perte d'eau tel que le niveau ne peut être maintenu avec le débit maximum des pompes alimentaires, il faut procéder sans délai aux opérations successives suivantes [33] :

- Stopper les feux immédiatement et complètement ;
- Réduire les ventilateurs de soufflage dès la disparition de la flamme ;
- Couper l'alimentation de la chaudière ;
- Régler le soufflage pour assurer l'échappement à la cheminée de la vapeur formée dans le foyer ;

- Isoler la chaudière côté vapeur ;
- Pendant la chute de la pression à la chaudière, réduire progressivement le soufflage, et assurer l'échappement de la vapeur à la cheminée ;
- Laisser en service le soufflage pendant 2 à 3 heures après la chute de la pression effective de la chaudière à zéro.

III-11-2-3. Mauvaise Combustion

Si la combustion est élevée plus que la moyenne de fonctionnement, le niveau d'eau diminue rapidement dans la chaudière et la pompe d'alimentation travaille beaucoup ce qui peut causer sa surchauffe et par la suite son endommagement.

Un autre incident peut se produire tel que l'arrêt d'urgence du combustible, dans ce cas il faut exécuter les opérations suivantes [33] :

- Maintenir le débit d'air à 30% environ pour purger le circuit des fumées pendant au moins 5 minutes
- S'assurer que toutes les vannes individuelles gaz aux brûleurs sont fermées

III-11-2-3-A. Explosion Du Foyer

Les explosions de foyer sont généralement le résultat des causes suivantes :

- L'existence de combustible imbrûlé dans le foyer résultant d'une combustion incomplète ou d'un manque d'allumage ;
- Le mélange de ce combustible imbrûlé avec l'air en proportion explosive.

Les explosions de foyer peuvent être évitées en prenant quelques précautions telles que [33] :

- Maintenir un débit d'air de combustion minimum de 30% de la pleine charge pendant l'allumage pour prévenir toute accumulation de mélanges explosifs ;
- S'assurer que les vannes d'entrée du combustible sur les brûleurs non utilisés sont étanches lorsqu'elles sont fermées ;
- Porter attention aux feux afin que le combustible puisse être coupé sans délai s'il y a extinction. Purger immédiatement le foyer pendant plusieurs minutes avec le ventilateur maintenu en service, avant de rallumer ;
- En démarrage, si l'allumage n'est pas établi en quelques secondes, purger le foyer, comme indiqué ci-dessus, avant d'essayer à nouveau d'allumer ;
- Ne pas maintenir la pression des combustibles dans le circuit alimentant les brûleurs si cela n'est pas nécessaire.

III -11-2-3-B. Fatigue Et Fragilisation Du Métal

Les chocs thermiques provoquent des cycles de dilatation restreinte, engendrant des gradients de contraintes qui s'initieront généralement sur les défauts géométriques des surfaces [34].

La fatigue à chaud traduit une évolution en fonction du temps et sous l'effet des contraintes de service qui ont tendance à accélérer des phénomènes de précipitation [35].

III -11-2-3-C. Qualité De L'eau

La qualité de l'eau influe fortement et peut conduire à la destruction des surfaces internes des tubes vaporisateurs. Il est donc impératif de traiter l'eau de la chaudière afin d'éviter le dépôt de tartre à l'extérieur du tube foyer. En effet, le tartre provoquerait un mauvais échange thermique, un temps de mise en pression-température plus long, un risque de surchauffe au niveau du tube foyer, une surconsommation de combustible, une augmentation de la température des fumées au niveau de la cheminée.

L'expérience [36] a montré qu'il est nécessaire de maintenir à une valeur convenable [36] les caractéristiques chimiques de l'eau des différents circuits afin d'éviter :

- La corrosion définie comme étant l'ensemble des processus destructifs que subit un corps solide sous l'action de certains paramètres extérieurs (agent atmosphérique ou produit chimique).

- L'entartrage ou dépôt qui est localisé directement sur les parois externes des tubes de la chaudière. Le tartre joue le rôle d'un isolant thermique au transfert de chaleur. La chaleur s'accumule dans la paroi ce qui engendre des points chauds [37].

III-12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le générateur de vapeur, son fonctionnement et ses différents éléments périphériques, les causes qui provoquent l'explosion. Nous avons aussi étudié le dégazeur, sa fonction principale et ses différents types.

Le générateur de vapeur nécessite un haut niveau de surveillance et des dispositifs de sécurité pour protéger contre le phénomène d'explosion.

CHAPITRE IV

Présentation Du Complexe $\mathbb{G}\mathbb{N}\mathbb{L}2/\mathbb{Z}$

Chapitre IV : Présentation Du Complexe GNL2/Z

IV-1. Historique Du Complexe GL2/Z

Le complexe GL2/Z est une unité de production de la SONATRACH. Il a été réalisé par la société Pullman Kellogg en 1978 et a commencé à produire du GNL dès 1981. Il transforme 41.25 millions de m³/jour de gaz naturel provenant des puits de HASSI R'MEL [39]. Les points essentiels de son histoire :

- Signature de contrat 09 février 1976 ;
- Lancement engineering 15 avril 1976 ;
- Pose de la première pierre 21 février 1978 ;
- Début de montage mécanique 01 juillet 1981 ;
- Première expédition de GNL 20 juillet 1981.

❖ *Date de mise en service :*

➤ *Zones Utilités :*

- Achèvement mécanique : 26 novembre 1980 ;
- Production vapeur / électricité : 27 juillet 1980 ;
- Production des utilités : 25 janvier 1981.

➤ *Zone procès (train 100) :*

- Achèvement mécanique : 14 octobre 1981 ;
- Première production GNL : 29 juillet 1981.

➤ *Zone de Stockage et chargement :*

- Première production de juillet 1981.
- Production cumulée GNL 1533000 m³ 11 septembre 1981.

IV-2. Situation Géographique Du Complexe (Plan de Masse)

Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL2/Z est situé à BETHIOUA, implanté en bordure de la mer et à une distance de 40 Km à l'ouest d'Oran. Il s'étend sur une superficie de 72 hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew. Il est limitrophe du complexe GL3/Z et KAHRAMA à l'Est et le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/Z à l'Ouest, au Nord par la mer et au sud par le village de BETHIOUA.

Son emplacement au bord de la mer lui permet d'utiliser son eau comme source d'alimentation pour le refroidissement des équipements telles que les chaudières et les

échangeurs, la production d'eau distillé et la lutte anti-incendie, et facilite le transport du GNL dans des méthaniers via ses postes de chargement.



Figure 32 : Situation géographique

❖ **Conditions Climatiques :**

- Pression barométrique : 758 mm Hg ;
- Température moyenne élevée : 28.5 °c ;
- Température moyenne basse : 9.6 °c ;
- Hauteur : 20 mètres au-dessus du niveau de la mer ;
- Humidité relative : 76%.

❖ **Conditions Spécifiques :**

- Atmosphère saline : Oui ;
- Agressivité de l'air : Forte ;
- Vent de sable : Très Faible ;
- Gel : Très Peu ;
- Poussière : Oui.

Description De L'usine

L'usine de liquéfaction de gaz naturel d'Arzew (GL2/Z) comprend 6 trains de liquéfaction indépendants fonctionnant en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est également distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation. Le débit de gaz naturel distribué est d'environ 1.500.000 m³/h pour les 6 trains soit en moyenne 250.000 m³/h / train. Dans chaque train, le gaz naturel d'alimentation est traité pour éliminer le gaz carbonique et la vapeur d'eau ; il est ensuite réfrigéré et distillé pour en extraire les hydrocarbures lourds et il est finalement liquéfié à -162°C.

Une fois liquéfié, le gaz naturel est envoyé par pompage dans trois réservoirs de stockage sous une pression de 1,03 bar absolu, qui desservent l'ensemble des six trains. Il est prévu que chaque train de liquéfaction produira en moyen 8 400 m³/h de GNL.

Les réservoirs de stockage ont une capacité de 100 000 m³ chacun et la capacité totale de stockage correspond à la production de 5 journées complète de l'ensemble des 6 trains. Chaque méthanier a une capacité moyenne de 125.000 m³ et lorsque ces réservoirs sont préparés, le chargement s'effectue en 12h30' à raison d'un débit de chargement de 1.000 m³ GNL/h [39].

Tableau 2 : Composition du Gaz d'alimentation de GL2/Z

COMPOSANTS	CH ₄	C ₂ H ₆	N ₂	C ₃ H ₈	He	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂
% MOLLAIRE	84,52%	7,77%	5,90%	1,52%	0,20%	0,04%	0,03%	0,02%

L'usine est composée de trois zones :

- Zone des utilités.
- Zone du procédé.
- Zone de stockage et de chargement.

Le complexe GL2/Z comprend 3 zones essentielles :

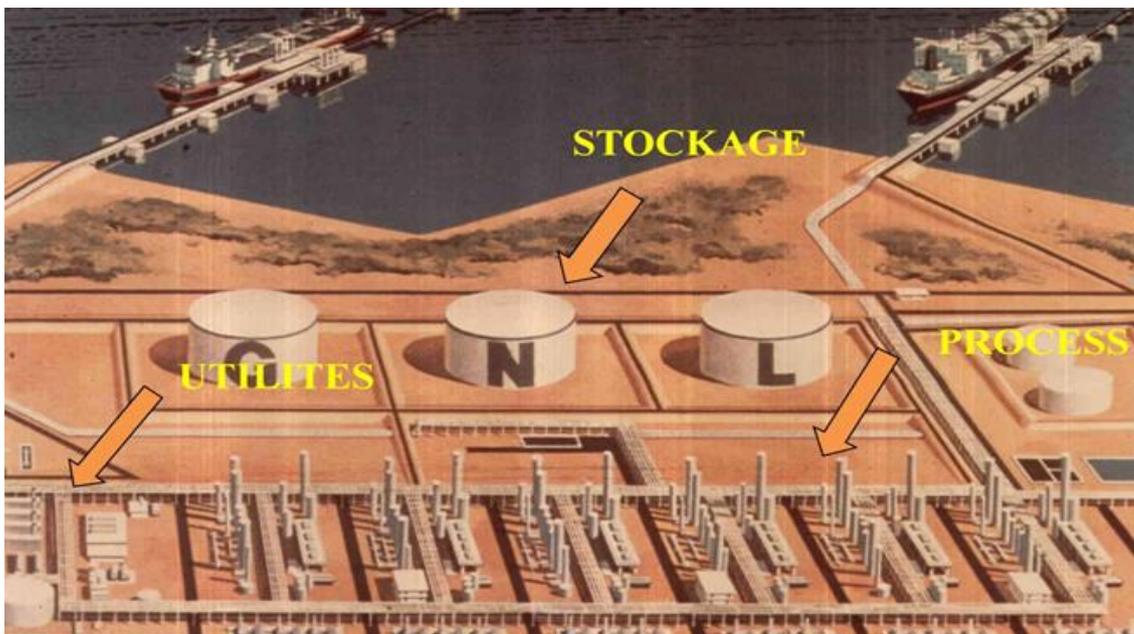


Figure 33 : Les zones de complexe GL2/Z

IV-3. Organisation Générale

Le complexe GL2/Z est composé de différents départements et services représentés dans :

➤ **Département Sécurité :**

Le département de sécurité a pour rôle d'intervenir sur les équipements et les installations, faire de la prévention et la sensibilisation auprès du personnel du complexe. Le département de sécurité est lié directement à la direction et il a comme politique : « qu'aucun travail n'es urgent au point qu'il ne puisse être effectué de la manière la plus sure possible ».

➤ **Département Maintenance :**

La fonction principale du département de maintenance consiste à mettre en œuvre les moyens humains et matériels pour l'entretien et la répartition de l'appareil de production et de ses annexes.

➤ **Département Finances :**

Il a pour objectif d'établir le bilan de chaque fin d'année de gérer et justifier toutes les opérations financières, juridiques, budgétaires, trésoreries et leur comptabilisation.

➤ **Département travaux neufs :**

Il s'occupe de la réalisation des investissements ainsi que la grande maintenance et assure le procurèrent.

➤ **Département Technique :**

Il est relié directement avec la direction, il a pour mission l'étude des projets d'installation des moyens de production.

➤ **Département Production :**

Sa mission est la liquéfaction du gaz naturel ainsi que le contrôle de la production du GNL, Propane, Butane et la gazoline et de leur stockage et chargement.

IV-4. Renseignements Généraux Sur Complexe GP1Z

Les principales caractéristiques du complexe sont résumées dans le tableau 3, ci-après :

Tableau 3 : Les principales caractéristiques du complexe

Intitulés	Caractéristiques
Superficie	120 hectares
Effectifs	747 agents
Activités	Séparation, liquéfaction et stockage de GPL
Produits	Propane commercial. Butane commercial.
Quantités traités	6 Mt/an de GPL
Procédé	Distillation sous pression.
Nombre de Trains	Six (06) trains de 1 Mt/an chacun
Constructeur	Consortium japonais IHI (Ishikawajima Harima Heavy Industries)
Enlèvements	Deux quais de chargement recevant des méthaniers d'une capacité
Capacité rampe de	4 camions de 40t
Destination de la Production	Exportation et Marché local
Source d'Approvisionnement	Gaz en provenance des champs gaziers et pétroliers de Hassi R'Mel
Capacité de stockage	Stockage de la charge: 16 000 m3. Stockage de produits réfrigérés: 420 000 m3. Stockage de produits

IV-4-1. Fonction De L'usine GL2/Z

Le complexe GL2/Z a été conçu pour liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HASSI R'MEL, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger [40].

Le complexe GL2/Z comporte Six trains de liquéfaction indépendants fonctionnant en parallèle. La production des utilités nécessaires au fonctionnement des trains est comme suit :

L'air de service, l'azote, l'eau potable, l'eau de mer, l'électricité et la vapeur d'eau. Pour cela le complexe dispose de :

- 01 chaudière basse pression d'une capacité de 50 T/h ;
- 09 chaudières de procédé à haute pression d'une capacité de 122 T/h ;
- 06 chaudières de procédé à haute pression d'une capacité de 400 T/h ;
- 04 turbogénérateurs d'une capacité de 20MW chacun ;
- 03 chaudières utilités d'une capacité de 90 T/h ;
- 06 unités de dessalement d'une capacité de 45 T / h chacune ;
- 01 station de pompage d'eau de mer ;
- Une unité d'air de 5100 m3/h ;
- 06 pompes de 32000m3/h chacune.

IV-5. Description Détailé Du Procès

S'agissant d'un procédé de production, cette étape consiste à décrire le processus de transformation des matières premières en produits finis,

IV-5-1. Zone D'utilités

Cette zone est essentiellement autonome et assure la fourniture de toutes les utilités pendant le démarrage et la mise en marche des six (06) trains de liquéfaction ainsi, de toutes les installations de production [41].

Elle consiste principalement à la production et la fourniture de ce que suit :

1- Energie électrique : Elle est fournie en grande partie par trois (03) turbogénérateurs d'une capacité de 20 MW chacun et de la source SONELGAZ pour également 20 MW, soit un total de 80 MW.

2-Vapeur : Elle est fournie par un ensemble de chaudières de différents tonnages répartis comme suit :

- Trois (03) chaudières HP (Haute Pression) de 90 Tonnes par heure chacune au niveau des utilités ;
- Une (01) chaudière BP (Basse Pression) de 50 Tonnes par heure au niveau des utilités ;
- Neuf (09) chaudières HP de 122 Tonnes par heure ;
- Six (06) chaudières HP de 400 Tonnes par heure chacune au niveau de la zone de procédé.

3- Eau dessalée : Elle est fournie par six (06) unités de dessalement produisant chacune 45 tonnes par heure utilisée comme eau d'appoint pour les chaudières.

4- Air : Il est fourni par quatre (04) compresseurs d'air permettant la production de l'air instrument servant pour toutes les installations de productions et de l'air service pour les autres besoins du complexe.

5- Eau de refroidissement: Elle est fournie par six (06) pompes d'eau de mer d'une capacité de 32000 m3 par heure chacune.

IV-5-2. Zone De Procède

La zone de procédé (**Annexe 1**) est constituée de six trains identiques fonctionnant en parallèle. Ils sont alimentés par du gaz naturel en provenance de Hassi R'Mel à une pression de 46 bars et à des températures ambiantes. Chaque train est composé de sections suivantes [41] ; le site a été « découpé » en sections fonctionnelles :

- Démercurisation ;
- Décarbonatation ;
- Déshydratation ;
- Fractionnement des hydrocarbures ;
- La liquéfaction.

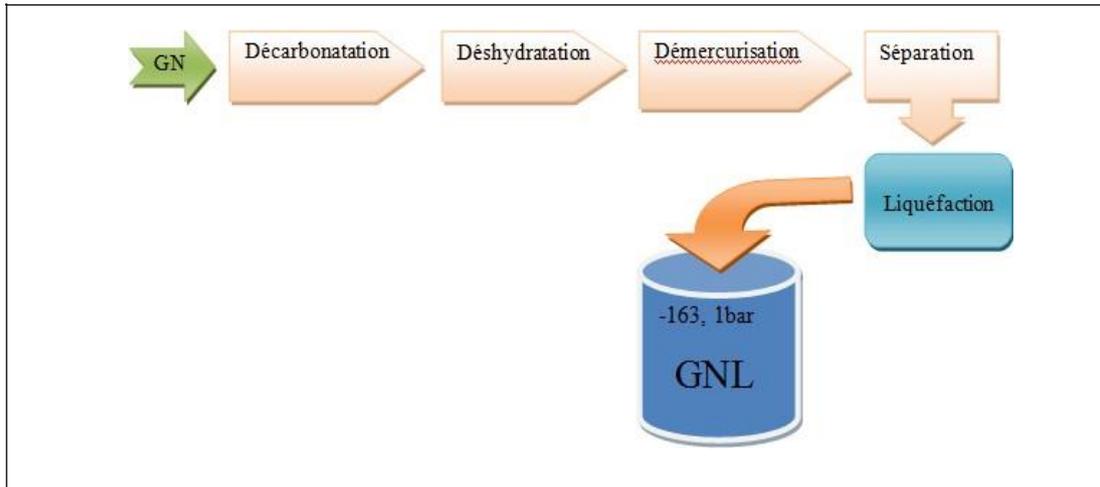


Figure 34 : Schéma synoptique d'un train de liquéfaction

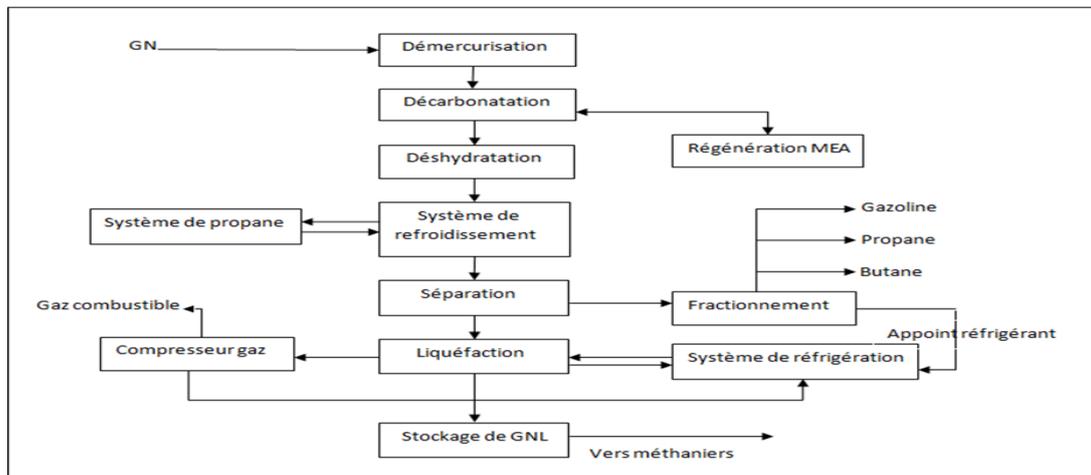


Figure 35 : Représentation Schématique du procédé d'un train de liquéfaction

1- Démercurisation:

L'unité de démercurisation est installée en amont de la section décarbonatation du gaz naturel. Elle est conçue pour réduire la concentration de mercure dans le gaz d'alimentation de 100 micros g/Nm³ à 0.01 micro g/Nm³.

2-Décarbonatation :

• **Elimination du CO₂:** Le GN est chauffé à 38°C dans le préchauffeur de GN d'alimentation avant de pénétrer dans la colonne d'absorption du CO₂ par le bas où, à contre-courant de la solution de MEA pauvre, il sera débarrassé du CO₂ jusqu'à une teneur inférieure à 70 ppm en tête de colonne. Puis le GN est dirigé vers la section de déshydratation. La solution de la MEA, pénétrant au niveau du 5eme plateau de l'absorbeur s'enrichit en CO₂ au fur et à mesure qu'elle descend jusqu'au 29ème plateau de l'absorbeur et quitte le

fond de la colonne sous forme de solution de MEA riche pour se diriger vers la colonne de régénération de MEA ou de décarbonatation afin d'y être régénérée (**Annexe 2**).

• **Régénération de la solution MEA** : La solution MEA riche est chauffée, puis introduite dans la tour de régénération à 01 bar. La solution de MEA riche en CO₂ descend dans la colonne. Pour y être épurée et en fond de colonne la solution s'appauvrit en CO₂ et est renvoyée à l'absorbeur après avoir réchauffé la MEA riche tout en se refroidissant à 38°C. Les gaz incondensables « essentiellement CO₂ » sont évacués à l'atmosphère.

3- Déshydratation :

Le gaz naturel décarbonaté est saturé en eau, d'où la nécessité d'éliminer complètement les traces d'eau pour obtenir à la sortie, une teneur inférieure à 1 ppm. Le gaz pénètre à une pression de 41 bars dans deux sécheurs en service et traverse les tamis moléculaires en perdant progressivement son humidité, un troisième sécheur étant en régénération (**Annexe 3**).

4- Section séparation :

Le refroidissement du gaz naturel traité s'effectue par l'intermédiaire de quatre chillers. Il est refroidit par du propane atteignant ainsi une température de -33°C. Le passage du gaz dans l'inter – échangeur permet un deuxième refroidissement jusqu'à une température de -47°C ; Le gaz est ensuite injecté dans la tour de lavage où les produits lourds sont séparés par distillation du gaz naturel (éthane, propane, butane, ...) (**Annexe 4**).

5- Section liquéfaction :

Liquéfaction du gaz naturel : Le gaz naturel riche en constituants légers provenant du ballon de reflux est alors prêt à être liquéfié à une température de -162°C permettant son transport dans des méthaniers, et à une pression proche de la pression atmosphérique (1,03 bars absolu).

▪ **Elimination de l'azote du GNL** : Le GNL sortant en tête de l'échangeur principal passe dans l'échangeur de rejets et se combine à la sortie avec un courant de propane et d'éthane en provenance du fractionnement, refroidi dans l'échangeur de rejets. Ce mélange liquide/gaz est détendu à 4,8 bar, dans le ballon de gaz combustible haute pression et le flash a pour effet de libérer l'azote dissout dans la phase liquide du GNL, qui est alors acheminé vers le réseau gaz combustible de procédé haute pression. Le réseau liquide du ballon de détente d'azote sert d'agent réchauffant au rebouilleur du dé-azoteur et par échange thermique avec le liquide de fond de la colonne se refroidit à -159°C avant de pénétrer en tête de la tour. Les composants légers essentiellement l'azote sont extraits par vaporisation et montent le long de la colonne où ils rencontrent à contre-courant au passage des plateaux le liquide injecté en tête. La phase liquide GNL se débarrasse de l'azote

et est récupérée au fond du dé-azoteur où elle est acheminée vers le stockage par les pompes de produit GNL.

6- Section compression :

• **Boucle de propane** : (Annexe 5) La boucle de propane est une boucle à quatre étages qui permet de refroidir le gaz naturel et le MCR (multi composant réfrigérant) par palier successif, le propane, après compression et condensation, subit quatre niveaux de détente refroidissantes, lui permettant d'échanger ses frigories avec le MCR.

• **Boucle MCR (Système de réfrigérant mixte)** : (Annexe 6) La boucle MCR constitue la deuxième boucle frigorigène de l'unité de liquéfaction. Le fluide frigorigène est un mélange d'azote, de méthane, d'éthane et de propane. Ce dernier circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MCR (I) et MCR (II) entraînés par deux turbine[39].

Tableau 4 : Composition de calcul du MCR

Constituants	Pourcentage Molaire
AZOTE	02,7%
METHANE	40,7%
ETHANE	54,4%
PROPANE	02,2%

Le MCR sert à liquéfier le gaz naturel dans l'échangeur principal.

7- Section fractionnement :

L'unité fractionnement (Annexe 7) est alimentée par les produits de fond de la tour de lavage situé en amont de l'échangeur principal. La section est composée par :

• **Le dé-éthaniseur** : Il permet d'extraire l'éthane en haut de la colonne pour être réinjecter dans le GNL, l'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz. Les produits de fond du dé-éthaniseur sont acheminés vers la colonne de dépropanisations ;

• **Le dé-propaniseur** : Il constitue la 2e tour de fractionnement. Son rôle est de produire le propane en tête de colonne et de l'acheminer en grande partie vers le complexe GP1/Z pour y être commercialisé ou réinjecté dans le GNL, l'autre partie sert comme appoint dans la boucle MCR et propane réfrigérant ; les produits de fond sont acheminés vers la colonne de dé-butanisation ;

• **Le dé-butaniseur** : Il constitue la 3ème tour de fractionnement. Le produit de tête de colonne est du butane à (98.8%), « commercial » est envoyé vers le complexe GP1/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. Le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyé vers stockage pour y être commercialisée [40].



Figure 36 : Zone de procédé

IV-5-3. Zone De Stockage Et Chargement

Le GNL produit par les trains de liquéfaction est dirigé vers les trois bacs de stockage par les pompes de chaque train. Le remplissage des bacs de stockage peut s'effectuer soit par le haut ou par le bas. Les vapeurs produits par le GNL sont récupérés dans le collecteur commun aux trois réservoirs dont la pression est réglée à 1,05 bars absolus, ce collecteur les envoie dans le ballon qui reçoit aussi les vapeurs provenant des méthaniers, dont la température est maintenue inférieure à -96°C par désurchauffe. Les compresseurs renvoient les vapeurs vers le système du gaz combustible.

Bacs de GNL

- Nombre 03 ;
- Capacité unitaire de 100.000 m³.

Bacs de gazoline

- Nombre 02 ;
- Capacité unitaire de 14.000 m³ Nombre 02 ;
- Capacité unitaire de 14.000 m³.

Les installations de chargement permettent le transfert du GNL contenu dans les bacs de stockage vers les cuves des méthaniers. Cinq motopompes assurent le pompage du GNL à travers un collecteur commun jusqu'aux bras de chargement installés sur les quais.



Figure 37 : Zone de stockage GNL pour le chargement

IV-5-3-1. Chargement Et Installation D'expédition

Les installations de chargement permettent le transfert du GNL contenu dans les bacs de stockage vers les cuves des méthaniers. Les cinq motopompes effectuent le pompage du GNL et le refoulent à travers un collecteur commun jusqu'aux quatre bras de chargement installés sur le quai. Ces bras sont articulés pour permettre le raccordement aux brides du navire avec une certaine liberté de ce dernier. Un cinquième bras est destiné à la collecte des vapeurs du méthanier lors de sa mise en froid et du chargement.

Donc elles sont composées de :

- Cinq (05) pompes de chargement d'une capacité unitaire de 2500 m³/h ;
- Une (01) pompe de transfert d'une capacité de 2500 m³/h ;
- Deux (02) pompes de refroidissement d'une capacité unitaire de 60 m³/h ;
- Deux (02) quais de chargement composés chacun de cinq (05) bras de chargement dont un est destiné au retour de la vapeur en provenance des navires. Chacun des deux (02) quais est conçu pour réceptionner des méthaniers d'une capacité située entre 50 000 et 130. 000 m³ de GNL.

La production du Propane (410.000 tonnes/an) et du Butane (327.000 tonnes/an) est acheminée par canalisation vers le complexe GP1/Z. Pour des raisons de flexibilité maximale, les installations de productions, de stockage et de chargement de GNL des complexes GL1/Z et GL2/Z sont interconnectées [42].

La chaudière est dessinée pour générer de la vapeur de la manière la plus efficace, en même temps qu'elle minimise la perte de chaleur durant la génération de vapeur. Diverses caractéristiques de sécurité sont incorporées au dessin et aux contrôles de la chaudière pour assurer la sécurité maximale, à la fois durant les conditions d'opérations normales et d'urgence.

La chaudière se compose du four, du surchauffeur et des sections de batterie de la chaudière. Le procédé de combustion se réalise dans le four et dans les conduits de gaz de combustion, au travers des conduits de sortie avant d'entrer dans l'économiseur. Après être passé par l'économiseur, les gaz de combustion suivent leur sortie vers la cheminée. Les

divers systèmes auxiliaires localisés autour de la chaudière sont nécessaires pour remplir les exigences spécifiques de l'air, de la combustion et de l'eau pour la génération de vapeur.

IV-6. La Composition Du Gaz Naturel

Le gaz naturel provenant de HASSI R'MEL à liquéfier a la composition regroupé dans le tableau 5 ainsi que ses propriétés physique et les conditions d'alimentation des trains dans les tableaux 5 et 6.

Tableau 5 : Les composants du gaz naturel et leur température d'ébullition

Composants	% Molaire	Température D'ébullition (°C)
Hélium (He)	0,19	-269
Azote N2	5,8	-196
Méthane CH4	83	-162
Ethane C2H6	7,1	-90
Propane C3H8	2,25	-45
i-butane C4H10	0,6	-12
n-Butane C4H10	0,4	0
i-pentane C5H12	0,15	+28
n-Pentane C5H12	0,12	+36
Gaz carbonique CO2	0,21	-78
Vapeur d'eau H2O	50 ppm	-----
Mercure Hg	Trace	-----

Tableau 6 : La composition moyenne du gaz naturel de Hassi R'Mel

Composants	Pourcentage molaire moyen (%)
N2	5,435
He	0,18
CO2	0,195
CH4	83,57
C2H6	7,499
C3H8	2,0
i-C4H10	0,314
n-C4H10	0,532
i-C5H12	0,12
n-C5H12	0,058
n-C6H14	0,13

Tableau 7 : Composition du produit final (GNL)

Composants	% Molaire moyen	% Molaire moyen
He		0,2
N2		5,90
CH4		84,52
C2H6		7,77
C3H8		1,52
i-C4H10		0,04
n-C4H10		0,03
i-C5H12		0,02

IV-7. Description Des Composants De Base De La Chaudière

La chaudière est d'une conception à fond fermé et sommet soutenu, et comprend une surface de chauffage de chaudière de 38,155 ft² (11,630 m²). Le niveau d'élévation du sol de la chaudière est de 27' 2-25/32" (8300 mm) [43].

La chaudière se compose de ballons, de collecteurs et d'assemblages de tubes situés tout au long de la structure de la chaudière pour fournir le débit d'eau et le processus de la vapeur. Les composants font partie de la structure des parties à pression de la chaudière et sont dessinés pour remplir les exigences spécifiques de débit.

Le four est l'aire où s'effectue la combustion du combustible et est formé par quatre panneaux de tubes soudés. Les descentes depuis le ballon inférieur fournissent l'eau au collecteur inférieur en forme de U. Les panneaux de tubes du four sont approvisionnés par le U - collecteur. L'eau et la vapeur saturée sont générées dans les panneaux de tubes du four et la batterie de la chaudière. La séparation finale de la vapeur est complétée dans le ballon de vapeur. La vapeur passe depuis le ballon de vapeur dans le secteur des assemblages du surchauffeur.

Les ensembles de la surchauffeur, située dans la partie supérieure du four, utilisent la chaleur des gaz de combustion pour augmenter la température de la vapeur, jusqu'à la valeur de 461 °C (862 °F) [43].

Le condenseur d'aspersion d'eau fourni l'eau au désurchauffeur pour contrôler la température de sortie du surchauffeur.

Les gaz de combustion passent au travers des batteries de l'économiseur dans les tuyaux de retour des chauffages de l'arrivée d'alimentation d'eau qui circule vers le condenseur d'aspersion d'eau.

Le four a été dessiné pour la combustion de procédé de gaz et de gaz naturel. L'allumage de la combustion est assuré dans les angles des boîtes d'air du four où est placé l'équipement d'allumage du gaz.

L'air de combustion est fourni pour l'allumage du combustible par les ventilateurs de tirage forcé au travers des conduits appropriés. Du fait que c'est un four à pression, les gaz de combustion chargés des résultats de la combustion sont transportés et envoyés à la cheminée par les ventilateurs de tirage forcé [43].

IV-8. Montage Panneau De Tube Du Four

Les panneaux du four sont composés de tubes de diamètre extérieur 635 mm (2-1/2 in.) et sont soudés de façon à former un ensemble de gaz étroit et hermétique. Le côté du panneau de tubes s'étend depuis le U - collecteur inférieur et termine dans les collecteurs de sortie du côté du panneau de tubes. Les tubes du panneau de tubes arrière s'étendent depuis le U - collecteur inférieur pour former l'arche du four et terminent dans le ballon inférieur [43].

Les tubes du panneau de tube frontal s'étendent depuis le U - collecteur inférieur pour former le bas, le côté frontal du panneau de tube et le toit du four. Les tubes terminent dans le ballon supérieur.

Les extrémités des tubes sont expansées dans les ballons; les connexions du collecteur sont soudées.

Les tubes sont pliés pour passer autour des ouvertures du four comme les portes, les souffleurs de suie et les boîtes d'air.

Les ailettes des tubes sont coupées dans ces zones pour permettre le passage des coudes des tubes et l'application de l'effet réfractaire. L'effet réfractaire est aussi employé entre les deux alignements des tubes du toit proches du ballon supérieur.

Les panneaux de tubes du four sont recouverts par derrière par des panneaux de fibre minérale de 6 in. D'épaisseur (appliqué en deux couches de 3 in.) retenus par des agrafes cerclées soudées aux tubes ou aux extrémités. Les agrafes sont normalement situées à 12 in. Par 18 in. Des axes, et les panneaux sont soutenus sur place à l'aide d'agrafes de calorifuge de type "push-on"(montage rapide) sur les agrafes cerclées. La finition extérieure des panneaux de tubes consiste en un revêtement aluminium cannelé [43].

Se référer aux plans dans la Partie 10 pour toute information spécifique complémentaire pour l'installation du calorifuge.

Les panneaux de tubes côté chaudière sont aussi recouverts avec des panneaux de fibre minérale, par-dessus la couche de revêtement et achevés de la même manière que les panneaux de tubes du four, à l'exception près que les agrafes empalées sont soudées sur la couche de revêtement [43].

IV-9. Composition Des Matériaux

La composition de tous les matériaux utilisés pour calorifuger les panneaux de tubes du four et les conduits des unités d'ABB CE contiennent des composants organiques. Le panneau de fibre minérale et le revêtement de calorifuge est composé de roche, de laine ou de fibres de verre et de composants organiques. Le panneau calorifuge de fibre de verre est composé de fibres de verre et de composant organique. Le bloque calorifugé de fibre minérale est composé de laine de roche ou de fibres de verre, de composant inorganique et d'une petite quantité de composant organique.

Le composant organique et l'huile utilisés pour la fabrication de ces matériaux se dissipent généralement en fumée lorsque l'unité est chauffée pour la première fois.

L'intensité de la fumée variera suivant le type de composant organique utilisé dans le produit et l'élévation de la valeur de température [43].

IV-9-1. Remarque

Au démarrage initial de l'unité, les produits de fibre minérale doivent être de préférence rapidement chauffés à 178°C (350°F). A partir de 178°C (350°F) de la température d'opération de l'unité, la température du calorifuge ne doit pas augmenter de plus de 38°C (100°F) par heure. A 232°C (450°F) le calorifuge doit fumer. La fumée devrait diminuer après que l'unité ait été en température d'opération pendant approximativement 4 heures.

Les pertes de composant organique comme la fumée n'affectent pas les qualités isolantes des panneaux de fibre minérales, les revêtements et les blocs.

L'augmentation de température d'au moins 38°C (100°F) par heure est exigée seulement la première fois qu'une unité est portée à température d'opération, et par conséquent les démarrages peuvent se réaliser à une valeur normale [43].

IV-9-2. Danger

Il faut faire attention au moment de l'ouverture de toute porte d'observation pour observer le four. Il faut s'assurer que le système d'aspiration d'air est opératif avant d'ouvrir la porte. Il faut utiliser un masque facial de métal ou de fibre avec des lunettes incorporées soudées.

Des flammes, des gaz chauds et/ou de la poussière peuvent être projetées contre votre visage.

Ne jamais ouvrir la porte d'accès pendant le fonctionnement de la chaudière. Avant d'entrer, lorsque la chaudière est arrêtée, il faut respecter les suivantes procédures de repérage et de sécurité de la centrale.

IV-10. Procédures Sécurité

Il faut suivre les procédures de repérages et de sécurité, avant toute tentative d'entrée dans la chaudière.

Une inspection régulière et un programme de maintenance seront essentiels pour assurer une continuité de service et pour éviter des arrêts sérieux et coûteux. L'inspection et la routine de maintenance à continuation sont recommandées [43]:

1. inspecter le surchauffeur lorsque la chaudière est hors service.
2. vérifier les alignements des éléments et toute évidence de déformation, de proéminence ou de cambrement. Remplacer les tubes montrant des signes évidents de surchauffe.
3. vérifier les propres localisations et les conditions des supports, des guides et des tôles scellées. Réparer ou remplacer aussitôt.
4. vérifier la surface interne des ballons de vapeur pour confirmer l'entraînement des impuretés solides. Si c'est le cas, prendre immédiatement des mesures pour en éliminer la cause. En cas de doutes, consulter cette compagnie.

IV-11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le site de liquéfaction de gaz naturel GL2/Z, ses activités et ses produits finis, on a aussi présenté un aperçu sur les différentes zones du complexe et une description de la chaudière (Générateur de vapeur) du complexe GL2/Z selon le constructeur ABB.

CHAPITRE V

Etude D'impact De L'explosion De Générateur à Vapeur

Chapitre V : Etude D'impact De L'explosion De Générateur à Vapeur

V-1. Introduction

Le générateur de vapeur être parfaitement réglé. Sans cela une accumulation de gaz non brûlé peut se créer. La moindre étincelle provoquera alors une déflagration.

Cette déflagration peut entraîner des symptômes physiques pour les personnes et une dégradation sur le matériel et des pertes économiques important.

Les dysfonctionnements techniques ayant provoqué l'explosion peut être évitée. Pour cela un bon entretien et une maintenance préventive doit être programmés.

V-2. Définition D'une Chaudière

Une chaudière est une enceinte dans laquelle on vaporise de l'eau pour produire de la vapeur en absorbant la chaleur avec un rendement meilleure [44].

V-3. Description Chaudières (Les Chaudières Dans Le Complexe GL2/Z)

L'eau d'alimentation des chaudières est chauffée dans l'économiseur par les gaz de fumées de 109 à 170°C puis elle pénètre dans le ballon supérieur par les tuyauteries internes et sert à alimenter les écrans d'eau. Les retours au ballon supérieur se présentent sous la forme d'un mélange de liquide saturé et de vapeur saturé, cette vapeur se rassemble dans le ballon au-dessus du niveau d'eau. La vapeur saturée est dirigé vers le surchauffeur pour élever sa température jusqu'à 441°C.

Le désurchauffeur qui a pour rôle la régulation et la stabilisation de la température de vapeur. Pour cela une injection d'eau d'alimentation est effectuée au niveau du désurchauffeur et le débit de l'eau varie selon la température à la sortie de surchauffeur [44].

V-4. Rôle Des Chaudières Utilités Et Procès

-Le rôle d'une chaudière procès est la production de la vapeur afin d'alimenter les turbines entraînant les compresseurs et les pompes des trains de liquéfaction.

-Tandis que les chaudières utilités servent à produire la vapeur pour la production de l'énergie et pour alimenter les turbos générateurs [44].

V-5. Production De La Vapeur

La vapeur est une source d'énergie utilisée dans le complexe et elle est produite par :

V-5-1. Chaudière Utilités

Une chaudière de production de vapeur moyenne pression et qui alimente le réseau vapeur 17,2 bars et ayant un débit de 55,2 T/HR de vapeur à 316 °C.

Trois chaudières de production de vapeur haute pression alimentent le réseau 62 bars des utilités et ayant une charge de 90,9 T/HR à une température de 441 °C.

V-5-2. Chaudière De Procède

Dix-huit(18) chaudières de procédé alimentent le réseau 62 bars de procédé ; douze (12) chaudières procès chaque une à une charge de 136 T/HR et produit de la vapeur à 62 bars et 441 °C et quatre chaudières ABB et 2 chaudière IHI chaque une à une charge de 400 T/HR et produit de la vapeur à 62 bars et 441 °C [44].

V-5-3. Les Différentes Parties D'une Chaudière**V-5-3-1. Les Principaux Equipements D'une Chaudière**

La chaudière est composée essentielle de :

V-5-3-1-1. Pompe D'alimentation

Pour la chaudière moyenne pression, une turbopompe assure l'alimentation en eau.

Pour les chaudières haute pression, elles sont alimentées par deux une turbopompe qui refoulent sur un collecteur commun d'alimentation en eau les 3 chaudières HP.

Pour les chaudières de procédé, elles sont alimentées par une turbopompe qui refoule dans un collecteur commun pour les 3 chaudières.

V-5-3-1-2. Bruleur

La chaudière moyenne pression est équipée d'un seul bruleur tandis que les chaudières haute pression, elles sont équipée de deux bruleurs.

Les bruleurs sont de conception et de fonctionnement identique, ils peuvent être alimentés à partir de trois sources de combustible :

- Gaz naturel ;
- Gaz de procédé ;
- Gazoline.

Un allumeur permet l'allumage des bruleurs, deux détecteur de flamme par bruleur vérifient continuellement la présence de flamme, l'air nécessaire provient d'un ventilateur à tirage forcé et d'un registre de distribution d'air.

V-5-3-1-3. Economiseur

Il est constitué d'un faisceau des tubes le plus généralement nus (équipés d'ailettes dans les cas peu fréquents de combustible propre).

C'est un échangeur utilisé pour réchauffer l'eau d'alimentation avant son admission dans le ballon supérieur. Les fumées de combustible sont utilisées comme fluide chauffant avant leur mise à l'atmosphère. L'échange de chaleur ne fait à contre-courant.



Figure 38 : Photo d'un économiseur

V-5-3-1-4. Ballons De Chaudières

Les deux ballons de la chaudière (supérieure et inférieure) sont reliés entre eux par un faisceau tubulaire.

L'eau d'alimentation préchauffée par l'économiseur pénètre dans le ballon supérieur.

Le courant de retour du ballon inférieur vers le ballon supérieur est un mélange d'eau et de vapeur saturée pour éliminer toute l'humidité quelle contient.

La vapeur change de direction brusquement et se dirige au travers des chicanes, vers des filtres qui font une séparation primaire. Avant de pénétrer dans la boîte sèche la vapeur passe entre les tôles ondulées ou l'eau dépose,

Le courant de vapeur change encore de direction et sort du ballon supérieur par 2 tuyères de sortie qui se regroupent en un collecteur.

L'eau récupérée dans les filtres et les tôles ondulées retombe dans le ballon supérieur pour vaporisation.

V-5-3-1-5. Surchauffeur

C'est un échangeur de chaleur. Ce sont les fumées à la sortie du four qui réchauffent la vapeur à l'intérieur de surchauffeur, la vapeur est portée de la température de saturation à la température de surchauffe.

V-5-3-1-6. Désurchauffeur

Il est situé en aval du surchauffeur .La fonction primaire du désurchauffeur est de maintenir la vapeur sortante de la chaudière à une température constante (441 °C) quel que soit la charge de la chaudière ou le type de combustible utilisé.

Le désurchauffeur est de type à pulvérisation, il utilise l'eau d'alimentation de la chaudière comme agent de refroidissement, la température de la vapeur est maintenue constante par une régulation sur le débit d'eau de refroidissement.

L'eau d'alimentation de la chaudière se disperse directement dans le collecteur de vapeur par l'intermédiaire d'une tuyère de pulvérisation située à l'intérieur du corps du désurchauffeur.

V-5-3-1-7. Réseau D'injection De Phosphates

L'injection se fait au niveau du ballon inférieur pour permettre aux impuretés (telles que les bicarbonates) de se déposer comme sels liés chimiquement.

On peut alors retirer les impuretés par purge intermittente. Le phosphate a aussi pour but de contrôler le pH et la conductivité de l'eau [45].

Tableau 8 : Fiche technique d'une chaudière H.P (procès)

Désignation	Les références
Modèle : construit par SCHLDE/CE	34VP 14W
Régime max. Continu	13 600 Kg /h
Débit nominal de vapeur	110 216 Kg/h
Pression de service	62 bars
Pression normal	76 bars
Température a sortie du désurchauffeur	440°C
Température normal	480°C
Température d'eau d'alimentation	109°C
Combustible	Le gaz naturel
Purge de :	2 à 4 %
Diamètre intérieur du ballon de vapeur	1 384 mm
Epaisseur du ballon de vapeur	86 mm
Diamètre interne d'eau	912 mm
Epaisseur intérieur d'eau	86 mm
Long du ballon de vapeur	11 195 mm
Long du ballon d'eau	11 100 mm
Tubes entre ballon (eau) : ext : épaisseur	51 mm 3,7 mm
Dimension du four :	
-profondeur	10,6 m
-hauteur	5,0 m
-largeur	4,75 m

V-6. Le Circuit Eau– Vapeur Dans Le Complexe

La vapeur est le fluide moteur d'un complexe de liquéfaction du gaz naturel. La génératrice de cette énergie indispensable à la production du GNL est la chaudière.

La production de la vapeur de l'usine GL2/Z est assurée par les 26 chaudières de la section de chauffe, et ceci à différentes températures et pressions [46].

V-6-1. Réseau Vapeur

V-6-1-1. Distribution Du Vapeur

Le réseau de distribution de vapeur comprend les chaudières utilités et celles du procédé ainsi que les deux nouvelles chaudières IHI.

Les générateurs de vapeur 62 bars des différents trains alimentent un collecteur principale qui également relié au collecteur des utilités à l'aide d'une vanne actionnée quand c'est nécessaire ce même système s'applique au réseau vapeur 4.5 bars.

Nous présentons la distribution de vapeur plus de détails lorsqu'on abordera la zone des utilités et celle des procédés.

Il existe trois (03) réseaux de vapeur selon le niveau de pression demandé par les différents utilisateurs :

- Le réseau 62 bars.
- Le réseau 17,2 bars.
- Le réseau 4,5 bars.

Réseau supplémentaire de 1.4 bars fournit la vapeur nécessaire à la climatisation des salles de contrôle.

V-6-1-2. Réseau HP 62 Bars/440°C

Cette vapeur est produite par les chaudières de procédé ABB et IHI et les chaudières utilité qui déversent dans un collecteur de 36". Elle alimente principalement les 03 turbogénérateurs, les pompes alimentaires des chaudières, le compresseur de propane, les compresseurs de MCR, compresseur fioul gaz réchauffeurs de gaz de régénération des sècheurs et le collecteur de MP 17,2 bars après détente et désurchauffe.

V-6-1-3. Réseau MP 17.2 Bars/304°C

Cette vapeur est produite par la chaudière de la zone utilité ,poste de détente 62/17,2 bars, l'échappement des turbines des pompes alimentaires et l'échappement du compresseur FG .Cette vapeur alimente les turbines à condensation, les turbines des pompes alimentaire, les ventilateurs à tirage forcée des chaudières, les turbines des pompes de lubrification et d'étanchéité des TG et compresseurs, éjecteur dessalement, réchauffeur de vapeur de stockage

GNL, éjecteur des condenseurs sous-vide des TG, vaporisateur et turbopompe MEA et le collecteur BP 4.5 bars après détente et désurchauffe.

V-6-1-4. Réseau BP 4.5 Bars /229°C

Cette vapeur est produite au poste de détente 17,5 / 4,5 bars, ballon de détente et au échappement des turbines 17,5 / 4,5 bars, elle alimente le réchauffeur de GN, réchauffeur de saumure de l'unité de dessalement, les dégazeurs, les rebouilleurs au fractionnement, le préchauffeur du GN d'alimentation, le chauffage des caisses d'huile de graissage, boîte étanche (turbopompe) et les postes de vapeur de service.

V-7. Besoin De Complexe En Vapeur

V-7-1. La Vapeur D'eau

Tout comme le gaz naturel, l'électricité ou l'air instrument, la vapeur d'eau constitue un élément utilitaire essentiel sans lequel le complexe ne peut fonctionner.

V-7-2. Utilisation De La Vapeur

Les différentes fonctions de la vapeur d'eau au sein du complexe sont décrites comme suit :

V-7-2-1. Préchauffage Du Gaz Naturel

Le gaz naturel est reçu à la limite de batterie du complexe à une température ambiante, et comme ce dernier est variable selon le climat et les saisons, il en résulte que l'utilisation du gaz naturel deviendra difficile à contrôler sans la fixation d'une température plus ou moins stable avant que ce produit ne soit distribué à travers les équipements.

Le gaz naturel est préchauffé à une température de 21°C avec de la vapeur d'eau dans un réchauffeur à faisceaux a calandre.

V-7-2-2. Préchauffage Des Produits A Base Température

Il arrive parfois que par manque de la charge de GPL en provenance du sud, qui est d'aux problèmes techniques de pompage, ou parus haut stock dans les bacs des produits finis qui est dû à la houle de la mer causée par les intempéries, ce qui rend impossible l'amarrage des navires à quai et provoque un arrêt de chargement, dans telles situations, les trains de procédé doivent cesser de produire.

Pour honorerai le marché national, en gaz de butane et de propane a des températures ambiantes on utilise la vapeur d'eau pour augmenter la température dans les échangeurs faisceaux calandre... [46].

V-7-2-3. Préchauffage Des Produits Torchés

Tout hydrocarbure liquide, envoyé vers la torche pour des raisons de processus, doit être obligatoirement préchauffé dans des évaporateurs et transformé en vapeur avant d'atteindre les bacs de torches.

Les évaporateurs sont des bains d'eau traversés par des serpents de GPL et qui utilise des buses de vapeur pour chauffer l'eau jusqu'à une température de 70°C [46].

V-8. Description Du Dégazeur Au Niveau Du GV

V-8-1. Principe De Fonctionnement Du Dégazeur

V-8-1-1. Dégazage Physique

L'eau entre dans le dégazeur à une température de 79°C et la vapeur est injectée à contre-courant à une température de 240°C.

Le dégazeur réchauffeur étant muni de plateaux favorisent un temps de contact suffisant entre la vapeur et l'eau, donc les gaz dissous vont s'évaporer par l'événement une fois que l'eau atteint son point d'ébullition. 98% des gaz sont éliminés.

V-8-1-2. Dégazage Chimique

On injecte l'Eliminox qui est un agent réducteur d'oxygène dans la bêche alimentaire de manière à parfaire le dégazage.

La teneur en oxygène dissous doit être <7 PPB à la sortie du dégazeur.



Figure 39 : Dégazeur

IV-9. Causes De Percement Des Tube D'économiseur

L'économiseur est composé de deux faisceaux spirales qui sont reliés entre eux avec des tubes lisses verticaux (installés en dehors de circulation des fumées). Ce faisceau spiralé est un ensemble des tubes ailettes connectés avec des coudes lisses qui sont rapportés et placés en dehors de la circulation des gaz ainsi que les deux collecteurs d'entrée et de sortie d'eau d'alimentation [47].

Données techniques de l'économiseur [48] :

Collecteur : entrée et sortie :

- Diamètre : 168,3 mm
- Epaisseur : 12,4 mm
- Nuance : A106 GR B.
- Température de calcul : 290 °C.
- Pression de calcul : 77,5 Bar.

Tube : tube à ailette spiralée et soudée :

- Diamètre : 38 mm
- Epaisseur : 3 mm
- Nuance : A178 Gr A.
- Nombre d'ailette : 04 par pouce (25,4 mm)
- Nombre de tube : 25 éléments et 18 tubes par élément.
- Température de calcul : 340 °C.
- Pression de calcul : 77,5 Bar.

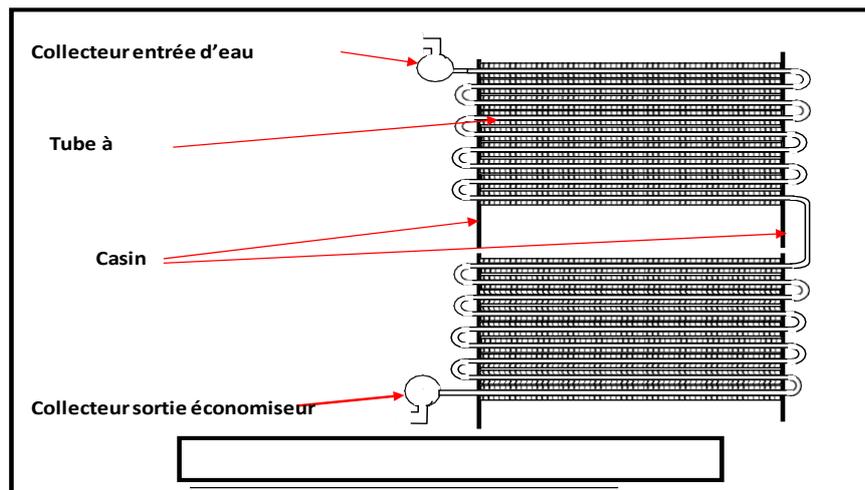


Figure 40 : Schéma d'économiseur d'une chaudière



Collecteur D'entrée

Les Tubes De La1ère Rangée

V-10. Analyse Du Problème

Pour analyser ce problème, on a pris le cas de l'économiseur de la chaudière 570UA.

La situation de l'économiseur de cette chaudière est illustrée dans le mapping suivant



Figure 41 : Situation des tubes percés de l'économiseur de la chaudière 570UA

D'après le mapping, la majorité des tubes fuyards sont localisés au niveau des trois premières rangées dont leur répartition est comme suit :

- 1ère rangée : 14 tubes
- 2ème rangée : 11 tubes.
- 3ème rangée : 03 tubes

La dernière rangée (18ème rangée)

Le percement de ces tubes est localisé au niveau du joint de soudure qui relie le casing de l'économiseur avec le tube précisément au niveau de sa partie inférieure ou bien la génératrice inférieure (côté interne de l'économiseur).

Ce percement a une forme d'une fissure longitudinale qui nous ramène à se prononcer sur l'origine de cette dernière qui est la fatigue (*voir photo*).

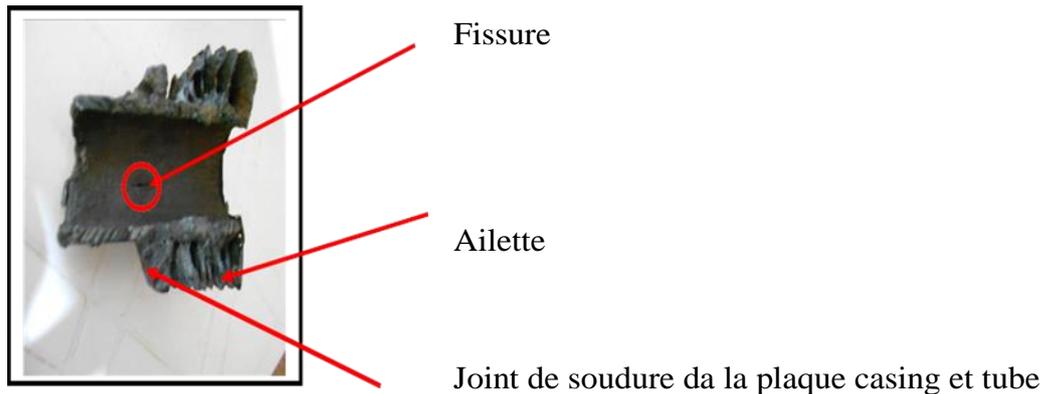


Figure 42 : Un tube d'économiseur percé

La fatigue par définition est un mode de rupture différé qui se produit lorsque le matériau est soumis à des charges cycliques, et cela même pour des contraintes bien inférieures à sa limite d'élasticité et des températures faibles. Ce mode d'endommagement limite la durée de vie des composants de la plupart des installations industrielles.

Pour notre cas, d'où vient cette fatigue?

D'après l'analyse préliminaire de ce percement, la cause principale de cette fatigue est due probablement aux deux causes suivantes:

- Conception de l'économiseur.
- Phénomène de vortex à la sortie des fumées vers la cheminée.

V-11. La Conception De L'économiseur

Il est bien clair que le collecteur est soudé avec les tubes de la 1 ère rangée au milieu (horizontalement). Du moment que le collecteur ne dispose pas une vanne ou bien une ligne de purge, cette disposition Permet la stagnation d'eau à l'intérieur du collecteur (la moitié du collecteur reste remplie d'eau) durant la vidange complète de la chaudière.

A cet effet, lors de son remplissage, l'eau introduite à l'économiseur avec une pression de 85bar et une température qui est supérieure à 100°C.

Dans ces conditions la quantité d'eau stagnée dans le collecteur s'évapore et se dirige vers les tubes de la 1ère rangée d'économiseur.

Par la suite, le contact d'eau provenant de la pompe d'alimentation et la vapeur se trouvant à l'intérieur des tubes crée le phénomène de coup de bélier. Ce dernier produit des contraintes très importantes au niveau des points soudés en extrémité des tubes avec le casing.

Vu le nombre très important d'arrêt et démarrage des chaudières, ce phénomène se produit en répétitions et par la suite l'apparition du problème de la fatigue.

Au niveau du complexe de GNL1/Z, ce problème de percement des tubes d'économiseur ne se pose pas, puisque la conception de l'économiseur n'est pas la même. (Voir dessin).

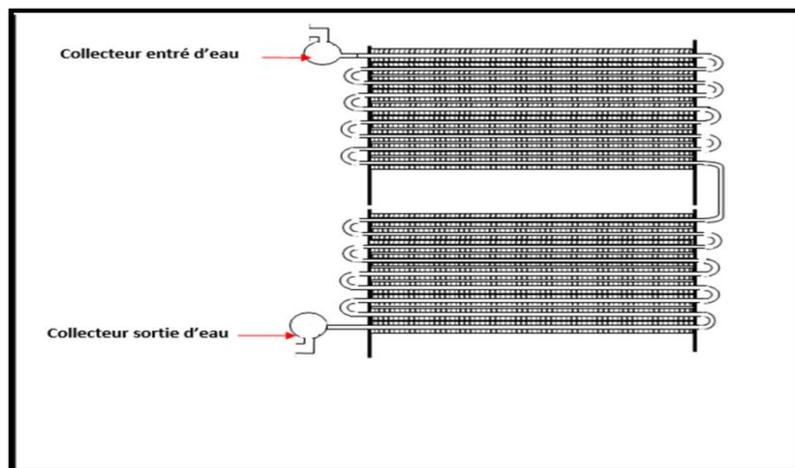


Figure 43 : L'économiseur de la chaudière de complexe GL2/Z [49]

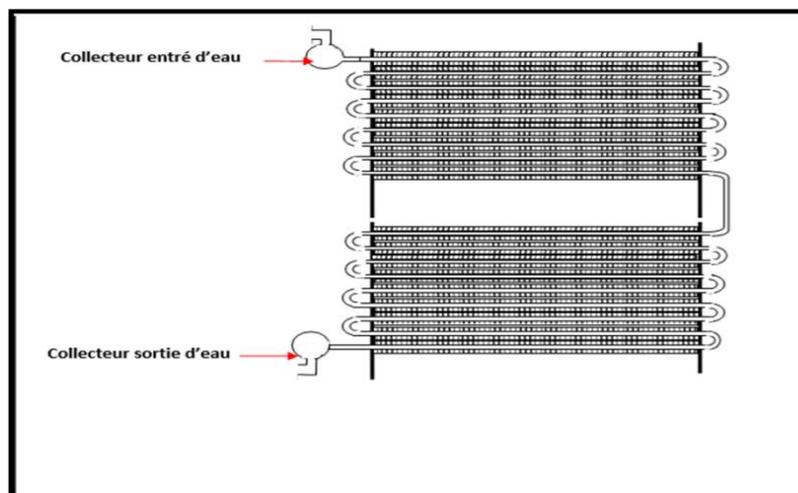


Figure 44 : L'économiseur de la chaudière de complexe GL1/Z

V-12. Phénomène De Vortex Juste Après La 1ere Rangée Du Tube (Sortie Cheminée)

Les tubes des échangeurs de chaleur sont exposés au phénomène vibratoire qui résulte souvent de la synchronisation de tourbillons de Karman.

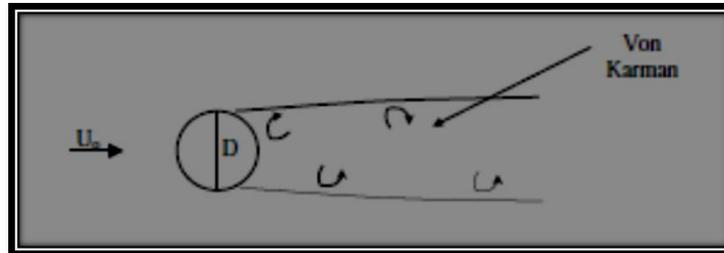


Figure 45 : Schéma du tourbillon de karman [50]

Ce phénomène se produit généralement dans les échangeurs à flux croisés.

L'économiseur est considéré comme un échangeur à flux croisé, dont les écoulements des deux fluides (côté faisceau tubulaire et côté calandre qui est le casing) sont perpendiculaires.

Les fumées avant d'être évacuées à travers la cheminée, elles traversent les tubes du faisceau tubulaire du bas vers le haut avec une vitesse, des tourbillons s'apparaîtraient juste derrière les tubes de la 1 ère rangée (reliées au collecteur entrée eau alimentation chaudière) ces tourbillons créent le phénomène de vortex. Ce dernier, applique une force perpendiculaire et transversale sur le tube.

Le sens des tourbillons (vortex) étant alterné, la force exercée est alternative. Cette dernière conduit à l'apparition des vibrations [51].

Les deux zones (1,2) sont les zones les plus fragile de tube (zone affectée thermiquement), du moment qu'à ces deux endroits se trouvent les deux joints de soudure casing / tube.

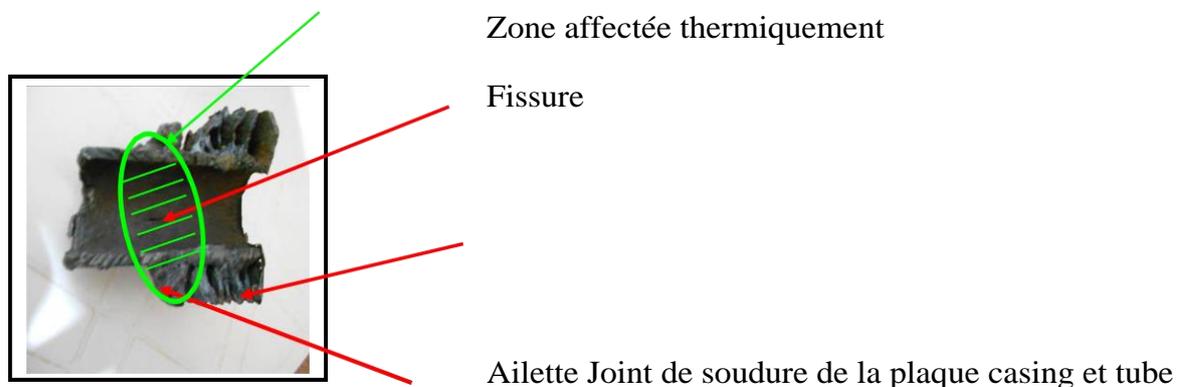


Figure 46 : Mécanisme de la fissure de tube

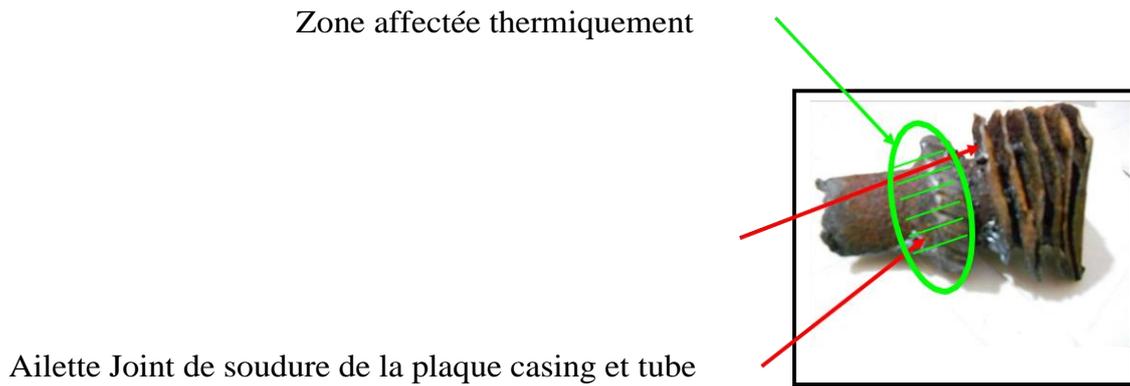


Figure 47 : Photo de la zone la plus faible de tube d'économiseur

V-13. Interprétation Du Mapping D'économiseur De La 570UA

D'après l'analyse précédente, la cause de percement des tubes de :

- 1ère rangée : 14 tubes. la cause du percement est vortex plus le coup de bélier.
- 2ème rangé : 11 tubes. La cause du percement est corrosion par érosion suite aux fuites des tubes de la 1ère rangée.
- 3ème rangée : 03 tubes : la cause du percement est corrosion par érosion suite aux fuites des tubes de la 2ème rangée
- Dernière rangée (18 rangée) : 03 tubes : pour ces tubes la cause principale c'est bien la conception. Si on fait une petite comparaison entre les deux économiseurs du complexe GL2/Z et celle du complexe GL1/Z, on peut remarquer que l'installation des ailettes d'orientation des fumées vers les tubes aide à la création de turbulence en aval de ces ailettes et surtout côté OUEST.

V-14. Défaillance Des Tubes

La rupture des tubes peut survenir pour plusieurs raisons. Une procédure de traitement chimique incorrecte et une erreur de fonctionnement peuvent entraîner souvent une défaillance des tubes d'une chaudière. Si une rupture des tubes est suspectée pendant le service, il est recommandé que l'opérateur procède à la mise à l'arrêt de la chaudière aussi rapidement que possible afin d'éviter de détériorer un trop grand nombre de tubes, en suivant la procédure normale de mise à l'arrêt possible. La première action de l'opérateur consistera à localiser la rupture pendant le service ou à arrêter la chaudière (écrans tubulaires, présides brûleurs, surchauffeur primaire, surchauffeur secondaire, etc.

Des signes typiques peuvent être constatés en cas de rupture des tubes pendant le service :

- Débit excessif d'eau d'alimentation de la chaudière.
- Ecart important entre le débit de vapeur principale et le débit d'eau d'alimentation.
- Déséquilibre de la température du métal du surchauffeur.
- Corruption de la pression de vapeur principale et de niveau du ballon de vapeur.

- Vibrations et bruit importants.
- Niveau des émissions anormal.
- Pression dans le foyer extrêmement élevée.

Quand la chaudière est complètement refroidie et que la température et la pression redeviennent égales à la température et pression atmosphérique, l'inspecteur pourra déterminer le type de rupture (piqûre, cassions, défaillance de la paroi épaisse, bouche de poisson de la paroi fine, etc.). Ne pas pénétrer dans la chaudière quand elle est encore chaude. S'assurer que tous les ventilateurs sont arrêtés et que l'isolation électrique est assurée, que la température et la teneur en oxygène sont normales, avant de pénétrer dans la chaudière.

L'inspecteur tentera ensuite d'analyser la cause de la défaillance (dégradation des propriétés chimiques, surchauffement prolongé, surchauffement court, restrictions d'écoulement, corrosion par contrainte, etc.).

La chaudière pourra être mise en conservation par la méthode sans eau dans les tubes pendant l'inspection et les travaux de réparation. Après une réparation des tubes, une radioscopie ou une épreuve hydrostatique pourra être nécessaire à la fin des réparations pour s'assurer que le système ne présente aucune fuite avant de remettre en route la chaudière.

V-15. Risques Incendie / Explosion

V-15-1. L'incendie

Le terme incendie a été emprunté par la langue française au XVI^e siècle au latin

« Incendium » (embrasement), dérivé de « incendere » (allumer). Il désigne un feu violent, un embrasement qui se propage à un édifice, une maison, une forêt, etc. L'incendie est une réaction de combustion non maîtrisée dans le temps et l'espace.

L'incendie, appelé communément feu, est particulièrement destructeur pour les activités humaines et la nature : habitations, lieux de travail, entrepôts, véhicules, cultures, forêts, monuments historiques, etc.

La prise en compte du risque d'incendie a conduit à créer des services de secours (sapeurs- pompiers, protection civile). Ils ont développé et perfectionné des moyens de lutte contre l'incendie pour combattre l'incendie.

V-15-2. L'explosion

Il y a lieu de distinguer deux types d'explosions :

- la première est une explosion résultant d'une combustion à vitesse élevée, elle peut se produire soit au sein même d'un produit, soit au sein du mélange d'un gaz avec l'air, dans ce dernier cas une flamme se propage dans le mélange à une vitesse élevée, et ce selon la réactivité du produit et les proportions du mélange.

- Le second type d'explosion est un éclatement d'un réservoir, ou d'un réacteur, dû à l'augmentation excessive de la pression de gaz qu'il contient ou à l'affaiblissement localisé de la résistance de ses parois.

- On peut observer aussi des explosions résultant de la mise en présence de substances chimiques dite incompatibles qui réagissent violemment entre elles.

V-16. Situation Pouvant Créer Une Explosion

Les situations pouvant créer une explosion dans une chaudière sont nombreuses et sont cités ci-dessus :

- La situation la plus fréquente reste bien sure le non balayage de la chambre de combustion du gaz accumulés à une quantité suffisante pour produire une explosion.

Cette accumulation peut être due à certaines causes énumérées ci –dessus :

- Accumulation de combustible non brûlé dans le foyer suite à une combustion incomplète, à la perte de la flamme ou à une fuite de la vanne du combustible.
- Le mélange de ce combustible non brûlé avec de l'air dans les proportions provoquant la déflagration.
- Un apport thermique suffisant qui a pour effet d'élever la température d'une portion de ce mélange au point d'inflammation.
- Eclatement des tubes à l'intérieur du foyer et par projection de la vapeur et de l'eau entraînant l'extinction de la flamme, d'où le gaz continue à sortir jusqu'à accumulation d'un mélange explosive avec l'air existant alors que la source d'ignition n'est autre qu'un pont chaud ou une température suffisante d'auto-inflammation.
- une toute pression du débit d'air de combustion pouvant souffler la flamme jusqu'à extinction et pouvant produire.

V-17. Chaudières Alimentées Au Gaz (Situation Pouvant Créé Une Explosion)

Les phénomènes dangereux les plus représentatifs des chaudières à gaz sont l'explosion et l'incendie, qui concernent respectivement 27 et 25% des accidents étudiés.

Le rejet de matières dangereuses s'applique à 40% de ces accidents. Il peut être soit le phénomène initial, soit une conséquence de celui-ci. Le rejet de gaz est inclus dans cette catégorie.

L'éclatement et la rupture d'équipements sous pression peut également survenir, voire provoquer des atteintes aux installations alentours.

Les scénarios accidentels impliquant les chaudières à gaz peuvent être catégorisés de la manière suivante :

- ✓ Fuites de gaz en amont de la chaudière pouvant conduire à un incendie ou une explosion de la locale chaufferie ;
- ✓ Explosion dans la chambre de combustion de la chaudière ;
- ✓ Accidents impliquant le circuit de vapeur ;
- ✓ Autres.

Les fuites de gaz sur le circuit d'alimentation de la chaudière peuvent être la conséquence d'événements accidentels tels que la rupture d'une tuyauterie ou une brèche par collision avec un chariot de manutention, par exemple.

Elles peuvent faire suite à la défaillance d'équipements annexes à la tuyauterie, tels que les raccords, joints ou vannes.

Autrement que par des défaillances mécaniques, le rejet du gaz à l'extérieur peut-être provoqué par la mauvaise manipulation des organes de sectionnement, le plus souvent dans le cadre d'opérations de réparation ou de maintenance.

Les événements consécutifs aux fuites en amont de la chaudière ont les conséquences potentielles les plus graves.

L'apparition des conditions propices à des explosions en chambre de combustion est rare en phase normale d'exploitation. Celle-ci survient généralement durant les phases de mise en service ou de redémarrage de l'équipement, et peut être provoquée par :

- ✓ Le défaut de fermeture de l'alimentation en combustible, suite à la défaillance d'éléments mécaniques (électrovannes, clapets de détendeur, canalisation, etc.) pouvant mener à un décrochage de flamme ;
- ✓ Une pression trop faible du gaz aux injecteurs pouvant mener à un décrochage de flamme ;
- ✓ Un défaut de balayage avant rallumage ;
- ✓ Une erreur de représentation d'un opérateur conduisant à une prise de décision inadéquate, du fait de l'indisponibilité de l'information permettant d'établir l'existence possible ou avérée d'une atmosphère explosible l'intérieur de la chambre de combustion (dysfonctionnement des équipements de surveillance et de mesure par exemple).

Les fortes pressions engendrées par ces événements et le caractère confiné de la chambre de combustion peuvent également conduire à des effets de surpression importants

combinés à des effets missiles avec des distances pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Le fluide caloporteur (eau) a été impliqué dans plusieurs cas d'explosion, d'incendie ou de ruine à l'intérieur de chaudières. Le mécanisme en jeu est généralement la vaporisation brutale du fluide surchauffé suite à une perte de confinement accidentelle pouvant être causées par :

- ✓ La présence d'eau dans le corps de chauffe ;
- ✓ Le manque d'eau dans le corps de la chaudière (tubes de fumées) associé à une défaillance des éléments de contrôle de niveau ;
- ✓ La pollution (par exemple la contamination des fluides par les hydrocarbures lors de leur utilisation) ou la dégradation du fluide après de nombreux cycles, qui en modifient les propriétés physiques et peuvent conduire à des effets indirects.

De plus, les fuites de fluide caloporteur ou des produits d'entretien de son circuit de circulation en dehors de la chaudière peuvent avoir des conséquences en termes de pollution du milieu. Enfin, les tuyauteries chaudes constituent des sources d'ignition pour les produits inflammables mis en contact

Bien que minoritaires, d'autres scénarios d'accidents ont été observés sur des chaudières à gaz :

- ✓ Émission de fumées riches en monoxyde de carbone générée par une mauvaise combustion dans la chaudière qui peut être accentuée par le mauvais tirage d'une cheminée ;
- ✓ Explosion de la chaudière suite à l'accumulation de gaz dans la chambre de combustion du fait du mauvais tirage d'une cheminée ;
- ✓ Inflammation d'une gaine calorifugée par des fuites de fumées chaudes.

En outre, les chaudières sont parfois la source d'ignition de nuages inflammables provenant d'un dysfonctionnement externe.

V-18. Différents Impacts (Conséquences De L'explosion De La Chaudière)

V-18-1. Sur Le Matériel

L'inspection préliminaire de la chaudière effectuée suite a l'explosion a permis de constater les dégâts ci-dessous :

- Déformation du mur avant avec observation aux angles droit et gauche.
- Déformation de la charpente métallique.
- Déformation des suspensions (tiges dessuées).
- Déchirure des soudures.

- Déchirure sou de dilatation au niveau du canal d'air.
- Déformation des tubes de la surchauffeur.
- Dégradation des briques réfractaire au sein de toute la chaudière et des bruleurs.
- Boulon de fixation cisailée.
- Boulon des tiges de suspension desserrée.

V-18-2. Sur Le Personnel

En plus du dégât causé sur la chaudière, cette explosion peut produire des dégâts humain et matériel sur l'unité elle-même avec un risque de pertes humaine sur les agents d'exploitation et maintenance si ces derniers opèrent sur le lieu de l'explosion.

Le risque de blessure des agents peut survenir à cause des éclatements des conduites de vapeur dû à l'explosion.

V-18-3. Sur L'économie

La chaudière est un équipement stratégique du complexe dans le cas d'arrêt de cette dernière, ce complexe est soumis à contraintes d'ordre économique suivant.

V-19. Bilan

La consommation totale du complexe en vapeur est de 330 Tonnes/heure.

-Dans le cas de l'indisponibilité d'une chaudière, ce manque à produire sera de 110 Tonnes/heure de vapeur, d'où ce manque va se répercuter vers l'ensemble du complexe de la manière suivante :

1-Arrêt de la chaudière entraîne :

- Arrêt du turbo-alternateur
- Arrêt d'un évaporateur

2-Arrêt de l'unité Ethylène

V-20. Arrêt Du Turbo-alternateur Et Un Evaporateur

Dans le cas d'arrêt du turbo-alternateur, le complexe sera alimenté uniquement par le réseau sonelgaz, cette situation minimisera la sécurité en marche continue du complexe à cause de l'instabilité du réseau sonelgaz et ce complexe cessé de payer toutes ces consommations mensuelles, en plus des frais de mise en disponibilité du réseau sonelgaz.

La consommation journalière en électricité du complexe en devise est de 33 Mwaat/heure.

Si on suppose que l'arrêt de la chaudière soit d'un mois environ donne, les dépenses en consommations d'énergie électrique seront = 300 millions de centimes approximative.

Tout en restant dans le cas ci-dessus, L'arrêt d'un évaporateur de l'unité dessalage est obligatoire d'où une perte horaire de 333 Tonnes /heures d'eau distillée.

L'eau distillée est destinée soit pour l'arrêt de déminéralisation ou pour les autres unités comme eau de refroidissement pour les équipements (pompes, compresseurs, échangeurs etc....).

Si on manque d'eau de refroidissement, Ce complexe se tendre vers l'arrêt de la production de la chaine plastique composée des unités suivantes :

V.C.M (mono. chlore vinyle) et P.V.C (poly. chlore vinyle) ainsi que l'unité chlore. Soude.

Cet arrêt de la chaine plastique se traduire par un manque à produire de P.V.C de 3000 Tonnes/ mois d'un cout de 4.5 milliard de centimes.

V-21. Conclusion

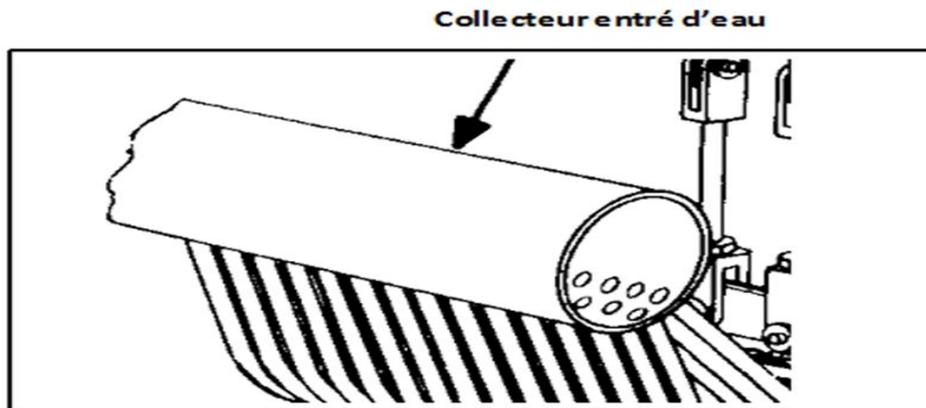
D'après l'analyse, les causes les plus probables du phénomène de percement des tubes d'économiseur et qui est concentré surtout au niveau des trois premières rangées sont:

- Coup de bélier dû à la conception et l'installation du collecteur d'alimentation d'eau.
- Vibration des tubes de la 1ère rangée due au phénomène de VORTEX qui se crée juste après les tubes.

Afin d'éviter ce problème au future, nous vous recommandons de :

Pour le coup de bélier : il existe deux options pour éviter la stagnation d'eau dans le collecteur :

- Réinstaller le collecteur selon le code ASME SEC VII SUBSECTION C3 — BOILER AUXILIARIES (voir photo ci-dessous) :



- Installer une vanne ou bien une ligne de vidange au niveau de collecteur.

Pour le phénomène de VORTEX : Il existe deux options pour minimiser les vibrations dues au VORTEX ou bien augmenter la durée de vie des tubes :

- Pour minimiser les vibrations dues au VORTEX au niveau des tubes de la 1ère rangée procéder à l'installation d'une autre rangée des tubes (sacrificiels ou bien muets) juste au-dessus de la 1ère rangée pour orienter les fumées et les vibrations et les contraintes seront appliquées seulement sur les tubes de cette nouvelle rangée.
- Pour augmenter la durée de vie des tubes, procéder au changement de l'ensemble des tubes des trois premières rangées côté haut (collecteur).

L'explosion a des conséquences néfastes pour l'être humain, les objets et l'environnement.

Pour écarter ces pertes il faut garantir un grand niveau de sécurité pour les chaudières.

CHAPITRE VI

Quelque Cas D'explosion Dans Le Monde

Chapitre VI : Quelque Cas D'explosion Dans Le Monde

VI. Introduction

Il existe de nombreuses explosions de chaudière dans le monde avec des conséquences graves pour les personnes entre mort et blessure, pour les installations techniques et pour l'environnement.

Dans ce chapitre on va citer quelque exemple des explosions dans le monde avec un cas d'étude détaillée.

VI-1. Exemple Des Cas D'explosion D'un Chaudière Dans Le Monde

VI-1-1. Explosion D'une Chaudière Dans Une Usine Agroalimentaire

FRANCE - 50 – BAUPTÉ (26/01/2018)

Commerce de gros de céréales, de tabac non manufacturé, de semences et d'aliments pour le bétail

A 2h30, une explosion se produit sur une chaudière dans une usine agroalimentaire. La chaudière s'arrête instantanément. Un périmètre de sécurité de 10 m dans l'alignement de la chaudière est mis en place. L'entreprise fonctionne en mode dégradé avec une seule chaudière. La deuxième passe en mode rondier par précaution (2 h). Les chaînes de production sont mises à l'arrêt. Une vidange progressive des installations de production est effectuée. La porte de la chaudière est déformée et ouverte.

Après une première analyse des causes, il semble que le boulon sur la bielle de commande des registres d'air comburant était dévissé entraînant une perte de la régulation de la combustion. L'accumulation de gaz imbrulés dans le corps de chauffe de la chaudière a provoqué l'explosion.

L'exploitant met en place les actions suivantes :

- Contrôle de la deuxième chaudière ;
- Contrôle de la chaudière concernant la réglementation ESP ;
- Intégration du capteur d'oxygène à la chaîne de sécurité afin qu'une baisse significative du taux active la mise en sécurité de la chaudière ;
- Réalisation d'expertise interne ;
- Réalisation d'une expertise complémentaire par un organisme extérieur pour une analyse des risques.

L'exploitant met en place une chaudière de location le temps de réparer la chaudière endommagée pour assurer sa production.

VI-1-2. Explosion Dans Un Complexe Pétrochimique Algérie – Skikda (19/01/2004) Raffinage du pétrole



Figure 48 : Explosion d'une chaudière de Raffinage Skikda

Une explosion se produit vers 18h40 dans un complexe pétrochimique portuaire, situé sur la côte et comprenant 6 unités de traitement de gaz et d'hydrocarbures ; 12 000 personnes travaillent sur ce site qui est en partie alimenté par du gaz et du pétrole en provenance du Sahara. L'accident se produit dans l'unité traitant du gaz naturel (GNL), à la suite de l'explosion d'une chaudière à haute pression fabriquant de la vapeur. Sous la violence de l'explosion, des réservoirs de substances inflammables à proximité sont endommagés à leur tour : les fuites qui en résultent provoquent l'extension de l'incendie en différents foyers et de nouvelles explosions (effet domino).

Le souffle de l'explosion, entendue à 10 km à la ronde, brise les vitres d'immeubles et commerces du voisinage.

Une cellule de crise est mise en place par l'exploitant et le ministère de l'intérieur, le préfet local (" wali ") déclenche l'équivalent du PPI.

Les secours doivent lutter 8 h pour maîtriser l'incendie. Le bilan final est très lourd : 27 victimes parmi les employés dont 9 gardiens ou agents de sécurité situés dans un poste proche et 74 blessés (dont 43 sortiront le lendemain après examens).

La plupart des décès est liée aux effets de surpression ou de projection et effondrements de structures. L'estimation des dégâts matériels se monte à 800 M de dollars. 3 des 6 unités de liquéfaction sont détruites. Des débris sont projetés jusqu'à 250 m du point de l'explosion mais

les dégâts restent limités au site. Selon un des témoins, des bruits anormaux correspondant à des vibrations ou à des fuites sur soupapes auraient été entendus avant l'explosion violente.

L'unité ("train 40") où s'est produite l'explosion, semblait présenter des anomalies de fonctionnement régulières. Suite à une fuite importante signalée par un agent de maintenance qui décèdera dans l'explosion, un mélange d'air et d'hydrocarbures gazeux aurait été aspiré par l'entrée d'air de la chaudière du train n°40 provoquant une première explosion à l'intérieur de cette dernière, suivie d'une seconde déflagration à l'extérieur puis d'un incendie détruisant les "trains" n°20 et 30 voisins espacés de 60 m les uns des autres.

VI-1-3. Explosion A L'intérieur D'une Chaudière Au Gaz Naturel

France - Reims (30/05/2006)

Production et distribution de chaleur

Dans une société de production et distribution de chaleur, une violente déflagration se produit à 14h30 à l'intérieur d'une chaudière au gaz naturel de 12 MWth. Cette chaudière faisait l'objet d'une intervention d'un technicien du constructeur suite à des anomalies de fonctionnement du brûleur. Après plusieurs tentatives infructueuses de redémarrage suite au changement de plusieurs accessoires et à des modifications de réglage, l'explosion survient à l'intérieur de la chaudière côté fumées et entraîne l'arrêt immédiat du générateur par les sécurités gaz. Dans le même temps, le technicien constate par l'œillet arrière une flamme molle et incomplète autour du brûleur. Des portes de façade avant, des conduits d'amenée d'air sont endommagés ainsi que le brûleur partiellement. Des experts se rendent sur les lieux pour déterminer les causes de l'accident et remédier à la défektivité des équipements endommagés. L'hypothèse d'une accumulation de gaz naturel suite à un décrochage de flamme est privilégiée. Un agent de la DRIRE et d'un organisme de contrôle indépendant se rendent sur les lieux pour définir les conditions de redémarrage de la chaudière.

VI-1-4. Explosion Dans La Chaufferie D'une Distillerie

France - Mareuil-Sur-Aÿ (29/12/2005)

Production d'eaux de vie naturelles

Une explosion se produit dans la chaufferie d'une distillerie. Dans le cadre d'une maintenance préventive, une société spécialisée remplace des tuyaux d'arrivée de gaz naturel (GN) aux chaudières et des vannes, modifier des événements, installer des piquages de purge et d'inertage. Les travaux débutés le 21/12/2005 doivent s'achever le 2/1/2006, la distillerie étant fermée du 23/12 au 03/01. Comme prévu, la tuyauterie de gaz est remplacée après coupure et purge du gaz. Le 29/12, l'agent de maintenance estime avoir terminé les travaux mais n'effectue pas les essais d'étanchéité à l'air comprimé ou à l'azote. Il ouvre le gaz sans avoir refermé une bride (diam. 80) sur la chaudière n° 3, provoquant ainsi une importante fuite de gaz dans le bâtiment. Deux sources de chaleur peuvent avoir apporté l'énergie suffisante pour l'explosion : l'éclairage halogène du faux plafond est allumé alors que l'opérateur soude de l'autre côté du mur d'où fuit le gaz.

L'électricité et le gaz sont coupés, les pompiers et la gendarmerie interviennent. Un périmètre de sécurité est mis en place. Les 2 techniciens de la société agréée hospitalisés pour des examens ressortent 2 h plus tard. L'explosion soulève le toit de la chaufferie, endommage un mur de pignon et les câbles électriques du local. Compte tenu des dégâts constatés, l'exploitation du site est arrêtée. La chaudière doit être révisée, des travaux de remise en état du bâtiment effectués, les câbles électriques, la toiture et le faux plafond changés. Les rapports de gendarmerie et d'assurance précisent que le non-respect des règles de l'art et de sécurité par le sous-traitant est à l'origine de cet accident. Ce type de causes n'est pas identifié dans le document unique de prévention des risques qui n'intègre pas les défaillances humaines. A ce titre, le plan de prévention rappelle les risques et les protections à utiliser sans détailler les opérations qui font partie des règles de l'art. A l'avenir, les plans de prévention lors de l'intervention d'entreprises extérieures seront contrôlés par le directeur industriel et le responsable QSE. Le respect et l'application des règles définies seront suivis par le responsable QSE qui aura autorité pour faire arrêter le chantier le cas échéant. Les phases délicates (réouvertures de gaz...) seront faites en présence d'un organisme indépendant ou du responsable technique de l'entreprise intervenante.

VI-1-5. Explosion D'une Chaudière Dans Une Centrale Thermique

France - Dunkerque (17/07/2004)

Distribution et commerce d'électricité

Un accident se produit au démarrage d'une chaudière après un arrêt prolongé dans une centrale thermique (2x 312 MW). L'injection de gaz de cokerie alimentant les brûleurs centraux souffle la flamme de l'allumeur propane. La caméra de contrôle de la flamme étant hors service, le rondier sur place ne voit pas l'extinction de la flamme et essaie de remettre en service la caméra. Le chef de manœuvre ne s'aperçoit pas que la séquence d'allumage propane est anormalement écourtée car il n'y a pas d'alarme. Avec les informations dont il dispose, le personnel en poste pense que la commande d'injection de gaz de cokerie n'a pas fonctionné et décide d'allumer un autre brûleur. Le gaz de cokerie déjà injecté dans la chaudière forme une poche qui explose à la mise en service du second brûleur.

Aucune victime n'est à déplorer, mais les dommages matériels sont importants, notamment au niveau de la chaudière et de ses abords. L'autre tranche n'a pas subi de dommage. Après analyse de l'événement, divers dysfonctionnements sont constatés hors ceux déjà mentionnés : absence de flamme qui n'a pas déclenché la fermeture de l'alimentation du gaz de cokerie car, en l'état, non adaptée aux démarrages à froid (shunt par l'opérateur), enregistreur de débit de gaz resté à '0', commutateur n'ayant pas été positionné correctement (pas sur 'en gaz '). A la suite de l'accident et au titre du retour d'expérience, plusieurs mesures sont adoptées au plan organisationnel ou technique : mise en service à l'aide d'allumette fioul et plus au gaz seul, contrôle caméra indispensable conditionnant la poursuite du démarrage, coupure automatique de l'alimentation en propane et en gaz de cokerie sur défauts simultanés de flamme au niveau des brûleurs propane et des brûleurs de gaz cokerie.

VI-1-6. Explosion Dans Le Foyer D'une Chaudière Dans Une Usine De Fabrication D'emballages

France - Dijon (08/11/2002)

Fabrication d'emballages en matières plastiques

Une explosion se produit dans le foyer d'une chaudière dans une usine de fabrication d'emballages souples en papier et/ou matières plastiques comportant notamment une opération d'impression. Cette explosion provoque la projection du couvercle qui sectionne la canalisation de gaz au niveau de la soudure à l'aval des vannes de sécurité.

La chaudière est composée d'un foyer qui chauffe un serpentin contenant de l'eau. Une pompe assure la circulation de cette eau chaude dans un réseau de tuyauteries. Selon l'exploitant, la pression maximale de service de ce réseau est inférieure à 4 bars, valeur à partir de laquelle la réglementation appareil à pression s'applique. Ce jour-là, la chaudière a été retirée de l'exploitation en raison de son mauvais fonctionnement et remise à la disposition de la société qui assure son entretien.

VI-1-7. Explosion D'une Chaudière Dans Une Laiterie

France – Derval (05/11/2001)

Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Une chaudière explose dans une laiterie. Plusieurs anomalies sont constatées lors d'une visite d'inspection de l'établissement à la suite de l'accident : installations de réfrigération non conformes à la réglementation en vigueur dont l'une contiguë à la chaufferie, rejets en eau trop élevés saturant la station d'épuration de l'établissement, installation froid UHT sensible à la légionellose en raison d'apports fréquents d'eaux stériles chargées en nutriments et de vidanges hebdomadaires sans stérilisation.

L'exploitant est mis en demeure de régulariser sa situation à la suite de ces observations. Une étude des dangers doit également être rapidement réalisée pour valider les aménagements prévus (explosion, incendie, gaz toxique, déplacement de l'unité de réfrigération connexe à la chaufferie, pollution accidentelle des eaux, légionellose...). Le fioul répandu et les terres polluées seront éliminés dans une installation autorisée à cet effet.

VI-1-8. Explosion Sur Le Circuit Vapeur D'une Chaudière

France- Venette (27/11/1999)

Activité indéterminée

Dans une usine, une explosion se produit sur le circuit vapeur d'une chaudière horizontale à gaz de 15 t/h. Les ateliers de production sont arrêtés, le gaz et l'électricité sont coupés. Aucune victime n'est à déplorer.

Les dommages matériels se limitent à la chaudière (partie sous pression effondrée sur le foyer) et au bâtiment l'abritant ; des missiles et de la vapeur à 180°C ont été projetés dans un

rayon de 50 m. L'accident serait dû à un manque d'eau et à la défaillance des 2 contrôles de niveau.

VI-1-9. Explosion D'une Chaudière A Gaz**France – Luttange (29/10/1999)****Fabrication de constructions métalliques**

L'explosion d'une chaudière à gaz détruit le bâtiment d'une entreprise spécialisée dans la soudure à l'arc et la chaudronnerie. Trois personnes sont grièvement blessées et 2 autres le sont légèrement.

VI-1-10. Explosion Une Chaufferie Dans Une Cimenterie**France – Airvault (17/09/1999)****Fabrication de ciment**

Dans une cimenterie, un incendie se déclare dans une chaufferie, avec un fort dégagement de fumée. Deux chaudières (1 électrique et 1 à gaz), qui ne sont pas utilisables simultanément, servent à la mise en température d'un combustible à haute viscosité. Alors que la chaudière à gaz fonctionne, la chaudière électrique est mise sous tension provoquant la surchauffe du fluide caloporteur résiduel qu'elle contient. Il n'y a pas de conséquence importante pour l'environnement. La production de clinker est arrêtée mais pas la production de ciment, l'usine pouvant tourner sur le stock de clinker existant dans l'attente des réparations nécessaires.

VI-1-11. Explosion Une Chaudière A Gaz**France – Bazouges (14/01/1997)****Fabrication d'éléments en béton pour la construction**

Une chaudière à gaz explose dans un établissement fabriquant des éléments en béton pour la construction. Après avoir détecté la veille une odeur de gaz, l'exploitant avait fait intervenir la société d'entretien de la chaudière qui avait colmaté une petite fuite au niveau du réchauffeur de gaz le matin même de l'accident. L'odeur persistant, l'exploitant avait ensuite demandé une intervention d'urgence de la société d'approvisionnement en gaz ; l'explosion s'est produite avant son arrivée. Le système de chauffage de l'entreprise qui est endommagé, conduit à une perte d'exploitation interne. L'exploitant prévoit d'installer des détecteurs de gaz dans la chaufferie couplés à une vanne de coupure automatique. Le fournisseur de gaz naturel est également consulté pour un raccordement direct au réseau de gaz naturel à la place de la citerne de gaz utilisée pour alimenter la chaudière.

VI-1-12. Explosion D'une Chaudière de 20,88 MW**France – Lyon (07/10/1994)****Activités hospitalières**

Une explosion survient sur une chaudière de 20,88 MW alimentée au gaz et fonctionnant sous télésurveillance. A la suite de la détection d'un défaut de fonctionnement du brûleur du générateur et de sa mise en sécurité, un technicien d'astreinte intervient dans la chaufferie afin d'effectuer des vérifications. Les appareils de contrôle réglementaires, hors service, ne permettent pas de déterminer la cause de la panne. Le technicien réarme néanmoins la séquence automatique de redémarrage ; l'explosion se produit 30 s après le début du pré balayage (injection d'air dans le foyer).

L'enquête révèle la présence de corps étrangers (particules métalliques et calamine) dans le filtre à gaz et les électrovannes de l'alimentation en gaz de la chaudière, une empreinte sur le clapet de la 1ère vanne (fuite ?), des pertes de charge importantes sur la canalisation de mise à l'air libre (22 m de long, 12 coudes à 90°). Ces anomalies ont semble-t-il permis l'écoulement du gaz dans le générateur pendant les 30 min qui ont suivi la mise en sécurité du brûleur. La tentative de redémarrage avec injection d'air dans le foyer a permis d'atteindre la limite supérieure d'explosivité et provoqué l'explosion dans la chambre de combustion.

VI-1-13. Explosion D'une Chaudière de 2,5 MW**France- Poitiers (09/12/1993)****Activités hospitalières**

Une explosion survient dans le carneau de fumées d'une chaudière de 2,5 MW alimentée au gaz installée dans la chaufferie d'un centre hospitalier. L'accident entraîne d'importants dégâts matériels sur la chaudière (porte et trappe de visite arrachées, maçonneries écroulées, raccords et fumisterie soufflés). Deux hypothèses sont émises sur l'origine : soit un mauvais fonctionnement du cycle du brûleur, soit plus vraisemblablement les mauvaises conditions de combustion et d'évacuation des fumées. La forme du carneau (grand volume horizontal) et la présence d'une météorologie défavorable (tempête) peuvent avoir contribué à l'accumulation de CO, avec allumage par l'autre chaudière raccordée au même carneau. Le contrôle de l'électrovanne gaz permet de vérifier son étanchéité.

VI-1-14. Explosion Sur les installations de chauffage d'un immeuble d'habitation**France – Cholet (31/10/1993)****Production et distribution de chaleur**

Un incendie se déclare sur les installations de chauffage collectif au gaz d'un immeuble d'habitation, qui comprend 4 chaudières disposant chacune de 3 brûleurs de 35 kW en cascade. Des flammes sortent par la cheminée du bâtiment. Arrivés sur les lieux, les pompiers tentent d'éteindre une torchère sortant d'un joint de la conduite d'alimentation principale qui passe au-dessus de la chaudière n° 3. Le feu est circonscrit par la fermeture de la vanne

générale d'alimentation au niveau du détenteur, réalisée à son arrivée par le technicien en charge de la conduite. L'installation, vétuste et mal entretenue, a été remise en service le 4.10 pour la saison de chauffe. Le feu a démarré au niveau d'un brûleur central.

VI-1-15. Explosion D'une Chaudière A Gaz**France - Le Creusot (08/04/1991)****Chaudronnerie nucléaire**

Equipée d'un système de régulation automatique et exploitée sans surveillance permanente depuis le 8/2/91, une chaudière à eau surchauffée (19,2 MW, 160 °C, 11 bars) explose en phase de conduite manuelle lors d'une tentative de passage à une chaudière plus faible. L'accident est dû à une accumulation de gaz dans le foyer à la suite de l'ouverture intempestive de 2 électrovannes en série commandant l'alimentation des brûleurs : une défaillance électrique liée à un câblage antérieur, maintenu inopinément lors de la mise en place du système de conduite automatique, a conduit au déclenchement d'un relais de commande commun aux 2 vannes. Aucune victime n'est à déplorer. Les dommages matériels sont importants, mais circonscrits à l'unité.

VI-1-16. Explosion D'une Chaudière A Gaz Naturel**Allemagne - Vohburg (15/02/1992)****Distribution et commerce d'électricité**

Une explosion se produit dans une chaudière en marche stable alimentée en gaz naturel. La chaudière, le générateur électrique et le réseau de tuyauteries sont endommagés et nécessitent 3 à 4 mois de réparations.

VI-1-17. Explosion D'une Chaudière Dans Une Centrale Thermique**France - Le Havre (28/11/1984)****Production d'électricité**

Une explosion se produit sur une chaudière neuve dans une centrale thermique (10 t de vapeur/h). Cette chaudière auxiliaire était destinée à compléter la fourniture de vapeur nécessaire au réchauffage du fioul lourd des stockages et au refroidissement des brûleurs de la tranche 3. C'est une chaudière à tube foyer ondulé et à 3 parcours de fumées.

Les gaz de combustion sont dirigés vers l'arrière de la chaudière puis ramenés vers l'avant par les tubes de fumée inférieurs avant d'être renvoyés vers la cheminée située à l'arrière par l'intermédiaire des tubes supérieurs. Elle devait fonctionner au tampon sur le réseau, en parallèle avec une autre chaudière de même type (arrêtée le jour de l'accident) et avec des transformateurs de vapeur fabriquant de la vapeur de soutirage des turboalternateurs. L'accident se produit à la fin des essais de mise en route de la chaudière qui était surveillée par un technicien de la société de fabrication du produit et de 2 techniciens. Lors de l'accident, une extrémité du tube foyer s'est séparée de la plaque tubulaire en créant une brèche sur la face arrière de la chaudière. L'eau contenue dans la chaudière, sous l'action de la vaporisation

instantanée de la vapeur sous pression (environ 13 bars), s'est échappée par cette brèche, propulsant par réaction la chaudière une dizaine de mètres en arrière et provoquant son encastrement dans le dégraisseur d'une chaudière de 250 MW. La vapeur s'échappant de la chaudière a traversé la travée de manutention, soufflé le mur de l'atelier mécanique et en se vaporisant partiellement à la pression atmosphérique, a occupé un volume beaucoup plus important, provoquant des brûlures au personnel occupant cet atelier. Le bilan de l'explosion est de 1 mort et de 17 blessés ; tous se trouvaient dans l'atelier de mécanique. Bien que pour certains codes de calcul, les caractéristiques de la chaudière ne soient pas acceptables, cette dernière était néanmoins conforme aux règles du code ISO et de la norme française NFE 32.104.

Des hydrocarbures plus lourds que l'eau à la température de fonctionnement de la chaudière étaient présents dans l'eau d'alimentation. Ils se déposent sur le tube foyer ce qui provoquerait le passage à la vaporisation en film et donc une élévation de la température du métal qui devient supérieur à la température maximale de garantie des caractéristiques de l'acier employé. Il existe en effet des possibilités de pollution du circuit vapeur par du fioul ou cours de son réchauffage : lors de la récupération des condensats de vapeur, il peut être admis dans les bache qui servent à l'alimentation de la chaudière. Les conditions réelles de fonctionnement au moment de l'explosion n'étant pas connues avec certitude, la conjugaison de la présence de fioul dans l'eau d'alimentation et des caractéristiques limites de calcul fait que l'accident a eu lieu.

VI-1-18. Explosion D'une Chaudière A Gaz Naturel

France – Boue (11/05/2009)

Autre transformation et conservation de fruits et légumes

Une explosion et un départ de feu se produisent vers 15h15 au niveau de la chaudière au gaz naturel de la station d'épuration d'une usine de transformation et de conservation de fruits. Le gardien du poste de surveillance de l'entreprise voisine avertit l'exploitant dont le personnel éteint le feu avec un extincteur à mousse et coupe l'alimentation en gaz et électricité. Les pompiers et les gendarmes se rendent sur place. Les employés ne sont pas en chômage technique.

Cet incident est dû à la perte d'étanchéité d'une électrovanne de la rampe gaz du brûleur de la chaudière. La chaudière est remise en état, le brûleur ainsi que la rampe gaz sont retournés chez le fabricant, la canalisation gaz est testée ainsi que l'ensemble des sécurités de la chaudière.

VI-1-19. Explosion D'une Chaudière A Gaz

France - Gonfreville-L'orcher (13/03/2010)

Raffinage du pétrole

À 4h15 du matin, un ballon de dégazage d'eau de chaudière se rompt brutalement dans une unité de distillation atmosphérique d'une raffinerie en "arrêt chaud" depuis août 2009. L'éclatement du ballon à moitié plein, de 8m³ implanté à 6 m du sol sur un rack, provoque un

bruit sourd perceptible à l'extérieur du site et des dégâts matériels sur les équipements proches : l'interne du ballon impacte un four de surchauffe à 6 m de haut et provoque une fuite de gazole sur les vannes d'isolement d'une pompe de charge brut.

Une moitié du ballon est restée sur le rack mais l'autre moitié se trouve au pied de l'unité en deux fragments (fond et virole) L'exploitant isole les équipements endommagés, arrose préventivement la pompe endommagée avec une lance et prévient l'inspection des installations classées vers 8h40. Les explosimètres n'ont rien détecté et l'absence de trace noire (suie, produits gras) dans le ballon ne laisse pas penser à une explosion d'hydrocarbure. Des simulations donnent une pression d'éclatement entre 5 et 7 bars (présence de vitres intactes à 40 m de l'unité). Deux jours après l'accident, il procède au dégazage complet de l'unité, celle-ci était maintenue en température en vue d'un éventuel redémarrage et avait été vidangée des hydrocarbures habituellement traités 5 mois avant, en début de période hivernale.

Le ballon permet d'éliminer les gaz inertes éventuellement dissous dans l'eau de chaudière avant sa transformation en vapeur. L'exploitant étudie plusieurs hypothèses, celle d'une explosion due à un flash interne provoqué par l'accumulation de produit inflammable (résidu d'hydrocarbure, hydrogène) issus des circuits de condensats et d'une source chaude est écartée.

Des prélèvements d'eau et test de pression montrent l'absence de pollution hydrocarbure du réseau eau/vapeur. Les sources d'ignition potentielles dans le ballon étaient à 200 °C, inférieure à la température d'auto inflammation des deux produits suspectés (HC à 230 °C et H₂ à 560 °C).

L'hypothèse retenue est une montée progressive en pression liée à une fragilité de la robe du ballon, l'exploitant ayant découvert que :

- la robe du ballon s'est déchirée au niveau de la cornière de support du calorifuge, en raison d'une corrosion externe due à l'accumulation d'eau sur ce support horizontal,
- de la vapeur à 12 bars entrant dans le réseau des condensats, puis dans le ballon en raison de la défaillance de certains purgeurs (by-pass ouvert ou décollé, monté à l'envers donc débitant en permanence). Les entrées de condensats sont devenues supérieures aux sorties dans le ballon.

Situation aggravée par la non-application complète d'une procédure hors gel qui prévoit l'aspiration permanente du ballon, et la limitation des exutoires du ballon car une vanne entre le ballon et sa garde hydraulique a été retrouvée fortement bridée.

L'exploitant effectue une campagne de contrôle et de remplacement des purgeurs du réseau vapeur. À titre de retour d'expérience, il vérifie la configuration et renforce le contrôle des gardes hydrauliques et des supports de calorifuges.

VI-1-20. Explosion d'une chaudière dans une usine sidérurgique

France - Fos-Sur-Mer (10/10/2016)

Sidérurgie

Dans une usine sidérurgique, une explosion se produit à 23h13 dans une chaudière à gaz lors d'une phase de test de redémarrage. Les pompiers du site sécurisent l'installation. La chaudière est fortement endommagée mais la production n'est pas impactée.

La chaudière sortait d'un arrêt de maintenance prolongé suite aux événements de 2016 (ARIA 47992 et 48395). Depuis plusieurs semaines, la marche de l'usine est fragilisée et ne repose que sur une seule des 4 chaudières du site.

Durant l'après-midi, le chef de poste tente en vain à 3 reprises d'allumer le 1er brûleur de la chaudière. Le chef de poste de nuit tente à son tour 9 fois sans succès. Après chaque essai, la séquence d'allumage est reprise du début. La 10ème fois, il décide de shunter au niveau de l'automate la détection de flamme du 1er brûleur puis du 2ème et lance le 3ème afin de s'affranchir des phases de pré-ventilation si non détection. Le débit d'injection de gaz sur les 2 premiers brûleurs conduit alors à la présence d'un volume estimé à 90 m³ de propane au moment de l'allumage du 3ème brûleur créant ainsi une zone ATEX à l'origine de l'explosion. L'exploitant identifie plusieurs causes profondes à cet accident :

- le chef de poste était seul lors de sa prise de décision : poste de nuit, adjoint en formation ;
- un stress important dû à la marche dégradée des installations des dernières semaines ;
- une sous-évaluation du risque : les nouvelles consignes de sécurité interdisent la présence de l'opérateur en charge de la surveillance de la flamme pilote et de l'allumage de la flamme principale ;
- le shunt des sécurités de flamme n'était pas assez sécurisé, seule la procédure l'interdisait sachant qu'une autre procédure autorisait le shunt de cette sécurité pour les flammes pilotes.

Afin d'éviter ce type d'accident, l'exploitant :

- modifie les procédures de test des allumeurs ;
- installe des caméras de flamme sur les chaudières ;
- sécurise l'accès à la clé permettant le shunt des détections de flamme au niveau des brûleurs
- réfléchit à la sécurisation des automates ;
- rappelle aux employés l'interdiction des shunts sur flamme principale du 1er brûleur ;
- organise le recyclage annuel des formations sécurité des opérateurs de chaudières.

VI-2. Cas D'explosion D'un Chaudière En Detaille (France)

Explosion d'une chaudière dans une chaufferie urbaine

Le 30 mars 1994

VI-2-1. Le Site

La chaufferie est située dans une zone d'habitations et de petites industries, en cours d'aménagement et d'urbanisation (projet de ZAC) à environ 1 km de la Grande Arche de la Défense. En lisière du site (50 m) sont implantés un pavillon et un petit immeuble de 3 étages. Dans un rayon de 200 m, se trouvent notamment un bâtiment de bureaux de 5 étages où travaillent 400 personnes, un foyer d'hébergement de 80 personnes, et de nombreuses habitations et petites entreprises installées dans des bâtiments conventionnels, des hangars et des baraquements.

Il s'agit de la principale usine alimentant le quartier de la Défense (Hauts-de-Seine) en chaleur et en froid. Le réseau alimente 2,2 millions de m² de bureaux (110.000 salariés) et environ 30.000 riverains.

VI-2-2. L'installation Impliquée

La chaufferie, mise en service en 1967, fonctionne sur le principe de cogénération produisant de l'eau chaude, de l'eau glacée et de l'électricité. Au moment de l'accident, 5 chaudières sont en service :

- ✓ 2 chaudières alimentées au charbon, installées dès l'origine
- ✓ 2 chaudières mixtes charbon - gaz naturel et une chaudière au gaz naturel, ajoutées par la suite

La dernière augmentation de capacité date de 1987. Une 6ème chaudière, au gaz naturel, est en cours de montage au moment des faits, portant la puissance totale installée à 499,7 MW.

L'installation comporte également 7 groupes frigorifiques au fréon d'une puissance totale de 132 MW et 14 transformateurs au PCB/PCT pour une quantité totale de produits sur le site de 22,45 t. Les trois plus gros transformateurs (15,7 t de diélectrique) sont installés dans des cuvettes de rétention.

La procédure d'autorisation de la nouvelle chaudière a été mise à profit pour établir de nouvelles prescriptions techniques réglementant l'ensemble des installations (Arrêté Préfectoral du 21 octobre 1993). En matière de sécurité du réseau d'alimentation en gaz, il est prescrit en particulier le repérage efficace des organes de sectionnement installés.

Les installations sont rassemblées dans un bâtiment à structure métallique en forme de pyramide tronquée de 4 000 m² d'emprise au sol et de 30 m de hauteur, sur 9 étages dont 2 en sous-sol, recouvert en totalité d'ardoises « clippées ». Deux électrofiltres et une cheminée de 100 m de haut sont implantés à proximité immédiate. Les chaudières sont installées sur une

dalle en béton au niveau du sol, sous laquelle passent les réseaux de canalisation et de bandes transporteuses assurant l'approvisionnement en charbon.

L'approvisionnement de la chaufferie en charbon pulvérisé est assuré par voie ferrée. Le gaz est desservi à partir d'un gazoduc enterré (15 bar). Un poste de détente, réaménagé en 1993, situé en bordure de site, abaisse la pression à 4,5 bars. Il est muni de deux détendeurs en parallèle protégés par des clapets de sécurité automatiques pilotés par un calculateur sur la base d'informations de pression et de débit recueillies en amont et en aval du poste de détente. Ils se ferment en cas de chute de pression en amont, et de variation rapide ou excessive de la pression ou du débit délivré. Pour ce faire le calculateur compare les valeurs instantanées mesurées à des valeurs moyennes intégrées pendant la période de 1 heure écoulée. En cas d'urgence non détectable par le calculateur (fuite progressive, fuite de débit modéré), il n'est pas possible de déclencher les clapets automatiques, ni par commande éloignée ni même localement. La seule vanne de sectionnement disponible est manuelle, manœuvrée par une clé spéciale amovible.

Une conduite enterrée de 300 mm de diamètre achemine le gaz directement au sous-sol de la chaufferie où chaque piquage d'alimentation des chaudières est isolable par une vanne manuelle. Pour le piquage alimentant la chaudière mixte HP4, celle-ci est doublée d'une "obturateur guillotine" (opercule coulissant) manœuvrable manuellement et uniquement en l'absence de pression. Cet ensemble permet d'éviter d'envoyer du gaz vers une chaudière qui n'est pas en état de le recevoir.

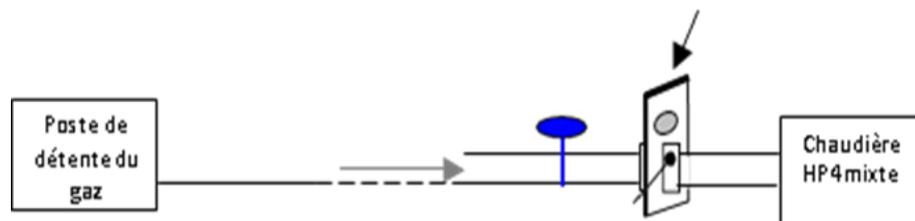


Figure 49 : Schéma de l'alimentation en gaz de la chaudière HP4

Les seuls organes de sectionnement automatiques sont les vannes d'alimentation des brûleurs qui se ferment automatiquement en cas de détection d'absence de flamme.

L'établissement emploie 90 personnes, auxquelles s'ajoutent ponctuellement quelques employés d'entreprises extérieures. Les opérations d'exploitation et d'entretien font l'objet de consignes formalisées et actualisées. L'établissement dispose d'un service chargé spécifiquement de la sécurité sous l'autorité d'un ingénieur rattaché à la direction.

Le dernier incident ayant eu lieu dans cette chaufferie est un incendie aux faibles conséquences et d'origine électrique survenu en 1989.

VI-2-3. L'accident, Son Déroulement, Ses Effets Et Ses Conséquences

VI-2-3-1. L'accident

Le 30 mars 1994 à 1h30 du matin, une violente explosion survient à la chaufferie. Elle est perçue à plusieurs dizaines de km.



Figure 50 : Explosion de la chaufferie

Dans son arrêt du 5 mai 2004 de la Cour d'Appel de Versailles détaille les circonstances dans lesquelles s'est produit l'accident.

Au moment du sinistre, 5 employés sont présents dans l'installation : 1 chef de quart, 1 second de quart, 1 électricien et 2 conducteurs de chaudière. Une chaudière au gaz et une autre au charbon sont en service. Le chef de quart est posté dans une salle de contrôle située au niveau 4 de la centrale équipée d'un système d'assistance et de surveillance.

La veille de l'accident, l'équipe de maintenance, la seule habilitée pour cette opération, a préparé la chaudière mixte pour qu'elle puisse être mise en service au gaz.

L'équipe en poste tente de démarrer la chaudière mais ne parvient pas à déconsigner le ventilateur de tirage ainsi que les deux ventilateurs de soufflage. Le message est laissé au poste de nuit qui s'efforce également de démarrer la chaudière. A chaque tentative de mise en marche des ventilateurs, la chaudière se met en position de sécurité. Voyant que les deux manomètres d'arrivée de gaz n'indiquent aucune pression, le chef de quart en déduit que le problème vient de l'alimentation en gaz de la chaudière. Après avoir examiné les plans, il demande à l'un des deux conducteurs d'ouvrir les deux vannes quart de tour de sectionnement. Malgré cela, les deux manomètres indiquent toujours une pression nulle.

En l'absence de l'équipe de maintenance, le chef de quart demande alors au premier conducteur de chaudière, avec qui il travaille pour la première fois et après qu'il lui ait assuré qu'il en était capable, d'ouvrir l'obturateur guillotine puis la vanne papillon pour permettre l'alimentation de la chaudière mixte en gaz. L'ouverture de la vanne papillon entraîne une

fuite importante de gaz. L'opérateur qui la manipulait est renversé mais parvient à quitter les lieux. Le chef de quart ordonne alors à son adjoint et à l'électricien de stopper la chaudière fonctionnant au gaz et de fermer l'arrivée de gaz au poste de détente d'approvisionnement de l'usine, à 110 m du bâtiment. Ne trouvant pas la clé permettant la fermeture du réseau dans le local, ils ne parviennent pas à réaliser cette dernière opération. Entendant le gaz continuer de se répandre, le chef de quart demande alors au deuxième conducteur d'interrompre le fonctionnement de la chaudière au charbon et, équipé d'un respirateur et d'une lampe électrique, se rend au niveau de la fuite de gaz pour fermer les deux vannes. Un épais brouillard créé par la fuite de gaz a envahi le local. Le chef de quart parvient tout de même à fermer la vanne papillon mais l'explosion survient avant qu'il n'ait pu atteindre l'obturateur.

Alertés par le bruit de l'explosion, les pompiers arrivent sur les lieux quelques minutes après. Un incendie s'est déclaré dans un immeuble de bureau préfabriqué de 400 m², avec des risques de propagation à un pavillon contigu. Le plan rouge (secours aux victimes en grand nombre) est aussitôt déclenché. Cinquante véhicules et 200 pompiers, venus de 12 casernes, interviennent et maîtrisent les différents foyers allumés sur le site sans difficulté particulière. Le service du gaz intervient à 2 h et ferme la vanne d'approvisionnement en gaz.

Plusieurs dizaines de C.R.S. sont affectés à la lutte contre le pillage. Le gardiennage est organisé (moins d'une demi- heure après l'explosion) pour éviter que des vols n'ait lieu dans les commerces ayant perdu leur vitrine.

VI-2-3-2. Les Conséquences

- Le bilan humain est lourd : le 2ème conducteur de chaudière est tué dans le sous-sol, le chef de quart et le premier conducteur de chaudière sont blessés sérieusement. Les deux autres opérateurs, bien que choqués, sortent indemnes du bâtiment. La destruction d'un pavillon situé en bordure du site, à 50 m du bâtiment, blesse une fillette de 6 ans, qui décèdera 4 jours plus tard des suites de ses blessures.

Dans le voisinage du site, 59 personnes sont blessées dont 2 annoncées comme l'étant grièvement. 250 personnes sont évacuées de leur habitation, abritées dans un complexe sportif puis relogées temporairement.

Enfin, environ 140.000 usagers et employés sont temporairement privés de chauffage. En raison de l'interruption de la climatisation, le fonctionnement d'importants systèmes informatiques (dont ceux d'entreprises privées et de services administratifs) est fortement perturbé.

- La chaufferie est ravagée par l'explosion : trois chaudières sont détruites, les autres chaudières et les équipements associés sont endommagés plus ou moins gravement, les bureaux et la salle de contrôle sont effondrés. La majorité des ardoises recouvrant le bâtiment est projeté à terre et des débris de bardage et d'isolants thermiques sont propulsés jusqu'à 200 m à l'extérieur du site. Les électrofiltres sont très endommagés.

Les transformateurs et la zone froid n'ont pas subi de gros dégâts. L'alimentation en fréon a été arrêtée pour limiter le risque de rejet.

Les dégâts matériels s'étendent sur une zone de 3 à 5 km² et sont très importants : une centaine d'immeubles, dont l'Arche de la Défense, et de nombreux véhicules sont endommagés. Environ 600 personnes sont mises temporairement en chômage technique. Les vitres sont brisées dans un rayon de 2 000 m autour de la centrale. Sur la base des dossiers de dommages matériels, l'explosion a semble-t-il eu un effet directionnel NNE avec des surpressions pouvant atteindre respectivement 140 et 50 mbar à 100 et 500 m. Ainsi, 1051 dossiers de dommages matériels sont ouverts suite à l'accident, la moitié pour bris de vitres.

32 étages de la Grande Arche étant endommagés, 3.500 employés d'une administration ont été mis en chômage technique pendant une demie à une journée.

Les mesures enregistrées par des sismographes universitaires de la région permettent d'estimer l'énergie dissipée dans le sol à l'équivalent d'une charge de 50 kg de TNT. En revanche l'onde aérienne est évaluée à l'équivalent d'une charge de l'ordre de quelques tonnes de TNT.

Au total, le coût des dommages matériels s'élève à 83,2 millions d'euros : 57,6 M€ de dommages internes, 25,6 M€ de dommages externes). Les pertes d'exploitation s'élèvent à 52,4 M€.

Selon les résultats de l'enquête, 3750 Nm³ de gaz auraient été relâchés jusqu'à ce que le service du gaz coupe l'alimentation, une demi-heure après l'explosion.

L'origine, Les Causes Et Les Circonstances De L'accident

L'exploitation de chaudières mixtes fonctionnant au gaz ou au charbon entraîne des risques liés aux 2 combustibles. L'accident pourrait avoir résulté d'une explosion de gaz et de poussières de charbon, le comportement des poussières pouvant avoir contribué à la violence des effets constatés. En effet, compte tenu de l'importance de la pression du réseau et de la section de fuite représentée par l'ouverture partielle de l'obturateur, il est possible que la puissance du jet de gaz ait été suffisante pour mettre en suspension des poussières de charbon présentes en abondance dans l'installation.

Le débit de fuite important du gaz aurait aussi participé à l'opacité de l'atmosphère locale ce qui a empêché l'opérateur d'intervenir avec succès sur la vanne manuelle. L'obturateur à l'origine de la fuite est situé dans une zone de dégâts assez faibles, ce qui laisse supposer que :

- La concentration du nuage air-gaz dans cette zone était assez éloignée de la fourchette d'explosibilité en raison de l'extrême richesse en gaz du mélange à proximité immédiate de la fuite.

- La chaudière à charbon en service au moment du sinistre est l'un des points chauds susceptibles d'avoir amorcé l'explosion.

Par ailleurs, la question du bon fonctionnement des manomètres est posée. Ils avaient été vérifiés le 19 janvier 1994 et aucune anomalie n'avait été détectée. Malgré tout, le rapport d'enquête indique qu'ils auraient pu avoir été détériorés par une surpression antérieure à l'accident. De plus, les relevés de pression enregistrés sur un manographe réalisés au poste de détente gaz n'ont pu être retrouvés suite à l'explosion.

Des erreurs organisationnelles et humaines sont évoquées par les experts :

- Décisions et interventions du chef de quart qui ne peuvent être réalisées que par le service de maintenance. Il aurait aussi dû contacter l'ingénieur d'astreinte avant d'entreprendre ces manipulations. De même, bien que cette initiative ait pu éviter l'explosion, la manipulation des vannes du poste de détente du service du gaz était interdite et, en cas d'urgence, les opérateurs de la centrale devaient demander l'intervention du service du gaz.
- L'obturateur n'était pas conçu pour être manipulé sous pression. Il avait été installé pour renforcer l'étanchéité de la vanne papillon qu'il doublait et ne servait qu'aux purges. Il devait donc être fermé avant la mise en pression de la tuyauterie de gaz.
- La vanne papillon aurait été manipulée par le premier conducteur de chaudière sans vérification préalable de l'obturateur qui était resté en position intermédiaire, position dans laquelle il n'est plus étanche car les brides sont légèrement écartées, permettant le passage du gaz de l'intérieur de la canalisation vers l'extérieur.

En effet, pour passer de la position ouverte à fermer de l'obturateur, il faut actionner un levier qui écarte les brides de 4 mm environ ce qui permet de déplacer manuellement la "lunette" dans la position souhaitée (cf. schéma ci-après, étapes de manipulation encadrées en rouge). L'ouverture de la vanne papillon a permis l'arrivée de gaz au niveau de l'obturateur, qui s'est trouvé bloqué dans cette position par l'effet de la pression, et la fuite s'est poursuivie jusqu'à la fermeture du circuit au niveau du poste de détente.



Obturateur en position intermédiaire
Peu après l'explosion



Obturateur en position fermée

Le personnel n'était pas formé à la manipulation des vannes guillotine et papillon.

- Aucun scénario de fuite et d'explosion de gaz n'était évoqué dans l'étude de dangers du site. Les risques liés aux poussières de charbon n'y étaient pas non plus abordés. Les interactions, effets domino ou effets de synergie éventuels entre un accident lié au gaz et la présence de charbon pulvérisé dans les unités n'étaient donc pas analysés.

Enfin, le livret de consignes générales de sécurité, établi par l'exploitant, ne contenait pas de chapitre spécifique aux "installations gaz".

VI-3. Les Suites Données

Un arrêté préfectoral de mesures d'urgences proposé par l'inspection des installations classées prescrit à l'exploitant la mise en sécurité des installations, la destruction et l'élimination des déchets générés et l'interdiction de redémarrage sans dépôt d'un nouveau dossier complet de demande d'autorisation.

Une fois le sinistre maîtrisé, des entreprises spécialisées sont intervenues pour éliminer les gravats et autres matériels endommagés à l'extérieur et présentant un danger pour les personnes intervenant sur le site. Des palissades ont aussi été mises en place pour clôturer le périmètre de la centrale.

Une enquête a été engagée pendant laquelle l'accès aux installations accidentées a été placé sous strict contrôle judiciaire. Une information judiciaire a été ouverte le 1er avril 1994 sur le motif d'homicide et de blessures involontaires et sur celui de destruction involontaire de biens d'autrui par l'effet d'une explosion de la part de la société exploitant la chaufferie en tant que première personne morale, de ses dirigeants, du chef de quart, de son chauffeur et du fournisseur de gaz en tant que seconde personne morale. Le 5 mai 2004, le juge d'instruction de la Cour d'appel de Versailles a conclu à un non-lieu.

Deux chaudières mixtes fioul/gaz d'une puissance totale de 19,55 MW et un dépôt de fioul de moins de 100 m³ ont été installées provisoirement sur le site afin de continuer à

fournir en chaleur les usagers prioritaires de la zone. A plus long terme, la centrale thermique a été remplacée par une nouvelle chaufferie au fioul lourd de 214 MW.

Des dispositions ont été prises par l'administration afin de répondre aux éventuelles inquiétudes de riverains d'installations similaires suscitées par cet accident.

VI-4. Les Enseignements Tirés

Les risques de fuite et d'explosion de gaz dans l'établissement étaient insuffisamment pris en compte. L'analyse de la sûreté des installations était trop lacunaire pour déboucher sur l'identification des moyens et mesures de prévention réalistes à mettre en œuvre. Les systèmes ou équipements suivants permettent d'éviter ce type d'accident ou d'en limiter les conséquences :

- Des organes de sectionnement rapides, commandables localement et à distance (depuis le poste de contrôle) disposés sur chaque piquage d'alimentation des chaudières afin d'isoler chacune d'elles en situation d'urgence dans des délais appropriés, et sans devoir nécessairement recourir à l'action locale d'un opérateur.
- Un système de détection de gaz dans l'atmosphère de l'établissement déclenchant la fermeture des organes de sectionnement et avec alarme locale ou retransmise en salle de contrôle. Ainsi, une fuite modérée, même insuffisante pour déclencher les organes de sécurité de la station de détente du gaz, aurait pu être correctement détectée.
- La commande locale et à distance (télécommande depuis le poste de contrôle) d'un dispositif de sectionnement d'urgence à sécurité positive immédiatement à l'entrée de la canalisation de gaz dans le bâtiment afin d'interrompre l'alimentation générale du site dans le cas d'une fuite sur le réseau général ;
- Si nécessaire, une vanne de barrage motorisée complémentaire sur le réseau d'alimentation général des installations, située à l'extérieur de l'unité mais à proximité immédiate du bâtiment, à l'attention notamment des personnels de secours internes et externes.
- Un dispositif pour condamner physiquement l'organe de manœuvre des obturateurs de ce type afin d'en interdire l'usage à des personnes non habilitées.
- Des postes de détente supplémentaires munis d'équipements de sécurité télécommandés à sécurité positive, affectés à chaque chaudière et situés à l'extérieur, mais à proximité immédiate du bâtiment. Il est en effet préférable de distribuer du gaz à l'intérieur des locaux industriels sous la pression la plus basse possible garantissant le fonctionnement des installations. Cette installation complémentaire permet la détection des débits anormaux individuels non décelés par le poste général, la limitation des quantités de gaz relâchées en cas de fuite, et l'isolement d'urgence télécommandé, général et individualisé par chaudière.

Du point de vue organisationnel, plusieurs mesures peuvent être prises pour limiter ce risque :

- Les vannes mises en place doivent être adaptées au produit et leurs contraintes d'utilisation doivent être prises en compte (par ex : les risques encourus avec un obturateur à guillotine s'il est manipulé sous pression par erreur).
- Le risque d'explosion de poussières de charbon, les effets domino et de synergie à craindre entre une fuite et/ou une déflagration de gaz d'une part et d'un envol de poussières inflammables de charbon pulvérisé d'autre part, doivent être pris en compte avec des mesures appropriées et notamment le nettoyage des poussières de charbon dans les locaux de la chaufferie.
- Les équipes d'exploitation doivent être sensibilisées à la spécificité et aux risques des opérations revenant exclusivement au service de maintenance pour qu'elles n'outrepassent pas cette consigne essentielle de sécurité même si elles ont une bonne connaissance des installations.
- Le livret de consignes générales de sécurité, établi par l'exploitant, doit contenir un chapitre spécifique aux "installations gaz".
- Les instruments de mesure régulièrement sollicités et fournissant des indications essentielles sur le fonctionnement des installations doivent être contrôlés régulièrement.
- Les équipes de la chaufferie doivent avoir la possibilité d'actionner en salle de contrôle un arrêt d'urgence ou un système d'interruption adapté de l'alimentation en gaz par le poste de détente. Cette possibilité doit se faire dans le cadre de procédures strictement définies entre l'exploitant de la chaufferie et le service de distribution de gaz.
- Les opérations nécessitant une vigilance accrue et des mesures de sécurité renforcées, comme le démarrage de la chaudière, alors qu'un dysfonctionnement avait été repéré, doivent être réalisées après une analyse suffisante et par du personnel qualifié et en nombre adapté (éviter les équipes de nuit à effectif réduit par exemple).
- Le choix de l'implantation de telles installations nécessite de prendre en considération les risques liés aux scénarios d'accidents possibles et en particulier l'intensité des effets possibles sur les personnes susceptibles d'être exposées dans le voisinage.

VI-5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cité quelque exemple des explosions des chaudières dans le monde, le déroulement de l'accident, les causes qui conduisent à l'accident et les conséquences qui résultent.

Alors, Pour éviter l'explosion il faut suivre les enseignements et les différentes précautions pour protéger le GV.

CHAPITRE VII

Risques Liés à L'exploitation

Chapitre VII : Risques Liés à L'exploitation

VII-1. Introduction

La corrosion dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable. L'industrie est un utilisateur de premier plan. Les qualités nécessaires dans l'industrie sont variées et correspondant à des emplois de valeur ajoutée inégale. Si les petites et moyennes entreprises peuvent souvent se satisfaire d'eau potable ou d'un forage, la taille et la situation des grandes usines les conduisent à utiliser des sources moins coûteuses pouvant aller jusqu'à l'eau de mer.

En méditerranée, les besoins en eau conséquence dans le future accuse une croissance effective.

Pour couvrir ces demandes, l'industrie se tourne d'une manière générale, vers les eaux de surfaces moins coûteuses. Les utilisations de l'eau dans l'industrie sont extrêmement variées et pour suites les conditions de qualité imposées à l'eau oscillent dans d'assez larges limites.

Parmi les principales utilisations de l'eau, on cite le refroidissement, la desserte industrielle et commerciale, la production d'énergie et aussi l'alimentation des chaudières.

Dans les chaudières nous sommes obligés de se poser la question, quelles sont les caractéristiques de cette eau ?

L'eau alimentaire des chaudières peut contenir des impuretés concentrées à un seuil raisonnable, sans dépasser les limites de tolérance.

Il est stipulé que l'eau doit, autant que possible, être exemptée de matières en suspension, avoir un résidu sec et une faible teneur en éléments tels que l'oxygène dissous, le fer, le cuivre, la silice....

VII-2. Influence De L'eau D'alimentation Et Du Combustion

VII-2-1. Influence De L'eau D'alimentation De La Chaudière

VI-2-1-1. Contrôle Des Propriétés Chimiques D'eau

La raison majeure des défaillances des pièces sous pression de la chaudière est la corrosion par l'eau /vapeur et la formation de tartre .le maintien des propriétés chimiques de l'eau et le traitement incorrectes ont pour résultat la réduction de la durée de service, la fiabilité, le rendement et la sécurité. Par conséquent, il est vital de contrôler les caractéristiques chimiques de l'eau /vapeur de la chaudière afin d'éviter tout risque de

détérioration des chaudières, des turbines et autre équipement par la corrosion, l'encrassement des surfaces de transfert de chaleur, ainsi le mélange de l'eau et de la vapeur.

VII-2-1-2. Propriétés Chimiques Requises Pour L'eau De Chaudière

Les propriétés chimiques de l'eau d'alimentation de chaudière et de l'eau de chaudière à maintenir pendant le service sont indiquées dans le tableau suivant, en supposant que le traitement au phosphate est réalisé.

Note : les valeurs dans le tableau ci-dessous sont applicables à une chaudière à tube d'eau (eau en circulant) et la classe de pression de service maximum est 75 – 100 bars, basés sur l'emploi d'eau déminéralisée utilisée comme eau d'appoint.

Propriétés chimique de l'eau d'alimentation de chaudière à l'entrée de l'économiseur

5

Ph a 25 deg C	8,5 – 9,5(*3)
Dureté (mg CaCO ₃ /litre)	0(ND)
Huile et graisse (mg /litre)(*1)	De préférence une valeur inférieure
Oxygène dissous (mg O ₂ /litre)	<0,007(*4)
Fer (mg Fe /litre)	<0,03
Cuivre (mg Cu /Litre)	<0,02
Hydrazine (mg N ₂ H ₄ /Litre) (*2)	>0,01
Conductivité (10 ⁻⁶ S/cm à 25 deg C)	S/O

Propriétés chimique de l'eau de chaudière au ballon de vapeur :

Ph a 25 deg C	9,0 à 10,0
Conductivité (10 ⁻⁶ S/cm a 25 deg C)	<150
Ion chlorure (mg Cl/litre)	<10
Ion phosphate (mg PO ₄ ³⁻ /Litre)	2-6
Silice (mg SiO ₂ /litre)	>2

VII-2-1-3. Fréquence Des Analyses

Pour garantir la fiabilité de la chaudière, les propriétés chimiques mentionnées dans le paragraphe ci-dessous seront analysées en laboratoire périodiquement. Tout état anormal de l'eau le cas échéant peut être observé en première lieu par la conductivité cation et le Ph de l'eau d'alimentation et/ou de l'eau de chaudière et pour cette raison un analyseur en service constant sera équipé d'un système de contrôle de l'alarme.

⁵ (*1)Extrait d'hexane ou tétrachlorure de carbone.

(*2) applicable quand l'hydrazine est utilisée pour l'eau d'alimentation comme absorbeur d'oxygène. L'opérateur injecté de l'hydrazine ou un autre absorbeur d'oxygène dans le système d'eau d'alimentation.

(*3) Maintenir de préférence a moins de 8,5-9,2 pour les systèmes contenant des tubes en cuivre et de préférence a plus de 9,3 – 9,5 pour tous les réchauffeurs en métal ferreux.

(*4) la chaudière peut ne pas être conforme aux exigences pendant le démarrage et la mise à l'arrêt du fait de la nature transitoire et négligeable de l'opération (Quand le dégazeur n'est pas encore en service).

La fréquence minimum recommandée pour l'analyseur des propriétés chimique de l'eau de chaudière en laboratoire est indiquée ci-dessous a titre exemple

Eau d'alimentation de chaudière	pH	Une fois par jour (*1)
	Dureté	Comme requis
	Huile et graisse	Comme requis
	Oxygène dissous	Une fois par semaine
	Fer	Une fois toutes les deux semaines
	Cuivre	Une fois toutes les deux semaines
	Hydrazine résiduelle	Une fois par jour (*2)
	Conductivité cation	Une fois par jour (*1)
	Silice	Comme requis
Eau de chaudière	PH	Une fois par jour (*1)
	Conductivité	Une fois par jour (*1)
	Chlorure	Une fois par semaine (*3)
	Phosphate	Une fois par jour (*2)
	Silice	Une fois par jour (*1)

6

VII-2-1-4. Problèmes Causés Par L'eau

VII-2-1-4-1. La Corrosion

Elle est causée en raison de l'aération permanente de l'eau ainsi saturée en oxygène, de la qualité de l'eau disponible et des micro-organismes [52].

La corrosion est le retour d'un métal à sa forme de minéral. Le fer, par exemple, retourne sous forme d'oxyde de fer sous l'effet de la corrosion. Cependant, le procédé de corrosion est une réaction électrochimique complexe et prend diverses formes.

La corrosion peut produire une attaque générale sur une large surface ou peut résulter une attaque très localisée. La corrosion est un problème pertinent causée par l'eau dans les chaudières. La corrosion peut avoir énormément d'origine et la nature différentes dû à l'action de l'oxygène dissous, elle peut résulter d'hétérogénéités à la surface du métal ou au fer directement attaque par l'eau.

⁶ (*1) Il est recommandé d'effectuer ces analyses en laboratoire même si l'analyseur en ligne permet de contrôler ces propriétés.

(*2) pour contrôler avec précision le taux d'injection de produit chimique, il est recommandé d'analyser au moins une fois par jour même si l'analyseur en ligne permet de contrôler ces propriétés. Il est également recommandé de prendre un échantillon de l'eau de chaudière à une pression de vapeur plus élevée, par exemple plus de 80 % de la pression nominale, pour confirmer la teneur en phosphate.

(* 3) Requis dans le cas où la conductivité cation de l'eau d'alimentation montre brusquement ce qui laisse supposer

- l'entrée de résine cationique de l'appareil de mesure de conductivité ne peut pas échanger les ions du fait de saturation.

- Fuite d'eau de mer au condenseur.

- Défaillance d'un équipement de système d'alimentation.

a) Types de corrosion :

- **Corrosion uniforme** : se caractérise par une attaque de toute la surface de l'échantillon exposé au milieu.
- **Corrosion caverneuse** : due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant une pile électrochimique.
- **Corrosion par piqûres** : produite par certains anions, notamment les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince.
- **Corrosion sélective** : oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.
- **Corrosion bactérienne** : cette forme de l'attaque se reconnaît à certaines caractéristiques, selon que les micro-organismes agissent directement sur le procédé de corrosion ou qu'ils participent indirectement, par leur métabolisme, à la détérioration [52].

VII-2-1-4-2. L'entartrage

L'entartrage résulte de la précipitation cristalline directement sur les surfaces métalliques avec formation d'incrustations adhérentes ce qu'on appelle le tartre [53].

Les principaux paramètres contrôlant la précipitation de ces tartres sont généralement la température, dont l'élévation diminue la solubilité des sels concernés, ainsi la concentration en eau. Ce phénomène concerne les sels dissous dans l'eau principalement :

- Carbonate de calcium ;
- Hydroxyde de magnésium ;
- Sulfate de calcium.

La déposition des couches de tartres sur la surface du métal diminue le coefficient de transfert de chaleur et peut conduire à l'éclatement des tubes sous l'effet du point chaud [54].

VII-2-1-4-3. L'encrassement Biologique

Les algues, les champignons et les bactéries filamenteuses ont la propriété de piéger toutes les matières minérales en suspension dans l'eau recirculé et de former ainsi des magmas gélatineux très volumineux qui adhèrent aux surfaces et entraînent ainsi une perte de transfert de chaleur et une diminution du débit d'eau. Car un circuit de refroidissement constitue un milieu privilégié pour le développement des organismes vivants. On y trouve air, chaleur et lumière, qui peuvent générer dans des conditions favorables pour leur développement [55].

Afin d'éviter tous ces problèmes, il est nécessaire de conditionner les eaux destinées à l'utilisation avec des additifs chimiques spécifiques, généralement par des pompes doseuse dans les circuits.

Tout métal a une tendance à revenir à son état où se trouve dans la nature sous forme d'oxyde, sulfates, carbonates, etc. Les réactions anodiques et cathodiques se déroulent principalement en présence d'oxygène qui influe directement sur la vitesse de corrosion

Le pH est aussi un facteur déterminant, il entre dans le calcul de l'indice de RYZNAR (IR) qui reste la meilleure approche pour déterminer le caractère d'une eau.

Cet indice est très utilisé dans les études de conditionnement sur les eaux bicarbonatées calciques.

Il permet de définir empiriquement la tendance à la corrosion ou à l'entartrage d'une eau aérée, sa définition est comme ci-joint :

$$IR = 2pH_s - pH \text{ réel}$$

Où :

- pH_s est le pH théorique de saturation, calculé d'après le tableau de TILLMANS, et il est en fonction de :
 - Du CO_2 semi combiné ;
 - Le titre alcalimétrique complet (TAC) ;
 - pH réel est mesuré à la température considérée.

Tableau 9 : Tendance de l'eau suivant

Les valeurs de l'indice de RYZNAR	Le caractère de l'eau
$IR < 3.7$	Très entartant
$3.7 < IR < 6.4$	Moyennement entartant
$6.4 < IR < 6.65$	Légèrement entartant
$IR = 6.65$	A l'équilibre
$6.65 < IR < 6.9$	Légèrement corrosif
$6.9 < IR < 8.7$	Moyennement corrosif
$IR > 8.7$	Très corrosif

VII-2-1-4-4. Moussage Et Primage

a) Moussage :

Le moussage sont les bulles ou la mousse qui sont créés à la surface de l'eau des chaudières et sortent avec la vapeur, et sont causées par la forte concentration en solide dans l'eau des chaudières. Cependant, on ne croit généralement que les surfaces spécifiques telles que les semences alcalines, les huiles ; les corps gras, les graisses, certains types de matière organique et les solides suspendus sont particulièrement favorables à la formation de moussage. En théorie, les solides en suspension se rassemblent sur un film à la surface

entourant la bulle de vapeur et la rendent plus dure. Ainsi, la bulle de vapeur résiste à la cassure et s'accumule é mousse. Plus les particules sont fines, meilleur est leur accumulation en bulle [52].

b) Primage :

Le primage est le transfert de grandes quantités en gouttelettes d'eau dans la vapeur, qui baisse le rendement énergétique de la vapeur et entraîne des dépôts des cristaux de sels sur les surchauffeurs et dans les turbines. Le primage peut être causé par une mauvaise construction de la chaudière, des régimes excessifs, ou des fluctuations soudaines en demande de vapeur. Le primage est parfois aggravé par les impuretés dans l'eau des chaudières [53].

VII-2-1-4-5. Quelques Contaminants De L'eau

On cite quelque est contaminants de l'eau d'alimentation des chaudières, leurs effets et les traitements possibles :

- la température, elle provoque, notamment quand elle s'élève une meilleure diffusion permet un meilleur contact avec l'oxygène.
- Dioxyde de carbone, élément corrosif, forme l'acide carbonique en condensat, s'élimine par désaération.
- Oxygène ; il favorise la corrosion notamment par piqûres des tubes de la chaudière. Pour éliminer ce gaz on utilise la désaération ou le traitement chimique (par exemple le sulfite de sodium, l'hydrazine).
- Dureté ; elle forme un dépôt de calcaire dans la chaudière, empêche le transfert thermique, et diminue l'efficacité thermique. L'élimination se fait par adoucissement en plus d'un traitement interne dans la chaudière.
- Chlorures ; ils provoquent le primage ; des dépôts de sels dans les surchauffeurs... on applique le dé ionisation pour éliminer les chlorures.
- Le cuivre ; il peut provoquer des corrosions dangereuses. Il est souvent apporté par des condensats mal conditionnés qui ont été en contact avec des appareils de cuivre ou alliage cuivreux. Il arrive dans la chaudière en état d'oxyde de cuivre plus o moins soluble et est réduit à l'état métal, donc insoluble par le milieu réducteur qui règne dans l'eau de chaudière. Il se dépose sur les tubes ou il forme des couples galvaniques très dangereux étant donné leur forte localisation [54].

VII-2-1-5. Les Facteurs Qui Contribuent Dans Le Phénomène De Corrosion

Dans le phénomène de corrosion de nombreux facteurs peuvent être mise en causes nous examinons successivement l'action des éléments suivants :

- Influence de la température ;
- Influence de l'oxygène dissous ;

- Influence de pH ;
- Influence de la vitesse d'écoulement d'eau.

VII-2-1-5-1. Influence De La Température

La corrosion à haute température se produit en absence d'électrolytes aqueux lorsque les phénomènes de diffusion dans les solides deviennent importants, typiquement à des températures supérieures à 300°C. Elle joue un rôle déterminant dans plusieurs domaines.

Dans la littérature le terme « corrosion humide » désigne par fois la corrosion à haute température, ceci par apposition à la « corrosion humide » qui représente la corrosion en présence d'un électrolyte aqueux.

A haute température, certains gaz que l'on considère normalement comme inoffensifs, peuvent réagir avec les métaux ou avec des phases nom métalliques (par exemple des carbures présentes dans un alliage).

Il s'agit principalement des gaz suivants :

L'oxygène

Quand la corrosion est contrôlée par la diffusion de l'oxygène, la vitesse de corrosion pour la concentration en oxygène donnée, double pour chaque augmentation de 30°C, dans un récipient ouvert, laissant l'oxygène s'échapper, la vitesse de corrosion augmente avec la température jusqu'à 80°C et tombe ensuite à une très faible valeur vers le point d'ébullition.

Dans le système fermé l'oxygène ne peut pas s'échapper et la vitesse de corrosion augmente avec la température.

Vapeur d'eau

A des températures élevées, la vapeur peut se décomposer pour donner naissance à l'hydrogène et à l'oxygène libre ce qui provoquent le dépôt sur les métaux.

Gaz carbonique

Les gaz de combustion contiennent généralement peu de CO, favorisant ainsi la réaction du métal avec le gaz carbonique, en revanche dans un haut fourneau qui renferme de l'oxyde de fer et du coke, la pression partielle du CO est élevée.

L'oxyde a donc corrodé un métal ou servir à son élaboration.

La dissolution de CO₂ dans l'eau, il se transforme en acide carbonique qui à son tour avec les ions bicarbonate, carbonate

VII-2-1-5-2. Influence De L'oxygène Dissous

Eau saturée d'air à température ambiante, dans l'eau neutre, l'oxygène dissous est provoqué une corrosion appréciable de fer.

VII-2-1-5-3. Influence Du PH

Dans le domaine de pH entre 4 et 10 la vitesse de corrosion est indépendante de pH (elle dépend uniquement de la vitesse à laquelle l'oxygène diffuse le métal).

VII-2-1-5-4. Influence De La Vitesse D'écoulement D'eau

En principe dans l'eau agitée, la vitesse de corrosion augmente jusqu'à la formation des couches protectrices diminuent le taux de corrosion. Si de telles sortes, que des états de surface hétérogènes se forment et une corrosion localisée ou bien une corrosion par érosion peuvent apparaître.

VII-2-2. Influence De La Combustion**VII-2-2-1. Exploitation (La Combustion)**

Les appareils de contrôle et de sécurité équipant la chaudière et ses auxiliaires sont définis pour un fonctionnement en mode Surveillance Permanente depuis un local voisin selon la définition de la norme NFE 32020-1.

Ce mode d'exploitation nécessite la présence d'un opérateur près de la chaudière au moment du démarrage et en cas d'arrêt sur incident ; il n'y a pas de séquences programmées pour les démarrages et les arrêts.

➤ Construction et architecture :

Le brûleur est constitué des composants suivants :

1. Dispositif d'alimentation en air à double flux avec deux chambres.
2. Platine avant- registre à air avec un registre à air à réglage manuel monté.
3. Platine avant- dispositif d'alimentation en air.
4. Platine centrale avec raccordement des anneaux de distribution du gaz, tuyau pour le contrôle des flammes, trou de regard et tuyau de support pour écran d'allumage.
5. Anneau de distribution de gaz avec 8 lances à gaz pivotantes et extensibles.
6. Allumeurs électriques à gaz.
7. Pièce intercalaire.

8. Tuyau de support pour écran d'allumage avec écran d'allumage en rotation.
9. Contrôleur de flammes compact.

VII-2-2-2. Mise En Service Des Brûleurs Et Fonctionnement

La mise en service des brûleurs est réalisée suivant les instructions et les conditions ci-après:

a) Brûleurs

- Contrôler si les brûleurs sont montés correctement et si toutes les connexions et raccords aux parties correspondantes des brûleurs sont correctement effectués.
- Contrôleur de flammes monté et câble électrique raccordé.
- Raccords d'air de refroidissement pour contrôleur de flammes monté.
- Robinet à boisseau sphérique ouvert au tuyau optique.
- Allumeur monté, câble électrique pour transformateur et contrôleur d'ionisation raccordé.
- Chambres à air de gaz d'allumage et de refroidissement montées.
- Commande pneumatique et interrupteur de fin de course par volet d'air secondaire monté et ajusté.
- Robinets à boisseau sphérique de la commande pneumatique d'approvisionnement en air de commande ouvert.

b) Combustion de gaz naturel

Le gaz à brûler passe dans l'anneau de distribution du gaz du brûleur par un raccord avec une quantité maximale de 6988 Nm³/h, une pression maximale de 2,0 bars. De là, le gaz se répand vers les 8 lances à gaz réparties uniformément sur la périphérie.

Les tuyères à gaz qui sont vissées sur les lances à gaz sont obliquées sous un angle. Sur ce biseau, il y a les trous des tuyères dont les dimensions dépendent de la quantité de gaz qui doit être brûlée et de la pression de gaz qui est à disposition. Le gaz émergeant à grande vitesse rencontre l'air de combustion déplacé par l'écran d'allumage en rotation. De cette façon, un mélange est créé qui est facile à allumer. Ce mélange est allumé par un allumeur électrique à gaz.

VII-2-2-3. Approvisionnement En Air De Combustion Des Brûleurs

Le réglage de la quantité d'air de combustion ainsi que le mesurage sont effectués en commun pour les deux brûleurs. L'air de combustion est partagé en air primaire et air secondaire dans le dispositif d'alimentation en air. Ainsi, deux chambres séparées sont disposées à l'intérieur du dispositif d'alimentation en air. La chambre pour l'air primaire est

munie d'un volet d'incidence manuel pour permettre une répartition optimale des quantités d'air de combustion [56].

a) Air primaire

L'air primaire est conduit sans rotation dans le foyer par le tuyau d'air de chemise.

L'écran d'allumage en rotation provoque une certaine rotation afin de stabiliser la flamme.

b) Air secondaire

L'air complémentaire entre encore dans le dispositif d'alimentation en air par un raccord.

Ensuite, il traverse le registre à air qui se compose de pales directrices courbées. Puis, il passe dans le foyer par le passage annulaire entre le tube à air central et la pièce intercalaire. Suivant l'incidence des pales directrices, la rotation d'air est plus au moins forte. Les pales directrices sont ajustées à l'aide d'un levier actionné à la main et qui remue toutes les pales uniformément.

De cette manière, les bords de la flamme sont refroidis, ce qui a pour conséquence une réduction de NOX. Plus le registre est fermé, plus l'air tourne et plus la flamme se raccourcit. Ainsi, il est possible dans certaines limites d'influencer la forme de la flamme par la rotation d'air. Le réglage du registre à air s'effectue pendant la mise en service et reste alors inaltéré.

c) Allumeur

L'allumage du brûleur s'effectue par un allumeur électrique à gaz qui utilise du gaz naturel comme gaz d'allumage. La flamme de l'allumeur est contrôlée par une électrode d'ionisation montée à l'allumeur qui est interrogée par un relais de flammes.

d) Contrôle flamme du brûleur principal

Chaque brûleur est surveillé par son propre contrôleur de flammes compact. Dans le cas où le contrôleur de flammes n'émet aucun signal de flammes, le brûleur concerné s'arrête sur le réglage du brûleur.

e) Approvisionnement en air de commande

L'air de commande est nécessaire à la manœuvre des soupapes d'arrêt d'urgence pneumatiques et des commandes pneumatiques pour la soupape de réglage du gaz et les volets d'air de combustion.

L'approvisionnement en air de commande pour l'installation de chauffe résulte du système d'air de commande. La conduite d'alimentation peut être arrêtée à l'aide d'un robinet à boisseau sphérique.

De la conduite d'alimentation, les câbles de dérivation dérivent à la soupape de réglage de gaz naturel, à la soupape pneumatique pour la décharge de pression de gaz naturel, à la

commande pneumatique du régulateur de rotation de la soufflante d'air de combustion, aux combinaisons d'arrêt d'urgence de gaz naturel spécifiques aux brûleurs et aux commandes pour les volets d'air de combustion. Les câbles de dérivation, pour les récepteurs pneumatiques, sont munis de robinets en boisseau sphérique pour l'arrêt.

La pression d'air de commande minimale est contrôlée par un manostat qui arrête l'installation de chauffe de la chaudière quand la pression exigée est inférieure à 3,0 bars.

f) Démarrage depuis l'état froid

La croissance de la pression et de la température doit se faire graduellement, à la fois pour éviter des disparités internes de température, génératrices de contraintes, et pour faire face au problème du gonflement qui apparaît avec la création des premières bulles de vapeur.

Au premier démarrage (mise en marche après un long temps d'arrêt) la température de la chaudière est inférieure à 100°C, celle-ci est mise en communication avec l'atmosphère (vannes d'évents ouvertes) ; la circulation interne et l'homogénéisation des températures sont assurées en circulation naturelle par la différence de densité des colonnes d'eau plus ou moins chauffées, ce qui limite à 50/60 °C/h la vitesse d'échauffement admissible. Avec la circulation assistée par pompe, cette vitesse peut être doublée.

Lorsqu'une température de 100°C est atteinte sous 1 bar absolu de pression atmosphérique, l'apparition des bulles de vapeur provoque une augmentation très rapide du volume occupé par le fluide chauffé dans les tubes et chasse l'eau vers le réservoir : c'est le phénomène du gonflement traité dont ce que l'on met un certain temps à maîtriser (arrêt de l'alimentation, purges, etc.). Ce n'est que vers 4 ou 5 bars que le système revient à peu près à l'équilibre et que l'on peut fermer progressivement les événements, l'air antérieurement contenu en chaudière ayant été chassé pendant cette période.

g) Démarrage à chaud

Ce type de démarrage peut avoir lieu après un arrêt de courte durée (un quart d'heure, par exemple), dans ce cas, la procédure la plus directe consiste à reprendre très rapidement la charge, en profitant de l'inertie thermique des tuyauteries de liaison pour ne pas soumettre la turbine (ou un autre organisme connecté à la chaudière) à un coup de froid.

Après un arrêt de plus longue durée, huit heures par exemple, la turbine n'a pratiquement pas perdu de température alors que la chaudière a perdu une partie de sa pression et, repartant de zéro, n'obtiendra pas la température de surchauffe. Il est indispensable alors d'assurer un minimum de débit au moyen d'un by-pass pour avoir suffisamment de feu et faire remonter l'ensemble des températures.

h) La combustion

La combustion dans la chaudière, se produit grâce à des brûleurs dans un foyer ; on introduisant de l'oxygène nécessaire à cette combustion sous forme d'air. La combustion par les brûleurs dans le foyer est réalisée par un mélange d'air comburant et d'un combustible.

Les produits de la combustion sortent à haute température du foyer sous forme de fumées et passent à travers des échangeurs qui transfèrent leur chaleur à de la vapeur saturée pour la surchauffer dans des surchauffeurs et des resurchauffeurs et progressivement, dans la mesure où la température des fumées diminue, vers des faisceaux vaporisateurs et vers l'économiseur, pour les rejetées dans l'atmosphère par une cheminée.

Le gaz naturel est un gaz incolore, inodore, et inflammable quand on l'extrait du sous-sol.

Afin de pouvoir le détecter en cas de fuite, on lui rajoute une odeur caractéristique. C'est le combustible fossile le plus « propre ». Sa combustion ne génère ni poussière, ni suie, ni fumée.

Elle dégage du dioxyde de carbone CO₂, de la vapeur d'eau, un peu d'oxyde d'azote Nox et très peu de dioxyde de soufre SO₂.

Pour une production d'énergie équivalente, il dégage :

- Deux fois moins d'oxyde d'azote que le fioul et le charbon ;
- 30% de moins de dioxyde de carbone que le fioul lourd (fioul non catalysé) ;
- 45% de moins de dioxyde de carbone que le charbon.

VII-2-2-4. Extinction Des Bruleurs Par Excès D'air

L'extinction totale des bruleurs par « soufflage » a pu se produire lors de la montée en charge du groupe turbo-alternateur de 5 à 13 MW du a un déclenchement de la ligne sonalgaz d'où le groupe turbo générateur doit équilibrer cette charge.

A ce moment une baisse de pression gaz s'est produite avec un débit d'air excessif.

D'autre part, une augmentation de pression du gaz avec une diminution de la pression de la vapeur saturée.

L'extinction des bruleurs avec maintien en service du groupe et de la chaudière peut expliquer la chute de pression vs et la montée en pression du gaz.

(Augmentation de la demande en combustible) simultanément avant l'explosion.

L'apparition de l'alarme « manque flamme » et niveau haut ballon supérieur chaudière tendent à confirmer l'extinction réelle des brulures.

D'autre part du fait que la chaudière n'a pas déclenché automatiquement, le gaz combustible a continué à être introduit dans le foyer dont certaines parties sont portées à des températures élevées.

Les conditions d'une combustion spontanée sont alors réunies à cause de la défaillance du système CNTER se faut en flamme.

Par conséquent, l'hypothèse de l'extinction des flammes par soufflage la plus possible.

VII-2-2-5. Défaillance Du Système De Sécurité De La Chaudière

Le système ou la séquence de déclenchement par la sécurité « manque de flamme » est remis en cause du fait que le voyant autorisation allumage est restée en service.

Les essais montrent que la séquence « manque flamme » actionne instantanément le relais de déclenchement général chaudière il reste cependant 2 possibilités pour le maintien du relais de déclenchement excité

1) Relais de séquence de démarrage du 1er bruleur temporisé a deux minutes pourrait ne pas avoir fonctionné au moment de la détection « manque flamme ».

2) Relais principale pourrait présenter une défaillance partielle au niveau du contact (blocage momentanée) du contact actionnant le relais de déclenchement.

VII-3. Prévention De Leurs Effets

VII-3-1. Lutte Contre Les Problèmes Causés Par L'eau

a) Protection contre la corrosion :

Les méthodes de lutte contre la corrosion, les plus utilisées sont :

- La protection active : protection cathodique et anodique ;
- L'emploi d'inhibiteur de corrosion ;
- La protection passive par revêtement ;
- La protection par modification du milieu.

b) Protection contre l'entartrage

Les solutions les couramment appliqués sont :

- Décarbonatations à la chaux ;
- Décarbonatations sur les résines carboxyliques ;
- Injection des acides (lessivage) ;
- Séquestration par poly phosphate ;
- Adoucissement sur résines échangeuses d'ions.

c) Protection contre le moussage et le primage

La mesure la plus courante pour empêcher le moussage et le primage est de maintenir la concentration en solides dans l'eau de chaudières à des niveaux raisonnablement faibles. En évitant de hautes teneurs dans l'eau, des charges excessives dans les chaudières et les changements soudains de charge on aide aussi à éviter ces problèmes [52].

Très souvent, les condensats contaminés retournent dans les systèmes de chaudières entraînant des problèmes de transfert. Dans ce cas, le condensat devrait être temporairement rejeté jusqu'à la source de contamination soit trouvée et éliminée. L'utilisation d'agents chimiques anti-moussage et anti-primage, mélanges d'agents tensio-actifs, élimine la mousse,

empêche le transfert de fines particules dans la vapeur, et peut être très efficace en empêchant le primage dû aux hautes concentrations d'impuretés dans l'eau de chaudière.

Les chaudières sont exigeantes pour leur l'eau d'approvisionnement. Comme de la vapeur est produite la concentration en sels dissous augmente et forme des dépôts à l'intérieur de la chaudière. Ceci conduit à des faibles transferts de chaleur et réduit l'efficacité de celle-ci. Les gaz dissous tel que l'oxygène et le dioxyde de carbone réagiront avec les métaux dans les systèmes de chaudière et entraîneront une corrosion.

Afin de protéger la chaudière de ces contaminants, ils devraient être contrôlés ou éliminés, grâce à des traitements internes ou externes.

Le traitement externe est la réduction ou l'élimination des impuretés de l'eau hors de la chaudière. En générale, le traitement externe est utilisé quand la quantité de telles ou telles impuretés de l'eau d'alimentation est trop élevée pour être tolérée par le système de la chaudière question.

Le traitement interne est le traitement des impuretés à l'intérieur du système de la chaudière. Les réactions se produisent dans les lignes d'alimentation ou dans la chaudière. Ce traitement peut être utilisé seul ou avec un traitement externe. Son but est de réagir correctement la dureté de l'eau d'alimentation, d'éliminer les boues, de réduire l'oxygène et d'empêcher le moussage de l'eau des chaudières.

VII-3-2. Le Principe De Conditionnement De L'eau De Chaudière

Le principe de conditionnement de l'eau de chaudière est simple [53] :

- Toute dureté apportée par l'eau d'alimentation doit être soit précipité dans la chaudière sous forme non entartrant, soit chélate ;
- L'eau de la chaudière doit contenir un excès de réactif afin de précipiter une quantité supplémentaire de dureté qui pourrait arriver accidentellement.
- Des dispositions sont à prendre pour éviter les dépôts de silice.

Pour ce faire on a ces principaux réactifs de conditionnement :

- Les phosphates : utilisés en conditionnement sont de 2 types les mono et les poly phosphates. à partir de 40 bars environ, on maintient habituellement le rapport : $PO_4NA_3 / NaOH$ supérieur à 1.

L'action protectrices du phosphate tri sodique est due à une phosphatation superficielle qui passive le fer. L'excès de phosphate trisomique est indispensable pour prévenir les corrosions dues à la soude libre que pour empêcher l'entartrage.

- Les séquestrant ou chélatants : les plus connus sont les sels de sodium des acides nitrilotriacétique.

- Les dispersants : il s'agit d'une catégorie de produit agissant davantage sur la boue formée dans la chaudière que sur la précipitation de la dureté. Les plus anciennement utilisés sont les tanins, les produits naturels, les lignosulfonates, les polymères synthétiques, etc.
- Les agents anti-moussage et anti-primage : les facteurs permettant d'éviter ou éliminer le primage ne correspondent pas, dans le cas le plus général, à l'introduction d'un réactif de conditionnement.

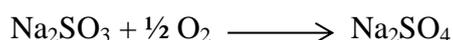
Les seuls réactifs de conditionnement qui puissent être introduits pour lutter contre le primage sont des dispersants et l'anti mousse : alcool à longues chaînes, polyols, polyamides, silicones, etc. L'emploi de ces produits est généralement utilisé pour les chaudières à basse et à moyenne pression ; leur dose d'emploi est de quelques milligrammes par litre d'eau. Dans le cas de la chaudière à très haute pression, certaines spécifications imposent comme traitements de base la distillation ou la déminéralisation.

- Dégazeur thermique : délivrant une eau à quelques grammes d'oxygène par litre. A basse pression, ce traitement est souvent suffisant, mais quand la pression en chaudières s'élève, la solubilité de l'oxygène augmente et, à partir d'une eau d'appoint dégazée on peut retrouver en chaudière une centaine de grammes d'oxygène.

C'est pourquoi on ajoute à l'eau dégazée un réducteur chimique qui détruit les dernières traces d'oxygène dissous et constitue dans l'eau de chaudière une réserve de produit réducteur capable de parer aux aléas de fonctionnement. Des produits peuvent être utilisés :

- Sulfite de sodium

Il agit suivant la réaction :



Aux températures qui règnent en chaudière, la vitesse de réaction du sulfite est suffisante, même sans catalyseur.

- Hydrazine

Elle réduit l'oxygène suivant la réaction :



L'hydrazine n'apporte aucune salinité à l'eau puisque elle-même et ses produits de décomposition sont volatils. Cependant, au-delà de 270°C, elle se décompose partiellement en ammoniac.

Ces deux réducteurs peuvent également être utilisés pour déduire la totalité de l'oxygène dissous si on ne se dispose pas de dégazeur. Les doses doivent être ajustées en

conséquence et, dans le cas de sulfite de sodium, on doit tenir compte de la salinité supplémentaire apportée, tant pour la détermination des purges nécessaires que pour se prémunir contre la formation de dépôts de sulfate de calcium. L'hydrazine est fortement déconseillée à cause de sa toxicité (effet cancérigène)

En absence de dégazeur thermique, la réduction de l'oxygène pourrait s'effectuer avant agrément avec de la tanate de sodium. Son emploi est très économique sur les chaudières à moyen pression et d'ailleurs, il coute trois fois moins cher que l'hydrazine et il n'apporte aucune salinité à l'eau.

- Les produits neutralisants : ils sont volatils et se condensent en même temps que la vapeur. Deux caractéristiques de ces composés sont importante leur pouvoir neutralisant et leur coefficient de partage entre l'eau et la vapeur. les plus utilisés sont:
 - L'ammoniaque ;
 - Le cyclohexylamine ;
 - La benzylamine ;
 - La morphine.

Ceci étant l'ammoniaque est généralement déconseillée à cause de son action corrosive sur le cuivre et ces alliages. Le choix entre les trois aminés dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels l'odeur, celle de la benzylamine étant particulièrement désagréable. Le cyclohexylamine et la morphine ont n pouvoir dissolvant beaucoup moindre que l'ammoniaque, d'ailleurs ils sont préférés.

VII-3-3. Lutte Contre Les Problèmes Causés Par La Combustion

Les chaudières, comme tout appareil de combustion, sont à l'origine d'émissions d'oxydes d'azote, de dioxyde de carbone et d'oxydes de soufre à fort impact négatif sur l'environnement (détérioration de la qualité de l'air, contribution à l'effet de serre, etc.). Des dispositions réglementaires en matière de contrôle périodique de l'efficacité énergétique sont applicables aux installations de plus de 400 kW1.

Le traitement des fumées de combustion s'inscrit dans ce cadre.

Il peut y avoir différentes étapes de traitement selon le type de combustible utilisé :

- Réduction des émissions d'oxydes d'azote (NOx) ;
- Réduction des émissions d'oxydes de soufre (SOx) ;
- Dépoussiérage.

Chacune de ces étapes est présentée succinctement dans les paragraphes ci-dessous.

VI-3-3-1. Traitement Des NOx

À titre d'information, le tableau ci-dessous présente les émissions en NOx d'une chaudière selon le type de combustible utilisé :

La réduction des émissions de NOx peut être réalisée par des mesures primaires, qui permettent de limiter les émissions à la source, et des mesures secondaires, qui réduisent les émissions par le traitement des polluants déjà émis et présents dans les effluents gazeux.

a) Mesures primaires de réduction des émissions de NOx :

Les **NOx** se forment lors de la combustion suivant trois mécanismes distincts : le mécanisme « NO thermique », le mécanisme « NO-précoce » et le mécanisme « NO-combustible ». Les mesures primaires de réduction visent à limiter ces différents mécanismes de formation en intervenant sur le procédé de combustion par modification de :

- La disponibilité de l'oxygène ;
- La température de combustion ;
- Le temps de séjour du combustible dans les zones à haute température et à forte teneur en oxygène.

La combustion en faible excès d'air est une mesure simple et peu coûteuse qui consiste à diminuer la quantité d'oxygène disponible afin de réduire l'oxydation de l'azote de l'air comburant. En réduisant la quantité d'O₂ à la quantité minimale théorique dite stœchiométrique nécessaire pour une combustion complète, l'oxydation de l'azote contenu dans le combustible est fortement limitée. La formation des NO-thermique est également limitée mais de façon moins importante. Cette mesure ne requiert aucune énergie supplémentaire mais elle nécessite d'équiper l'installation d'un système de contrôle et de régulation performant. En effet, en cas de mauvais réglage, la combustion risque d'être incomplète et, de ce fait, produire des composés imbrûlés.

L'étagement de l'air comburant lors de la combustion permet de créer deux zones de combustion distinctes, la première en manque d'oxygène et donc en excès de combustible (substoechiométrique) et la seconde en excès d'oxygène. La première zone est en conditions réductrices. La seconde zone permet de rendre la combustion complète. La technique de l'étagement d'air se traduit par la mise en place de brûleurs à air soufflé ou d'injection d'air additionnel.

L'étagement du combustible, également appelé précombustion (reburning), repose sur la création de différentes zones de combustion permettant la réduction des NOx déjà formés : une zone primaire, une zone secondaire et une zone de postcombustion. Dans la zone primaire de combustion, 80 à 85 % du combustible est injecté. La combustion est réalisée dans des conditions d'excès d'air classique, ce qui entraîne la formation de NOx thermiques. Dans la zone de combustion secondaire ou zone de précombustion, le combustible restant est injecté (15 à 20 %) dans les fumées issues de la zone primaire de combustion. Cette

atmosphère réductrice conduit à la réduction des NOx précédemment formés. La zone de postcombustion consiste en une injection d'air permettant de compléter la combustion et d'oxyder les imbrulés de la zone de précombustion.

Le principe de fonctionnement des brûleurs bas NOx diffère des brûleurs classiques sur le mélange combustible / air et son système d'injection. Le fonctionnement général de ces brûleurs est basé sur trois principes :

- Retarder le mélange air/combustible ;
- Réduire la température de flamme ;
- Réduire la teneur en O₂.

Les brûleurs bas-NOx peuvent être de plusieurs types, dont certains reprennent les techniques expliquées précédemment :

- ✓ Les brûleurs à étagement d'air ;
- ✓ Les brûleurs avec recirculation des fumées ;
- ✓ Les brûleurs à étagement du combustible ;
- ✓ Les brûleurs en céramique poreuse ;
- ✓ Les brûleurs à vortex.

Un brûleur bas-NOx permet d'atteindre une réduction des émissions allant de 25 à 60 % par rapport à un brûleur classique. Cette performance dépend principalement du type de combustible utilisé. En effet, une réduction de 25 à 40% est attendue dans le cas d'un combustible liquide alors que dans le cas d'un combustible gazeux la réduction peut aller jusqu'à 60%. La performance varie également entre une installation nouvelle et une installation existante.

b) Mesures secondaires de réduction des émissions de NOx :

Les mesures secondaires de réduction consistent à injecter un réactif promoteur de N₂ (principalement urée ou ammoniac) dans les fumées. Les réactions de réduction ont lieu en présence, ou non, d'un catalyseur et forment de l'azote moléculaire (N₂) et de l'eau. On distingue :

- ✓ La réduction sélective catalytique (SCR) ;
- ✓ La réduction sélective non catalytique (SNCR).

La SCR permet d'atteindre des réductions de NOx très élevées, pouvant aller jusqu'à 90% dans les conditions optimales. L'efficacité moyenne de cette mesure est de 70% dans les installations existantes. L'efficacité de cette technique dépend des paramètres suivants :

- la température des lits catalytiques : optimale entre 250 et 380°C ;
- le ratio NH₃/NOx : doit rester proche de 1 ;
- la qualité du mélange agent réducteur / fumées ;

- le type de catalyseur : les catalyseurs les plus utilisés sont des mélanges d'oxydes métalliques, des oxydes de fer, des zéolithes cristallines et du charbon actif. Le catalyseur le plus généralement utilisé est un mélange d'oxydes métalliques : dioxyde de titane (TiO₂) et pentoxyde de vanadium (V₂O₅).

La SNCR permet d'atteindre des taux de réduction d'oxydes d'azote compris entre 40 et 65 %.

L'efficacité de cette technique dépend des paramètres suivants :

- la température : optimale entre 850 et 1100°C ;
- le système d'injection ;
- le type d'agent réducteur : l'urée en solution est le réactif le plus simple d'usage sur le plan réglementaire ;
- le temps de séjour : compris entre 0,2 et 0,5 secondes ;
- le ratio NH₃/NO_x : optimal entre 1,5 et 2,5.

VII-3-3-2. Traitement Des SO_x

De la même manière que pour les émissions de NO_x, les émissions de SO_x (en particulier le dioxyde de soufre : SO₂) peuvent être réduites soit par des mesures primaires (à la source), soit par des mesures secondaires (traitement des polluants déjà formés). Ces mesures sont succinctement décrites ci-après.

a) Mesures primaires de réduction des émissions de SO₂ :

L'utilisation d'un combustible peu ou pas soufré peut permettre de limiter fortement les émissions de SO₂. Ainsi, la substitution du charbon par du gaz naturel permet une réduction des émissions de SO₂ de plus de 99%. Le tableau suivant présente les concentrations de SO₂ dans les fumées, en l'absence de désulfuration, par type de combustible.

La technique de combustion en lit fluidisé désulfurant consiste à faire passer l'air nécessaire à la combustion au travers d'une couche de combustible solide. Ce lit peut être fixe, dense, bouillonnant ou circulant. Afin de réduire la formation de dioxyde de soufre, un réactif alcalin est ajouté au combustible. Les réactifs les plus utilisés sont la chaux vive, la chaux éteinte et le calcaire.

Selon le combustible utilisé, la réaction d'adsorption nécessite un rapport Ca/S compris entre 1,5 et 7.

Les sous-produits de cette réaction, des sulfates et des sulfites de calcium, ainsi que d'autres impuretés, sont extraits du lit. Ils sont généralement peu valorisables.

Dans des conditions idéales, cette technique permet d'atteindre un flux de désulfuration supérieur à 90%. La combustion en lit fluidisé permet également de réduire la formation des oxydes d'azote.

Néanmoins cette technique peut entraîner une augmentation des émissions de protoxyde d'azote, gaz à effet de serre puissant.

b) Mesures secondaires de réduction des émissions de SO₂ :

Parmi ces mesures, deux types de techniques peuvent être distinguées :

- Les techniques régénératives, qui permettent d'extraire le SO₂, de le concentrer et de le récupérer sous forme de soufre élémentaire ou sous forme d'acide sulfurique ;
- Les techniques non régénératives, dont les sous-produits tels que le gypse peuvent néanmoins être valorisés.

Les procédés régénératifs mettent en œuvre un réactif utilisé en solution ou en suspension dans l'eau de lavage (procédé par voie humide). Ils requièrent la mise en place d'unité de production de soufre (unité Claus) ou d'acide sulfurique en aval de la tour de lavage. Les taux de désulfuration des procédés régénératifs sont parmi les plus élevés, entre 95% et 98%. Mais ces procédés nécessitent des installations coûteuses et très encombrantes en aval des équipements de combustion qui limitent leur application à des chaudières de puissance importante (> 300 MW).

Les procédés non régénératifs mettent en œuvre les principaux réactifs suivants : chaux, calcaire, soude ou ammoniac. Ces procédés peuvent avoir lieu par voie sèche (injection de réactif sous forme pulvérulente dans les gaz à traiter : chaux, calcaire ou bicarbonate de sodium) ou par voie semi humide (injection de réactif sous forme de bouillie : lait de chaux ou de calcaire ou solution décarbonate de sodium). Le rendement de désulfuration de ces seconds types de procédés est meilleur que celui des premiers : 80% pour les procédés par voie semi-humide vs 20 à 50% pour les procédés par voie sèche. Des procédés non régénératifs par voie humide existent également (lavage des gaz de sortie) et fournissent les meilleurs rendements.

Qu'elles soient régénératives ou non, les techniques de réduction des émissions de SO₂ requièrent un système de dépoussiérage efficace (filtres à manches ou électrofiltres) et un système de collecte et de stockage des résidus. Certains procédés nécessitent, en plus, des unités de traitement des effluents liquides.

VII-3-3-3. Dépoussiérage

La principale mesure de réduction primaire de particules et de composés imbrûlés est l'amélioration de la combustion comme par exemple le respect de la règle des 4T : température, teneur en oxygène, turbulence et temps de séjour.

Il existe quatre grandes familles de dépoussiéreurs qui constituent les mesures secondaires de réduction :

- Les dépoussiéreurs mécaniques (séparateurs, cyclones et multi-cyclones) ;
- Les dépoussiéreurs humides (laveurs) ;
- Les dépoussiéreurs électrostatiques (électro filtres) ;
- Les dépoussiéreurs à couches filtrantes (filtres à manches).

Dans les installations de combustion, les principales techniques utilisées sont :

- Les cyclones et multi-cyclones : pour des faibles puissances (inférieures à 5 MW) ;
- Les électro filtres et les filtres à manches : pour des puissances plus élevées (supérieures à 5MW).

Plusieurs traitements peuvent être mis en cascade sur les installations de grande puissance avec par exemple l'association d'un multi-cyclone et d'un électro filtre ou d'un multi-cyclone et d'un filtre à manches : le multi-cyclone en amont permettant de limiter la vitesse d'encrassement de l'électro filtre ou du filtre à manches et de séparer les plus grosses particules. Les électro filtres et filtres à manches sont décrits.

a)Electro filtre :

Un électro filtre est un dispositif constitué de plaques (électrodes réceptrices) disposées verticalement entre lesquelles se trouvent des fils tendus verticalement (électrodes émissives) alimentés électriquement. Une tension négative appliquée aux électrodes émissives engendre la formation d'électrons au voisinage de celles-ci, qui ionisent les molécules de gaz. Ces ions sont attirés par les plaques réceptrices et chargent les poussières (effet couronne) sur leurs parcours. Ces poussières sont alors attirées par les plaques réceptrices et y adhèrent. Des marteaux frappent régulièrement ces plaques et permettent de décrocher les particules par intervalle régulier. Les poussières sont ainsi collectées dans une trémie pour être évacuées. Pour éviter que le frappage ne remette en suspension les poussières, certains électro filtres (appelés « électro filtres humides ») disposent d'un écoulement de liquide le long des plaques collectrices. Cette technique nécessite le traitement du liquide en aval.

La pulvérisation d'une solution spécifique permet en plus de capter certains composés tels que : HCl, HF, SO₂, SO₃, H₂S, NH₃, etc. La présence de liquide limite néanmoins la température de fonctionnement des électro filtres humides à 100°C maximum au lieu de 350°C pour des électro filtres secs.

Les électro filtres disposent d'un ou plusieurs champs de captation pour mieux maîtriser le champ électrique tout au long de l'électro filtre et au fur et à mesure de l'avancement du dépoussiérage (généralement au minimum deux et jusqu'à cinq ou six pour obtenir des niveaux de concentrations inférieurs à 10 mg/Nm³). Chaque champ est constitué de plusieurs électrodes émettrices et déplanques réceptrices. Dans la configuration la plus courante, les gaz poussiéreux circulent horizontalement, et à basse vitesse (environ 1 m/s) entre les plaques distantes de 200 à 500 mm.

Les principaux paramètres influençant sur le fonctionnement de l'électro filtre sont la résistivité des poussières (dans la pratique comprise entre 106 et 1014 Ω . Cm) et la vitesse de passage des gaz.

L'injection préalable de SO₃ permet de réduire la résistivité des particules.

Il existe un grand nombre de configurations qui permettent d'atteindre des efficacités de plus de 99% pour les particules de taille inférieure à 1 μ m (avec notamment la mise en œuvre de 3 à 5 champs).

Une bonne configuration peut permettre d'atteindre des performances proches de ce qui peut être obtenu à la sortie de filtres à manches.

b) Filtre à manches

Le filtre à manches est constitué d'un caisson fermé à sa base par une trémie, dans lequel sont suspendues des manches filtrantes ouvertes à une extrémité. Les gaz chargés de poussières pénètrent dans la partie basse du caisson et rencontrent dans un premier temps un déflecteur qui permet de séparer les grosses particules de poussières des gaz à traiter. Ceux-ci passent ensuite à travers les manches de l'extérieur vers l'intérieur pour être évacués sur la partie haute du filtre. Les poussières qui sont retenues sur l'extérieur du filtre forment une couche appelée gâteau de filtration.

Ce gâteau de filtration permet de former un filtre supplémentaire qui augmente la quantité de poussières captées mais augmente également la perte de charge. Il est donc nécessaire de décolmater les manches régulièrement. Les dispositions des appareils sont très nombreuses, ainsi que les techniques de décolmatage. La disposition la plus fréquente est le filtre à manches supportées intérieurement par un panier grillagé et nettoyées individuellement par un jet périodique d'air comprimé. Les vitesses de filtration sont comprises entre 0,6 et 6 cm/s, selon le gaz à traiter et le type de filtre.

Les filtres sont de différents types : tissus, feutres aigilletés, composites, membranaires. Les fibres peuvent être en polyester, acrylique, téflon, inox, etc. Le choix de la nature du filtre dépend des caractéristiques du gaz à traiter.

L'injection de réactif en amont du filtre peut permettre également de capter d'autres polluants gazeux comme le mercure, les dioxine-furanes, les gaz acides, etc. En effet, les réactifs injectés en amont du filtre vont se retrouver piégés avec les poussières dans le gâteau de filtration. Le contact entre les gaz à traité traversant le gâteau de filtration et les réactifs présents dans le gâteau s'en retrouve alors facilité.

Ce dispositif a des performances très élevées et permet d'obtenir un seuil de rejet constant. Il peut atteindre une efficacité de plus de 99% même sur les particules de faibles diamètres (1 μ m ou moins).

Il est néanmoins très coûteux pour sa mise en place et son entretien. En effet, les manches doivent être remplacés régulièrement et les fortes pertes de charges engendrent

d'importantes consommations d'électricité. De plus, dans certaines applications, il peut exister un risque d'incendie lié à la présence dans les fumées de particules incandescentes qui peuvent enflammer les manches.

Il est donc nécessaire de disposer d'un équipement de détection et d'extinction.

VII-4. Risques Génères En Phase D'exploitation

VII-4-1. Exemple D'explosion D'une Chaudière

- Démarrage normale d'une chaudière.
- Fonctionnement normale de toutes les séquences de la chaudière.
- Mise de la chaudière en fonctionnement automatique.
- Chaîne de régulation air et gaz en automatique.

VII-4-2. Alarme Apparue Avant L'explosion

- 1) Niveau haut dans le ballon supérieur.
- 2) Manque de flamme sans déclenchement de la chaudière (ayant allumage en série).
- 3) Absence fumées noire sortie cheminée chaudière avant l'explosion.
- 4) Déclenchement de la chaudière manuellement après l'explosion (arrêt d'urgence).

VII-4-3. Hypothèse Sur L'origine De L'incendie

L'explosion dans une chaudière en marche peut se produire a la suite :

- 1) Manque d'air
- 2) excès d'air très important.
- 3) Anomalies sur le gaz combustible.

Dans tous les cas, il y a d'abord extinction des bruleurs puis, si le combustible revient ou continue à arriver, il y a combustion spontanée (Explosion) en présence d'une source de chaleur.

a) Causes de l'incendie :

➤ Analyse de l'hypothèse :

Extinction des brulures par manque d'air :

Cette hypothèse est à écarter pour des raisons suivantes :

- 1) Ventilateur en service.
- 2) d'air important (ouverture des venelles normale).

- 3) Absence d'imbrulés sortie cheminée avant l'explosion.
- 4) Taux d'oxygène à l'entrée de la chaudière normale.

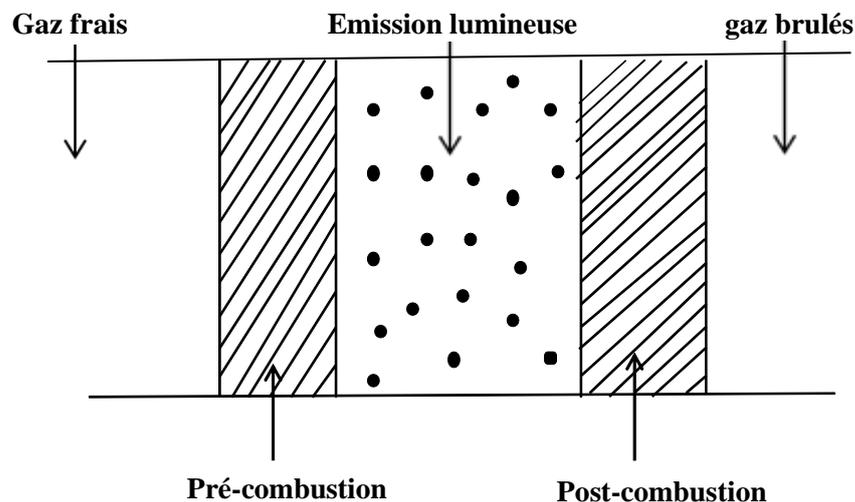
VII-4-4. Risques Incendie _ Explosion

Le risque le plus important et qui peut engendrer de graves accidents est bien sur le risque incendie/Explosion d'une chaudière. Mais d'abord

Qu'est ce qui une combustion, une explosion, une déflagration et une détonation ?

a) La déflagration :

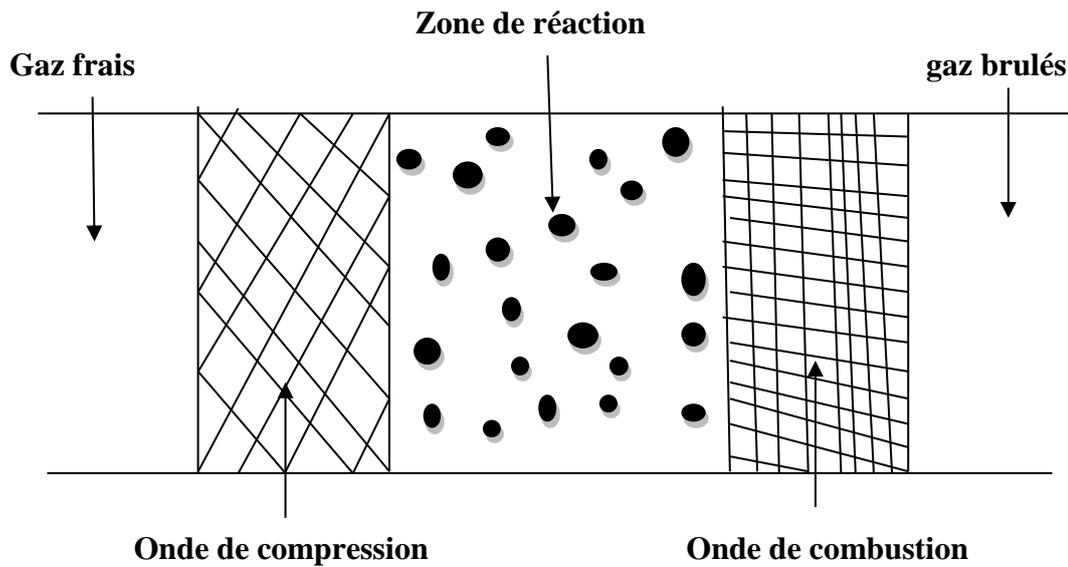
Dans une déflagration, la zone de réaction chauffe la tranche de précombustion qui s'enflamme à son tour, L'onde de combustion se déplace par conductibilité thermique. La pression, La température, La vitesse varient de façon continue de la région I à la région II. La vitesse de propagation de l'onde de combustion est faible, Elle est de l'ordre de 1m/s.



b) La détonation :

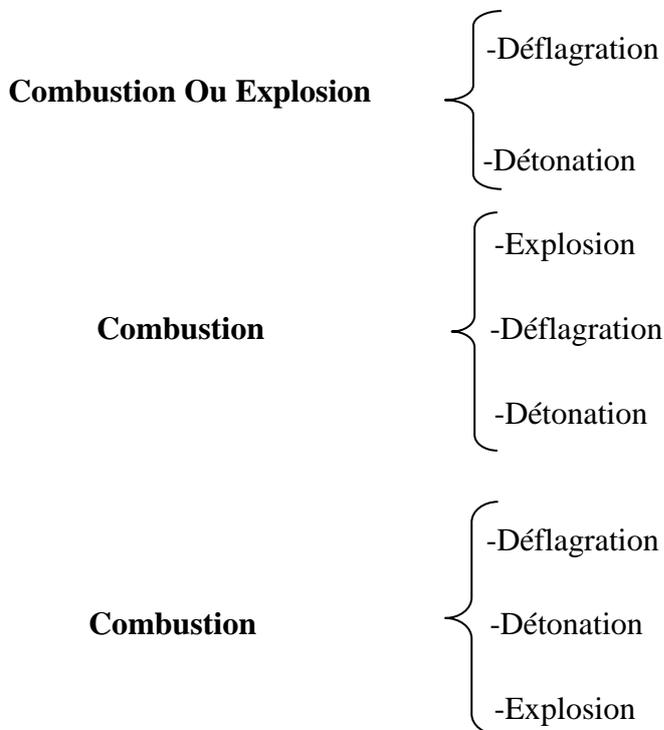
Dans la détonation, la pression et la température varient de façon discontinue. La zone de réaction de combustion se dilate et en comprimant éclatement la zone de précombustion (qui s'enflamme) donne naissance à une onde de choc.

Cette onde de choc produit à son tour une brusque élévation de la température et de la pression de la zone de précombustion qui s'enflamme et dégage une énergie susceptible d'entretenir ce phénomène. Donne une détonation ou onde de détonation resette donne du couplage de l'onde de détonation et de l'ordre de vitesse supersonique 10.000 m/N.



c)Explosion :

Si le contenu des termes déflagration et détonation ce donne lieu à aucune ambiguïté, il n'en est pas de même du terme explosion qui suivant les auteurs ou les groupes professionnels soit comme synonyme du terme combustion ou du terme détonation, soit comme un nouveau type de combustion. Dans ce cas une explosion serait une déflagration théorique pour laquelle il n'y aurait pas de propagation de flamme et de ce fait, la combustion se produisait dans tous les points du système réactionnel au même instant.



Dans ces trois définitions la plus s'applique quand même la définition (1) ou l'explosion est le terme général désignant déflagration ou une détonation.

VII-5. Conclusion

Vu l'importance de la qualité de l'eau de chaudière pour la production de la vapeur surchauffée alimentant les turbines, nous avons mis l'accent sur l'étude de l'influence de ce paramètre essentiel (qualité de l'eau de chaudière) pour le bon fonctionnement de l'installation (chaudière).

CHAPITRE VIII

Mesures De Sécurité / Préconisations

Chapitre VIII : Mesures De Sécurité / Préconisations

VIII-1. Introduction

La principale vocation de la sécurité est d'éliminer les risques inacceptables qui pourraient être responsable de blessures physiques, d'atteinte à la santé des personnes, dégradation de l'environnement et qui peut causer des pertes de production à coût élevé.

La sécurité, ce n'est évidemment pas que de l'organisation. C'est aussi des méthodologies à suivre, des moyens techniques à déployer.

Les risques d'explosion de chaudière sont réels. Ils résultent souvent d'une fuite de carburant.

Cependant, l'entretien annuel de votre équipement vous en prémunit. Une surveillance régulière aide également à prévenir les incidents.

VIII-2. Mesures A Prendre Pour Eviter L'explosion

- Choix de l'implantation de telles installations prenant en considération les risques liés aux scénarios d'accidents possibles et en particulier l'intensité des effets possibles sur les personnes susceptibles d'être exposées dans le voisinage.

- Conception de la chaudière prenant en compte les pressions élevées susceptibles d'être atteintes dans des conditions particulières ainsi que les activités annexes.

- Bonne qualité initiale des assemblages conditionnant la pérennité de l'étanchéité des installations.

- Emplacement, position et choix des organes de sectionnement adéquats ; ils doivent être commandés à distance afin de garantir les conditions satisfaisantes pour les manœuvrer, les tester, les inspecter et assurer leur maintenance et adaptés au produit et aux opérations durant lesquelles ils seront manipulés.

- Choix de commandes permettant, dans la mesure du possible, de visualiser la position des organes (ouvert, fermé, etc.) ainsi que la nature du fluide concerné.

- Utilisation de moyens de détection de gaz, asservis à des alarmes locales (visuelles et/ou sonores) avec report en salle de contrôle mettant l'installation en sécurité (coupure de l'alimentation en combustible et interruption de l'alimentation électrique des matériels non ATEX).

- Installation d'un système de verrouillage ou de condamnation sur les commandes sensibles susceptibles de pouvoir être manœuvrées par erreur ou de manière intentionnelle (pour raccourcir une procédure par exemple) ; mise en place de procédures appropriées pour

éviter le déverrouillage intempestif de ces organes (en se procurant la clé auprès du chef de service ...).

- Prise en compte par les automatismes de régulation du régime de ventilation (asservissement air/gaz) de l'ensemble des phases de fonctionnement, y compris les régimes à caractère exceptionnel tels que les allures réduites ou les phases de transfert du régime de démarrage vers le régime de puissance.

VIII-3. Précautions A Prendre Pour Le Démarrage

VIII-3-1. Contrôles Avant Le Démarrage De La Chaudière

Avant le démarrage de la chaudière froide, l'opérateur doit faire une ronde autour de l'ensemble de l'équipement et vérifier que les équipements tous les systèmes mécaniques. Plus particulièrement, il doit vérifier que les équipements suivants sont en bon état. En plus, l'inspecteur devra prendre note de toute anomalie pouvant causer un problème pendant l'exploitation.

- La tuyauterie et ses supports sont correctement installés. Les verrous sont retirés des supports de tuyau à ressort.
- L'enveloppe de la chaudière, les conduits et les joints de dilatation sont correctement installés.
- Les ventilateurs et les pompes fonctionnent normalement sans frottement et grippage et prêt son être mis en route. Les faire tournera la main si possible .Le graissage et normal.
- Les bruleurs et leur accessoires sont bien installés et fonctionnels.
- Les registres et les vannes motorisés/pneumatiques fonctionnent normalement sans frottement et grippage et prêt son être mis en route. Faire tourner a la main ou distance de la salle de contrôles possible.
- Les registres et les vannes manuelles sont réglés correctement sur leur position respective de service. S'assure que les événements et les purges sont bien fermés.
- L'alimentation des moteurs, instruments, vannes, etc., est assurée.
- Le système d'eau de refroidissement est en service et le débit d'eau est adéquat.
- Les systèmes d'air instrument et d'air service sont en service et la pression d'air est adéquate.
- Le système d'azote est en service et la pression de gaz est adéquate.
- Les produits chimiques pour le traitement de l'eau sont disponibles, et le niveau dans le réservoir est adéquat.
- Les combustibles pour les bruleurs principaux et les allumeurs est disponible. La pression est adéquate.
- Les instruments et les analyseurs ont été étalonnés et leurs indications sont correctes.
- Les indicateurs de niveau sont en bon état de fonctionnement en purgeant le niveau a glace et en observant le retour de niveau dans l'indicateur.
- Toutes les portes et trappes d'accès sont bien fermées du FDF a la cheminée.
- En cas de toute intervention sur la chaudière depuis la dernière opération, s'assurer

que tous les systèmes sont remis en état.

- S'assurer que les desséchants placés pour la période de stockage sont retirés du ballon de vapeur et/ou des conduites [57].

VIII-3-1-1. Les Critères De Conception Des Chaudières Pour Un Fonctionnement A Charge Nominale, Avec Un Temps Maximal De Service Effectif

- Le système à circulation naturelle contribue à réduire la maintenance et le besoin en énergie.
- La surface de chauffe est conçue pour permettre la vidange totale de l'eau
- La chaudière sera entièrement étanche au gaz (construction soudée de tubes à ailettes)
- Le ventilateur a tirage force avec registre d'entrée contribue à réduire le cout d'exploitation
- Les performances des pièces internes du ballon de vapeur sont très fiables.

VIII-3-1-2. Les caractéristiques de calcul en considérant un fonctionnement à charge variable (25%L-110%L), avec un temps maximal de service effectif [57]

- La capacité de la pompe d'eau alimentaire de chaudière est appropriée pour une charge de 75% de la chaudière.
- La surface de chauffe est conçue pour permettre la vidange totale de l'eau.
- La flexibilité suffisante des collets de tube réduit la fatigue par contrainte thermique
- Les bruleurs sont automatiques et commandés à distance
- Les vannes de purge sont commandées à distance.
- Les registres de control d'air sont commandés à distance.

L'équipement auxiliaire principal comprend trois (3) pompes d'eau alimentaire des Chaudières, un (1) dégazeur avec réservoirs de stockage, deux (2) ventilateurs a tirage force et un système de gaz combustible pour chaque unité.

Le gaz procède est utilisé comme combustible principal des installations de génération de vapeur et le gaz naturel est utilisé pour l'allumage et le démarrage.

La vapeur auxiliaire est alimentée aux équipements requis afin d'assurer un service économique. Par exemple, la pompe alimentaire de chaudière et le ventilateur a tirage force sont alimentes par la vapeur auxiliaire. Ceci réduit la demande en énergie auxiliaire.

Pour confirmer la qualité de la vapeur et de l'eau et maintenir cette qualité à un niveau acceptable, un système d'échantillonnage de la vapeur et de l'eau et un système de dosage chimique sont prévus [57].

VIII-3-2. Démarrage De La Chaudière

- Remplissage du réservoir d'eau déminéralisée.
- Préparation lignes eau d'alimentation.
- Contrôle préliminaires pour démarrage chaudière.
- Préparation des réactifs chimiques pour les chaudières.
- Préparation des réactifs chimiques pour les chaudière et lignes d'alimentation chaudière.
- Remplissage dégazeur et chaudière pour démarrage
- Allumage chaudière.
- Préparation ligne vapeur.
- Démarrage système purge des chaudières.
- Mise en service réseau vapeur haute pression.
- Mise en service réseau vapeur MP et BP.
- Allumage bruleurs.
- Passage en automatique des réglages des chaudières.
- Soufflage chaudière.
- Contrôles préliminaires pour démarrage 2ème chaudière.
- Allumage 2ème chaudière.
- Mise en parallèle 2ème chaudière.

VIII-4. Précautions Pour La Protection Du Surchauffeur**VIII-4-1. Inspections**

- Inspecter la surchauffeur lorsque la chaudière est hors service.
- Vérifier les alignements des éléments et toute évidence de déformation, de proéminence ou de cambrement. Remplacer les tubes montrant des signes évidents de surchauffe.
- Vérifier les propres localisations et les conditions des supports, des guides et des tôles scellées. Réparer ou remplacer aussitôt.
- Vérifier la surface interne des ballons de vapeur pour confirmer l'entraînement des impuretés solides. Si c'est le cas, prendre immédiatement des mesures pour en éliminer la cause. En cas de doutes, consulter cette Compagnie.

VIII-4-2. Contrôle Et Surveillance

Aussi longtemps qu'il y a un foyer dans le four, les éléments du surchauffeur doivent être munis d'une protection adéquate. Cela est particulièrement important pendant les périodes où il n'y a pas de demande de vapeur, comme le démarrage et l'arrêt.

Pendant les périodes où il n'y a pas de demande de vapeur, le débit approprié au travers du surchauffeur est assuré au moyen d'une vanne d'évent et d'une vanne de purge dans le conduit de sortie du surchauffeur désurchauffeur.

Une vanne de sécurité (SV-1) est située après le surchauffeur désurchauffeur. La vanne de sécurité est placée en dessous de la plus basse vanne de sécurité du ballon. Cela est réalisé pour protéger et assurer le débit adéquate au travers du surchauffeur, si la demande en vapeur est soudainement interrompue et si la pression chute.

Pendant tous les démarrages, il faut faire attention à ne pas surchauffer les éléments du surchauffeur. La valeur de brulage doit être contrôlée pour maintenir la température maximale de sortie de gaz du four en excès à 482 °C (900 °F).

Des thermocouples sont installés sur les tubes terminaux du surchauffeur pour indiquer les températures de vapeur saturées/surchauffées et la distribution de température durant les démarrages et l'opération initiale.

VIII-4-3. Recommandation Avant L'exploitation

Avant d'éteindre l'unité, ouvrir en grand l'évent de sortie du surchauffeur et les vannes de purge de la vapeur principale.

Les vannes d'évent de sortie du surchauffeur doivent restées ouvertes jusqu'à ce que tout l'air soit expulsé des éléments. Normalement, ces vannes d'évent ne sont pas fermées jusqu'à ce que la pression du ballon atteigne 1.75 kg/cm² (25 psig).

Les vannes du purge de la vapeur principale doivent restées ouvertes pour purger et pour fournir le débit de vapeur complémentaire pour chauffer la ligne de vapeur principale avant d'aller dans la ligne.

VIII-5. Maintenance De Surchauffeur

Il est essentiel que la réalisation des assemblages soit conforme pour assurer en permanence le nettoyage des surfaces internes et externes du surchauffeur. Les accumulations de cendres dans l'air peuvent provoquer une distribution inégale de gaz, un transfert de chaleur inefficace, et une possible surchauffe localisée.

VIII-6. Protection De Surchauffeur

L'importance de la protection du surchauffeur est un facteur de contrôle pour déterminer avec quelle rapidité le générateur de vapeur doit être monté en pression. L'élévation de température saturée ne doit pas excéder 100° F⁷ (38° C) par heure durant les démarrages. Les éléments du surchauffeur doivent être chauffés aussi uniformément que possible: et la température maximum des gaz de combustion entrant, et les éléments du surchauffeur entrant en contact avec le premier gaz (température de gaz de sortie du four) ne doivent pas excéder 9002 F (482° C), pendant les démarrages.

Les températures de gaz de sortie du four sont normalement mesurées au moyen d'une sonde thermocouple de démarrage (si fournie) traversant approximativement la moitié de la largeur du four. Le point de température maximum doit être déterminé chaque fois que la

⁷ ° F : degré Fahrenheit

norme d'allumage est changée. La température maximum de gaz de sortie doit être limitée à 900° F (482° C), jusqu'à ce que le débit vapeur normal au travers du surchauffeur soit établi.

Pour assurer le dégagement du condensé des boucles des éléments du surchauffeur, des dispositions doivent être prises pour le débit approprié de vapeur au travers du surchauffeur, pendant le démarrage. Les vannes d'évent et de purge dans les collecteurs de sortie et/ou la ligne de vapeur principale, doivent être ouvertes avant que l'unité soit allumée, et maintenues ouvertes jusqu'à ce que l'unité en charge génère de la vapeur. Ces démarrages de purges et/ou d'événements doivent être régulés graduellement comme les augmentations de pression de ballon, démontrant qu'un débit suffisant est assuré à tout moment au travers du surchauffeur. Lorsque le débit vapeur adéquat par le surchauffeur est assuré, les purges et/ou les événements de démarrage du surchauffeur doivent être fermés.

Pendant le transport de la charge, la protection, dans le cas d'une interruption soudaine du débit vapeur, est fournie par les vannes de sécurité du surchauffeur, qui sont disposées sur "pop" ("ressort") avant les vannes de sécurité du ballon. Si le débit de vapeur du générateur de vapeur est soudainement arrêté, les valines de sécurité du surchauffeur vont ouvrir et ré-établir le débit. Il est impératif que tous les feux soient immédiatement éteints lorsque de telles interruptions de débit de vapeur se produisent.

VIII-6-1. Primage

Il faut faire attention d'éviter le primage d'eau ou de solides vers le surchauffeur et la turbine (si le générateur de vapeur fournit une turbine). Des échantillons de vapeur doivent être prélevés à intervalles fréquents, dans l'objet de détecter la preuve de primage. Les enregistreurs de conductivité de la vapeur sont communément utilisés à cet effet. Les connexions d'échantillonnage sont normalement dans les tubes de connexion du surchauffeur quittant le ballon vapeur. Le primage peut être provoqué par un niveau d'eau anormalement haut, spécialement si la valeur de génération de vapeur est élevée. S'il y a supposition de primage, des mesures doivent être prises pour rechercher et éliminer les conditions provoquant ce primage. Si les recherches indiquent que le primage n'est pas un résultat d'un conditionnement inapproprié de l'eau, les internes du ballon vapeur et les équipements d'indication et de contrôle de niveau d'eau doivent être inspectés, à la première opportunité possible.

Les dépôts de matières solides dans le surchauffeur peuvent être préjudiciables du point de vue de la corrosion et du transfert de chaleur. Par conséquent, l'introduction de matières solides, aussi bien par primage ou que pendant les opérations de remplissage (essais hydrostatiques, nettoyage clinique) doivent être évités.

VIII-7. Consignes De Sécurité Pour La Vapeur

Le gaz procède est utilisé comme combustible principal des installations de génération de vapeur et le gaz Natural est utilisé pour l'allumage et le démarrage.

La vapeur auxiliaire est alimentée aux équipements requis afin d'assurer un service économique. Par exemple, la pompe alimentaire de chaudière et le ventilateur a tirage force sont alimentés par la vapeur auxiliaire. Ceci réduit la demande en énergie auxiliaire.

Pour confirmer la qualité de la vapeur et de l'eau et maintenir cette qualité à un niveau acceptable, un système d'échantillonnage de la vapeur et de l'eau et un système de dosage chimique sont prévus.

L'air nécessaire pour la combustion est fourni par le ventilateur a tirage force. Le gaz de combustion est évacué par la cheminée avec transfert de chaleur sur les parois du foyer, les surchauffeurs et l'économiseur.

Les chaudières du type SN d'IHI sont dotées d'orifices supérieurs (OAP) au-dessus des brûleurs. Ces OAP sont des orifices d'injection d'air secondaire de combustion. L'air injectés par les OAP oxyde lentement les imbrulés de combustible, et la combustion lente désoxyde les Nox [57].

Un système d'air instrument et d'air service est prévu pour le besoin de l'Exploitation des unités.

Une signalisation est prévue pour informer le personnel des risques sur le site de travail.

Chaque panneau a un sens particulier.

Le système eau-vapeur dispose des trois moyens de régulation suivants.

- 1) Régulation de débit d'eau alimentaire >Régulation de niveau dans le ballon
- 2) Régulation de débit de vapeur / pression >Régulation d'entrée de combustible
- 3) régulation de température de vapeur >régulations de débit d'injection d'eau

La régulation 1 : consiste à contrôler le niveau d'eau dans le ballon par la FCV avec un signal d'alimentation pour le débit de vapeur principal et le débit d'eau alimentaire.

La régulation 2 : consiste à contrôler le débit de vapeur et la pression avec régulation du débit de combustible.

La régulation 3 : consiste à maintenir constante la température de la vapeur en injectant de l'eau dans la vapeur surchauffée et le volume de l'eau injectée est contrôlé par le débit d'eau d'injection.

VIII-8. Consignes De Sécurité Pour Les Fumées

A. Ventilateurs de soufflage

L'air nécessaire à la combustion dans la chaudière est fourni par deux ventilateurs de soufflage qui refoulent l'air de combustion dans le réchauffeur d'air rotatif.

Au refoulement des ventilateurs de soufflage, un piquage est prévu afin d'alimenter les deux ventilateurs de recyclage ainsi que le circuit d'air d'allumage de refroidissement en cas de défaillance des ventilateurs d'air de refroidissement.

Chaque générateur de vapeur contient deux ventilateurs de soufflage ; ils sont prévus pour fournir le débit d'air correspondant à la charge maximale de la chaudière en plus d'une marge de sécurité.

Les ventilateurs sont à simple flux et du type radial, et ils sont entraînés par un moteur asynchrone à vitesse constante. Des silencieux sont installés dans les conduites d'aspiration des ventilateurs

B. Réchauffeur d'air rotatif

Il sert à réchauffer l'air de combustion qui arrive dans chaque brûleur en récupérant la chaleur dégagée par les fumées.

Il est constitué d'un rotor tournant dans un boîtier autour d'un axe vertical, à l'intérieur de ce boîtier sont disposées trois couches de tôle de chauffe qui sont traversées alternativement par les gaz de fumées et par l'air à contre-courant. Les tôles absorbent la chaleur dégagées par les fumées et la transmettent ensuite à l'air, ce qui induit une élévation de la température d'environ 16°C.

Il est entraîné par un moteur électrique triphasé ; un moteur alimenté par un courant continu est prévu en cas de défaillance du premier et un dispositif de virage manuel est aussi prévu en cas de besoin.

C. Ventilateurs de recyclage

Ils ont pour rôle de recycler une partie des fumées issues de la combustion et ce afin de régler la température à la sortie du réchauffeur.

Deux ventilateurs sont prévus par générateur de vapeur.

La plus grande partie de la chaleur est transmise par les fumées produite lors de la combustion aux surfaces chauffantes. Les fumées sont amenées par une gaine au niveau du réchauffeur d'air rotatif où elles sont refroidies puis évacuées vers l'atmosphère à travers la cheminée.

D. Préchauffeurs d'air

Ils servent à augmenter la température d'air de combustion avant le réchauffeur d'air rotatif et ceci afin qu'aucune condensation ne se produise sur les tôles de chauffe duré chauffe d'air rotatif

E. Brûleurs

La chaudière est équipée de huit brûleurs répartis sur quatre étages. Ils sont prévus pour un fonctionnement mixte : gaz naturel comme combustible principal et fuel oil domestique comme combustible de secours. Un brûleur d'allumage est prévu pour l'allumage du brûleur principal.

Les brûleurs ont pour but d'engendrer et d'entretenir la combustion du combustible dont ils assurent le mélange intime et homogène avec l'air comburant.

Leur conception diffère selon le type de combustible.

F. Air de refroidissement

Deux ventilateurs d'air de refroidissement et d'air d'allumage sont prévus afin d'alimenter :

- Les contrôleurs de flamme.
- Le brûleur d'allumage.
- La lance du brûleur au fuel.

F-1.Traitement et Conditionnement des eaux de refroidissements

Les eaux d'appoint des circuits de refroidissement sont normalement traitées. Les traitements les plus courants sont :

- La clarification ou filtration
- La décarbonatation à la chaux
- La décarbonatation sous résines
- La décarbonatation acide
- L'adoucissement

Et plus rarement la déminéralisation

C'est l'analyse de l'eau d'appoint traitée qui sera prise en considération pour déterminer le taux de concentration admissible et les consignes d'exploitation.

Quel que soit le traitement de l'eau d'appoint, l'addition de produits chimiques est souvent nécessaire dans l'eau des circuits de refroidissement. Les produits les plus couramment utilisés sont :

- Des antitartres et des dispersants
- Des inhibiteurs de corrosion
- Des biocides

Protection contre les risques d'entartrage et de corrosion

Cette protection combinée dépend évidemment des températures atteintes par l'eau et de la « chimie » de l'eau du circuit, mais aussi de tous les matériaux en contact avec l'eau (échangeurs, pompes, tuyauteries...). Trois grands types de procédé sont pratiqués.

F-2. Procédé dit d'« équilibre naturel »

Ce procédé consiste à régler pH et TAC de l'eau en circulation, de façon à ce qu'elle soit à l'équilibre calco-carbonique : indice de Langelier voisin de zéro. Ce réglage se fait par introduction de réactifs, acides ou alcalins, et par limitation du taux de concentration.

- il existe un équilibre de l'eau pour chaque température alors que, dans un circuit de refroidissement, la température de l'eau varie constamment ;
- la concentration en sels dissous de l'eau en circulation doit être limitée, ce qui entraîne des purges importantes et donc de fortes consommations d'eau d'appoint ;
- l'eau se trouve en état d'équilibre instable : le seul passage au réfrigérant atmosphérique peut abaisser sensiblement le pH (absorption excessive de CO₂...).

Ce procédé est encore appliqué dans des circuits de centrale fonctionnant pratiquement en circuit ouvert (très faible concentration) avec des écarts de température faibles et disposant de systèmes de nettoyage avec circulation de boules.

Par ailleurs il ne faut pas oublier que même à l'équilibre, une eau reste corrosive vis-à-vis de l'acier, ce qui limite l'application de ce procédé aux circuits conçus à l'origine avec des matériaux résistants : acier revêtu, laiton, cupro-nickel, bétons spéciaux.

F-3. Procédés avec inhibiteurs d'entartrage

Ils constituent une amélioration du procédé précédent et s'adressent à des eaux à tendance entartrant.

Ils consistent à introduire dans le circuit des produits chimiques qui retardent la précipitation du carbonate de calcium, notamment aux points chauds. On détermine alors les pH⁸, TH et TAC de l'eau de telle sorte qu'elle soit à l'équilibre, voire légèrement entartrant, pour les températures froides.

Les retardateurs utilisés, la plupart du temps en combinaison, sont les poly phosphates, phosphorâtes et surtout les polymères organiques à pouvoir dispersant renforcé.

⁸pH : potentiel hydrogène ; TH : titre hydrotimétrique ou « dureté de l'eau » ; TAC : titre alcalimétrique complet
Zn : zinc

Ces inhibiteurs d'entartrage élargissent la « plage d'équilibre » et donc le domaine de température où l'eau peut être considérée à l'équilibre, en autorisant un fonctionnement avec des indices de Ryznar⁹ qui peuvent parfois descendre jusqu'à 3.

F-4. Avantages et limites des procédés retardateurs de précipitation

Les utilisations à « pH libre » limitent en réalité le TAC de l'eau en circulation entre 15 et 30 °F soit des pH de 8,5 à 9,3 avec des risques accrus de corrosion vers TAC 10 °F et d'entartrage vers TAC 30°F. Le taux de concentration s'en trouve lui aussi limité.

Le recours à l'addition d'acide sulfurique ou chlorhydrique peut abaisser le TAC ; mais alors, le pH n'est plus libre et le **SAF** est accru.

Le pH de l'eau et la formation d'un film de carbonate de calcium limitent ces risques de corrosion, mais le rôle du SAF est prépondérant : chlorures et sulfates accélèrent la dépassivation des films protecteurs (voir aussi corrosion des métaux et bétons).

VIII-9. Arrêts D'urgences

Pour un arrêt d'urgence du système de distribution de vapeur, il nécessaire de réduire très rapidement la pression de collecteur.

- 1-Arrêter tous les trains de procédé.
- 2-Réduire la charge électrique sur les turbogénérateurs.
- 3-Arrêter tous les turbogénérateurs.
- 4-Mettre les chaudières haute pression hors circuit en procédant à leur arrêt.
- 5-Une fois tous les trains du procédé à l'arrêt et la charge électrique est suffisamment réduite, procéder à l'arrêt de la dernière chaudière haute pression et la dernière source d'alimentation du réseau 62 bars.

Conservation de l'eau et l'énergie :

- 1-Réduire la charge sur la chaudière basse pression.
- 2-Faire l'appoint de vapeur par l'intermédiaire de la station de détente de vapeur 62 bars (**PV4080A/B**).
- 3-Fermer la **PV4080A/B**.
- 4-Mettre la **TIC 4020A/B** Sur man.
- 5-Mettre à l'atmosphère la pression de vapeur résiduelle du collecteur 62 bars.
- 6-Mettre le régulateur de pression **PIC 4088** sur manuel pour ouvrir la soupape d'évent **PV4088** qui mettra toute la pression restante à l'atmosphère.

⁹ Ryznar : L'indice de Ryznar ou indice de stabilité de Ryznar (RSI) est un indice qui permet de définir une tendance agressive (corrosive) ou entartrante de l'eau.

L'indice porte le nom de John William Ryznar (1912-1996), qui a notamment publié en 1944 "A New Index for Determining Amount of Calcium Carbonate Scale Formed by a Water".

Le réseau 17.2 bars ne dispose donc pas d'autre vapeur que celle fournie par la chaudière basse pression et la charge exercée sur le réseau 17.2 bars sera minimale.

Les réseaux vapeur 17.2 bars et 4.5 bars resteront en service pendant une certaine période de temps après avoir mis le réseau 62 bars hors service afin d'assurer :

- 1-L'entraînement des pompes servant au refroidissement de l'unité des utilités.
- 2-Mettre l'unité dessalement en marche pour mettre suffisamment d'eau dans le bac de stockage pour avoir prévoir l'appoint au moment du redémarrage de l'unité.

Lorsque le réseau 17.2 bars n'a plus besoin de fournir de vapeur, procéder à ce qui suit :

- 1-Mettre à l'atmosphère toute vapeur restant dans le réseau 17.2 bars et 4.5 bars.
- 2-Ouvrant le régulateur de pression du réseau 4.5 bars (**PIC 4090**).
- 3-Mettre la pression à l'atmosphère par l'intermédiaire de la soupape d'évent **PV4090**.

La vapeur 17.2 bars traverseront les vannes d'alimentation **PV4081-A/B** et la soupape d'évent **PV-4090** avant de passer à l'atmosphère.

VIII-10. Conclusion

Les dysfonctionnements techniques susceptibles de provoquer l'explosion peuvent généralement être évités. Pour cela, un bon entretien et une maintenance préventive doivent être programmés. Pour rappel, ces opérations sont obligatoires et doivent être réalisées chaque année. Les professionnels procèdent à la vérification de plusieurs éléments. L'ensemble du système de chauffage est inspecté.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les centrales énergétiques sont parmi les moyens industriels les plus efficaces pour le développement de tout pays. Dans l'industrie les chaudières sont les éléments les plus importants d'un réseau vapeur avant tout c'est l'endroit où se crée la vapeur et la chaleur nécessaire pour les différentes utilisations.

Le but de notre travail est essayé de présenter les centrales thermiques et les différents composants, et une description des différents éléments des chaudières, les dispositifs de sécurité pour prévenir le phénomène d'explosion.

L'accidentologie relative aux chaufferies et chaudières alimentées au gaz est caractérisée par une proportion importante d'explosions et d'incendies. En effet, les spécificités d'inflammation des gaz combustibles et leur faculté à se propager dans les gaines techniques et autres conduits créent des atmosphères explosives en milieux plus ou moins confinés.

Les défaillances se situent dans une plus grande proportion au niveau des circuits de fluide caloporteur (29%) et de l'alimentation en combustible (26,5%) à l'origine principalement de rejets de matières dangereuses et d'explosion Cinq accidents sont recensés au niveau de l'alimentation en combustible et aboutissent à une explosion dans le foyer de la chaudière du fait d'un mélange air / gaz dans le domaine d'explosivité.

Afin d'évaluer le comportement et la réponse de la chaudière en situations accidentelles, deux scénarios accidentels, une fuite au niveau des tubes vaporisateurs, et un manque d'eau d'alimentation suite à l'arrêt de la pompe alimentaire, avec et sans les opérations de protection ont été simulés.

La réponse de la chaudière est analysée à travers l'évolution temporelle de paramètres thermo hydrauliques de la chaudière tels que :

- Les débits d'eau d'alimentation et de la vapeur surchauffée
- La pression dans le ballon
- Le niveau d'eau dans le ballon
- Les températures de la vapeur et de la paroi externe au niveau des surchauffeurs (à haute et basse températures)
- Le débit massique, les températures du fluide et des parois internes et externes des tubes vaporisateurs
- Le coefficient de transfert de chaleur
- Le taux de vapeur les accidents provoque des répercussions directes sur les conditions de fonctionnement de l'installation. Par contre, il apparaît clairement que si les opérations de protection et de contrôle sont appliquées, ces accidents n'ont aucune incidence sur la sûreté de la chaudière et l'intégrité de cette dernière est conservée.

Le rôle et l'intérêt des actions de protection et du système de contrôle dans la protection de l'installation sont nettement mis en évidence. Il apparaît clairement à travers cette étude que dans le cas où les actions de sécurité sont défaillantes, la crise d'ébullition (l'un des phénomènes critiques), s'établit dans le générateur de vapeur, et pourrait conduire à la rupture des autres tubes et entraîner une dégradation de l'échange de chaleur entre la paroi chauffante et le fluide provoquant une montée en température de la paroi avec, des conséquences néfastes sur son intégrité. Cette dégradation est due à un changement de régime de transfert thermique consécutif à l'apparition d'un film de vapeur sur la paroi chauffante, le fluage pourrait être à l'origine de l'explosion fréquente des tubes de la chaudière

Autrement dit, ils apparaissent dans la chaudière plusieurs problèmes qui influencent sur la qualité de rendement de ce générateur de vapeur tel que la mauvaise qualité d'eau d'alimentation.

Il ressort du contrôle ainsi que la distribution de cette charge dans les équipements sa un caractère entartrant, donc des précautions doivent être prises pour réduire le problème.

L'explosion de la chaudière a beaucoup des effets qui peuvent être classée en trois catégories :

- ✓ Effets thermiques ;
- ✓ Effets de pression (explosions) ;
- ✓ Effets toxiques (dispersion atmosphérique).

La finalité de l'estimation de conséquences est de déterminer l'intensité des effets sur l'homme, l'environnement ou les installations des événements indésirables.

Les effets thermiques :

Une explosion a des conséquences locales, mais engendre aussi des effets thermiques sur les cibles vulnérables :

- ✓ Brulures sur l'homme ;
- ✓ Dégradation d'installations : destruction de vitres, ruine du béton, perte de tenue mécanique des structures.
- ✓ Propagation du feu à d'autres éléments combustible.

Les effets de surpression

Les effets toxiques :

Lors d'émissions accidentelles de produits toxiques liquides ou gazeux, on doit déterminer les distances d'impact sur l'homme, généralement en termes de doses reçues en fonction de la distance à la source d'émission du produit.

En fin, il faut suivre quelques recommandations pour éviter l'explosion de la chaudière et ces conséquences.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Patrick d'Humières, *Le Développement Durable : Le management de l'entreprise responsable*, édition : d'Organisation, 2005, P : 87
- [2] La Ministère Française De L'écologie Et Du Développement Durable, *Sommet Mondiale Sur Le Développement Durable 2002*, « Historique Du Développement Durable ».
- [3] La Ministère Française De L'écologie Et Du Développement Durable, *Sommet Mondiale Sur Le Développement Durable 2002*, « Historique Du Développement Durable ».
- [4] Patrick d'Humières, *Le Développement Durable : Le management de l'entreprise responsable*, édition : d'Organisation, 2005, P : 88
- [5] Patrick d'Humières, *Le Développement Durable : Le management de l'entreprise responsable*, édition : d'Organisation, 2005, P : 87.
- [6] Patrick d'Humières, *Le Développement Durable : Le management de l'entreprise responsable*, édition : d'Organisation, 2005, P : 88.
- [7] Lorène Lavocat, « Bilan de Nicolas Hulot : décevant, trop décevant », *Reporterre*, 29 août 2018, lire en ligne [archive].
- [8] Déclaration relative à l'urgence climatique du COE [archive].
- [9] BEAT BÜRGENMIER, *Économie De Développement Durable*, 2 édition, édition : de boeck, 2005 P : 43- 44.
- [10] Jérôme Vaillancourt, *Évolution Conceptuelle Et Historique Du Développement Durable*, Regroupement National Des Conseils Régionaux De L'environnement Du Québec, Rapport de recherche, Mai 1998, P : 26- 27.
- [11] Cité par Jérôme Vaillancourt, *Évolution Conceptuelle Et Historique Du Développement Durable*, Regroupement National Des Conseils Régionaux De L'environnement Du Québec, Rapport de recherche, Mai 1998, P : 27-28-30-31.
- [12] Dr Matouk BELATTAF & Baya ARHABA, Communication Intitulée: «Intégration A L'économie Mondiale Par Le Développement Durable A Travers L'application De L'approche Tridimensionnelle De La Durabilité Dans Les Transports Et L'agriculture».
- [13] CabotG., *Combustion dans les turbines à gaz*, EFE. (2010).
- [14] Zouglami A, Daghboudj S, "Etude numérique du vrillage des aubes d'une turbine à vapeur axiale", *Mémoire Master*, Université Larbi Tébessi, Tébessa, 2011.
- [15] ""les pompes centrifuge ". Dans Wikipédia, l'encyclopédie libre ". [En ligne].
https://fr.wikipedia.org/wiki/pompe_centrifuge. [Page consulté le 20 mai 2018]

- [16] Laleye M.A., Sanou C.o. Modélisation et régulation d'une turbine à vapeur dans une centrale thermique, ESP Thiès, 2005.
- [17] Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master KLIASS Mohamed et BELAHCENE Belahouel au Centre Universitaire de Ain T'émouchent BELHADJ Bouchaib (2014/2015)
- [18] Jean PARISOT, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, 'Conception et calcul des chaudières : généralités et bilans'.
- [19] Expert énergie renouvelable. 'Chaudière à condensation', 2010
- [20] Alain RIOU Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique
Chef de Projets dans la Division Chaudières Industrielles de la Société Babcock Entreprise
- [21] William Lévy (1990). "Condenseurs par surface dans les centrales thermiques". [En ligne]. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-thermique-industrielle-tiabc/archive-1/condenseurs-par-surface-dans-les-centrales-thermiques-b1540/>. [Page consulté le 20 mai 2018]
- [22] "Condenseur (séparation)". Dans Wikipédia, l'encyclopédie libre ". [En ligne]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Condenseur_\(séparation\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Condenseur_(séparation)). [Page consulté le 20 mai 2018].
- [23] Documentation interne de la société de construction d'équipement chaudronnées (chaudral SPA relizane)
- [24] Technique de l'ingénieur, B 1461, B 1462, B124, B1480, 1993.
- [25] M.M.El-Wakil, « Power plant Technology », Mc.Graw-Hill, New York, 1985.
- [26] Rapport de projet de fin d'étude marocain « présentation de la Samir » (2005/2006)
- [27] Document préparé et animé par : M. Hamadi ANIBA, Expert consultant Pour une formation spécialisée organisée par le CETIME à l'intention
- [28] Manuelle opératoire de l'unité Méthanol. Humphrey et Glasgow, Ltd. Octobre 1973.
- [29] Manuel générale d'organisation dans le GL1/Z.
- [30] 'Les Traitement des Eaux dans l'Industrie Pétrolière', Publication de l'institut français du pétrole, édition Technipe 21-22 Mars, 1972.
- [31] 'Spirax Savco' Ti-R01-523 AB indice 1.
- [32] Boiler Design, « Maintenance and Safety Study Guide, Boiler Design and Construction », American Trainco Inc., SGB0001 306, 2006.
- [33] ABB ALSTOM POWER Combustion, Formation Chaudière, Complexe GNL Skikda, 2000.

- [34] M.F.Asahby, « Matériaux-Microstructure et mise en oeuvre ». Vol.2, Edition Dunod, 1991.
- [35] Choix des alliages métalliques réfractaires pour four de traitement thermique, Centre des Industries mécaniques (CETIM199), 1998.
- [36] F.Armanet, J.H.Davidson, « Résistance à la corrosion à haute température des aciers inoxydables et alliages réfractaires », Thèse de Doctorat, Université de Paris, 2001.
- [37] V.M.M.Hinjbregts, J.H.N.Jelgesma, and A.Smel, « Influence of heat transfer, deposits and condenser leakages upon corrosion in steam generator », *Verbkraftwerkstechnik* 55, 1, pp.26-39, 1975.
- [38] Anonyme., [en ligne], Adresse URL : <https://www.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/environnement/centrales-thermiques/8949202-avantages-et-inconvenients-des-centrales-thermiques.html>
- [39] Manuel opératoire procédé MW.KELLOG Volume 1 GL2/Z, SONATRACH.
- [40] Manuel opératoire procédé MW.KELLOG Volume 3 GL2/Z, SONATRACH.
- [41] Techniques de l'ingénieur, traité de génie des procédés, J1080.
- [42] Olivier Denoux- CRAIM Atelier GPL/GNL: LA SCIENCE DU GNL.ppt-p21
- [43] Manuel D'instructions pour Opération et Maintenance M.W.KELLOG Volume 1 GL2/Z, SONATRACH
- [44] Manuel opératoire des chaudières à tubes d'eau GL2/Z année 2002
- [45] Manuel opératoire chaudières ABB et IHI GL2/Z 2008
- [46] Manuel opératoire de circuit eau- vapeur PDF GL2/Z année 2008
- [47] INERIS-DRA-09-102957-01582B RAPPORT D'ÉTUDE: Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour l'exploitation des chaudières industrielles au gaz09/08/2010
- [48] Jean PARISOT B 1 460 : Conception et calcul des chaudières : généralités et bilans
- [49] soft chaudière 1978 GL2/Z département technique
- [50] MEHMET Sahin et al. (2004). A numerical investigation of wall effects up to high blockage ratios on two-dimensional flow past a confined circular cylinder. *Physics of Fluids* 16 (2004), 1305; doi: 10.1063/1.1668285 Scientists, 10 mai 2009 (consulté le 11 mai 2009)
- [51] Joshua Wurman, « Glamour, Science and the Start of VORTEX2 » [archive], Tornado.
- [52] L.GERMAIN, L.COLAS, J.ROUQUET « Le traitement des eaux destinées à l'alimentation des chaudières à vapeur, aux circuits de réfrigération et aux réseaux de distribution d'eau industrielle et potable », Ed 5e Dunod- Paris, 1976.

[53] « F.ELLIS, S.CARLSON « Le traitement des eaux dans l'industrie pétrolière », Ed technique- Paris, 1954.

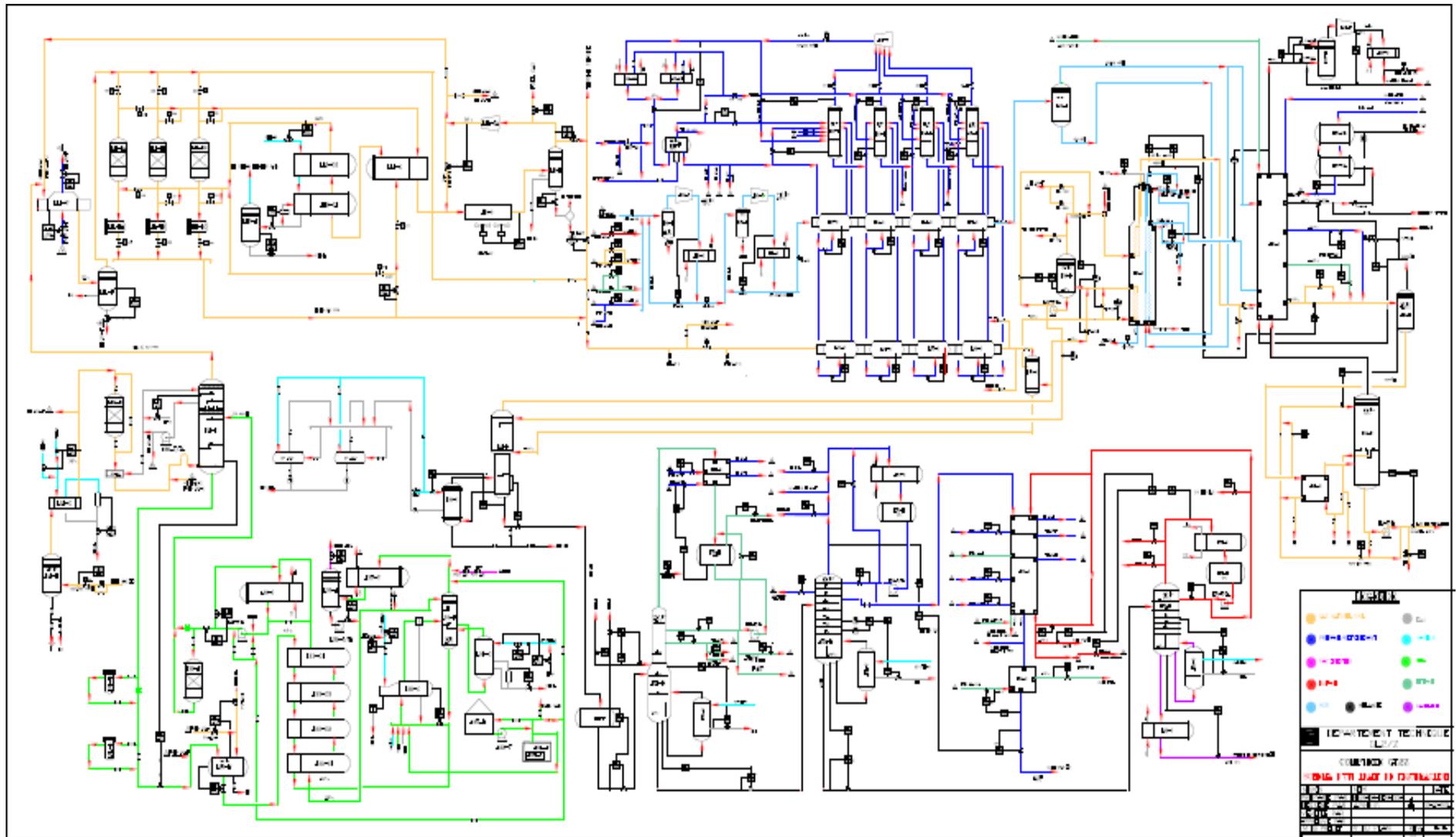
[54] F.MORAN « Chauffage climatisation installation sanitaire et traitement des eaux », Ed Parisienne, 2002.

[55] Z.BOUZELIFA et S.MEDJANI. « Analyse et contrôle de la qualité de l'eau adoucie de refroidissement de l'ACO1 (MITTAL STEEL) ». Mémoire de fin d'études. Département génie des procédés, Université BADJI MOKHTAR-Annaba, 2005.

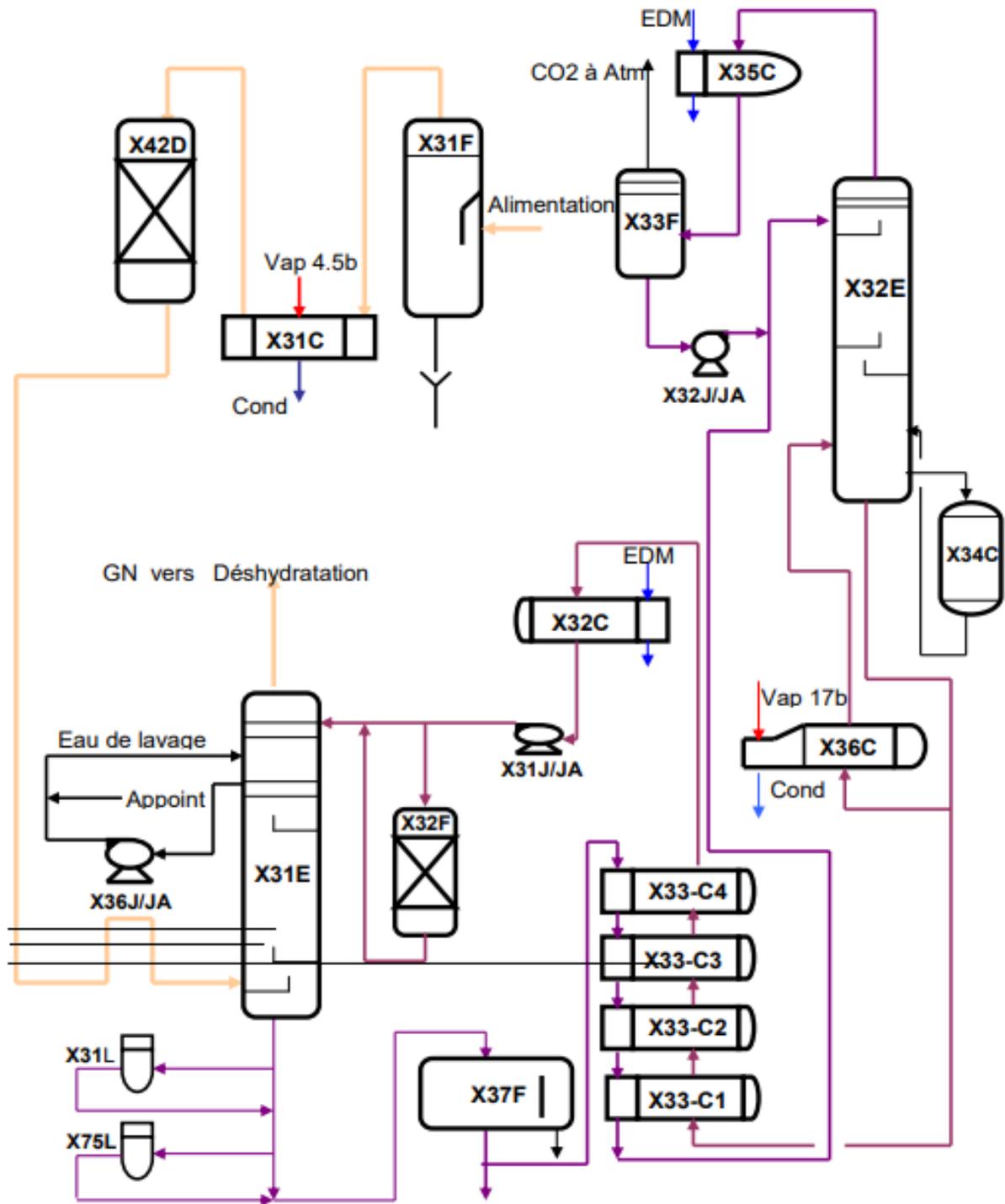
[56] M.PHILLIPE-« chaudière de récupération technique de l'ingénieur », génie énergétique, volume W1, Ed ISTA 198

[57] Manuel Opérateur et de Maintenance D'équipements des Chaudières (volume 1) IHI GL2/Z 2007

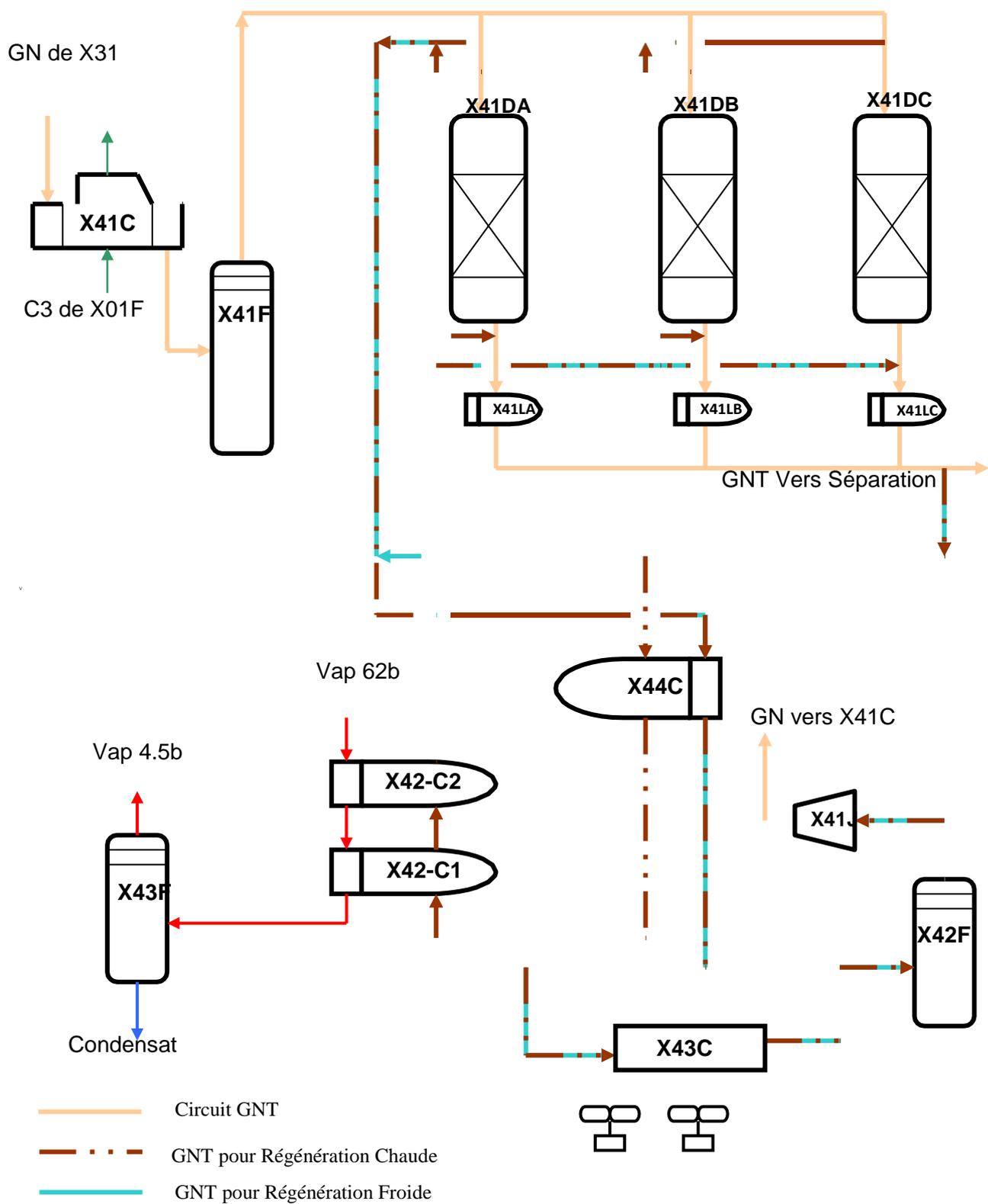
Annexes



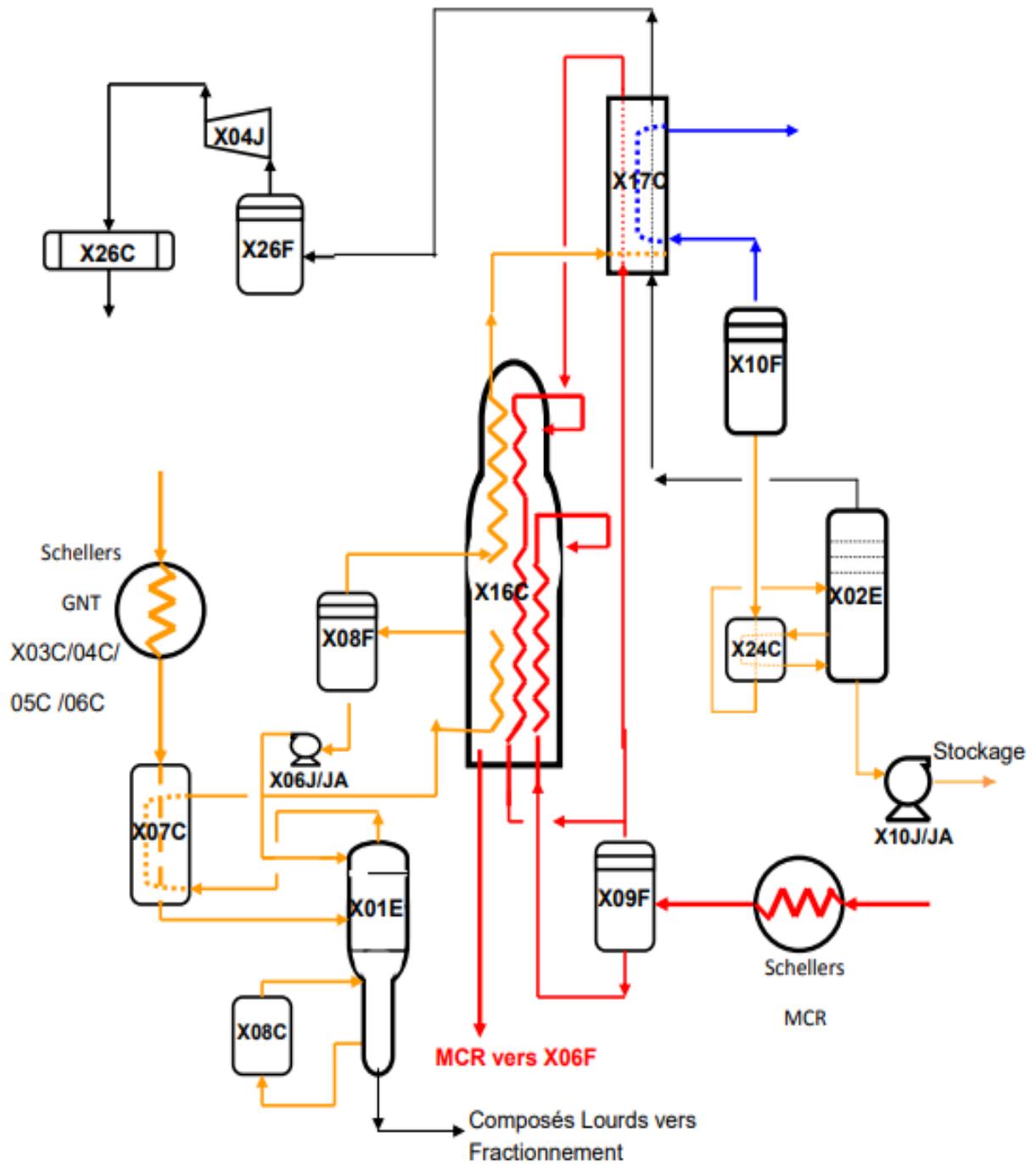
Annexe 1 : Schéma simplifié d'un train de production



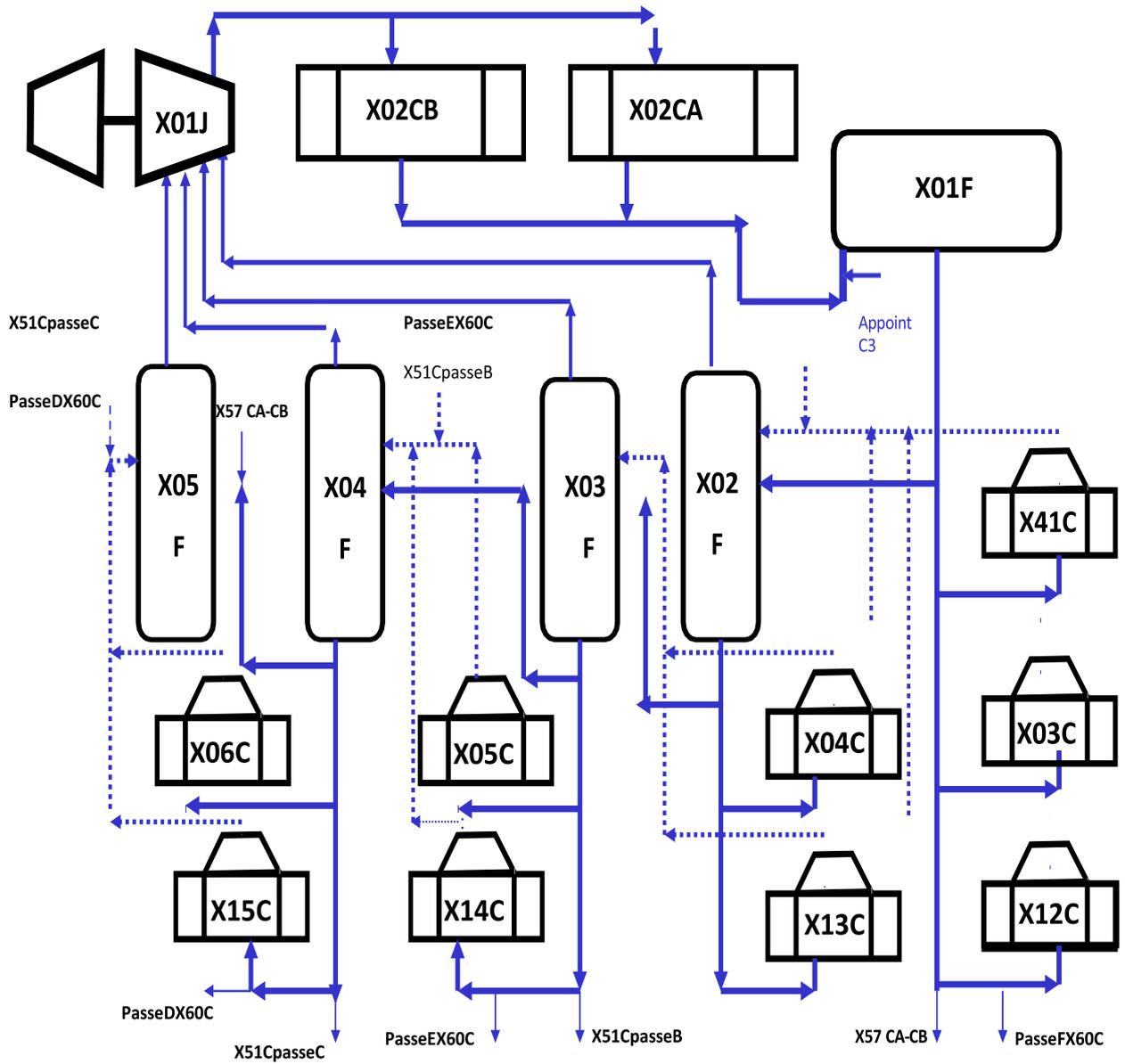
Annexe 2 : Absorption CO₂ et Régénération MEA



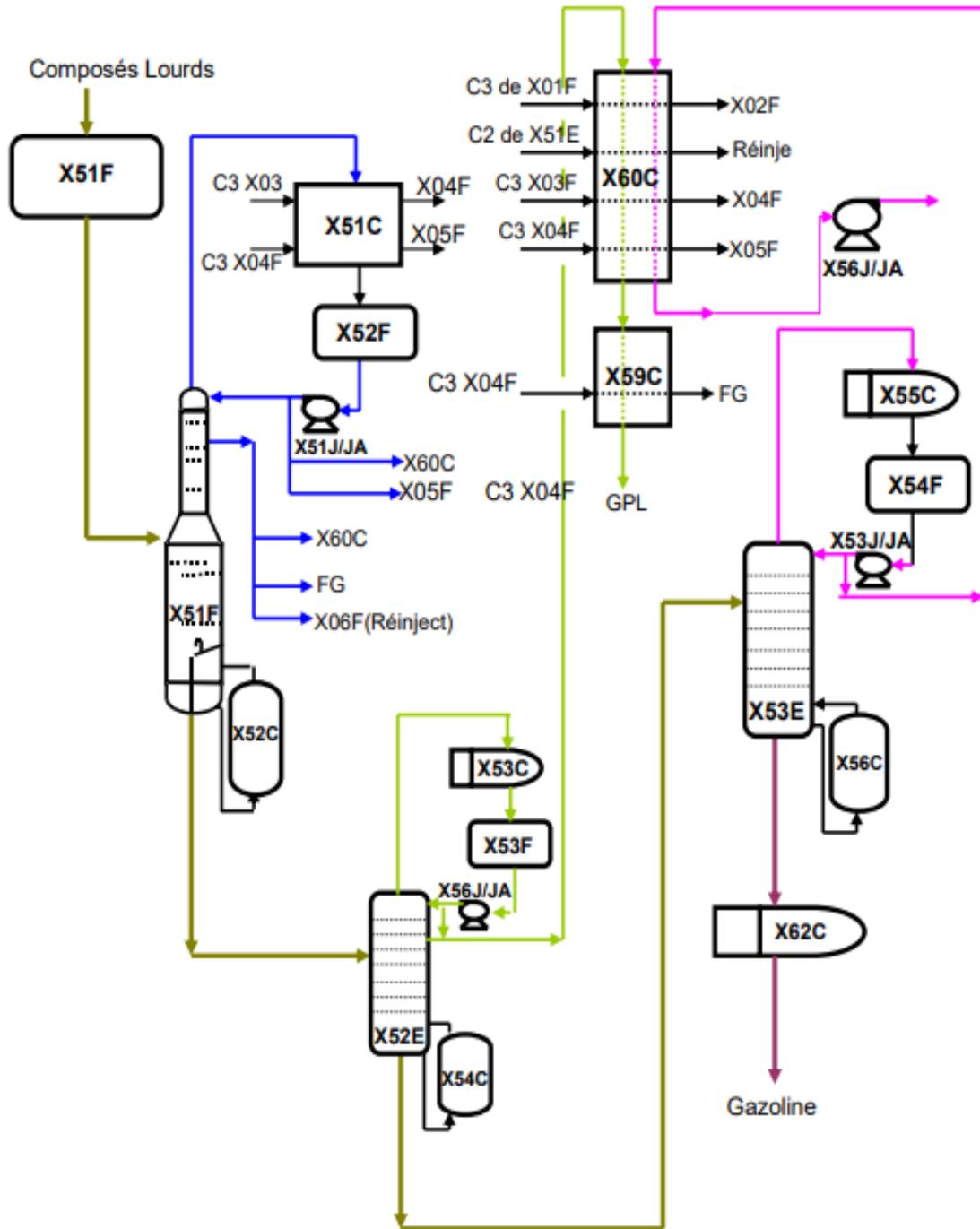
Annexe 3 : Déshydratation



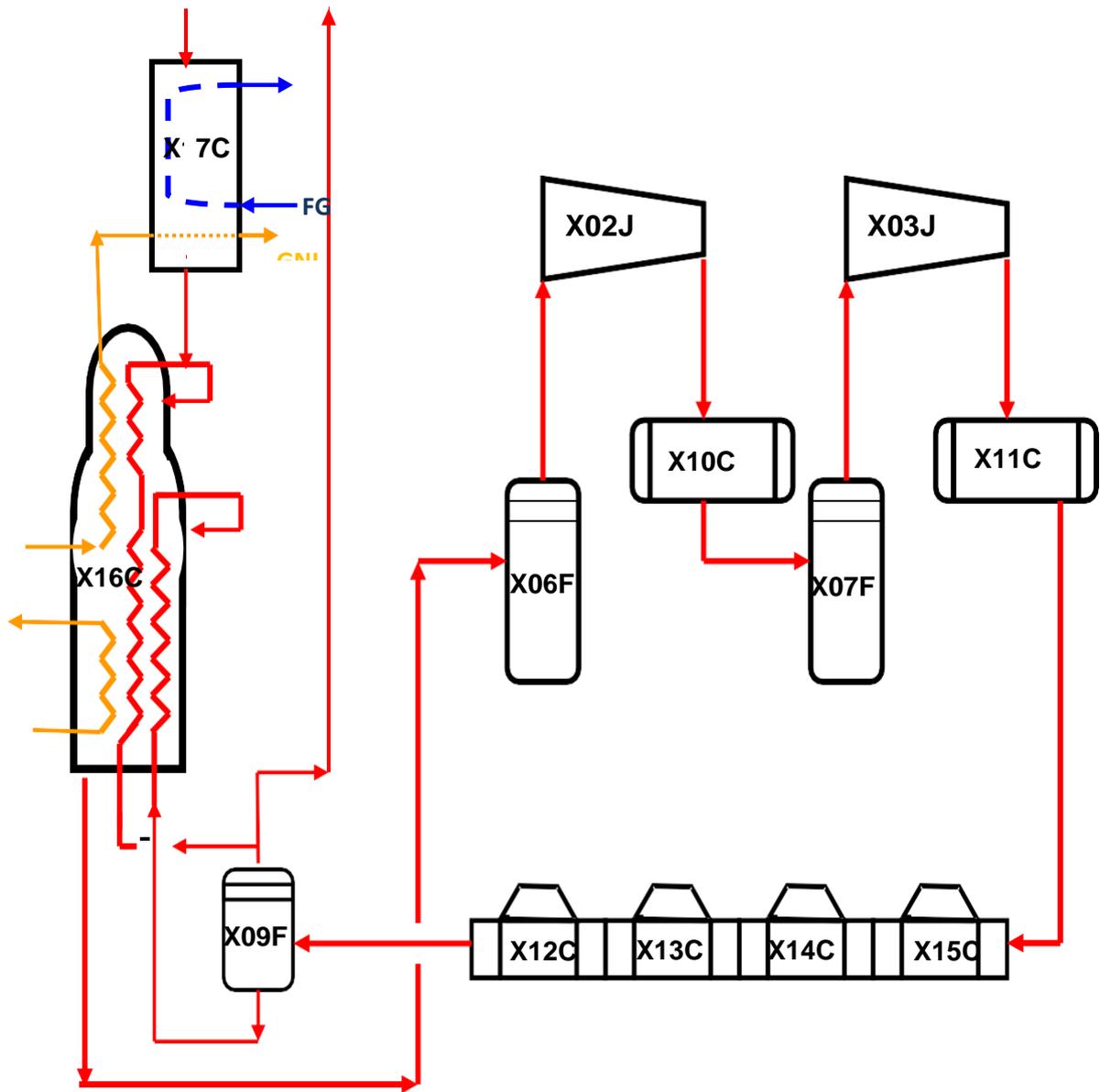
Annexe 4 : Séparation & liquéfaction



Annexe 5 : Boucle propane



Annexe 6 : Boucle MCR



Annexe 7 : Fractionnement