Introduction générale

La filtration est une partie essentielle du procédé de fabrication dans l'industrie cimentière, par conséquent le choix du filtre à manches (FAM) approprié revêt une importance extrême. Bien que les FAM ne représentent normalement qu'une part relativement faible du coût total de l'installation, ils sont, de fait, l'un des facteurs les plus critiques pour l'exploitation.

La dispersion des poussières générées par les opérations de cuisson et de broyage au moyen de hautes cheminées peut avoir un impact environnemental important sur une large zone, créant des risques pour la santé, elle constitue également une perte de production. Il est par conséquent essentiel que les FAM utilisés puissent réduire efficacement les émissions de poussières polluant l'environnement de manière à satisfaire aux dispositions réglementaires qui conduisent, de fait, à la recherche de médias plus performants.

Il y a quelques années la culture du respect de l'environnement à l'ALGERIE n'avait pas une envergure aussi grande que l'impose aujourd'hui la nécessité de protéger la nature sous toutes ses formes.

Les cimenteries sont, pour leur part, dans la catégorie des potentiels pollueurs de l'atmosphère du fait des émanations de poussières provenant de leurs équipements.

Notre étude sera axée sur les filtres à manches de la cimenterie de Beni-Saf, entreprise hôte de ce projet de fin d'études. Les objectifs visés sont tout d'abord la maîtrise du fonctionnement de leurs équipements de filtration, puis l'élaboration d'une méthode d'exploitation pour amélioré la durée de vie de ce système et enfin la proposition des mélioratives sur ces dispositifs.

Dans la première partie, nous nous attèlerons à une brève présentation de la cimenterie de Beni-Saf en termes d'organisation de l'entreprise, de la nature de ses produits et de l'agencement de son processus de fabrication.

Dans le second chapitre, nous parlerons essentiellement du dépoussiérage et de la filtration dans le cadre général, en mettant en exergue les diverses techniques et appareils employés dans ce domaine.

Dans le troisième chapitre nous avons étudié le système de filtre à manches de la zone broyage-ciment notée (BK1). Une description enrichie par des schémas et des images des différents composants formants le système de filtration est donnée dans ce chapitre.

Dans le quatrième chapitre nous avons entamé le problème de maintenance selon une approche probabiliste et statistique. Le logiciel de la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) de l'entreprise est exploité afin de mettre en évidence le problème de maintenance des douze filtres de la zone BK1. Des définitions des différentes fonctions de la maintenance ainsi qu'une présentation de deux lois de survies sont données dans ce chapitre.

Dans le cinquième chapitre nous avons utilisé le modèle de Weibull pour déterminer les paramètres de fiabilité. Deux méthodes sont expliquées :

- Méthode graphique
- Méthode numérique

Enfin de ce chapitre, nous avons proposé quelques solutions pour combattre le problème de panne fréquente des manches filtrantes de quelques FAM de la zone en question. A la fin, nous donnons une conclusion avec quelques perspectives.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

Le présent chapitre donne une vision globale sur l'entreprise de la cimenterie du Beni Saf (S.CI.B.S). On s'attachera dans la première partie à présenter l'entreprise et son organisation actuelle, Dans la deuxième partie on présentera le processus de fabrication du ciment.

1.1. Introduction

Le ciment est un liant hydraulique. C'est-à-dire est une matière qui a la propriété d'encoller d'autres ensembles. Le terme « hydraulique », signifie que cette propriété s'exerce sous l'eau. Au départ le ciment n'était pas fabriqué en cimenterie mais tout simplement en mélangeant de la chaux avec des cendres volcaniques appelées pouzzolanes Dans beaucoup de région, la chaux est en effet un matériau connu depuis de longue date obtenu par des cuissons de pierres calcaire suivie d'extinction lorsque celle-ci est très pure on obtient de la chaux grasse qui durcit lentement dans l'air sans jamais développer une fort résistance. Par contre si la pierre calcaire contient de l'argile elle peut atteindre à une cuisson de chaux plus ou moins hydraulique qui durcit également sous l'eau en développant une résistance supérieure à celle de la chaux grasse **[1]**.

1.2. Présentation de la S.C.I.B.S

Dans le cadre de son plan d'investissement l'E.R.C.O à confié en décembre 1974 à CLE (CREUSOLOIRE) entreprise la réalisation de la cimenterie de BENI-SAF, mais elle n'est pas devenue productive qu'à partir du 14/11/1978 .Elle était sous la direction générale de l'entreprise mère Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC) située à Alger. Cette usine est implantée à 4 Km à l'EST de Béni-Saf, à une altitude de 185 m. Elle est devenue une entreprise autonome en Février 1979. Les deux gisements calcaire et argile sont situés au sud est de BENI-SAF à une superficie de 42 Hectares dont 20 Hectares Bâtis. L'énergie électrique nécessaire à la production est fournie par deux lignes de 60 KV, L'usine est pratiquement implantée sur deux niveaux:

- Le premier niveau ou sont regroupés les équipements de production de ciment.
- Une seconde plate-forme essentiellement réservée à l'ensachage et à l'expédition

Les équipements de production de clinker, broyage cru, homogénéisation et cuisson sont implantés en ligne, Parallèlement à cette ligne sont situés l'atelier, le magasin, le stockage des ajouts et le hall de pré homogénéisation. Les broyeurs clinker et la salle de commandes sont implantés au centre de l'usine.

La Cimenterie de Beni-Saf a une capacité nominale, de production de 3600T/J. Le ciment de S.C.I.B.S. de référence (GPJ-CEM II/A42, 5NA 442/2000) est un ciment portland obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Figure 1.1: cimenterie du Beni-Saf.

1.3. Organisation de la cimenterie

La société de cimenterie de Beni-Saf (S.C.I.B.S) regroupe quatre directions :

1.3.1. Direction générale

Elle est gérée par un PDG, la direction générale est chargée de la gestion, l'organisation et la coordination entre les directions de la cimenterie.

1.3.2. Direction de finance et comptabilité (D.F.C)

Elle est chargée de la gestion financière, de l'établissement de paie et de toute la comptabilité de la cimenterie. Elle comprend le :

- Département de comptabilité analytique.
- Département de comptabilité générale.
- Département de budget et trésorerie.

1.3.3. Direction de ressource humaine (D.R.H)

Elle est chargée d'administration, gestion de carrière et l'application de la réglementation. Elle comprend deux services :

- Le service de personnel.
- Le service des moyens généraux.

1.3.4. Direction de production

Elle est chargée de la production, comme elle fait de la gestion de la production, elle aussi divisée de deux sous directions :

- Sous-direction exploitation.
- Sous-direction maintenance.

1.3.4.1 Sous-direction exploitation

Elle est chargée de la fabrication de produit, et le suivi de processus de production et l'exploitation de la matière première. Elle comprend deux départements:

a) Département fabrication

Ce département comprend les quatre services suivants :

- Service fabrication.
- Service exploitation.
- Service environnement.
- Service laboratoire.

b) Département matière première

Il comprend deux services :

- Service matière première.
- Service entretien engins roulants.

1.3.4.2 Sous direction maintenance

Elle gère les problèmes de la maintenance et l'investissement, elle comprend :

- Département maintenance.
- Département bureau d'étude et méthode.

a) Département Maintenance

Il assure l'exécution des travaux d'entretiens de toutes les installations de la cimenterie en assurant les ensembles des opérations de dépannage et d'entretien, Il comprend :

- Service mécanique d'entretien.
- Service électrique.
- Service Utilités.
- Service de Contrôle, Mesure et Régulation (C.M.R).

b) Département bureau de méthode

Il est chargé de la gestion, étude, préparation, ordonnancement et lancement.

Il comprend les services suivants :

- Service magasin Générale (Gestion de stocks)
- Service approvisionnement.
- Service visite.
- Service méthode.
- Service étude et réalisation.

L'atelier mécanique est liée directement au service d'étude, il est Chargé d'exécution des ordres de travail .Il comprend deux sections :

- Section usinage.
- Section chaudronnerie.

Le département bureau de méthode a des taches suivant :

- Rapport de visite.
- Fiche d'incident.

Toutes informations ramène par d'autre structure, elles sont prise en charge est exploiter. Le service de méthode doit établir un programme de travail soit :

- Le lancement de travail en urgence.
- Programme hebdomadaire.
- Programme grand arrêt.

Toute ordre de travail doit être saisie en cas d'un problème répétitif, on a recoure à l'historique pour mieux étudier le problème.

L'organigramme actuel de l'entreprise est représenté dans la figure 1.2.

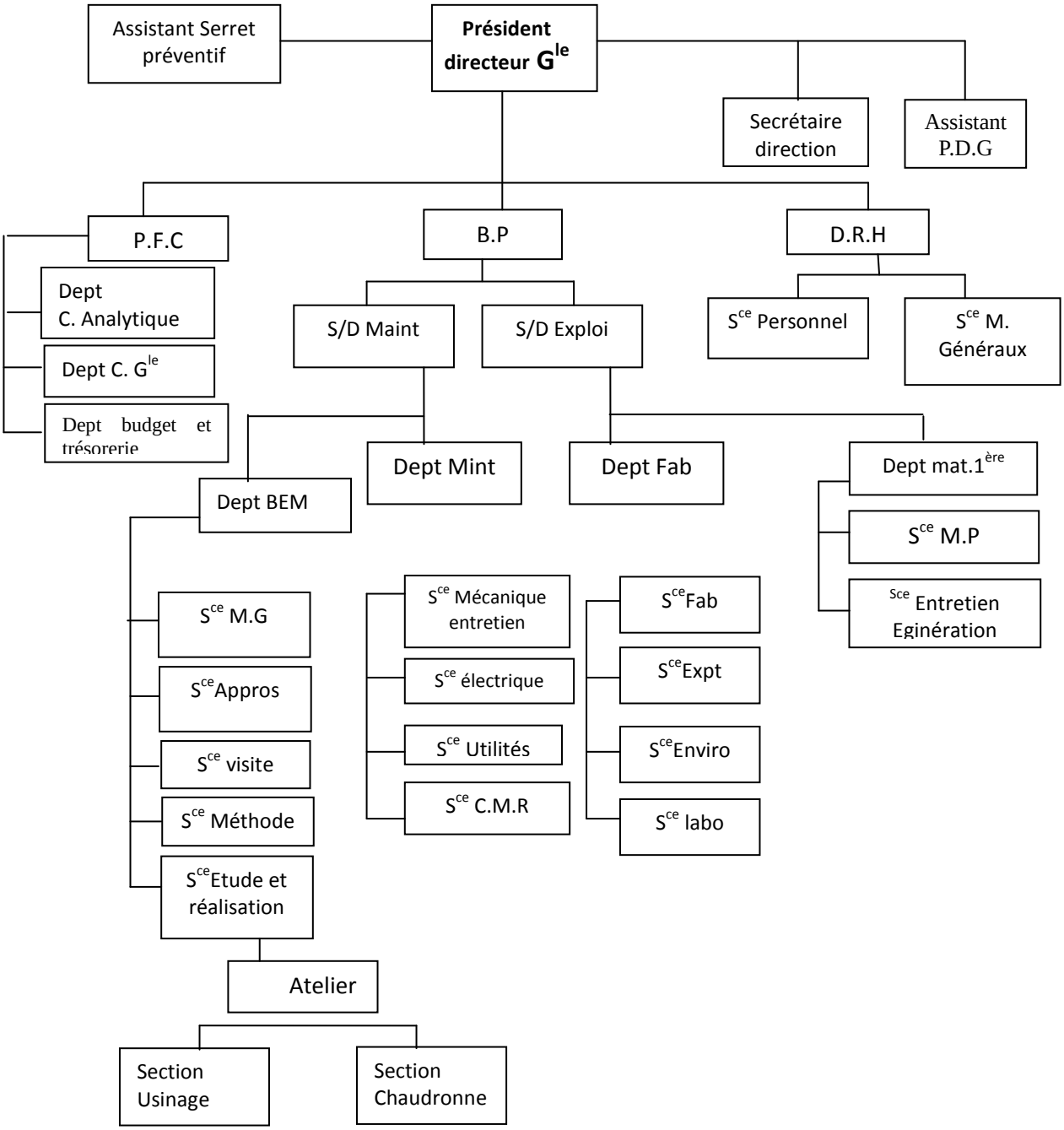


Figure 1.2: Organigramme de S.C.I.B.S

1.4. Fabrication du ciment [2]

Le ciment est un lien hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson, appelé clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique. Le ciment résulte du broyage de clinker et de sulfate de calcium ajouté Généralement sous forme de gypse Il forme avec l'eau une pâte plastique faisant prise et

durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, notamment sous l'eau

1.4.1. Constituants [2]

Le ciment de Beni Saf est constitué de: 80% de Clinker ,15 ±5% de pouzzolane naturel, sulfate de calcium et des additifs.

- Clinker Portland :

C'est un matériau hydraulique constitue d'au moins deux tiers (2/3), en masse, de silicates de calcium C3S et C2S la partie restante contenant des silicates d'aluminium et de fer C3A, C4AF et d'autres oxydes. Le clinker portland est obtenu par cuisson d'un mélange homogène de farine crue contenant CaO, SiO2, Al203, Fe203 et de petites quantités d'autres matières.

- Pouzzolane naturelle :

Est une substance d'origine volcanique (pierre ponce) composée essentiellement de SiO2; réactif, de Al203, de Fe203 et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques

- Sulfate de Calcium :

Le sulfate de calcium sous forme de gypse est ajouté à raison de 5% aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, en vue de réguler la prise.

- Additif :

Un adjuvant ou agent de mouture destine à favoriser le broyage du ciment est ajoute au cours du broyage ciment.

Figure 1.3: Composants du ciment

1.5. Processus de fabrication de ciment

Le processus de fabrication du ciment comprend six grandes étapes :

- l'extraction des minerais
- le concassage
- la pré-homogénéisation et le stockage
- le séchage et le broyage
- la cuisson
- le broyage

Dans ce qui suit les différentes étapes sont présentées

1.5.1. L'extraction de la matière première [1]

L'extraction consiste à extraire du calcaire et de l'argile a partir de carrière a ciel ouvert. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des dumpers ou des bandes transporteuses vers un atelier de concassage. Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps.

Figure 1.4: l'extraction des matières premières

1.5.2. Le concassage [1]

L'opération de concassage a pour but de réduire la granulométrie des blocs de pierre en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière et contenant de fortes proportions de l'argile et de fer et des traces d'autres éléments. En effet, ils sont transportés par les camions puis déchargés dans une trémie qui est reliée à un alimentateur à vitesse variable qui permet de réguler le débit d'alimentation.

Figure 1.5: Concassage [4]

- caractéristique du concasseur [3]

L'opération de concassage est la deuxième opération après l'extraction de la matière première, dans ce qui suit nous présentant les caractéristiques du concasseur employé par la S.CI.B.S :

- Concasseur à percussion constructeur : HAZEMAG
- Dimension : 1 200 X 1 000 X 600 mm.
- Puissance : 1 200 KW (primaire) + 1 600 KW (secondaire)
- Débit moyen : 800 à 1 200 t/h selon % humidité
- Dépoussiérage : Filtre à manche VIM
- Débit gaz traité : 50 000 m3/h à température ambiante
- Surface filtrante : 2 caissons de 266 manches (130 X 3000 mm.)

1.5.3. La pré-homogénéisation [1]

Le mélange concassé est déversé en couche parallèle par un Staker (Figure 1.6) pour constituer un tas de 30000 à 35000 tonnes. Une roue-pelle (Figure 1.7) reprend perpendiculairement en couches verticale le mélange d'un autre tas formé précédemment pour l'envoyer à la demande dans des trémies d'alimentation des broyeurs sécheurs. Une station d'échantillonnage située en amont permet de rectifier à la demande l'envoi de calcaire (composition différente d'un couloir à l'autre dans la carrière) et de connaître la composition chimique moyenne. L'atelier pré-homogénéisation de la S.C.I.B.S. Stacker : Figure 1.6

Figure 1.6: Stacker [5]

- Débit : 1 500 t/h max.
- Largeur de la courroie : 1 400 mm.
- Transporteur de flèche : Longueur 21 500 mm ; Hauteur : 6 000 mm.
- Puissance : 55 KW à 1 500 tr/mn.
- Vitesse de la courroie : 2,1 m/s.

Figure 1.7: Roue-pelle [6]

- Débit : 350 t/h
- Ø de la roue : 3750 mm
- Nombre de godets, capacité d'un godet : 8 X 160 dm^3.
- Vitesse de rotation : 6 tr/mn.
- Puissance de la roue : 30 KW à 1 500 tr/mn.
- Longueur de la flèche : 18 000 mm.
- Hauteur d'élévation : 4 000 mm.
- Vitesse de la courroie : 2,1 m/s.

1.5.4. Broyage du cru [1]

Les matières premières pré-homogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactives au cours de leur cuisson dans le four, elles passent donc dans des doseurs alimentant un broyeur sécheur (il ne doit pas pratiquement subsister de particule de dimensions supérieures à 0.2 mm). La fonction du séchage est nécessaire car le broyage ne peut s'effectuer que dans la mesure où la matière ne s'agglomère pas sous l'effet conjugué de son humidité et du compactage produit par les outils de broyage.

Figure 1.8: Broyage du cru [7]

En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure un mélange intime entre les différents minerais apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions. A la fin du broyage, la matière est dirigée vers un séparateur qui sélectionne les particules selon leur grosseur. L'atelier broyage de cru se compose de :

1. Broyeur : bi-rotateur

Figure 1.9 : Broyeur crue [8]

Le Broyeur crue est un système caractériser par [3] :

- Diamètre intérieur virole : 5 000 mm.
- Nombre de compartiment : 03 chambres de séchage + 2 compartiments.
- Longueur chambre de séchage : 3 400 mm.
- Longueur premier compartiment : 3 750 mm.
- Longueur deuxième compartiment : 4 750 mm.
- Charge de corps broyant 1er chambre : 89 tonnes à 28%.
- Charge de corps broyant 2ème chambre : 112 tonnes à 28%.
- Puissance installée : deux moteurs de 1 650 KW chacun.
- Vitesse de rotation : 14,2 tr/mn.

2. Séparateur dynamique

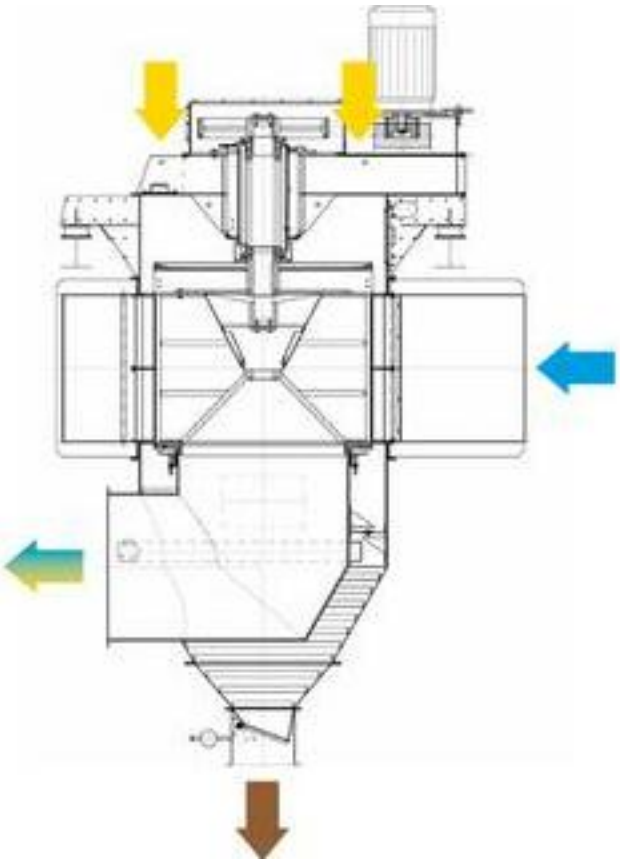


Figure 1.10 : Séparateur dynamique [8]

Le séparateur dynamique est caractériser par :

- Diamètre : 7 315 mm. (enveloppe extérieur)
- Puissance : 560 KW.
- Débit alimentation : 700 à 1 000 t/h.
- Débit produit fini : 270 t/h.

3. Séparateur statique

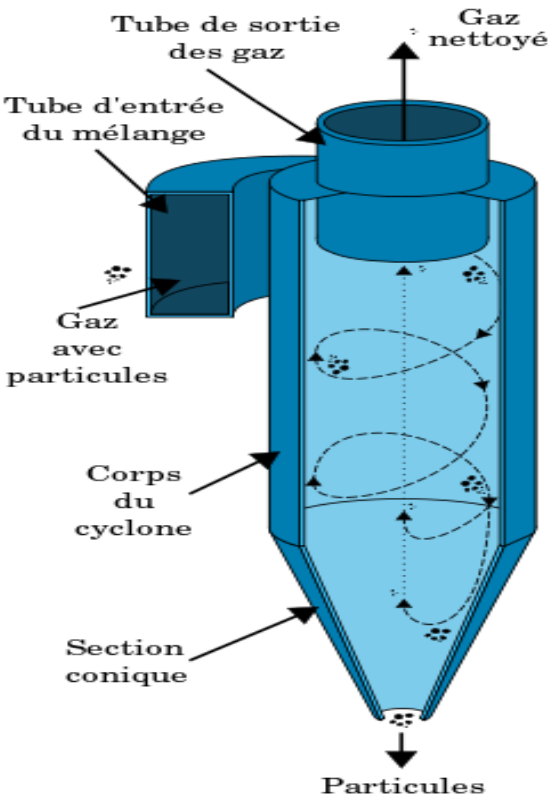


Figure 1.11: Séparateur statique [9]

Le séparateur statique est caractérisé par :

- Diamètre : 7 500 mm (virole) et 600 mm cyclones (interne).
- Batterie de 4 cyclones de 3 200 mm diam. et de 8 000 de hauteur.
- Débit des gaz passants : 270 000 nm3/h.

4. élévateur à godet

Figure 1.12 : Elévateur à godet [10]

- Débit 2 X 600 t/h

5. électro filtre

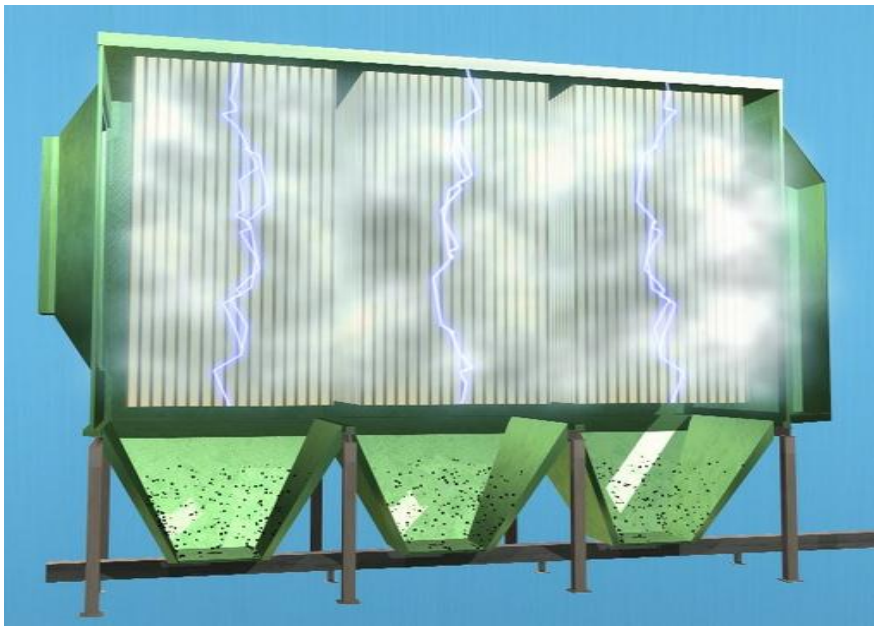


Figure 1.13: électrofiltre [10]

L'électro filtre est un système caractériser par :

- Deux électro filtres possédant deux champs en série chacun
- Surface collectrice développée : 5200 m²
- Taux de poussière à la sortie 50 mg/nm^3

6. Silos d'homogénéisation

- Diamètre intérieur 18 100 mm.
- Hauteur : 41 700 mm, hauteur utile : 35 700 mm.
- Capacité : 2 X 10 000 tonnes.
- Débit de soutirage max. 2 X 150 t/h.

1.5.5. La cuisson :

On entend par cuisson le processus de transformation de la matière crue en clinker par un apport thermique suffisant pour obtenir des réactions chimiques complètes conduisant à l'élimination presque totale de chaux non combinée.

Pour améliorer le bilan thermique, des échangeurs à cyclone sont utilisés en amont du four pour préchauffer la farine à une température aux environs de 900°C.

La figure 1.13 présenté les différents étapes le la cuisson.

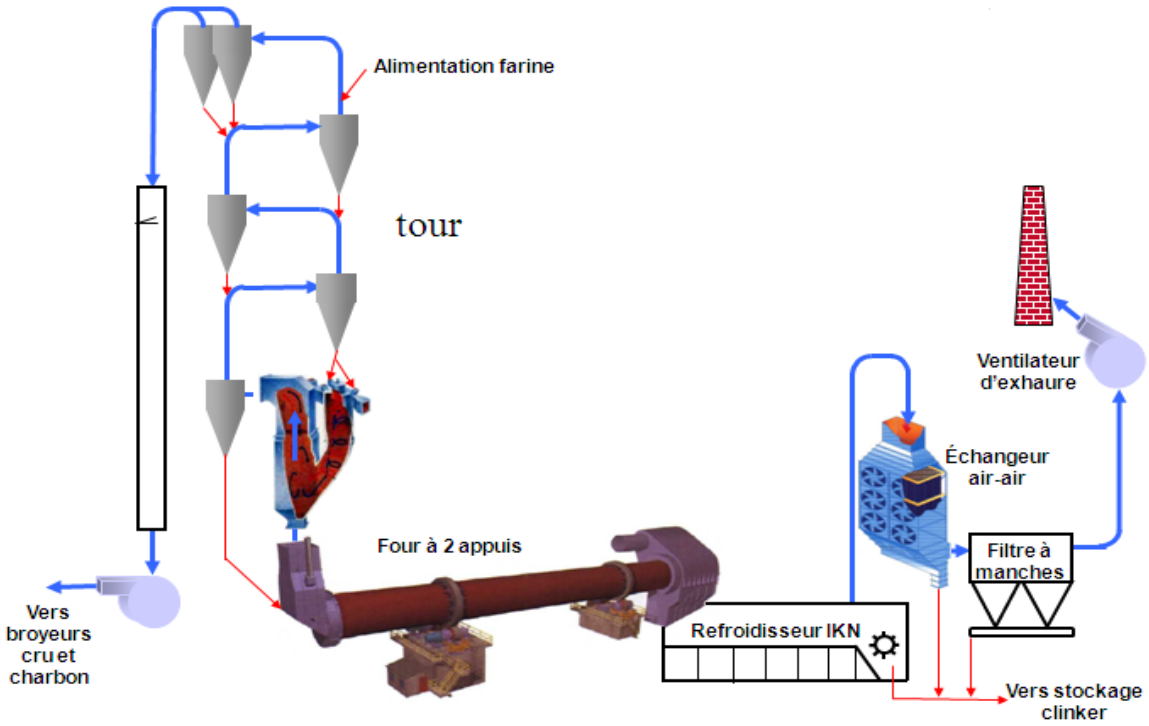


Figure 1.14: Différentes étapes de la cuisson

Le transfert de la chaleur dans les cyclones est dû à l'échange entre les gaz chauds sortant du four et le cru circulant à contre courant, ce qui permet la décarbonations du carbonate de calcium pour donner la chaux (CaO) avec dégagement du gaz carbonique (CO2). Ce processus est appelé pré-calcination. Dans ce qui suit nous présentons Les différentes composantes de l'atelier cuisson avec les caractéristiques de chaque composante :

1. Préchauffeur

Le préchauffeur est un système comprenant quatre étages appelé cyclons (C)

Tableau 1.1: Les étages de préchauffeur

CYCLONE	C1	C2	C3	C4
Diamètre (en m)	3,35 m	6,5 m	6,5 m	6,5 m
Hauteur total (en m)	7,15 m	6,25 m	6,25 m	6,25 m

2. four rotatif (four à appuis)

La figure 1.14 présente une image du four rotatif employer par la S.C.I.B.S. Les carracteristiques du four sont donées ci-dessous :

- Diamètre : 5,4 m /5,7 m
- Longueur : 90 m

- Plage de vitesse de rotation 0,82 à 1,96 tr/mn.
- Puissance installé : 500 KW
- Nombre de butée hydraulique : 02
- Entraînement : couronne d'entraînement fixée sur le four en deux parties, diamètre primitif 7 488 mm, nobre de dents 208-module =36
- Combustible : gaz naturel (PCI = 9 100 Kcal/m^3)

Figure 1.15: four rotatif

3. Refroidisseur

Après la sortie du four le mélange subit une étape de refroidissement. Le refroidisseur employer aux caracteéristiques suivant :

- Nombre de grille : 03
- Surface des grilles : 110 m².
- Largeur utile des grilles : 3 500 mm.
- Débit nominal de clinker à refroidir : 3 000 t/j - 125 t/h.
- Débit d'avalanche admissible : 4 000 t/j - 167 t/h.
- Débit nominal en air de refroidissement : 375 000 nm3/h.
- Débit en air secondaire théorique : 120 000 nm3/h.
- Excédent (air exhaure) : 255 000 nm3/h.

4. Ventilateur exhaure

Le système utilise deux ventilateur d'exhaure. Leurs carracteristiques sont comme suite :

- Débit d'air 155 000 nm3/h
- Vitesse de rotation : 965 tr/mn.
- Diamètre de la turbine : 2 250 mm
- Puissance du moteur : 450 KW

5. Filtre à manche

Pour raisons environnementales et économiques la production de ciment necessite la présence d'un système de filtration. La figure 1.16 présente une image de filtre a manche employes par S.C.I.B.S.

Figure 1.16: filtre à manche

Le tableau suivant donne les propriétés de ce filtre à manches.

Tableau 1.2: Propriétés du filtre à manches de la figure 1.16

Gaz du ventilateur du four	Unité	Valeur indiqué	
gaz d'échappement du four	Nm^3/h	200 000	
		Normal	Max
Température	^0C	350	450
Concentration de la poussière	g/Nm^3	85	
Filtre a manche			
		Normal	Max
flux de gaz	Am^3/h	698 158	832 859
récupération des poussières	t/h	20.6	24.8
ventilateur d'extraction			
Capacité	m^3/h	916 145	
Moteur électrique	KW	1000	

1.5.6. Broyage du ciment :

Cette zone comporte deux broyeurs, un séparateur et un éléctrofiltre. Le broyage du ciment (Figure 1.7) est assuré par deux broyeurs à boulets (débit 90 t/h) en circuit fermé d'un diamètre Ø 4x15 m et une puissance de 3400 kW, équipé de séparateurs dynamiques, ces derniers sont alimentés par des élévateurs à godets de 400 t /h. L'air de ventilation du broyeur est épuré par un électro-filtre. L'évacuation de ciment vers les silos de stockage est assurée par une pompe pneumatique.

Les dispositifs formant la zone de broyage utilisés par la S.CI.B.S ont les caractéristiques suivantes :

1. Broyeur

Le broyeur est caractérisé par :

- Diamètre : 4 m
- Nombre de compartiment : 02
- Longueur utile 1ère chambre : 4 250 mm
- Longueur utile 2ème chambre : 9 750 mm
- Charge de corps broyant 1ère chambre : 67 tonnes _30 %
- Charge de corps broyant 2ème chambre : 155 tonnes _30 %
- Vitesse de rotation : 15,7 tr/mn.
- Puissance installée pour un broyeur : 3 200 KW
- Type réducteur : planétaire
- Attaque centrale : accouplement denté entre broyeur et réducteur + entre moteur et réducteur

Figure 1.17: Broyeur ciment

2. Séparateur dynamique

Le Séparateur dynamique est caractérisé par :

- Séparateur à air type ZUB 45 WEDAG
- Diamètre de l'enveloppe : 4 500 mm
- Plage vitesse du plateau 55 - 220 tr/mn.
- Débit maximum d'alimentation : 360 t/h
- Débit nominal en produit fini : 90 t/h
- Puissance absorbée du plateau : 110 - 115 KW

3. Electofiltre

L'électrofiltre est caractérisé par :

- Un électrofiltre à deux champs par broyeur
- Débit gaz traité : 33 000 nm^3/h
- Ventilateur après filtre d'une puissance de : 75 KW

1.5.7. Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage (figure 1.18) à partir desquels il est expédié soit en sacs, soit en vrac, par camions ou par voie ferrée.

Figure 1.18: Expédition

1.6. Distribution

La cimenterie de Beni-Saf (SCIBS) nourrit la conviction que sa performance ne peut être durable que si elle associe rentabilité économique, qualité environnementale, écoute et amélioration des conditions de vie des communautés dans lesquelles le groupe opère. Le développement durable vise à assurer le succès de l'entreprise à long terme. Nous sommes

convaincus qu'une entreprise industrielle comme la nôtre ne peut s'inscrire dans la durée que si elle sait s'inscrire dans la perspective de développement durable. La Cimenterie de Beni-Saf est devenue l'une des plus performante unité de production dans le pays en terme de capacité de production et de distribution et qui couvre une bonne partie du territoire national.

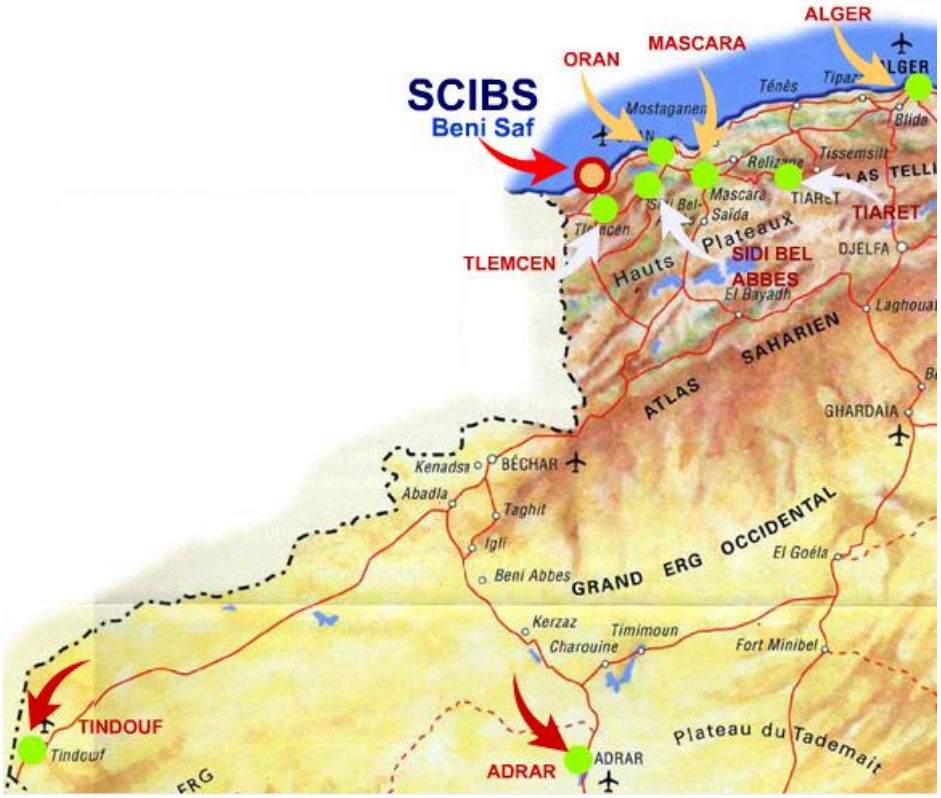


Figure 19: Réseau de distribution [2]

La capacité de production de l'usine est passée à plus de 1.200.000 de tonnes de ciments en 2007 et ainsi elle vient de pulvériser les records d'expédition des exercices antérieurs. Cette performance vient confirmer le bien fondé de la stratégie adoptée par la SCIBS.

Le tableau suivant détaille les ventes réalisées à la cour de l'année 2009 [2].

Année	Clinker	Ciment	Expédition
2005	691 246	824 003	831 752
2006	868 370	1014 663	1013 273
2007	1050 300	1219 964	1223 527
2008	1097 090	1249 240	1268 973
2009	1034 924	1205 650	1206 325

Tableau 1.3: détail de ventes à la cour de l'année 2009

Chapitre 2

Le dépoussiérage et la filtration

Ce chapitre est consacré à la description du dépoussiérage et de la filtration dans le cadre général, en mettant en exergue les diverses techniques et appareils employés. Par la même occasion nous présentons la situation au sein de l'entreprise S.CI.B.S ainsi qu'un recensement du matériel de dépoussiérage installé.

2.1 Généralités [11]

La filtration est basée sur la conservation de la particule contenue dans un fluide donné. Pour un flux d'air elle est définie par le dépoussiérage qui peut être fait pour plusieurs raison. En effet, il est parfois opéré dans le but de récupérer de la matière déjà traitée et constituée de particules assez fines. Il peut aussi être réalisé et même dans la plupart des cas à des fins purement environnementales afin de réduire les émissions dangereuses pour l'atmosphère.

Quel que soit l'objectif visé, les méthodes de dépoussiérage utilisées laissent paraître le même principe de la captation de la poussière dans un support de transport qui est dans la cimenterie un flux d'air. Il est toutefois important de savoir que la vitesse de ce dernier influe sur la taille des particules entraînées.

Il existe des principaux éléments qui déterminent les conditions de dépoussiérage :

- la vitesse du flux d'air attractif qui est dépendante du ventilateur de tirage et de la dimension de la tuyauterie du collecteur,
- les caractéristiques physico-chimiques (composition, température, grosseur des particules) de la matière à recueillir,
- la pression au point de prise de la matière.

Après avoir dépouillé les particules les plus fines, la récupération et la réintégration de ces matières dans le processus de traitement impose la dissociation de la matière de l'air transporteur. C'est à ce moment que débute le phénomène de filtration. Les systèmes de filtrations utilisés dans l'industrie sont très diversifiés les uns des autres. Cette différence est essentiellement apparent dans les principes de fonctionnement et de capacité de captation des particules.

2.2 Classification des systèmes de filtration [11]

Les systèmes de dépoussiérages sont essentiellement divisés en 3 catégories:

- Séparateurs à effet mécanique : cyclone, multi-cyclone.
- Séparateurs à effet électrique : électro filtre.
- Séparateurs à média filtrant : filtre à manches.

2.2.1. Séparateurs à effet mécanique :

Les séparateurs à effet mécanique, comme leur nom l'indique, mettent en jeu une force mécanique pour faire la séparation des particules et du fluide transporteur par la pesanteur, l'inertie ou la force centrifuge. On peut classer dans cette catégorie :

- Les chambres de sédimentation (captage des poussières de taille de 50 à 200 µm),
- Les systèmes inertiels, constitués de chicanes et de plaques d'impaction (captage des poussières de 20 à 50µm),
- Les cyclones (captage des poussières de 5 à 30µm),
- Le multi-cyclone (captage des poussières de 5 à 10µm).

2.2.1.1 Chambres de sédimentation

La chambre de sédimentation est une simple appareil utilisée pour recueillir les particules solides ou liquides émises. C'est un compartiment dans lequel la vitesse du gaz porteur est réduite de manière à permettre la sédimentation, sous l'action de la pesanteur, des substances en suspension. Le rendement de captation des particules qui sédimentent à la vitesse finale U_t , est donné par l'équation générale.

$$E_g = (U_t * A_h)/Q \tag{2.1}$$

Où

E_g = rendement de la captation.

U_t= vitesse finale de sédimentation des particules, en cm/s

A_h = surface de la chambre en projection horizontale, en cm^2

Q = débit volumétrique du gaz porteur, en ml/s.

On voit que, pour un débit gazeux donné, le rendement de captation des particules dont la vitesse de sédimentation est U_t dépend de la surface horizontale totale de la chambre et qu'elle est indépendante de sa hauteur. La hauteur minimale d'une chambre de sédimentation doit cependant être telle que la vitesse du gaz dans la chambre soit suffisamment faible pour qu'il n'y ait pas réentraînement des substances déjà déposées. Cette vitesse ne doit normalement pas dépasser 3 mètres par seconde.

Dans ce type de collecteur, il est indispensable que le profil de vitesse latérale soit aussi régulier que possible et que la turbulence soit faible par rapport à la vitesse de sédimentation. Si ces impératifs ne sont pas respectés, le rendement de l'appareil diminue. Ces critères sont normalement satisfaits grâce à l'emploi d'orifices d'admission progressive, d'aubes directrices ou de palettes de distribution du gaz.

Du point de vue pratique, les applications industrielles de cet appareil sont limitées. On n'utilise guère les séparateurs par gravité pour éliminer les substances en suspension de diamètre inférieur à 40µ, car la captation de particules plus petites exigerait un appareil trop grand. Même pour des particules de plus de 40 µ ce type d'appareil est très volumineux. L'un des perfectionnements de la simple chambre de sédimentation consiste à la munir d'un certain nombre de plateaux horizontaux ; le rendement augmente notablement. Comme le montre l'équation (2.1). Le rendement est directement proportionnel à la projection horizontale de la surface du collecteur. L'augmentation du rendement obtenue par la mise en place de plateaux horizontaux est donc directement proportionnelle au nombre des plateaux. Même ainsi perfectionné, l'appareil ne permet de capter, en pratique, que des particules d'au moins 10 µ environ. Son utilisation est limitée par la difficulté de nettoyer des plateaux très rapprochés qui, de plus, ont tendance à se déformer quand l'appareil fonctionne à haute température. En outre il est inutilisable dès que la concentration en substances en sus- pension dépasse environ 2,3 g/m^3.

a. Avantages :

Les séparateurs par gravité offrent de nombreux avantages:

- Faible prix d'achat,
- Construction simple,
- Faible perte de charge,
- Entretien facile,
- Dépôt sec et continu des particules solides,
- Limites de température et de pression imposées uniquement par les matériaux de construction utilisés.

b. Inconvénients :

- Encombrement important;
- Réduction du rendement dès que les dimensions des particules sont faibles (efficacité très mauvaise lorsque le diamètre des particules est inférieur à 10µ);

- Réduction du rendement quand la concentration des substances en suspension dans le gaz à l'admission diminue.

En raison de leur simplicité de construction et de la modicité des frais d'entretiens, les chambres de sédimentation sont très utilisées comme pré- dépoussiéreuses des gaz avant leur traitement dans des collecteurs plus efficaces. Employées dans ces conditions, elles éliminent les grosses particules, fortement abrasives, et diminuent les frais d'entretien des appareils plus efficaces, plus sensibles à l'abrasion. Elles sont très utilisées pour éliminer les gosses particules solides dans les cheminées à tirage naturel, les fours, etc...

2.2.1.2 Système Inertie

Ce groupe de séparateurs comprend tous les collecteurs à sec qui mettent à profit l'inertie relativement grande des matières en suspension pour séparer les matières particulaires.

Il existe Deux types d'appareils reposent sur ce principe fondamental: les séparateurs cyclones, dans lesquels on soumet les particules à une force centrifuge continue qui en augmente l'inertie, et les séparateurs à inertie simple ou à impact qui obtiennent cette augmentation par des changements de direction du gaz porteur. Tout obstacle placé dans un courant gazeux, dévie ce courant. Si celui-ci est chargé de matières particulaires, les particules de grande inertie tendent à recouper les filets fluides et à venir frapper l'obstacle.

Ce genre de séparation par impact se prête à l'analyse théorique en fonction du rendement de l'obstacle, ou cible. Le rendement d'une cible s'entend de la fraction de particules présentes dans le volume fluide balayant un obstacle qui heurte la cible. Pour des obstacles de forme géométrique simple, les formules théoriques du rendement de la cible sont tirées de l'hydrodynamique classique. Pour les cas plus complexes, il est nécessaire de procéder à des déterminations expérimentales. Il a été montré (Albrecht, 1931; Langmuir & Blodgett, 1946; Sell, 1931) que dans le domaine d'application de la loi de Stokes, quelle que soit la forme géométrique de la cible, le rendement est fonction du groupe sans dimensions.

$$E = \frac{\left[D_p^2 * V_0 - \left(\rho_{p-}\rho\right)\right]}{\left[18 * D_B * \mu\right]} \qquad (2.2)$$

E= le rendement.

D_p= Diamètre des particules, en cm.

V_0= vitesse du fluide par rapport à l'obstacle, en cm/s.

ρ_p= masse volumique des particules, en g/ml.

ρ= masse volumique du fluide, en g/ml.

D_B= dimension caractéristique de l'obstacle, en cm.

2.2.1.3 Les cyclones

Le séparateur cyclone (figure 1.2) est l'un des dépoussiéreurs les moins coûteux. Il se compose généralement d'une chambre cylindrique ou conique, munie de dispositifs d'introduction tangentielle, en un ou plusieurs points, du gaz chargé de matières particulaires ; le gaz s'échappe par une ouverture cylindrique centrale, au sommet.

Le procédé de filtration s'effectue comme suit:

A. L'air capté à la source polluante par aspiration est acheminé vers la buse d'entrée tangentielle du séparateur cyclonique,
B. La chambre d'entrée de l'appareil en forme de spirale et la buse d'entrée d'air tangentielle, forcent le flux d'air en un mouvement rotatif, causant ainsi un effet cyclonique projetant les particules sur les parois de la chambre. L'effet combiné des forces centrifuges et gravitationnelles forcent les particules vers le bas de l'unité,
C. L'air filtré dans le noyau central de l'appareil est acheminé vers le tube concentrique de sortie,

Les particules récupérées convergent vers la décharge au moyen d'un cône. La vidange est assurée soit par une valve rotative, une valve à pince caoutchouc ou par un autre dispositif d'évacuation.

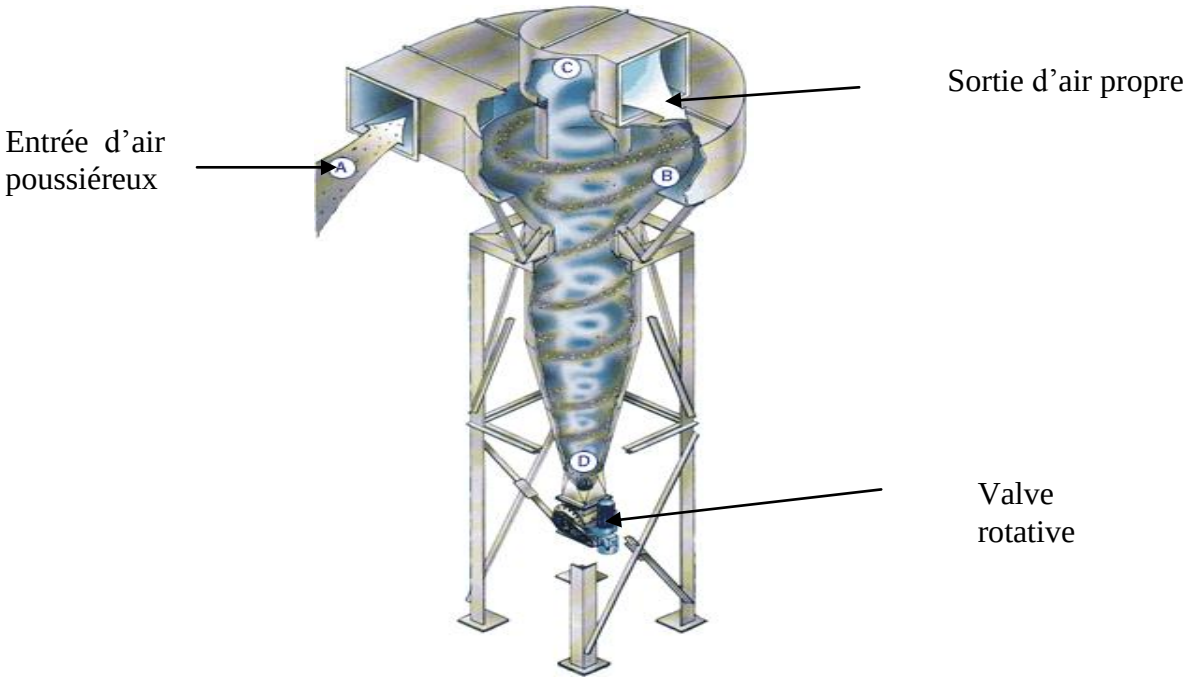


Figure 2.1: Schéma de principe d'un cyclone [5]

Le diamètre du séparateur cyclone est le facteur le plus important pour obtenir un bon dépoussiérage. Pour une perte de charge donnée, le rendement du dépoussiérage est d'autant plus élevé que le diamètre de l'appareil est petit, car l'accélération centrifuge est inversement proportionnelle au rayon de giration. Les accélérations centrifuges utilisées dans les appareils modernes varient de 5 à 2500 fois l'accélération de la pesanteur, selon le diamètre du cyclone. La tendance actuelle est à l'adoption de cyclones de faible diamètre; mais pour obtenir un débit volumétrique suffisant on utilise plusieurs cyclones en parallèle. Pour un dispositif donné, l'augmentation de débit gazeux, donc la vitesse d'admission, entraîne normalement une augmentation du rendement, mais au prix d'une augmentation de la perte de charge. L'application pratique des séparateurs cyclones est donc limitée par la perte de charge réalisable avec les ventilateurs commerciaux. Cette limitation impose généralement une vitesse d'admission de 6 à 21 mètres par seconde; l'appareil est normalement conçu pour une vitesse de 15 m/s. La pratique courante a conduit pour les cyclones modernes à des pertes de charge variant de 1 à 20 fois la charge de vitesse à l'admission, suivant les proportions géométriques de l'appareil et l'efficacité du dépoussiérage souhaitée.

Les paramètres à surveiller pour garantir l'efficacité de ce dispositif sont donc [11]:

- La hauteur du cyclone qui détermine le temps de séjour du fluide en son sein,
- La vitesse tangentielle du fluide,
- Le diamètre du corps du cyclone.

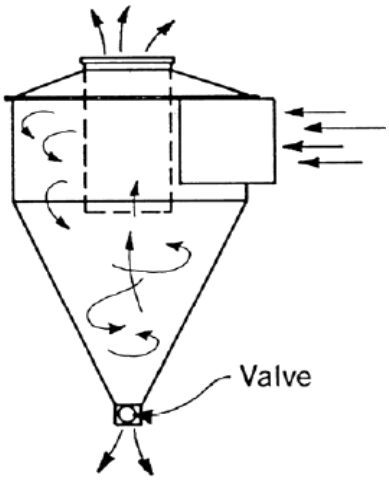


Figure 2.2: Schéma d'un cyclone [11]

On peut distinguer les divers types de cyclones, en fonction du mode de déplacement relatif des poussières et du gaz porteur. En effet, lors de la séparation, ces deux constituants peuvent cheminer dans le même sens d'écoulement ou non.

Selon ces deux cas considérés, les cyclones peuvent être :

- A retournement de flux : dans ce cas, on a une entrée tangentielle extérieure par volute ou hélicoïdale par-dessus du mélange. A la séparation, les gaz sortent par une cheminée centrale par le dessus et les poussières sont évacuées à la base d'une partie conique,
- De type axial : ici, l'entrée du mélange se fait à une extrémité puis la sortie des gaz au centre et des poussières à la périphérie de l'autre extrémité.

a. Performances

Les cyclones sont des appareils simples et fiables, bien qu'il existe des risques de colmatage et d'accumulation de particules. Leur efficacité dépend pour une bonne part de la taille des particules présentes dans les fumées. Leur rendement de captation est d'environ 98,5 % pour des particules de 20 microns mais tombe rapidement à 65 % pour des particules de 10 microns. Les dimensions des poussières dépendent de la granulométrie du combustible utilisé.

b. Avantages

- Température des fumées est illimitée,
- Solution simple, souvent directement intégrée à la chaudière,
- Le coût inférieur à 5 % du montant des équipements chaudière bois et ses annexes,
- Le coût d'exploitation est approximativement nul.

c. Inconvénient

- Performances limitées.

2.2.2. Séparateurs à effet électrique

Les séparateurs électrostatiques, comme leur nom l'indique, utilise un champ électrique pour dissocier les particules du gaz transporteur. Ils ne regroupent que deux catégories de séparateur à effet électrique :

- Les séparateurs électrostatiques humides (wet électrostatic persipitator WESP).
- Les séparateurs électrostatiques secs (électrostatic persipitator ESP).

Les séparateurs électrostatiques humide sont 10 fois plus performants que les séparateurs électrostatiques secs (ESP) car pouvant assurer le captage des poussières de 0.1 à 1 µm suivant la tension appliquée. Les précipitations électrostatiques utilisent les forces électrostatiques pour séparer des particules de la poussière des gaz de l'échappement. Les particules aéroportées reçoivent une charge négative lorsqu''ils traversent le champ ionisé

entre les électrodes. La matière rassemblée sur les électrodes est retirée en tapant les électrodes ou par vibrations soit continuellement soit à un intervalle déterminée. Le lavage d'une précipitation peut habituellement être fait sans interrompre la circulation d'air.

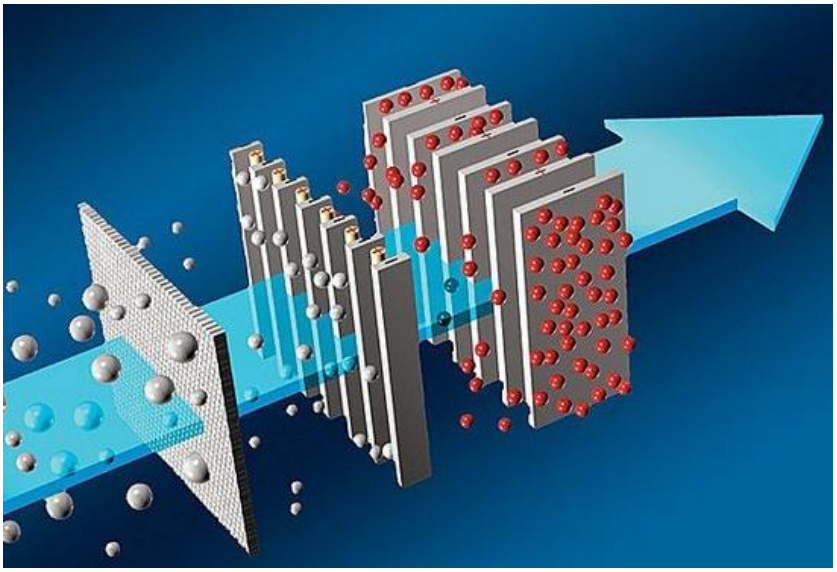


Figure 2.3: Principe de la séparation électrostatique [12]

La poussière déposée sur les électrodes collectrices profilées est éliminée cycliquement et évacuée ainsi de l'écoulement de gaz. Grâce à la formation de « pièges » sur les électrodes collectrices, ceci empêche tout réentraînement ou « Réentrainement » des particules déjà séparées. Les électro filtres sont ainsi particulièrement adaptés à la séparation de poussières fines provenant des courants de gaz.

2.2.2.1 Electro filtres

La conception des électro filtres pour le dépoussiérage des gaz de fumée selon les processus de combustion exige. Un grand savoir-faire en matière de recherche, car une multitude de paramètres doivent être pris en considération. Il faut considérer, d'une part, les paramètres des gaz de fumée ayant une influence directe sur la capacité de séparation et sur la composition des cendres, et d'autre part, les conditions générales du processus.

a. Principe

L'électro filtre est constitué de plaques métalliques verticales de grande dimension entre lesquelles circulent les fumées chargées en poussières. Les plaques sont alternativement reliées à une source électrique continue (pour les plaques émettrices) et à la masse (pour les plaques réceptrices). Le champ électrique qui en résulte exerce sur les poussières chargées électriquement une force qui les précipite sur les plaques réceptrices

où elles viennent s'accumuler. Des marteaux frappent régulièrement les plaques pour décoller les poussières qui tombent dans des trémies à la base du caisson de l'électrofiltre.

Les effluents gazeux débarrassés des poussières sont évacués par la cheminée via le ventilateur de tirage qui met en dépression la ligne de traitement. Pour éviter les risques de colmatage la trémie et l'ensemble du dispositif d'évacuation doivent être parfaitement bien calorifugés et équipés d'un dispositif de chauffage par cordons électriques, comme pour le filtre à manches. Le gaz de fumée chargé en poussière entre horizontalement dans le filtre via les déflecteurs de gaz et est divisé de manière uniforme en plusieurs« gaz », qui sont formés par les parois des électrodes collectrices mises à la terre. Au milieu de chacun de ces « gaz » se trouvent des électrodes émettrices, sur lesquelles est présente une tension négative élevée et qui ionisent le gaz par une décharge en couronne.

La figure 2.4 présente les composantes de l'électrofiltre.

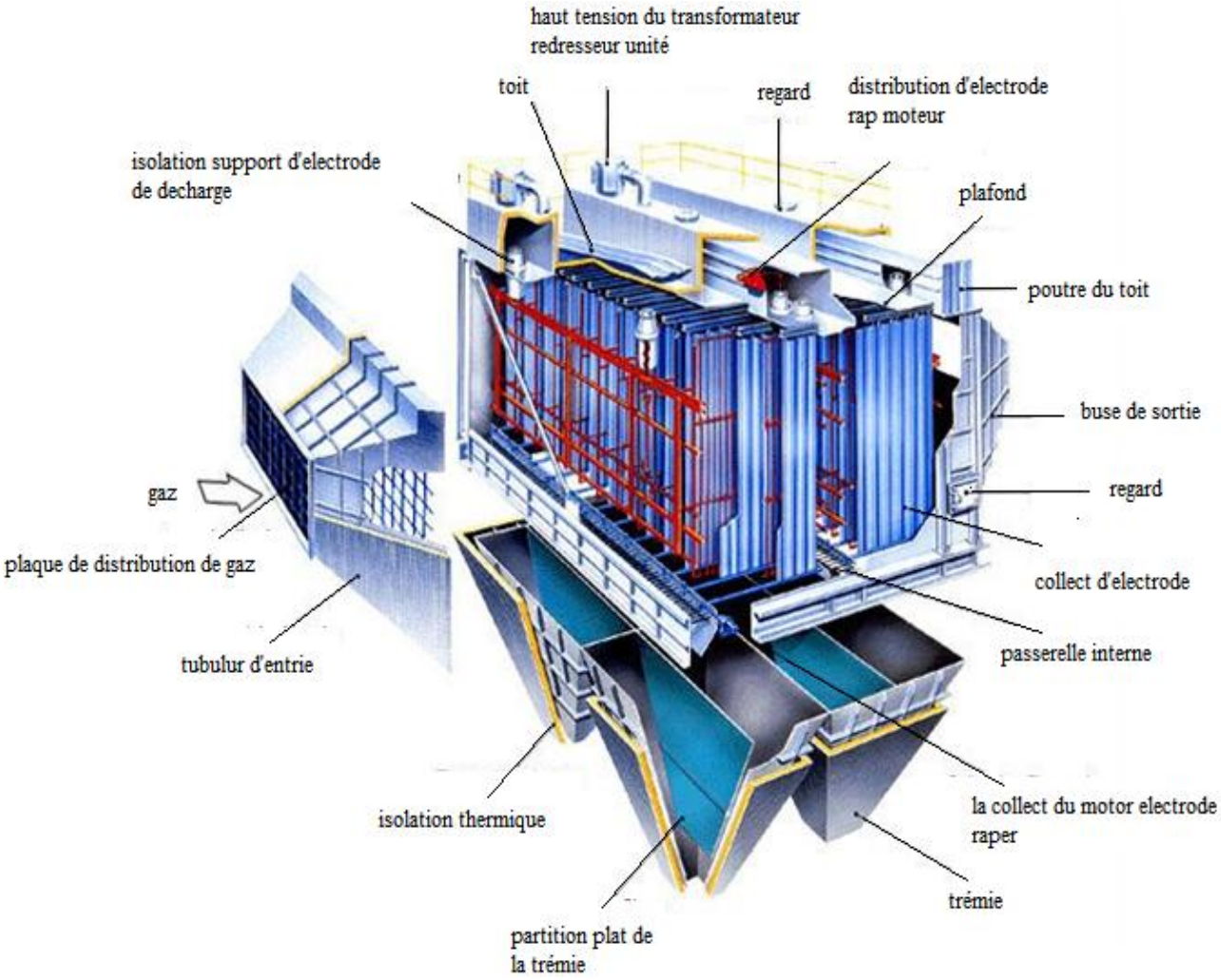


Figure 2.4: Schéma de principe d'électrofiltre

Les particules de poussières sont, chargées négativement lors de l'apparition d'ions gazeux, puis déposées sur les électrodes collectrices chargées positivement. La couche de poussières qui s'est déposée sur les électrodes collectrices est éliminée périodiquement au moyen d'un secoueur, puis elle tombe dans la cuve collectrice de poussières et est évacuée via un convoyeur à vis sans fin. Afin d'éviter les dépôts sur les électrodes émettrices, ceux-ci sont également éliminés via un secoueur propre.

b. Performances

L'électrofiltre garde de bonnes performances pour les particules de petite taille. Le rendement de captation est de 95 % pour des particules de 0,1 microns. En théorie, chaque champ d'électrofiltre a un rendement de captation de l'ordre de 90 %. Cependant, ce rendement diminue si la concentration des poussières augmente. C'est pourquoi le multi cyclone est généralement conservé en amont d'un électrofiltre pour garantir une concentration connue en entrée et limiter sa taille. Les seuils de performance garantis peuvent être de 30, 50 ou 100 mg/Nm3 à 11% d'O_2. Il est possible de garantir des valeurs inférieures à 20 mg/Nm^3 à 11% d'O2 mais pour des surcoûts importants. Les seuils de performance variant en fonction de la nature du combustible, l'électrofiltre est donc dimensionné, contrairement à un filtre à manche, ce qui lui donne moins de souplesse d'utilisation. L'électrofiltre travaille généralement à des températures comprises entre 230 et 350°C. La température maximale est environ du 450°C.

c. Avantages

- Résistance au gaz chaud (jusqu'à 300 0 C),
- Capacité de séparation élevée (degré de séparation supérieur à 99 %),
- Frais de fonctionnement réduits en raison de la faible perte de pression (et donc de la puissance du ventilateur),
- Frais d'entretien réduits (pas de manches filtrants de remplacement nécessaire),
- Grande durée de fonctionnement et grande disponibilité,
- Pas de perte de pression.

d. Inconvénients

- Encombrement (vitesse d'écoulement des gaz faible donc volume élevé),
- Coût de génie civil élevé, lorsque le filtre est placé en intérieur,
- Coût d'investissement minimal incompressible quel que soit la puissance de la chaudière (limite 1 MW),
- Habilitation électrique nécessaire pour la maintenance (haute tension).

2.2.3. Séparateurs à média filtrant

Le dépoussiéreur à media filtrants est le système de filtration le plus utilisé dans l'industrie Pour éliminer les particules solides présentent dans les effluents gazeux avant leur rejet dans L'atmosphère ou un recyclage dans les ateliers de travail.

Les séparateurs à média filtrants sont tout aussi diversifiés, Pour des concentrations de poussières très élevées, on parlera, dans le langage courant industriel, de dépoussiéreurs. Ce sont des dispositifs qui utilisent l'effet de l'auto filtration. En effet, Les poussières se séparent des gaz par elles-mêmes en se déposant sur un support poreux ou médium pour former le gâteau de poussières. Un dépoussiéreur est constitué de media filtrants se présentant généralement sous la forme de manches.

2.2.3.1 Filtres à manches

Les filtres à manches permettent d'atteindre des rejets en poussières inférieurs à 1mg/Nm^3. Ils sont donc la technologie la plus adaptée actuellement pour satisfaire aux renforcements des exigences de rejet sur les particules fines.

Une manche filtrante est constituée d'une armature métallique sur laquelle un média filtrant est mis en place. La température des gaz en entrée du filtre est un paramètre dans le choix du média filtrant car une température de fonctionnement élevée peut entraîner la détérioration des manches.

Tableau 2.1: Classement des fibre a partir la résistance au température [13]

TYPE DE MEDIA FILTRANT	TEMPERATUREMINIMALE	TEMPERATURE MAXIMALE
Coton	90°C	120°C
Laine	100°C	130°C
Polyamides	100°C	110°C
Polyester	150°C	180°C
Verre	250°C	310°C
Poly aramides	200°C	250°C
Fluorocarbures	260°C	280°C
Polypropylène	100°C	120°C

Le fonctionnement cyclique de ces dépoussiéreurs consiste en une alternance de cycles de colmatage et de décolmatage. Les poussières filtrées entraînent un colmatage du medium présentant deux régimes :

- Un colmatage en profondeur (irréversible),
- Un colmatage de surface (réversible) au cours duquel les particules se déposent en une couche appelée gâteau de filtration.

La seconde phase de fonctionnement d'un dépoussiéreur industriel est le décolmatage dont l'objectif principal est de décoller les particules collectées en surface du medium filtrant pendant l'étape de colmatage En dehors de la maîtrise de la durée de vie des manches, paramètre primordial intervenant dans le coût d'exploitation, un point technique à maîtriser est le décolmatage des manches ,qui est assuré par deux moyens :

- ***Décolmatage on-line :***

Cette technologie s'est imposée largement sur le marché depuis les années 60 grâce à la qualité des médias utilisés pour la fabrication des manches et à la mise au point du nettoyage par impulsion de gaz (pulse-jet en anglais).

Elle consiste à injecter un jet d'air comprimé dans l'axe de la manche pendant 100à 500ms, ce qui provoque le décrochement du gâteau de poussières.

Ce type de décolmatage préserve la capacité de filtration et maintient la perte de charge plus constante, car une fraction très limitée des manches est affectée à chaque impulsion.

- ***Décolmatage off-line :***

Cette technique nécessite de compartimenter le filtre et d'isoler chaque compartiment pendant Le décolmatage, qui est assuré par un contre-flux des gaz. L'inconvénient de cette technique est son coût, par rapport au décolmatage on-line, et le fait que son efficacité meilleure élimine complètement le gâteau, ce qui diminue temporairement l'efficacité de filtration et crée des variations de pertes de charge importantes.

a. Principe

Les fumées chargées en poussières pénètrent dans le filtre à manches. Ce dernier est constitué de plusieurs cellules de filtration comprenant chacune des rangées de manches ou poches filtrantes. La nature des manches dépend de la température des fumées et de leur composition chimique. Les gaz sont tout d'abord dirigés vers les différentes cellules puis traversent les manches, de l'extérieur vers l'intérieur. Les poussières s'accumulent en gâteau sur le média filtrant. La collecte des gâteaux de filtration est effectuée régulièrement par soufflage d'air comprimé à l'intérieur des manches. Les poussières sont collectées dans une ou plusieurs trémies en partie basse des caissons. Après dépoussiérage, les fumées sont évacuées par la cheminée. La figure 2.6 présente le schéma de principe d'un filtre à manche.

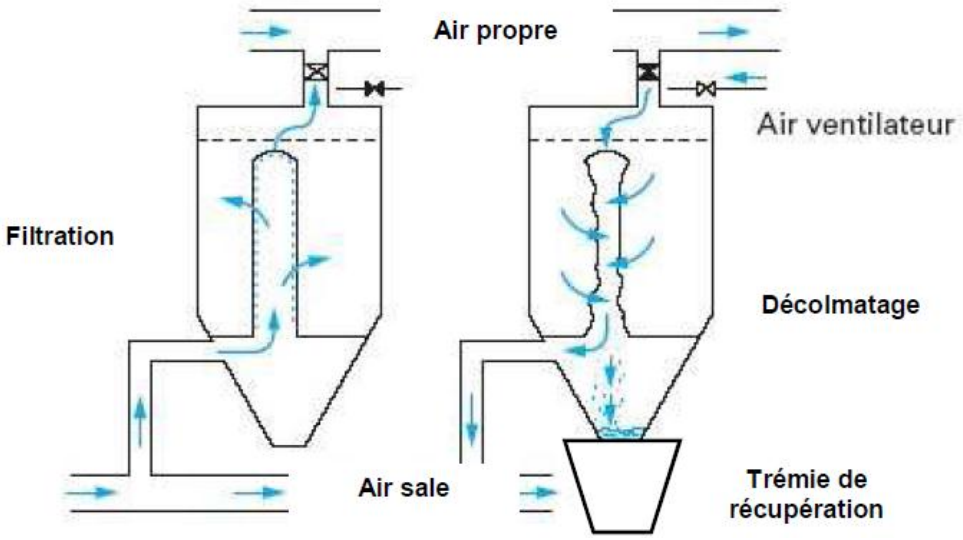


Figure 2.5 Schéma de principe d'un filtre à manche [14]

b. Avantages

- Performance garantie élevée (jusqu'à 10 mg/Nm3 à 11% d'O_2) indépendantes de la concentration en poussières dans le flux Seuil de rejet constant en sortie,
- Coûts d'investissement moins élevés qu'un électro filtre à débit d'air et seuil de rejets identiques,
- Coût d'investissement dépendant du nombre de manches, donc fonction de la puissance de la chaudière,
- Montant fortement dépendant de la température des fumées,
- Encombrement moindre qu'un électro filtre.

c. Inconvénients

- Risque incendie, nécessité d'un système de détection et d'extinction incendie,
- Forte pertes de charge nécessitant d'augmenter sensiblement la puissance du ventilateur d'extraction,
- Sensible aux polluants acides,
- Consommation d'air comprimé,
- Coût d'exploitation élevé (durée de vie de manches d'environ 3 à 5 ans),
- Nécessite parfois un système de refroidissement des gaz en entrée (en fonction du média filtrant et de la température des fumées),
- Risque de condensation dans les manches, ce qui crée de la corrosion.

Le tableau 2.2 récapitule les principales propriétés de chaque méthode de séparation.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 2.2: Comparatif des méthodes de séparation

Systèmes	Coût	Performance de séparation	Encombrement	Coût de la maintenance
Cyclone	Très faible	Mauvaises	Important	Négligeable
Multi-cyclone	Faible	Médiocre	Réduit	Faible
Électro-filtre	Important	Élevé	Très important	Moyen
Filtres à manches	Élevé	s élevé	Important	Important

2.3 Les motifs de la filtration dans S.C.I.B.S

Le premier motif de la filtration pour les ciments de Beni-Saf, c'est d'éviter la perte de production qui est occasionnée par les émanations de poussières libérer dans l'atmosphère, c'est une perte d'une quantité importante de ciment. Ce sont donc des coûts d'approvisionnement et d'exploitation des machines qui ne seront jamais amortis par cette matière perdue.

2.3.1. La récupération des poussières

La récupération de la poussière est un élément très essentielle dans le milieu industriel ; Cette récupération de la matière est certes très importante mais aussi les raisons environnementales qui sont aujourd'hui devenues primordiales.

2.3.2. Les normes environnementales

Le dépoussiérage, satisfait certaines exigences environnementales. Les normes en vigueur définies par des organisations professionnelles vont dans le sens de la protection du milieu alentour. L'émission dans l'atmosphère de fumées, poussières, susceptibles d'incommoder le voisinage, de compromettre la santé ou la sécurité publique, il faut la réduire autant que possible.

Tous les postes ou parties d'installations susceptibles d'engendrer des émissions de poussières sont pourvus de moyens de traitement de ces émissions.

2.4 Les nouveaux équipements de lutte contre la pollution [15]

La cimenterie de Béni-Saf s'est dotée au l'année 2010 de nouveaux filtres pour lutter contre la pollution. La société des ciments de Béni-Saf (SCIBS) a mis en place des filtres à manche qui sont efficaces en matière de lutte contre la pollution atmosphérique. L'ancien électro filtre de la cimenterie ne pouvait traiter les capacités de production de l'usine.

Sa sous-dimension se traduisait par des effets néfastes sur la santé et sur l'environnement par conséquent, des quantités considérables de poussières de calcaire et de ciment étaient rejetées dans l'atmosphère. Cet électro filtre, qui fait partie de l'ancienne technologie, posait un problème au niveau de la maintenance et est donc remplacé par une nouvelle gamme de filtres.

Les nouveaux équipements de lutte contre la pollution permettront de remédier aux problèmes causés par les rejets des poussières dégagées à tous les niveaux de fabrication du ciment, conformément aux contrats de performance environnementale signés entre la société de gestion des participations ciments et le ministère de l'environnement.

Figure 2.6: Nouveaux filtres antipollution

La cimenterie a maintenant la capacité de récupérer 40 tonnes de poussières de ciment par heur, lesquelles sont réinjectées directement dans le processus de fabrication, et dans cette démarche 30 tonnes sont recyclées au niveau de la cuisson du ciment. Le taux du volume de poussières de ciment dégagé dans l'atmosphère est passé de 50 mg à 10 mg par m^3 d'air. La nouvelle technologie mise en place au niveau de la cimenterie a la capacité d'analyser et recenser en temps réel le taux de poussières dégagées par la cheminée, et ce grâce à des équipements anti-pollution ultra sophistiqués.

2.5 Matériel de filtration de la cimenterie de Beni-Saf

Le parc matériel de filtration de la cimenterie de Beni-Saf est un ensemble très vaste. Au total, dans l'usine, répertorie plus de 30 filtres à manches. Ces dispositifs ont des capacités de charge variantes selon les points de dépoussiérage considérés, de l'approvisionnement en matières premières jusqu'à l'ensachage du ciment. Les étapes de traitement les plus concernées sont :

- Le concassage primaire (zone carrière),
- Le broyage de matières (zone broyage cru),
- Le four rotatif (zone cuisson),
- L'expédition.

Les différents types de filtre à manche (FAM) utilisés par l'usine éparpillés par zone sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 2.3: Classement des FAM par zone

Atelier	Equipement de dépoussiérage	Référence	Atelier	Equipement de dépoussiérage	Référence
Zone carrière	FAM concasseur	11Q001	Zone broyeur ciment	2 FAM broyeur clicker	16Q003
	FAM jetee11P007	11Q007			16Q004
Zone broyage cru	2 FAM silo homo	12Q011		2 FAM jetée	16Q010A
		12Q013			16Q010
	FAM presse à rouleaux	02-10		3 FAM silo ciment	16Q011
					16Q012
					16Q013
	FAM Additionnel	12Q014			
Zone cuisson	2 FAM sortie refroidisseur	14Q007	Zone Expédition	2 FAM Aero vrac route	17Q027
		14Q008			17Q028
Stockage clinker	2 FAM bull	14Q005		4 FAM vrac route	17Q012
					17Q013
					17Q014
					17Q015
				3 FAM Elevateur	17Q024
					17Q025
		14Q006			17Q026
				4FAM Ensacheuse	17Q006
					17Q007
					17Q008
					17Q009

La figure suivante donne une répartition des filtres à manche par zone :

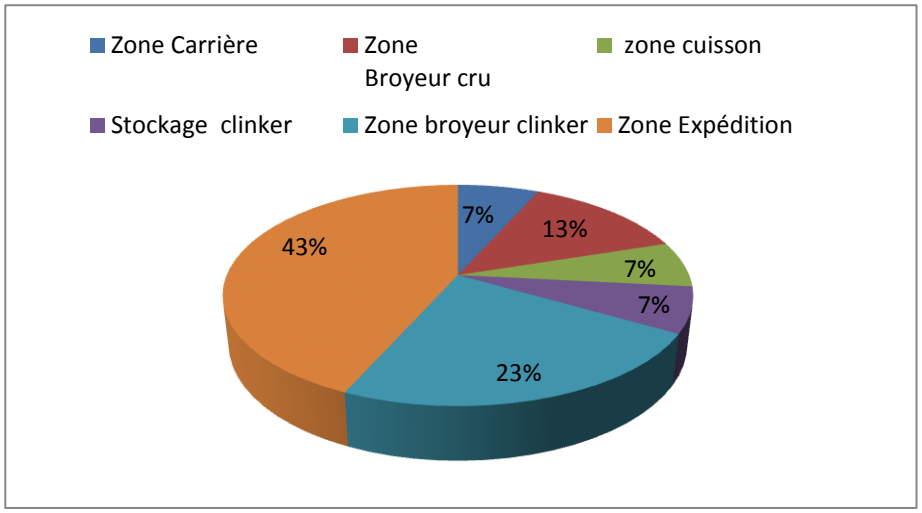


Figure 2.7: Répartition des FAM dans les différentes zones

Comme on peut classer les filtres à manche au niveau de l'entreprise, par concepteur :

- Filtre à manche HAZMAG,
- Filtre à manche AAF,
- Filtre à manche REDECAM.

Chapitre 3
Le filtre à manches de la zone broyage du ciment

Comme nous l'avions mentionné précédemment, Les filtres à manches sont employés dans la filtration industrielle. Ils font partie des techniques d'assainissement particulaire de l'air ambiant en milieu industriel. Ils sont l'un des moyens les plus performants de séparer les poussières transportées par une veine d'air, collectée dans un conduit. La compréhension de son mode de fonctionnement est relativement facile. Cependant, à l'échelle microscopique, certains paramètres tels que les températures et les pressions mènent à des difficultées pour comprendre le dispositif. Ces limites s'accroissent encore plus lorsque le filtre est inséré dans un vaste processus de traitement où les divers éléments le constituant sont en perpétuelle interaction. Notre étude s'est limitée à la zone Broyage de ciment.

3.1 Description de système

Le système de filtre à manches est composé de trois parties principales démontables (voir la figure 3.1) :

- La partie supérieure comprenant le système de décolmatage, l'orifice de sortie d'air épuré, l'accès aux éléments filtrant,
- Le caisson intermédiaire contenant la manche filtrante, et l'entrée des gaz poussiéreux (entrée latéral) avec éventuellement l'entrée du gaz,
- La trémie de collecté des poussières.

L'air chargé de poussières aspiré par un ventilateur entre dans un caisson en acier qui contient lui-même des manches filtrantes en feutre aiguilleté. Ces manches filtrantes à porosité bien déterminée ne laissent s'échapper dans l'atmosphère, via une cheminée, que l'air propre à très faible teneur en poussières de l'ordre de 20 mg/nm Les poussières se trouvent emprisonnées sur les parois des manches filtrantes. Les manches sont maintenues ouvertes par des cages mannequins en fils d'acier inox. Les caissons et platines support de manches sont construites en tôle d'acier de 3 mm munis de renforts et de raidisseurs. Le filtre est muni de portes pour l'inspection et l'entretien. La toiture du filtre est étanche pour éviter les infiltrations des eaux pluviales.

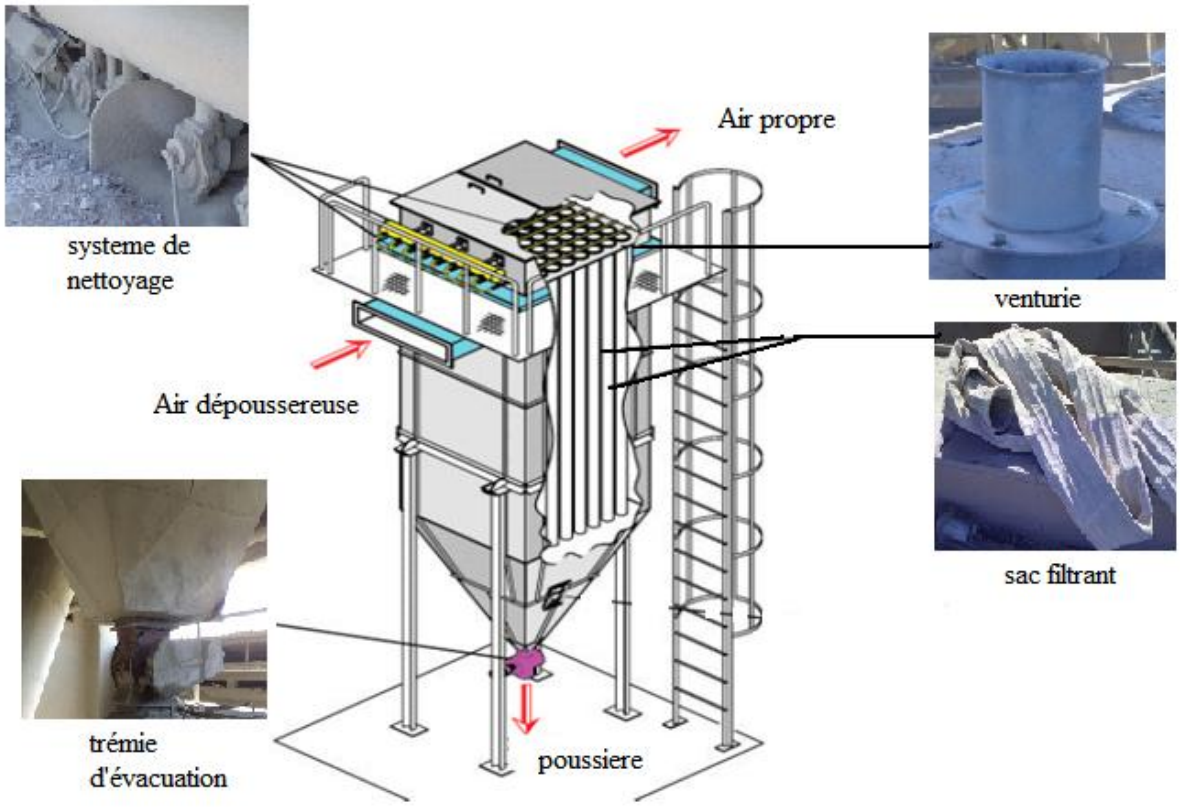


Figure 3.1: Schéma de filtre à manches

3.2 Caractéristiques de filtre à manche [16]

On peut découper un filtre à manches en sous-ensembles :

- L'alimentation,
- Les ensembles filtrants,
- Le compartiment air filtré,
- L'air comprimé (décolmatage),
- cycle de decolmatage (électrovanne),
- Ventilateur a basse pression,
- La trémie et son évacuation,
- La sortie d'air filtré.

a. L'alimentation

La conception de la gaine d'arrivée de la veine d'air, et de l'entrée dans le filtre doit tenir compte des impératifs suivants :

Assurer une bonne répartition sur l'ensemble de la surface filtrante, éviter les risques d'abrasion des tôleries et surtout de manches filtrantes.

Éventuellement faciliter une pré-décantation de façon à charger le moins possible les manches. Une mauvaise conception de l'alimentation induit une perte de charge inutile et

donc une surconsommation voir la nécessité de surdimensionner le moto-ventilateur. Des fuites à cet endroit induisent un écoulement perturbé dans le filtre et une perte d'aspiration au niveau de l'ambiance à dépolluer.

b. Les ensembles filtrants

Ils sont classiquement constitués de :

- Manches filtrantes : Assurent le maintien du gâteau et la filtration,
- Un manche percée et fortement préjudiciable au bon fonctionnement du filtre car elle autorise le passage d'une importante quantité de particules,
- Mannequins : Maintiennent les manches en forme malgré la dépression due à la perte de charge. Un mannequin abimé peut entrainer jusqu'à d'importantes déchirures sur les manches.

c. Le compartiment air filtré

C'est dans ce compartiment que débouchent toutes les manches filtrantes. Il collecte donc l'air filtré. C'est à cet endroit que sont installés les systèmes d'injection d'air de décolmatage. On peut accéder à ce compartiment grâce à des portes et certaines opérations de vérifications ou maintenance nécessitent de s'y introduire entièrement.

Figure 3.2: Compartiment air propre [16]

Cette partie à moins tendance à poser des problèmes d'entretien étant donné que l'air qui y circule est propre. Des fuites entrainent apparaissent parfois au niveau des portes d'accès, réduisant ainsi l'aspiration. À l'exception des décolmatages à secousses, aujourd'hui marginaux, le principe consiste toujours à envoyer de l'air dans les manches à contre-courant du flux de filtration. Le "choc" ainsi créé dans les manches les ébranle et entrainent la chute d'une partie du gâteau.

d. L'air comprimé

Le filtre est raccordé à une alimentation en air comprimé. Souvent, il comporte une nourrice assurant un débit instantané suffisant. L'air comprimé doit être sec, propre et déshuilé, à une pression réglable de 3 à 6 bars.

De façon à économiser l'usure des manches filtrantes, et à maintenir un gâteau optimal, on devra chercher la pression minimale nécessaire au maintien d'une perte de charge correcte au niveau du filtre (entre 80 et 250 daPa).

Figure 3.3: Réservoir d'air comprimé pour le décolmatage des manches filtrants

L'air comprimé est envoyé successivement dans des rampes par l'intermédiaire d'électrovannes spécialement conçues pour cet usage. Elles ont la particularité de pouvoir offrir une grande ouverture de passage (jusqu'à 2 °) avec un temps de réponse très court (quelques dixième de secondes). On peut voir ces rampes sur la photo précédente du compartiment air propre. Le décolmatage est assuré par l'air induit par le mouvement de l'impulse d'air comprimé (effet venturi).

e. Cycle de décolmatage

Le cycle de décolmatage est contrôlé par un séquenceur qui permet d'ouverture et fermeture d'électrovannes.

- Séquenceur

Le séquenceur (figure 3.4) a pour fonction de commander les processus de nettoyage des filtres. Il commande les électrovannes pour fixer de temps de l'ouverture et de fermeture des vannes d'air comprimé de décolmatage (temps d'impulsion).

Figure 3.4: Séquenceur

- Électrovanne

L'électrovanne est un élément très important pour le réglage de cycle de décolmatage il faut un réglage systématique d'électrovanne pour cela le technicien doit :

- réparer le pneumo vanne en défaut,
- couper l'alimentation en air comprimé du collecteur et mettre en échappement,
- enlever la membrane défectueuse,
- remplacer la membrane neuve.

Figure 3.5: Electrovanne

L'organigramme de la figure 3.6 illustré le fonctionnement de séquenceur.

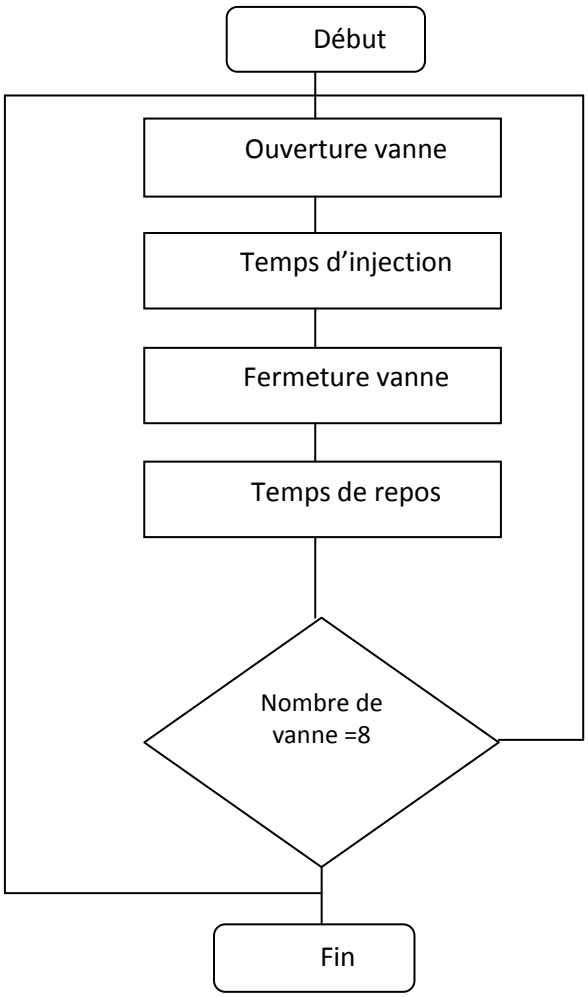


Figure 3.6: Organigramme de fonctionnement

Au départ le séquenceur permet la mise en marche des vannes, il actionne de façon cyclique une vanne après l'autre. Les vannes sont commandées par trois paramètres, le premier est un temporisateur de temps d'injection, la deuxième est un temporisateur de temps du repos et le dernier pour le variateur de nombre de vanne qui dépend de plusieurs conditions tel que l' humidité de produit primaire, la disponibilité de vanne et la pression d'air. Le schéma présenté ci-dessous (figure 3.7) décrit le fonctionnement de séquenceur en utilisant un Grafcet qui décrit le fonctionnement du séquenceur

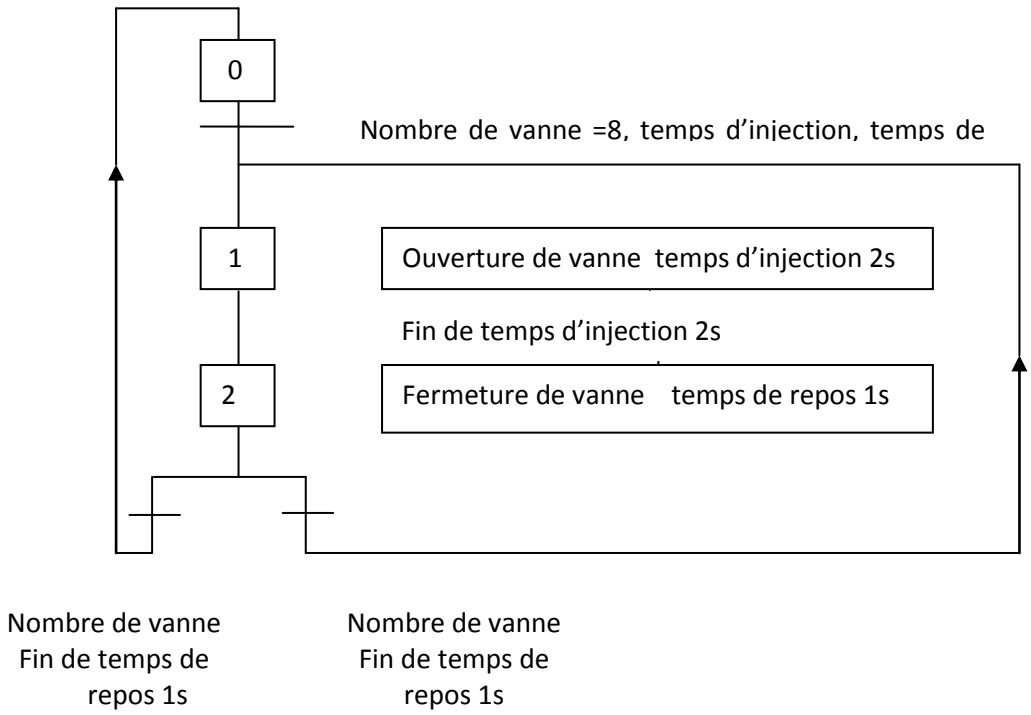


Figure 3.7: Grafcet décrit de fonctionnement

Le schéma de la Figure 3.8 décrit le fonctionnement de séquenceur en utilisant un chronogramme détaillé.

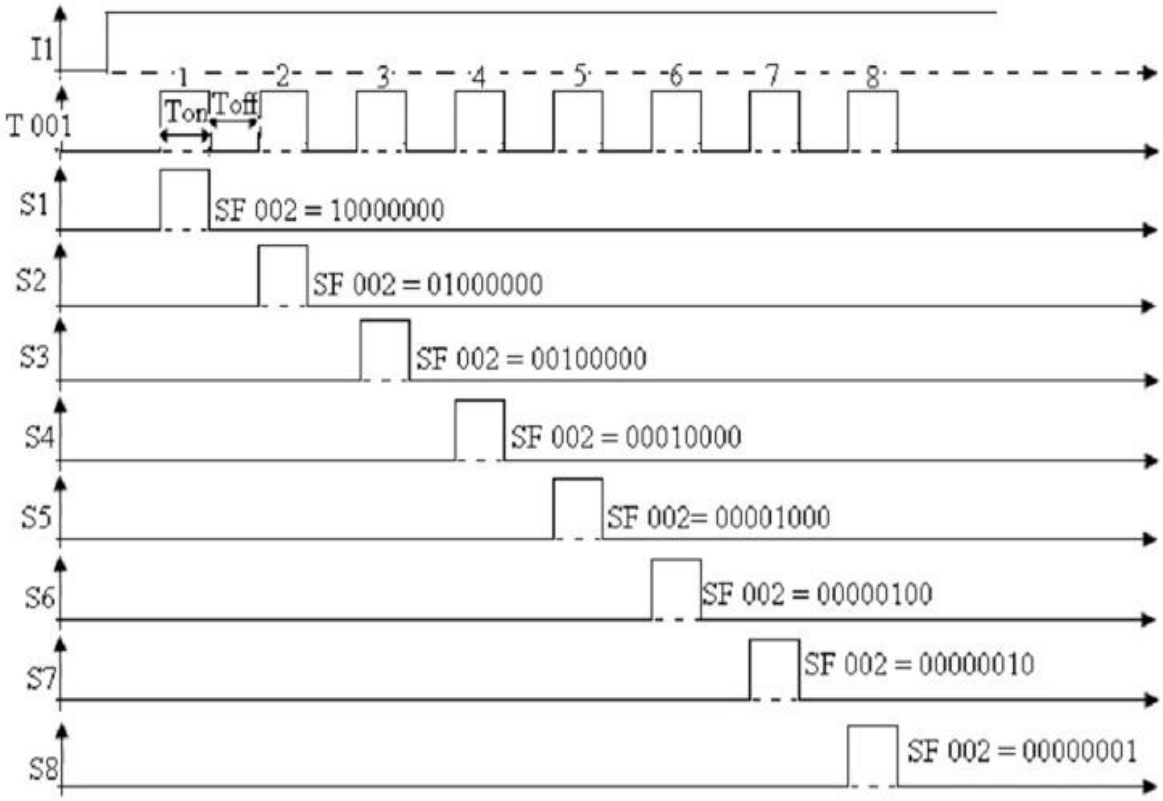


Figure 3.8: Chronogramme descriptif de fonctionnement du filtre

Chaque vanne alimente un tube cylindrique à plusieurs orifices. Chaque orifice injecte de l'air comprimé dans une manche filtrante. Ce soufflet d'air provoque une déformation du manche dans le sens inverse de circuit d'air dépoussiéré. Ce qui provoque le décolmatage de la poussière de la paroi externe du manche.

f. Ventilateur a basse pression

Un ventilateur centrifuge (figure3.9) délivre un volume d'air de décolmatage important, à une pression de l'ordre de 500 daPa. Cet air est acheminé successivement vers chaque rangée de manches par un ensemble mobile. Tout problème concernant le décolmatage a des conséquences très graves sur l'intégralité du système de filtration. L'accumulation du gâteau entraine d'énormes pertes de charge pouvant mener jusqu'à rendre le système totalement inefficace.

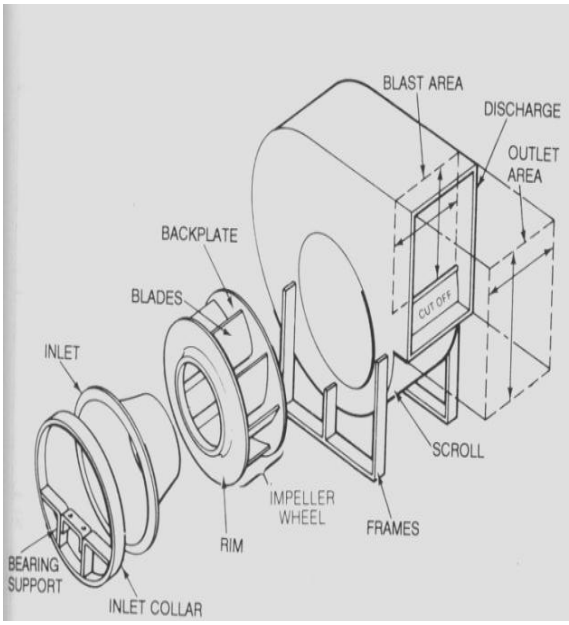


Figure 3.9: Ventilateur centrifuge

g. La trémie et son évacuation

Cet ensemble doit assurer l'évacuation en continu des poussières arrêtées par le filtre (voir figure 3.10). Cette évacuation doit se produire sans entrée d'*air*. Le débit doit être suffisant pour assurer de maintenir la trémie vide. La trémie n'est pas un moyen de stockage, c'est un « entonnoir ».

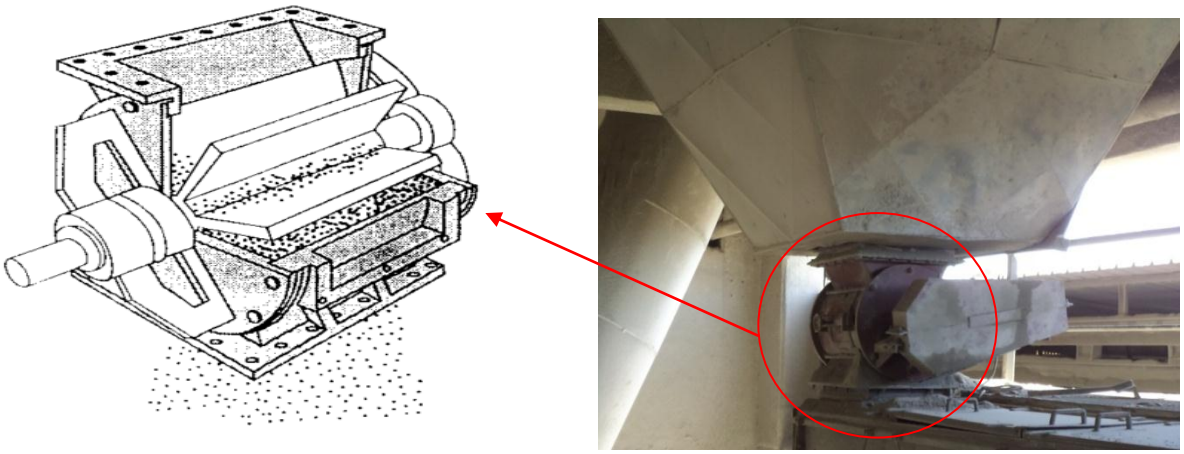


Figure 3.10: Trémie d'évacuation

h. La sortie d'air filtré

Sa conception contribue elle aussi à la bonne répartition de la veine d'air. Elle doit permettre également une circulation sans perte de charge anormale(voir figure 3.11).

Figure 3.11: Sortie d'aire propre

3.3 Aéraulique élémentaire

La statique des fluides permet l'étude de l'action des fluides sur les parois solides situées à l'intérieur ou à l'extérieur du fluide, cette action se traduit généralement par la présence de force de pression. La dynamique des fluides non seulement tient compte des efforts de pression dus à la présence du fluide mais, prend aussi en considération la trajectoire, la vitesse, l'accélération, l'énergie cinétique ou potentielle des différentes molécules qui constituent le fluide. Dans les installations d'aspiration ou de transport pneumatique, le mouvement de l'air résulte de la propriété bien connue des fluides qui tendent naturellement à uniformiser leur pression et donc à s'écouler d'une zone où la pression est

plus élevée vers une zone où la pression est plus faible. Par conséquent, la condition nécessaire pour réaliser un mouvement d'air entre deux points est qu'il existe une différence de pression de l'air entre ces deux points ; celle-ci peut être créée par la présence dans le circuit d'un ventilateur capable d'assurer une zone de surpression en aval. L'aptitude de l'air à se mettre en mouvement puis à transporter un matériau quelconque solide ou gazeux ne dépend pratiquement que de sa vitesse. Il n'y a donc aucune autre considération à prendre en compte. Les vitesses pratiques nécessaires pour transporter des déchets seront surtout fonction de la densité des produits en cause et de leur « surface ». Le problème du technicien en installation d'aspiration consistera, entre autres à adopter d'une part une vitesse suffisamment importante en fonction du déchet à transporter, mais pas trop rapide pour ne pas demander trop d'énergie et être source de bruit ou d'usure.

3.4 Vitesse de l'air

Le dimensionnement des canalisations doit être effectué en fonction de la vitesse moyenne de l'air. Cette vitesse de transport est facteur essentiel pour les réseaux d'évacuation de l'air poussiéreux : elle doit être supérieure à une valeur minimale de façon à éviter une sédimentation des poussières et un bouchage des canalisations.

Si les polluants sont uniquement des gaz ou des vapeurs, la vitesse de transport sera choisie de façon à réaliser un équilibre entre les coûts d'installation,
(vitesse lente = gros diamètre = prix tuyauterie importante) et de fonctionnement (vitesse Rapide = petit diamètre = consommation); elle sera en général de l'ordre de 18 à 20 m/s

Les vitesses doivent être choisies pour chaque installation en fonction de la nature et des propriétés des polluants. Dans le cas des poussières inflammables, on ne descendra pas en dessous d'une vitesse d'air minimale de 20 m/s. D'autre part, on évitera d'utiliser des vitesses trop élevées de façon à limiter les pertes d'énergie, le bruit aéraulique et l'abrasion des tuyauteries. D'une façon générale, le dimensionnement des tuyauteries résulte d'un compromis technico-économique entre :

- Les diamètres de tuyauterie standard,
- Les pertes de charge admissibles,
- Les vitesses minimales de transport,
- Les phénomènes d'abrasion,
- Les phénomènes de bruit,
- L'humidité de l'air,
- La présence éventuelle de gaz corrosifs.

3.5 Tube de pitot

Le tube de Pitot est un système de mesure de vitesse des fluides. Un tube de Pitot statique est constitué de deux tubes coudés concentriques dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière :

- Le tube extérieur s'ouvre perpendiculairement à l'écoulement du fluide. La pression à l'intérieur de ce tube est donc égale à la pression ambiante ou pression statique,
- Le tube intérieur est parallèle à l'écoulement du fluide, et est ouvert en son bout, face au flux. La pression à l'intérieur de celui-ci est donc la pression totale, somme de la pression statique et de la pression dynamique.

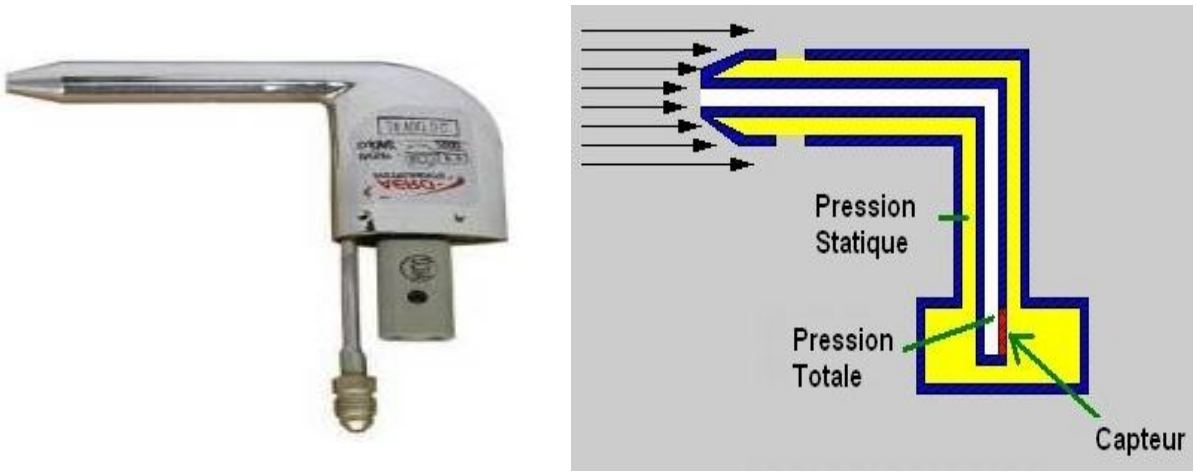


Figure 3.12: Tube de pitot

3.6 Perte de charge

La perte de charge ΔP d'un dépoussiéreur à media filtrants est un critère d'exploitation primordial (dépense énergétique) qui se définit comme la différence de pression statique entre l'amont et l'aval du medium filtrant, notées respectivement Pamont et Paval. Elle traduit la résistance de l'élément filtrant à l'écoulement de l'air.

$$\Delta P = P(\text{amont}) - P(\text{aval}) \tag{3.1}$$

3.7 L'efficacité de filtration

L'efficacité de filtration est le critère de performance essentiel des dépoussiéreurs à media filtrants. Elle conditionne la concentration en particules à l'aval des éléments filtrants et permet ou non le respect de la norme de rejet. L'efficacité de filtration E peut se définir de la manière suivante, si le débit total de filtration est constant :

$$E = 1 - \frac{Cp(aval)}{Cp(amont)} \tag{3.2}$$

On parle d'efficacité totale massique ou en nombre selon que les concentrations Sont exprimées en masse ou en nombre. L'efficacité définie pour un diamètre de particule est indépendante de l'unité de la concentration ; elle est souvent appelée « efficacité fractionnelle ». Un « bon filtre » doit présenter une perte de charge (ΔP) faible afin de minimiser la dépense énergétique et une efficacité (E) élevée. Cette caractéristique est mesurée par le facteur de qualité (–ln (1-E))/ΔP qui doit être le plus élevé possible.

3.8 Taux de filtration

Déférentes améliorations ont récemment été apportées aux filtres à manche. Des recherches constantes tendent à élucider les mécanismes de la filtration; de plus, la mise au point de nombreux milieux filtrants et l'utilisation de techniques de refroidissement du gaz avec les systèmes de filtration augmentent les applications de ce type d'appareils de dépoussiérage. La connaissance des facteurs qui contrarient l'efficacité de la filtration a permis d'améliorer et d'augmenter l'emploi de ces filtres. Les défauts les plus courants sont les suivants:

a) taux de filtration excessifs,

b) choix incorrect du milieu filtrant,

c) insuffisance de capacité en service pendant le nettoyage.

Le terme « taux de filtration » est défini comme étant le rapport entre le volume de gaz porteur et la surface totale du filtre; il est parfois appelé vitesse superficielle. Les taux de filtration élevés s'opposent de plusieurs façons à une bonne élimination des particules. En pratique, l'emploi de forts taux de filtration pour des particules fines, telles que les fumées des processus métallurgiques, entraîne un accroissement rapide de la résistance du filtre, d'où la nécessité d'une agitation plus fréquente des manches et un accroissement de leur usure. L'élévation de la vitesse de filtration accélère en outre le colmatage du filtre et risque d'augmenter excessivement la consommation d'énergie. Les effets d'une élévation de la vitesse de filtration sont particulièrement sensibles pour des particules petites, et moins nets dans le cas des poussières fibreuses qui ont tendance à former des agglomérats poreux plutôt que compacts. Une concentration élevée des particules dans le gaz produit les mêmes effets qu'une vitesse de filtration trop grande. Il est donc recommandé de diminuer le taux de filtration lorsque la concentration en matières particulaires est forte.

En pratique, les taux de filtration varient par mètre carré de tissu de 0,3 à 1,8 m^3/mn. Pour les poussières normales, le taux de filtration standard est fixé à 0,9 $m^3/mn/m^2$; cependant il est recommandé que le taux ne dépasse pas 0,15-0,30 $m^3/mn/m^2$ pour les poussières fines et les fumées provenant des procédés métallurgiques.

La résistance des filtres, pour ces taux de filtration, correspond normalement à une pression de 5-15 centimètres d'eau; mais, dans certains cas, un fonctionnement satisfaisant est obtenu avec des pertes de charge atteignant 30 centimètres d'eau. La résistance totale du filtre se compose:

a) de celle qui est due au tissu lui-même,

b) de celle qui résulte de la couche de poussières arrêtées à la surface du tissu.

L'écoulement à travers le milieu filtrant étant, dans les conditions pratiques, sensiblement laminaire, la perte de charge totale peut être considérée comme la somme de deux résistances, l'une proportionnelle à la vitesse de filtration et l'autre à l'épaisseur efficace du tissu et de la couche d'agglomérat.

$$\Delta P = K_0 V_S + K_1 V_s W \qquad (3.3)$$

Où Δp = perte de charge, en cm d'eau

K_0 = coefficient de résistance du tissu, en cm d'eau / (m/mn)

V_s = taux de filtration (cm3/mn) / (cm2)

K_1 = coefficient de résistance de l'agglomérat, en cm d'eau/(poids de Poussières en kg/m2) (m/mn)

W = poids de l'agglomérat par unité de surface du tissu, en kg/m2.

Une mauvaise utilisation du milieu filtrant peut entraîner une filtration incorrecte et augmenter les couts en raison de la nécessité de remplacer souvent les manches. À cet égard, l'erreur la plus fréquente est un défaut de jugement des limites de fonctionnement du tissu. Les limites les plus importantes sont celles de la résistance à la température, à l'attaque chimique et à l'abrasion.

Dans les filtres à manches à compartiment unique, il est nécessaire d'interrompre le passage du gaz pendant les opérations de nettoyage ou d'agitation, pour que l'agglomérat détaché de la surface de la manche tombe, sous l'action de la pesanteur, dans la trémie. Si le procédé de fabrication exige un fonctionnement continu de l'épurateur, le filtre à manches doit comporter plusieurs compartiments, de telle façon que chacun des éléments puisse être tour à tour mis hors circuit. L'agitation se fait manuellement dans les petits appareils ou par un dispositif à entraînement périodique dans les grands appareils

entièrement automatiques. Il faut alors prévoir une surface suffisante de tissu pour ne pas diminuer la capacité de filtration pendant l'agitation, quand une partie des éléments filtrants est hors circuit. Il faut également noter, à cet égard, que l'appareil doit être conçu en fonction du maximum de perte de charge prévu car celle-ci, loin d'être constante pendant la filtration, oscille selon les fluctuations du volume filtré. Il existe une variante de ce type de séparateur; elle se compose d'un dispositif à gaines de tissu portées par des cadres de fil métallique.

Contrairement à ce qui se passe dans les filtres à manches, l'air est ici introduit à l'extérieur des gaines; puis il traverse le tissu, passe à l'intérieur de l'appareil et sort du séparateur. Le tissu est généralement nettoyé par des chocs imprimés au support. Ce type d'instrument n'est guère utilisé pour épurer un air chargé de particules très fines ou collantes, car son efficacité est moindre que celle des appareils tubulaires.

Chapitre 5

Application du modèle de Weibull sur la défaillance des manches filtrantes de la zone broyage du ciment(BK1)

Dans ce chapitre nous avons utilisé le modèle de Weibull pour déterminer les paramètres de fiabilité des manches filtrantes. Les deux méthodes de calcul sont présentées comme suit :

- Méthode graphique
- Un code de calcul

En fin nous avons proposé quelques solutions pour combattre le problème de défaillance fréquente des FAM dans la zone broyage de ciment BK1.

5.1 Détermination des paramètres de Weibull

Il existe deux méthodes pour déterminer les paramètres de Weibull (graphique et numérique)

5.1.1 Méthode graphique :

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de simplifier les calculs.

Pour tracer la courbe sur le papier de Weibull il faut suivre les démarches suivantes :

- Préparations des données (voir l'exemple suivant),
- Tracé des nuage des points M (F(i),t),
- Tracé de la droite D1 de régression du nuage. Deux cas sont possibles,
- L'ajustement du nuage par une droite est possible ; dans ce cas $\gamma = 0$,
- Nous trouvons une courbe C1 ; dans ce cas $\gamma \neq 0$; la valeur de γ sera déterminé par la technique de redressement de la courbe, détaillée dans l'exemple, afin de montrer le mode d'opération de la méthode graphique nous traitons un exemple de la littérature. Par la même occasion cet exemple servira pour la validation de la méthode numérique.

a) Exemple de la Méthode graphique :

Une entreprise fabricant des systèmes de freinage automobiles. Une machine à commande numérique permet la fabrication des cylindres de roues en aluminium.

Cette machine est en service depuis une année et demi. Celle-ci est utilisée 7 jours sur 7 en 3 x 8.

On souhaite connaître la probabilité de fonctionnement sans défaillance sur une période de 2 semaines. L'étude de l'historique de la machine a permis de relever les temps de bon fonctionnement (TBF) en heures depuis sa mise en service :

1423 – 626 – 2296 – 4103 – 1709 – 2707

Classement des TBF par ordre croissant + Calcul du rang i + Calcul des fréquences des avaries F(i) :

Calcul de F(i)

N=6 => N< 20 => Méthode de range médiane

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \quad (5.1)$$

Après calcul des avaries, l'ensemble des donnés est regroupé dans le tableau suivant.

Tableau 5.1: Calcul de TBF et F(i)

Rang (i)	TBF(h)	F(i)
1	626	10,9%
2	1423	26,6%
3	1709	42,2%
4	2296	57,8%
5	2707	73,4%
6	4103	89,1%

Pour tracer la fonction M (F(i), TBF (i)), sur le papier de Weibull les démarches suivantes ont été suivies :

- Report des valeurs sur le graphe de Weibull (après avoir modifier l'échelle des abscisses) :

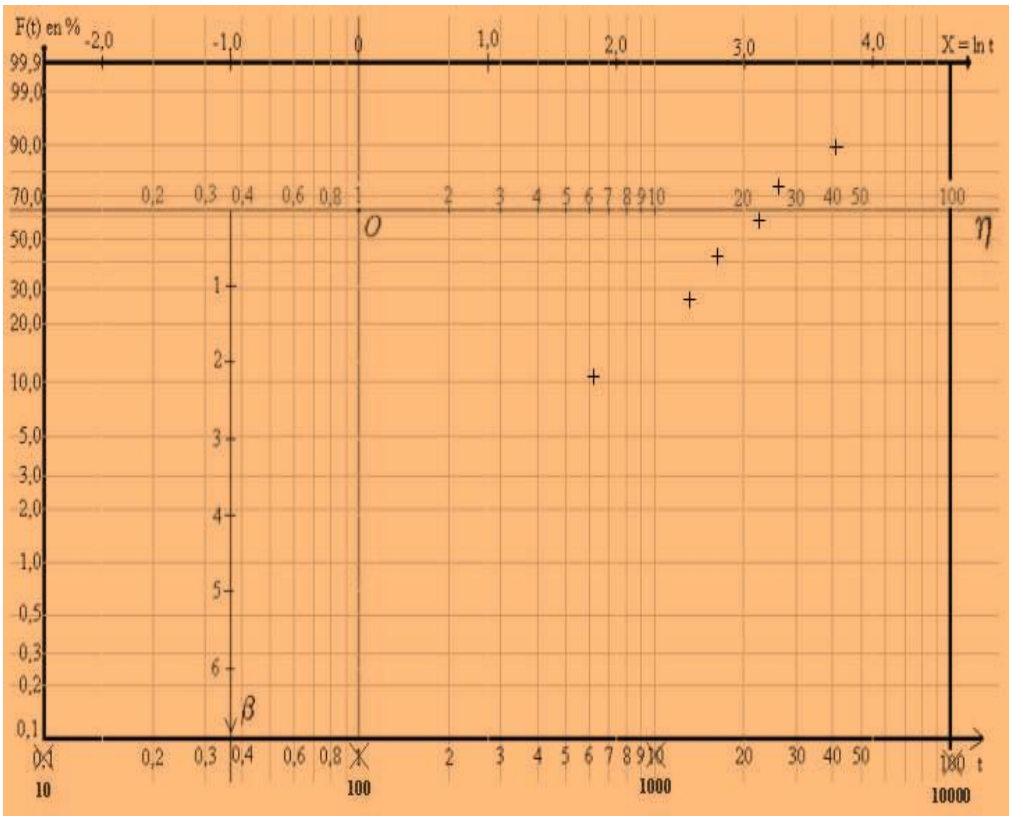


Figure 5.1: Papier de weibull (étape 1)

➢ Tracé de la droite en passant au milieu des points obtenus :

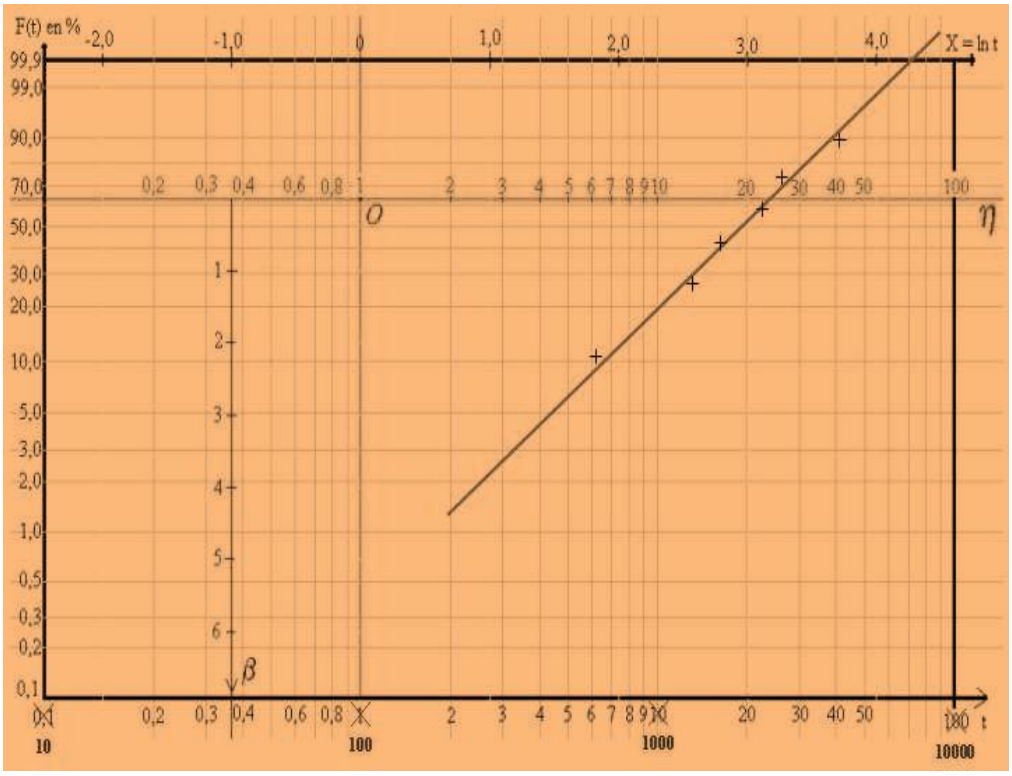


Figure 5.2: Papier de weibull (étape 2)

- Construction d'une droite parallèle passant par l'origine :

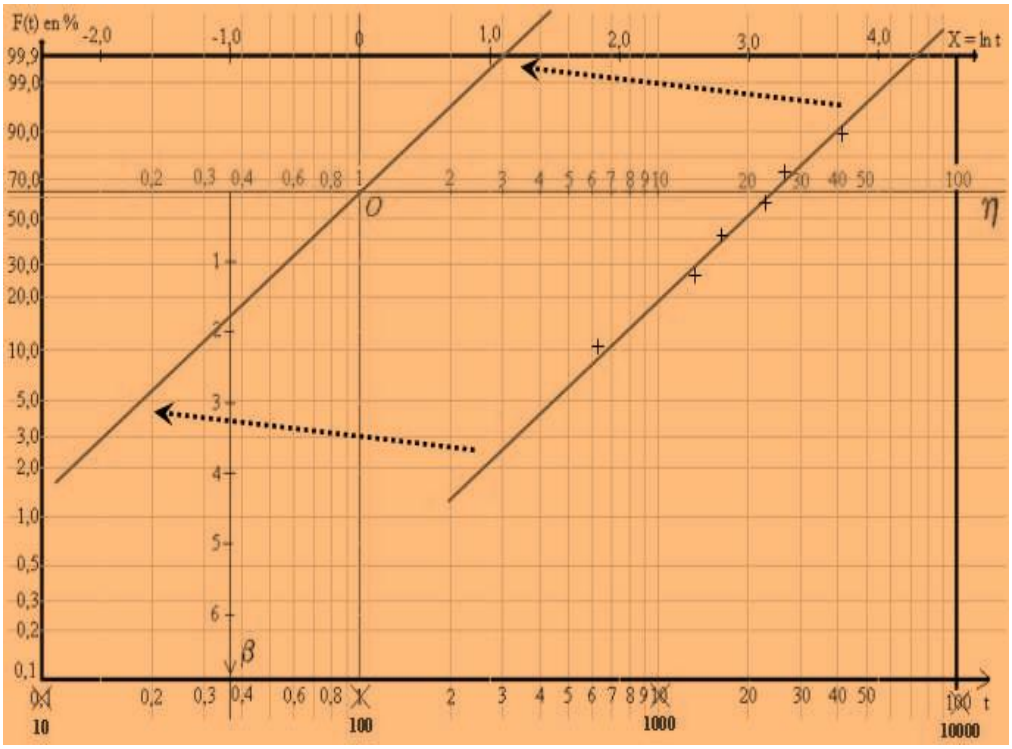


Figure 5.3: Papier de weibull (étape 3)

- Détermination des paramètres η et β

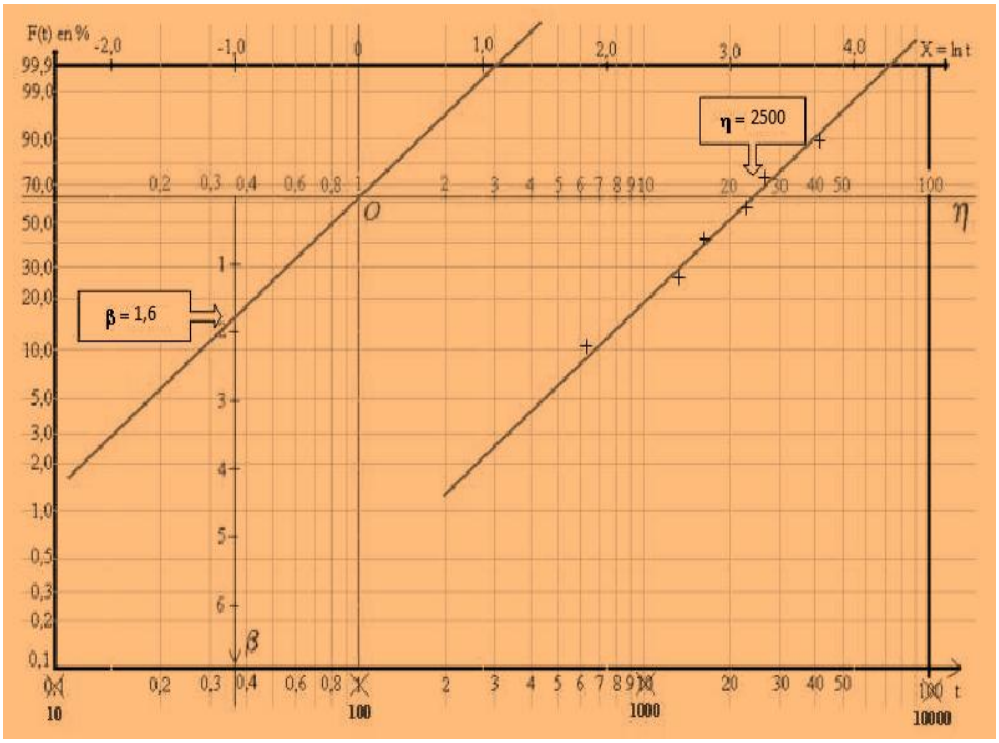


Figure 5.4: Papier de weibull (étape 4)

5.1.2 Méthode numérique :

Nous avons utilisé un code de calcul développé par Mr CHORFI et CHAKROUN [18] ; la figure 5.5 donne l'organigramme de ce code [17] :

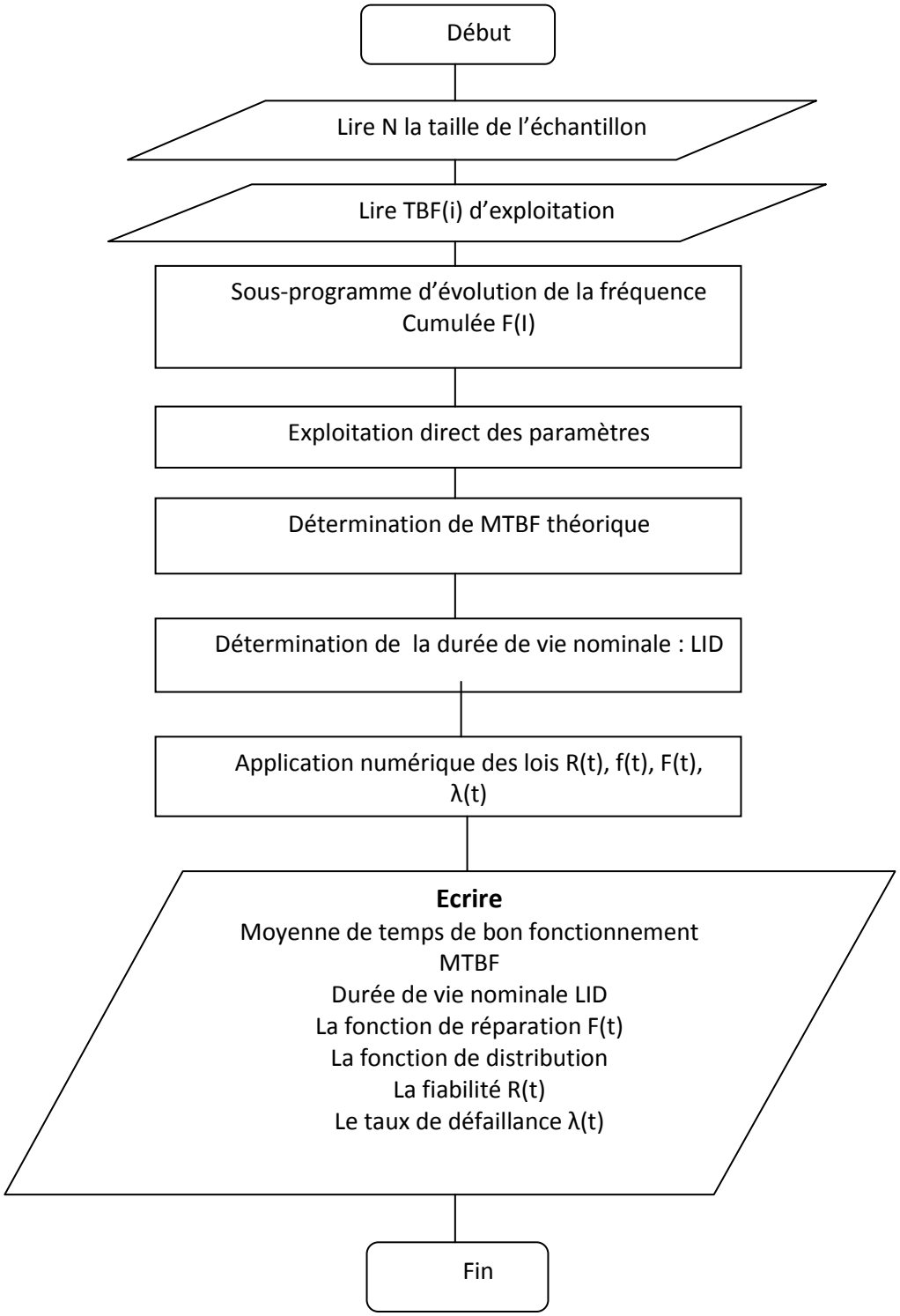


Figure 5.5: Organigramme de code de calcul

La figure suivante représente le résultat de l'exemple traité précédemment en utilisant le code de calcul :

```
TAUX DE  DEFAILLANCE     CROIT: PHASE D"OBSOLESCENCE
         1    1.093750E-01
         2    2.656250E-01
         3    4.218750E-01
         4    5.781250E-01
         5    7.343750E-01
         6    8.906250E-01
le parametre de forme beta=       1.630733
le parametre d"echelle  eta=    2501.267000
la MOYENNE TEMPS DU BON FONCTINNEMENT MTBF=       2500
****            pour une valeur de temps t=      50.000000
****            la fiabilitú R(t)=   9.983068E-01
****            la fonction de  reparation F(t)=   5.517614E-05
****            la d"ensite de probabilite f(t)=   1.693189E-03
****    le taux de defaillance LAMBDA(t)=   5.526973E-05
Stop - Program terminated.
```

Figure 5.6: Exécution du code de calcul pour l'exemple graphique

5.1.3 Validation des résultats :

Les données de l'exemple précèdent sont introduit dans le code de calcul. Le Tableau 5.2 donne une comparaison entre les résultats numériques et graphiques :

Tableau 5.2: Comparaison des paramètres de Weibull

Les paramètres de Weibull	Résultat graphique	Résultat du code de calcul
MTBF	2494	2500
Le paramètre de forme β	1,6	1 ,630733
Le paramètre de l'échelle η	2500	2501,26700

5.2 Application sur manches filtrantes :

Le coût d'une manche filtrante est de 3496.50 DA. Les systèmes de filtre à manche de la zone BK1 travail 24/24 heures ; la durée de vie d'une manche d'après le constructeur est de 3 ans [1].

On souhaite connaître le moyen temps de bon fonctionnement ainsi que la probabilité de fonctionnement sans défaillance des manches filtrantes. L'exploitation de l'historique de ce

système a permis de relever les temps de bon fonctionnement (en heures) depuis 20/04/2011.les valeurs sont indiquées dans l'ANNEXE 4

On exécutant le code calcul avec les mêmes données du tableau de l'ANNEX 4, nous avons obtenu les résultats données (voir figure 5.7) :

```
        37    7.254902E-01
        38    7.450981E-01
        39    7.647059E-01
        40    7.843137E-01
        41    8.039216E-01
        42    8.235294E-01
        43    8.431373E-01
        44    8.627451E-01
        45    8.823529E-01
        46    9.019608E-01
        47    9.215686E-01
        48    9.411765E-01
        49    9.607843E-01
        50    9.803922E-01
le parametre de forme beta=       1.107141
le parametre d"echelle  eta=    1045.638000
la MOYENNE TEMPS DU BON FONCTINNEMENT MTBF=       1045
****            pour une valeur de temps t=      20.000000
****            la fiabilitú R(t)=   9.875598E-01
****            la fonction de  reparation F(t)=   6.843515E-04
****            la d"ensite de probabilite f(t)=   1.244020E-02
****    le taux de defaillance LAMBDA(t)=   6.929722E-04
Stop - Program terminated.
```

Figure 5.7: Exécution du code de calcul pour les manches filtrantes

On a varié le temps de (20 h) a (4000 h), afin d'obtenir les graphes des différentes fonctions :

- Fonction de répartition F(t) ;
- Densité de probabilité f(t) ;
- Fiabilité R(t) ;
- Taux de défaillance λ□(t) ;

Nous avons tracé le paramètre de fiabilité afin d'obtenir les graphes suivantes :

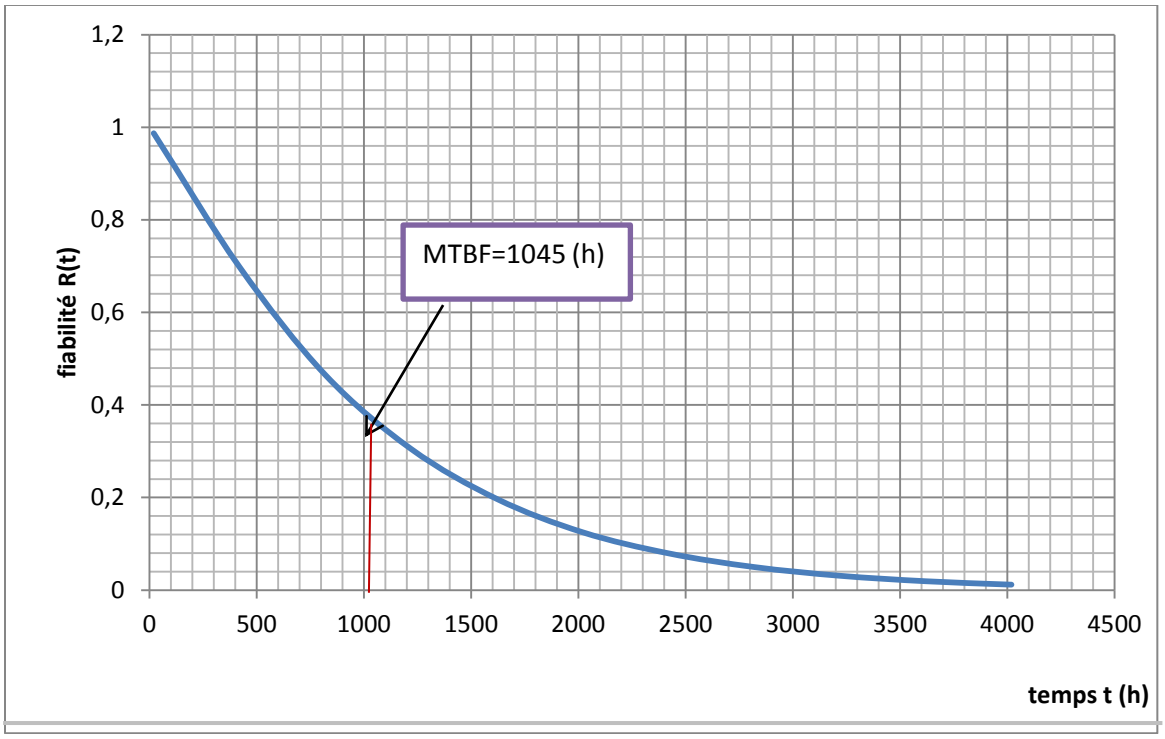


Figure 5.8: Fiabilité R(t)

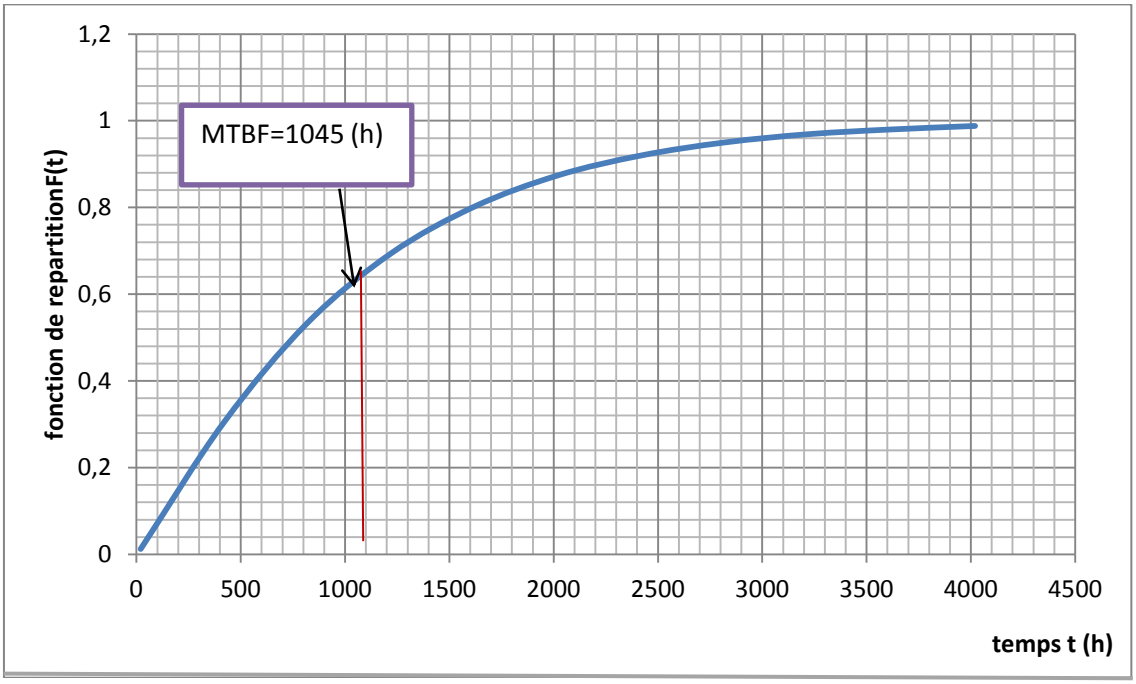


Figure 5.9: Fonction de répartition F(t)

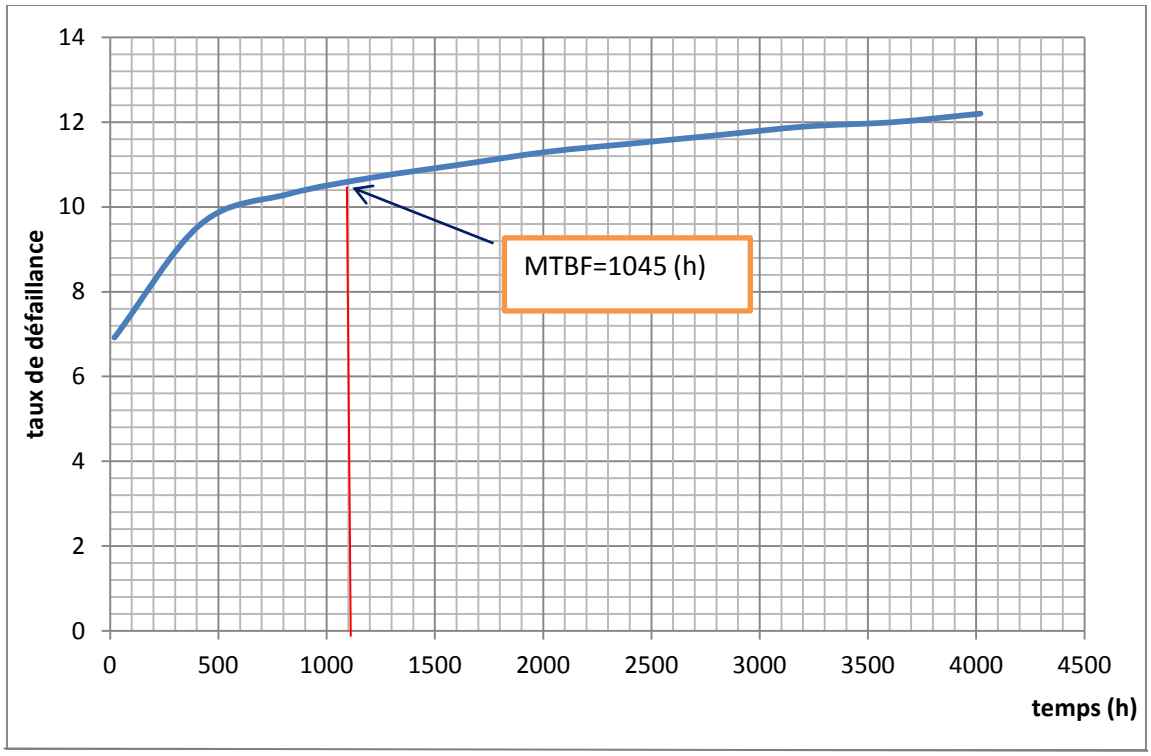


Figure 5.10: Taux de défaillance

5.3 Discutions des résultats

- Fonction de répartition F(t)= $1 - e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta}}$ qui augmente pour atteindre une valeur maximale au voisinage 3600 heur.
- Fiabilité R(t) = $e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta}}$; probabilité que l'entité ne soit pas défaillante dans l'intervalle de temps. Elle diminue en fonction de temps de fonctionnement.
- Taux de défaillance λ(t)C'est la probabilité de défaillance des équipements restés en bon état .Le taux de défaillance (panne/heure) augmente plus que nous nous rapprochons du TBF.

Ces trois courbes montrent l'allure des fonctions pour les paramètres calculés η=1045.63 β= 1,1. Elles permettent une exploitation graphique, économisant des calculs analytique.

5.4 Anomalie de fonctionnement et proposition de solutions

La filtration est une partie essentielle du procédé de fabrication dans l'industrie cimentière, par conséquent le choix du media approprié revêt une importance extrême. Bien que les médias filtrants ne représentent normalement qu'une part relativement faible

du coût total de l'installation, ils sont, de fait, l'un des facteurs les plus critiques pour l'exploitation.

La fiabilité et la maintenabilité sont les deux leviers liés à la disponibilité des équipements du système de filtration. L'analyse de la fiabilité de la manche filtrante, qui est une composante capitale dans ce système, a permis de modéliser et de prévoir sa durée de vie. Nous sommes partis dans le but ou cette connaissance de durée de vie nous permettra de valider celle qui est donnée par le constructeur et de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. L'analyse a aboutie à une durée de vie de 1045 h pour l'ensemble des FAM de la zone BK1. Ces chiffres ont pu être meilleurs si le taux de défaillance na pas été très élevé pour quelques FAM. Par exemple le FAM 01 avec 33 panne/année et 166 h d'intervention (voir annexe 7). Il présente une moyenne d'une intervention pour chaque dix jours. Nous avons assisté à quelques une de ces interventions (voir les photos de l'annexe 6). La défaillance des manches a été une panne fréquente. On a même remplacé 16 manches dans une seule intervention. Vu la complexité du problème, l'explication de cette anomalie est une tâche relativement difficile et qui dépasse largement le cadre de notre formation. C'est un champ d'interférence de plusieurs domaines (Aérodynamique, fatigue, Turbomachine, Mécanique des Fluides, Interaction fluide-structure, corrosion..). Mais ceci ne nous empêche pas de poser une théorie explicative liée aux problèmes d'humidité.

La cimenterie de Beni-Saf est située à environ de 1 Km de la mer, avec un taux d'humidité élevé (TH= 63%). Selon le constructeur les manches de polyesters sont fragiles.

En présence d'humidité le polyester s'hydrolyse et se fragilise rapidement (voir chapitre 4). Notons ici, que ce problème d'humidité ne se pose que pour quelques FAM (exemple : FAM 01 et FAM 02). Les autres FAM (exemple : FAM 10, FAM 11 et FAM 12) sont beaucoup moins défaillants. Leur circuit de gaz poussiéreux permet de baisser le taux d'humidité avant son arrivée à la filtration. En effet, il subit des changements important de température, la température ambiante à 1400°C dans le four, puis un refroidissement avant son arrivée aux silos. Cela implique une condensation de la vapeur d'eau dans le refroidisseur d'où l'abaissement du taux d'humidité. Nous souhaiterons que cette théorie soit vérifiée par un prélèvement d'humidité et de température à plusieurs points du circuit de gaz poussiéreux.

Un test physico-chimique et des images microscopiques du tissu dégradé du filtre seront avantageux. De notre part on propose les deux solutions suivantes :

- Emplacement d'un système d'extraction de vapeur d'eau avant le FAM 16Q003 et 16Q004. Cette solution couteuse et qui demande un investissement qui nous amène à une deuxième solution plus facile à réaliser.
- L'utilisation d'un autre type de manches filtrantes moins sensible a l'humidité. Le choix d'un autre type de manche réclame une étude approfondie, mais à titre d'exemple et selon les constructeurs des manches filtrantes, le type PPS est plus résistible à l'humidité. Il s'agit d'une fibre "haute de gamme" connue pour son prix élevé, qui est justifié par son excellente tenue à la thermie et à la chimie, et destinée aux applications difficiles (fours d'incinération, de cimenterie, à chaux et de produits métallurgiques).

Le tableau 5.4 donne les caractéristiques de cette fibre.

Tableau 5.3: Caractéristiques de fibre PPS [18]

Propriétés de la fibre		**Résistance de la fibre :**	
Sigle :	PPS	Acide fort :	☆☆☆☆
Marque :	Procon®, Torcon®	Acide faible	☆☆☆☆
Densité :	1.38 g/cm^3	Alcalin fort :	☆☆☆☆
Absorption d'humidité :	0.6 (20°C H.R. 65%)	Alcalin faible :	☆☆☆☆
Ténacité :	3.0-3.5 cN/dtex	Oxydants :	☆
Température maximum	190 °C	Hydrolyse :	☆☆☆☆
LOI (Limite oxygène index) :	40 %	☆☆☆☆ :excellent	
		☆ : fable	

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Chapitre 4

Exploitation et analyse de FMD

Le concept de FMD correspond à la prise en compte et l'analyse des 3 indicateurs "fiabilité – maintenabilité – disponibilité". Les indices FMD jouent un rôle prépondérant dans l'action maintenance.

- La fiabilité et la maintenabilité sont les composantes des 2 leviers directs de la disponibilité des équipements,
- La disponibilité est l'objectif de la fonction maintenance.

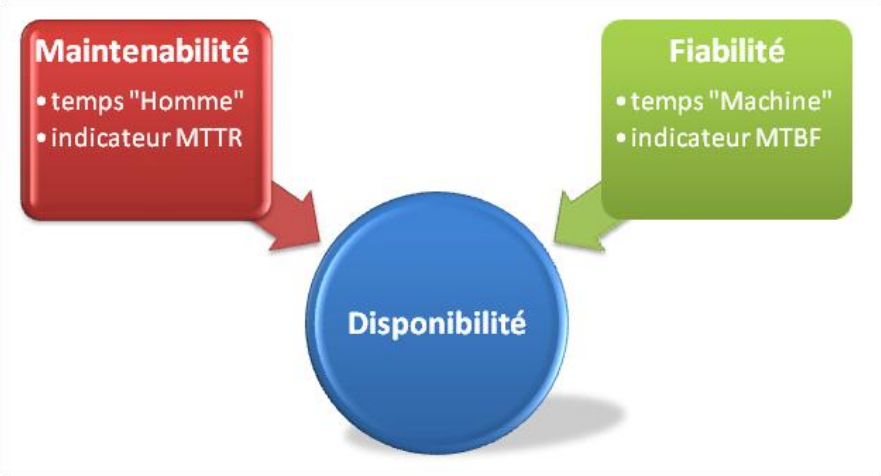


Figure 4.1: Concept de FMD

4.1 Etude de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable). Ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable).

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

- **Définition :** AFNOR (norme X 60-501)

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimé par la probabilité que ce dispositif Accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps Déterminés.

a) Probabilité : On notera R(t) = P (accomplir une mission) = P (de bon fonctionnement).Symbole R : traduction de l'anglais «Reliability ».

b) fonction requise : Ou «accomplir une mission » ou «rendre le service attendu ». La définition de la fonction requise implique un seuil d'admissibilité en delà duquel la fonction n'est plus Remplie.

c) Condition d'utilisation : Définition des conditions d'usage, c'est-à-dire l'environnement et ses Variations les contraintes mécaniques, chimiques, physiques... Il est évident que le même Matériel placé dans deux contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.

d) Période de temps : Définition de la durée de mission en unités d'usage.

4.1.1 Notions liés à la fiabilité

- MTBF (moyenne des temps de bons fonctionnements) :

Une caractéristique de la fiabilité est la MTBF (moyenne des temps de Bons Fonctionnements). Traduction de mean time between failure, ou La MTBF correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T, date d'apparition d'une panne.

L'équation (4.1) donne si le MTBF est calculé suite à un TBF :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps total d'opération}}{\text{Nombre d'arrêts} + 1} \tag{4.1}$$

L'équation (4.2) donne si le MTBF est calculé suite à un TA(temps d'arrêt) :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps total d'opération}}{\text{Nombre d'arrêts}} \tag{4.2}$$

- MTTR (moyenne des temps techniques de réparation)

De la même manière, la maintenabilité, qui est la probabilité que le dispositif après défaillance, soit remis en état de fonctionnement donné et dans un temps donné, est caractérisée par la MTTR.

La MTTR est la Moyenne des Temps Techniques de Réparation**.** Traduction de Mean Time To Repair, Il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arréts}}{\text{Nombre d'arrêts}} \tag{4.3}$$

4.1.2 Probabilités d'une défaillance

a) La fiabilité R(t) *:* La fiabilité d'un équipement régresse avec le temps. Plus un équipement est vieux, plus la probabilité de sa fiabilité diminue. En contrepartie, plus l'équipement est récent, plus sa probabilité de sa fiabilité est grande. On dit aussi que c'est la probabilité de survie au bout d'un temps t.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \tag{4.4}$$

b) La probabilité de défaillance F(t) : La probabilité de défaillance est le complément de la fiabilité. Plus un équipement est vieux plus sa probabilité de défaillance est grande. En contrepartie, plus l'équipement est récent, plus sa probabilité de défaillance est petite.

$$F(t) = 1 - R(t) \tag{4.5}$$

c) La densité de probabilité de défaillance f(t) : C'est la probabilité de défaillance par unité de temps à l'époque t.

$$f(t) = \lambda R(t) \tag{4.6}$$

d) Le taux de défaillance λ(t) : C'est la probabilité de défaillance des équipements restés en bon état.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{4.7}$$

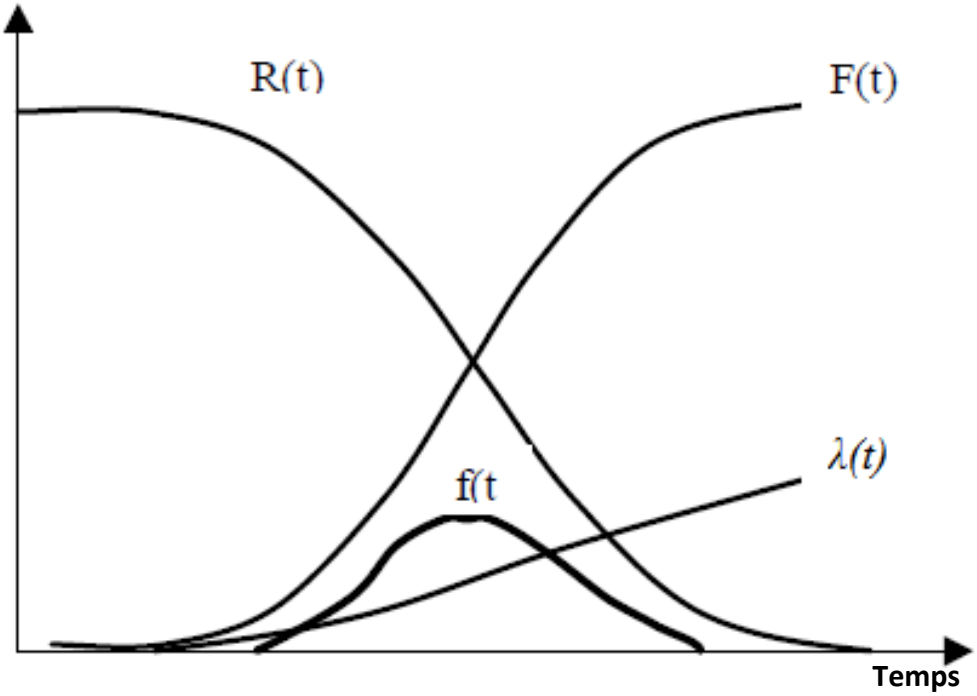


Figure 4.2: Probabilités d'une défaillance

4.1.3 Courbe de fiabilité d'un équipement

La fiabilité d'un équipement se caractérise par la courbe suivante. On remarque trois zones (figure 4.3) :

A : La zone de rodage (jeunesse) de l'équipement,

B : La zone de maturité de l'équipement,

C : La zone de vieillissement.

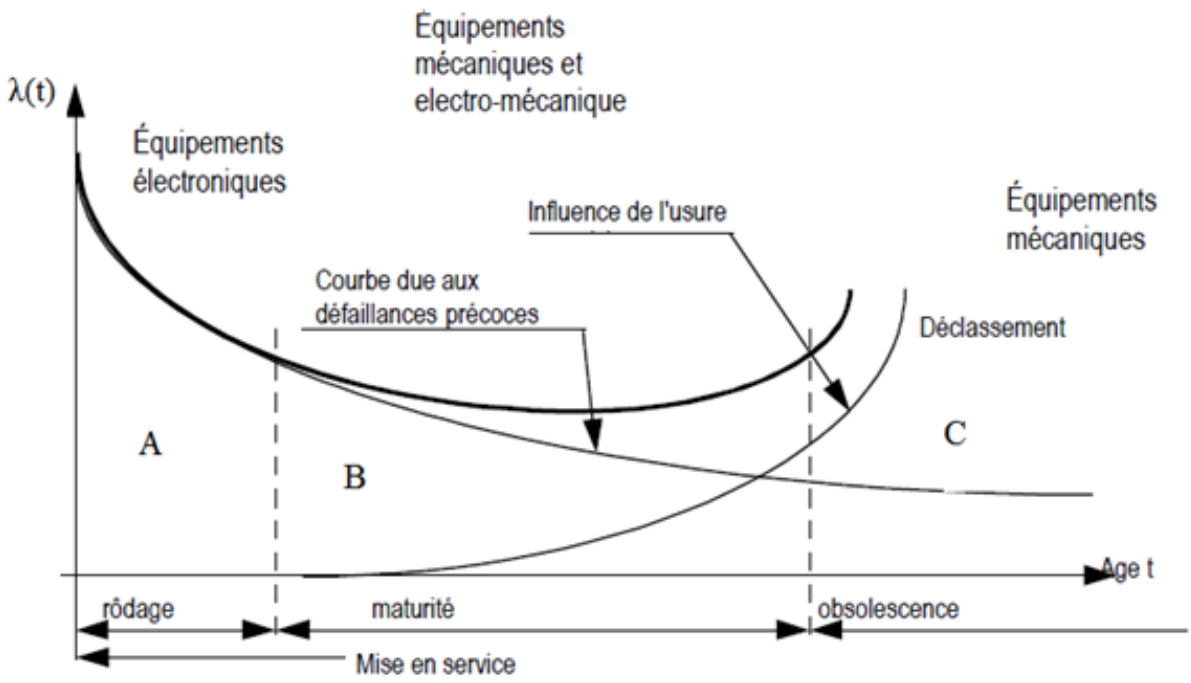


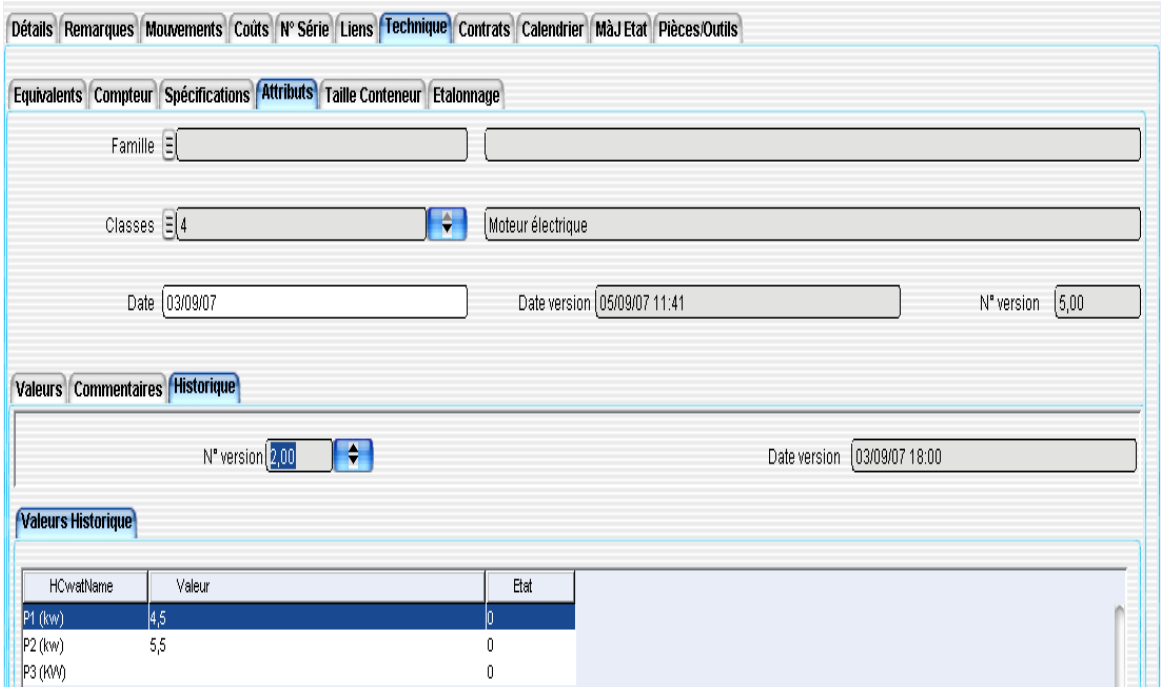
Figure 4.3: Courbe en baignoire

En maintenance, la zone de jeunesse ou de déverminage n'est pas intéressante car elle représente une période normale de l'évolution et très souvent elle est couverte par les garanties des manufacturiers.

4.2 GMAO et historique des pannes

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) est un outil informatisé, de gestion opérationnelle des équipements. Constituée d'une base de données (historique) qui est alimentée par le personnel de maintenance. Des pannes sont mises en mémoire pour certains équipements (date, temps passé, intervenant, matériel remplacé, etc.).Tous les logiciels de GMAO ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées. La cimenterie de Beni Saf utilise le logiciel COSWIN 7i SIVECO qui a été mis en service en 2010 pour l'archivage et stockage l'historique des machines**.**

La figure suivante représente une fenêtre de COSWIN 7i SIVECO relative à l'historique des équipements d'un filtre à manches de la cimenterie de S.C.I.B.S.



Sélection du préfixe dans la liste de choix, le code équipement se génère automatiquement selon les critères définis dans le paramètre (figure 4.5)

Figure 4.5: Saisie d'un équipement

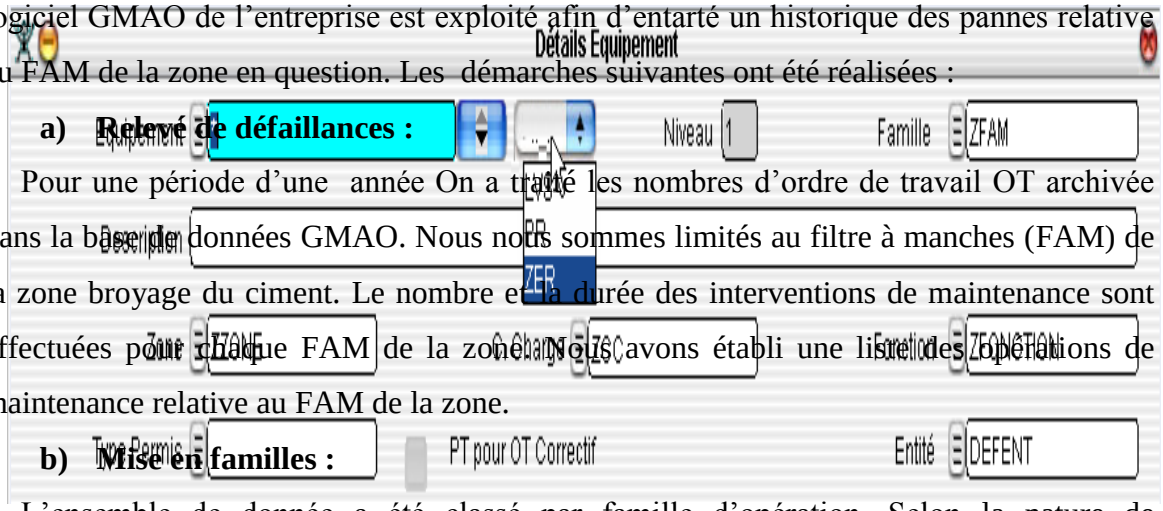
Figure 4.4: Fiche d'équipement

Le bouton non standard « Archivé » permet d'enregistrer à un instant T des équipements et les éléments qui le composent. Nous retrouvons ces enregistrements dans historique Equipement.

Le Chemin : Maintenance / Fichier Equipements / Historique Equipement

4.3 Exploitation d'un historique du GMAO de la S.C.I.B.S :

Dans cette étude nous nous sommes limité à la zone broyage du ciment (BK1) le logiciel GMAO de l'entreprise est exploité afin d'entarté un historique des pannes relative au FAM de la zone en question. Les démarches suivantes ont été réalisées :



a) Relevé de défaillances :

Pour une période d'une année On a traité les nombres d'ordre de travail OT archivée dans la base de données GMAO. Nous nous sommes limités au filtre à manches (FAM) de la zone broyage du ciment. Le nombre et la durée des interventions de maintenance sont effectuées pour chaque FAM de la zone. Nous avons établi une liste des opérations de maintenance relative au FAM de la zone.

b) Mise en familles :

L'ensemble de donnée a été classé par famille d'opération. Selon la nature de l'opération (nettoyage, ajustement, rechange…), le type d'organes (mécanique, électrique, pneumatique..).

c) Raffinage des données :

D'après les valeurs prélevées de la base de donnée GMAO nous avons classé deuze filtres à manches, qui serons par la suite exploitées afin de donner des histogrammes (indicateurs) :

- Indicateur de l'indisponibilité,
- Indicateur de fiabilité,
- Indicateur de maintenabilité.

4.4 Inventaire des filtres de la zone broyage du ciment

Pour toute installation industrielle et dans les diverses interventions de maintenance. Le tableau suivant représente la répartition des pannes du 27-04-2011 jusqu'à 17-04-2012 des filtres à manches (FAM) de la zone broyage de ciment installés au S.C.I.B.S.

La colonne ITEM représente la référence de filtre a manche (FAM), N représente le nombre des panne $\overline{T}$ est la moyenne de temps d'intervention tandis que $\sum N\%$, $\sum \overline{T}\%$ et $\sum N * \overline{T}\%$ sont les pourcentages de N ; $\overline{T}$ et de $N * \overline{T}\%$.

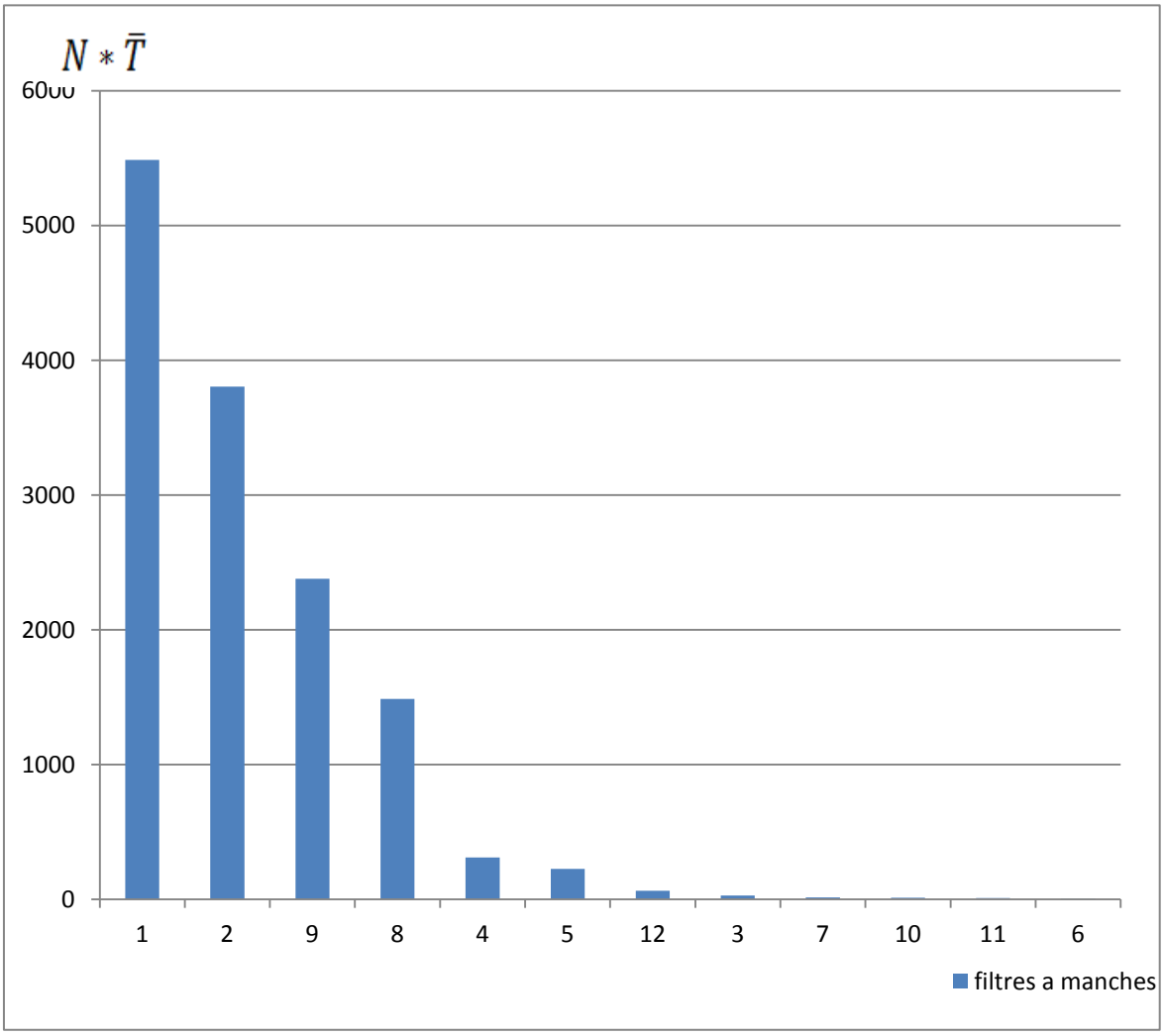
Tableau 4.1: Liste des OT en cours et archives avec l'heur d'interventions

DESIGNATION EQUIPEMENT		ITEM	N $(panne)$	$\overline{T}$ $heurs$	$\sum N\%$	$\sum \overline{T}\%$	$\sum N*\overline{T}$	$\sum N*\overline{T}\%$
FILTRE A MANCHES BK1	FAM 01	16Q003	33	166	28.44	23	5486	39.63
FILTRE A MANCHES BK2	FAM 02	16Q004	22	173	18.96	24	3806	27.5
FAM DEPOUSSIERAGE EXTRACTION BULLE INCUIT (F6)	FAM 03	16Q005	04	7,5	3.44	1	30	0.21
FAM DEPOUSSIERAGE EXTRACTION SOUS BULLE 1+JETEE 16P014 (F4)	FAM 04	16Q006	06	51,8	5.17	7	311	2.24
FAM DEPOUSSIERAGE EXTRACTION SOUS BULLE 2+JETEE 16P016 (F5)	FAM 05	16Q007	06	38	5.17	5	228	1.64
FAM DEPOUSSIERAGE JETEE KK DES TRANSPORTEURS 16P013-16P015+16P017 (F8)	FAM 06	16Q008	02	04	1.72	0.5	8	0
FAM DEPOUSSIERAGE JETEE KK DES TRANSPORTEURS 16P013-16P015+16P017 (F9)	FAM 07	16Q009	01	16	0.86	2	16	0
FAM DEPOUSSIERAGE BK216P028+16J002+AERO PROD FINI+DOSEUR+16P018	FAM 08	16Q010	16	93	13.79	13	1488	10.75
FAM ADDIT DEPOUSSIERAGE BK1(16P026+16J001 +AERO PROD FINII+DOSEUR+16P019)	FAM 09	16Q010-A	17	140	14.65	19.5	2380	17.20
FILTRE A MANCHES SILOS CIMENT	FAM 10	16Q011	03	4,5	2.58	1	13.5	0
FILTRE A MANCHES SILOS CIMENT	FAM 11	16Q012	01	10	0.86	1	10	0
FILTRE A MANCHES SILOS CIMENT	FAM 12	16Q013	05	13	4.31	2	65	0
Totale			116	717			13841	

a) Indicateur de l'indisponibilité

L'indisponibilité (non disponibilité) d'un système est le résultat de la combinaison de deux facteurs : le nombre de défaillances et la durée moyenne de réparation (ou de dépannage). Si on note "N" le nombre de défaillances sur une période donnée et " $\overline{T}$ " le temps moyen des Interventions sur cette période, on peut caractériser le temps d'indisponibilité du système sur Cette période en effectuant le produit.

L'histogramme 4.1 représente la répartition des pannes (N) des différents types FAM installé au niveau de la zone broyage de ciment (BK1).



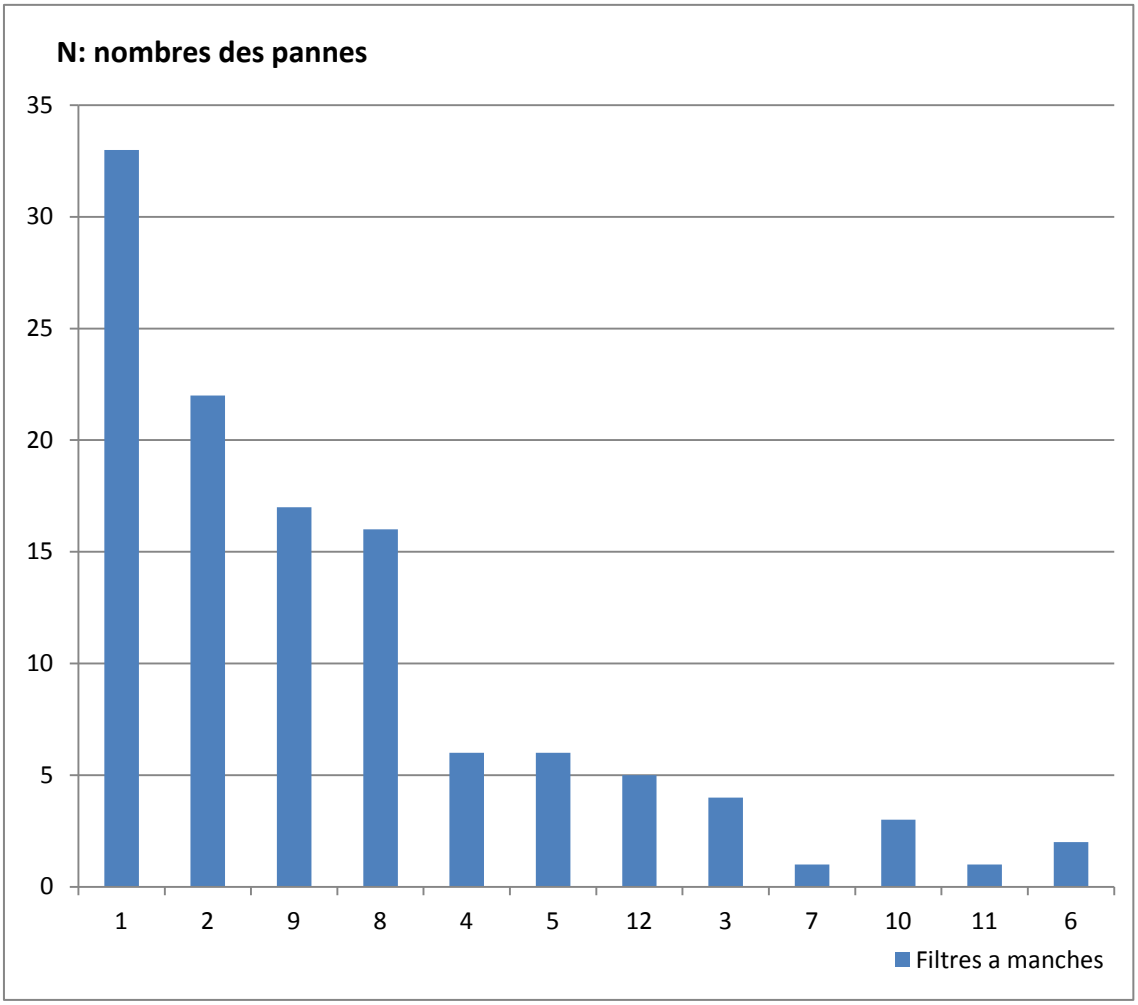
Histogramme 4.1: Indicateur de l'indisponibilité

On remarque que l'disponibilité des FAM 1, 2, 9,8 est très important par rapport aux autres filtres de la zone Broyage de ciment. Ces FAM 1, 2, 9,8 sont reliés au broyeur clinker BK1 et BK2. Par la suite et dans le but de présenter les conséquences de ces pannes l'histogramme (4.2) représente l'indicateur de fiabilité des FAM de la zone broyage de ciment.

b) Indicateur de fiabilité

Les prédictions de fiabilité ont nécessairement un caractère probabiliste, car elles nécessitent la connaissance du taux de panne de chaque composant. L'histogramme est un indicateur de la fiabilité qui représente le nombre d'Ordre de Travail (OT) enregistré par familles en fonction du FAM de la zone broyage de ciment.

L'histogramme 4.2 représente les nombres des pannes (N) pour chaque type de FAM.



Histogramme 4.2: Indicateur de fiabilité

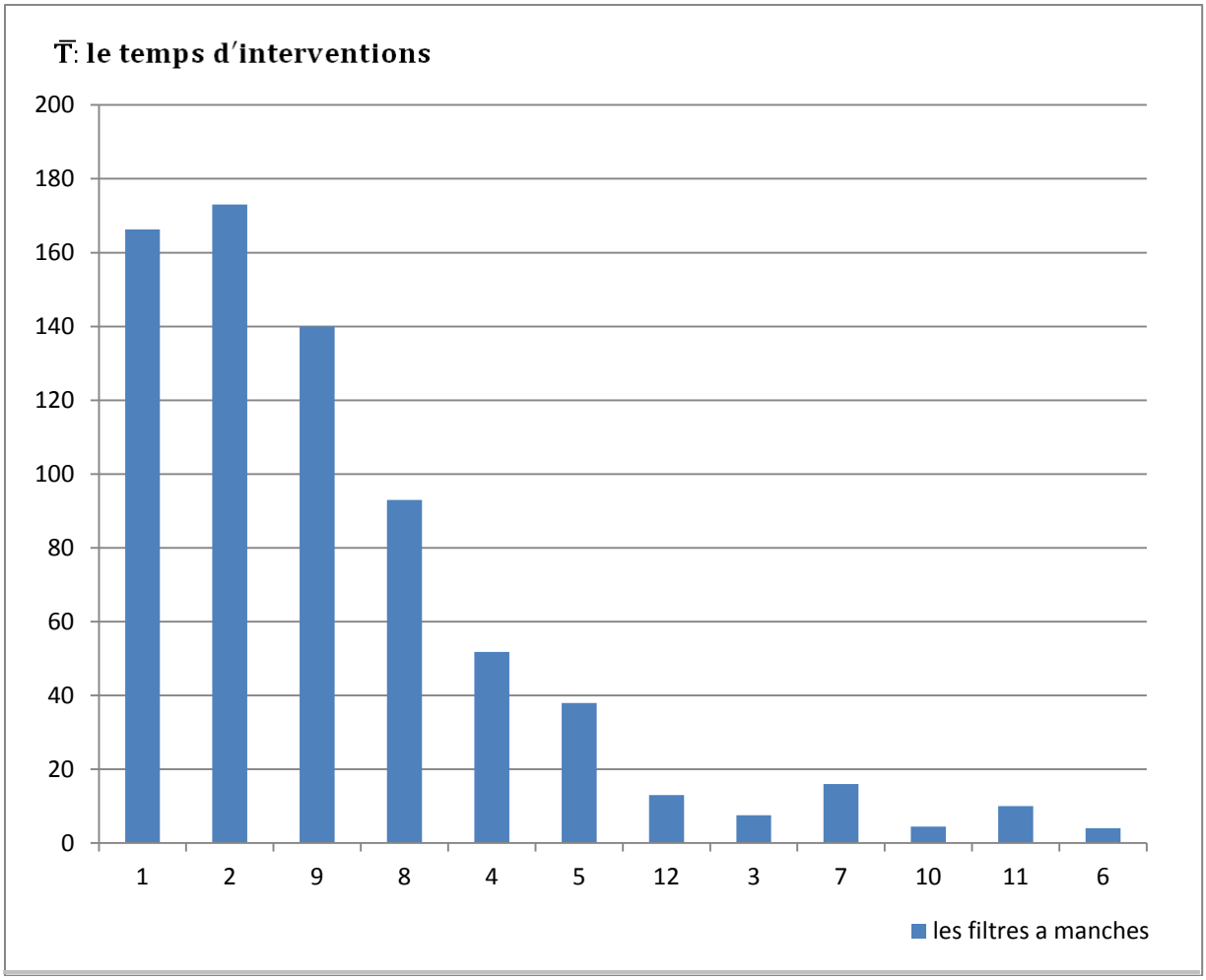
On remarque que la distribution des pannes sont très importantes au niveau des FAM 1, 2, 9,8 par contre les FAM 7 et 11 sont moins importants.

La dernière étape pour l'exploitation de l'historique de FAM de la zone broyage de ciment est de définir l'indicateur de maintenabilité.

c) Indicateur de maintenabilité

L'indicateur de maintenabilité représente les caractéristiques d'un projet relative à la capacité d'un dispositif qui sera remis à niveau lorsqu'un besoin de maintenance se fait à jour, c'est un indicateur lié à la variable aléatoire $\overline{T}$ (la durée d'intervention).

L'histogramme 4.3 est un indicateur de maintenabilité représente la répartition moyenne des heures d'interventions $\overline{T}$ en fonction des différents FAM de la zone broyage de ciment.



Histogramme 4.3: Indicateur de maintenabilité

La même remarque sur les filtres 1, 2, 8 et 9 se répète ici. En effet, les heures d'interventions sont très importantes. Cependant, entre les filtres les moins défaillants. Les filtres 6 et 10 sont les filtres qui demandent le mois de temps de réparation.

4.5 Filtres à manches 16Q003 et 16Q012

Afin de focaliser nos éfforts nous avons considéré deux filtres à manches, le plus défaillant et le moins défaillant. C'est-à-dire :

- Filtre à manches (FAM01) designé par 16Q003,
- Filtre à manches (FAM11) désigné par 16Q012.

a) Filtre à manche 16Q003

Le filtre à manche 16Q003 type KRUPP HAZMAG est un dépoussiéreur dont les principaux caractéristiques sont :

- Le décolmatage pneumatique a haut pression,

- La commande électronique programmable et ajustable en fonction de l'application (séquenceur),
- Fonctionnement automatique.

L'utilisation combinée de feutre aiguilleté de fibre synthétique comme médium filtrant et d'un décolmatage fréquent et éfficace, permet d'utiliser des vitesses de filtration élevées tout en assurant une grande éfficacité et une perte de charge constante. Le filtre à manches 16Q003 traite les gaz qui sortent du Broyeur Clinker.

Figure 4.6: Emplacement de filtre à manches 16Q003

Le tableau 4.2 donne les caractéristiques de FAM 16Q003 :

Tableau 4.2: Caractéristique de FAM 16Q003

Dénomination du filtre a manche	**Valeur**
débit d'air effectif global a traité	47300 m^3/h
Température du gaz traité	100 ^0C
Teneur en eau dans les gaz	9.2%
Teneur en poussière a l'entries	150 gr/m^3
Teneur en poussière a la sortie	<20 mg/m^3
Pert de charge maxi	150 mm CE
Surface filtrant total	840 m^2
Débit d'air comprimé	66 nm^3/h
Dénomination du compresseur a vis	**Valeur**
Vitesse de moteur	3000 Tr/min
Débit	111 m^3/h
Pression	7.5 bar
Température de service	7-100 ^0C
Poids	270 Kg
Puissance de moteur	11 w

b) Filtre à manches 16Q012

Le filtre à manches 16Q012 type AAF est un dépoussiéreur caractérisé par le decolmatage à une préssion d'air comprimé de 5 à 7 bars nécessaire pour décoller les particules retenus en surface et surtout pour expulser celle qui ont été piégé dans l'épaisseur de feutre. La commande de la fréquence d'ouverture et de fermeture de deux électrovannes est automatique. Le filtre à manches 16Q012 traite les gaz dégagé par les silos de ciment. La figure 4.7 illustre sont emplacement dans l'usine.

Figure 4.7: Emplacement de filtre à manches 16Q011 et 16Q012

Le Tableau 4.3 donne les caractéristiques énergétiques et hydrodynamiques du filtre à manche 16Q012.

Tableau 4.3: Caractéristiques de FAM 16Q012

Dénomination du filtre a manche	Valeur
Type	AAF
Débit d'aspiration	1800 m^3/h
Pression aspiration	5.00 m^3/s
Pression de refoulement	-3500 Pa
Masse volumique refoulement	1.293 Kg/m^3
Masse volumique aspiration	1.121 Kg/m^3
Température aspiration minimale	20 ^{0}C
Température aspiration maximal	40 ^{0}C
Pression statique	3500Pa
Pression dynamique	138 Pa
Puissance absorbée de moteur	22,50Kw

Les points essantielles entres deux systemes de filtration sont récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau 4.4: Comparaisons entre FAM16Q003 et 16Q012

	FAM 16Q003	FAM16Q012
Type de filtre à manche	KRUPP HAZMAG	AAF
L'emplacement de filtre	Au dessous de Broyeur clinker BK1	Au dessous de silos de ciment
Nombre des Manchettes filtrants	360 manchettes	168 manchettes
Température du gaz traité	100 ^{0}C	20 à 40 ^{0}C
Débit d'aspiration	47300 m^3/h	1800 m^3 /h
Puissance de moteur	11 Kw	22,50Kw
Les gaz traité	Poussière de broyeur BK	Ciment

Nous faisons la remarque que les deux systèmes utilisent la même manche filtrante à fibre de Polyester.

Le polyester est la fibre technique la plus utilisé pour le dépoussiérage, du fait de son excellant rapport qualité/prix. Son aspect thermoplastique autorise tous les traitements de surface imaginables et sur tout l'usage de la thermo soudure pour la confection de manches filtrante . La fibre est utilisée pour son excellent résistance mécanique jusqu'à température de 150 ^{0}C Mais en présence d'humidité et de SOX le polyester s'hydrolyse se fragile rapidement. Les manches type polyester coutent 3496.50 DA .

Le tableau 4.5 présent les caractéristiques de ce type de manches filtrants .

Tableau 4.5: Caractéristiques de manches filtrants

Caractéristiques	**Valeurs**
Densité	1.38 g/cm^3
Absorbation d'humidité	0.4 (20°C H.R. 65%)
Ténacité	4.5-7.5 cN/dtex
Elongation	11-14 %
Température maximum	150 °C
LOI (Limit oxygen index)	20 %

Nous n'avons pas trouver une durée de vie référencier par le constructeur ou par l'usine. Mais selon les techniciens la durée de vie d'une manchette et de trois ans. Donc nous avons déterminé la durée de vie de manchette par une lois probabiliste statistique selon le modèle de Weibull. Avant ceci, nous nous présentons brièvement ce modèle.

4.6 Les déférentes lois survies

Parmi plusieurs lois de survie, deux méthodes sont les plus utilisées. Elles permettent de faire une étude de fiabilité :

- le modèle exponentiel,
- le modèle de Weibull.

a) Loi exponentielle

La loi exponentielle représente un processus de changement d'état dont le risque est constant. Elle n'a qu'un seul paramètre.

Il s'applique lorsque le taux de défaillance λ (lambda) est considéré constant. C'est le cas de la période de maturité. Les pannes sont peu nombreuses et imprévisibles (aléatoires). Les équations suivantes sont donc utilisables :

- Fiabilité : $R(t) = e^{-\lambda t}$ (4.8)
- MTBF : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$ (4.9)

Le modèle exponentiel ne fonctionne que si λ est considéré constant. Il ne pourra donc pas être utilisé dans les périodes de jeunesse ni de vieillesse du matériel.

b) Loi de Weibull

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée de vie d'un matériel, qui permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est très simple à l'utilisation, qui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse). Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié.

- La Fiabilité : $\mathrm{R}(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta}}$ (4.10)

β est appelé paramètre de forme β > 0 ;

η est appelé paramètre d'échelle η> 0 ;

λ est appelé paramètre de position -∞ < λ <+∞ ;

- Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta-1}$ (4.11)
- MTBF : $E(t) = \eta * A + \gamma$ (4.12)

Le paramètre A est déterminé par la lecture des tables de Weibull en fonction du paramètre β dans l'ANNEXE 3.

β : Paramètre de forme β > 0

Si β < 1 alors λ(t) décroît: période de jeunesse (rodage).

Si β = 1 alors constant: indépendance du processus et du temps.

Si β > 1 alors λ(t) croît: phase d'obsolescence que l'on peut analyser plus finement pour orienter un diagnostic.

1.5 < β < 2.5 : phénomène de fatigue.

3 < β < 4: phénomène d'usure, de corrosion dépassement d'un seuil (domaine de Déformation plastique).

γ : Paramètre de position -∞ < γ < +∞

γ>0 : survie totale sur l'intervalle de temps [0, γ].

γ=0 : les défaillances débutent à l'origine des temps.

γ<0 : les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ; ce qui montre que la mise en service de l'équipement étudié a précédé la mise en historique des TBF.

4.7 Choix de modèle probabiliste

Nous avons choisi le modèle probabiliste de « Weibulle » car la loi a trois paramètres d'ajuster correctement tout sortes de résultats expriment aux et opérationnelle contrairement au modèle exponentielle, la loi de Weibulle couvre les cas ou le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster au période de jeunesse et au déférent formes de vieillissement.

4.8 Expressions mathématiques

a) Espérance mathématique : MTBF : E(t)

E(t) exprime le temps moyen de bon fonctionnement. G est fonction eulérienne de seconde espèce.

$$E(t) = \lambda + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (4.13)$$

Des tables numériques adaptées permettent de déterminer la moyenne et l'écart type

$$E(t) = \lambda + \eta A \quad (4.14)$$

$$\sigma = B + \eta \quad (4.15)$$

b) Durée de vie L :

La durée de vie est déterminée à partir de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (4.16)$$

$$\ln R(t) = \ln e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (4.17)$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta} \Leftrightarrow \ln\frac{1}{R(t)} = \left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^{\beta} \quad (4.18)$$

$$\Leftrightarrow \ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t-\lambda}{\eta} \quad (4.19)$$

D'où $t = L_{10} = \lambda + \eta\left(\ln\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}}$ (4.20)

Si R(t) = 0,9 donc :

$$t = \lambda + \eta(0.105)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.21)$$

b) Méthodologie de Weibull

Les étapes à suivrent afin d'établir une loi probabiliste selon le modèle de weibull sont :

- Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
- Classer ces temps par ordre croissant.
- Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
- Calculer les fréquences des avaries F(i), en fonction de la taille N de l'échantillon (voir le tableau 4.6).

Tableau 4.6 détermination des fréquences des avaries F(i)

N <20 Méthode de range médiane	N > 20 et N <50 formule des rangs moyens	N > 50 Regroupement les TBF par classe
$F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4}$	$F(i) = \frac{i}{N+1}$	$F(i) = \frac{i}{N} = \frac{\sum ni}{N}$

- Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les F(i) en ordonnée.
- Tracer la droite passant au milieu par les points obtenus.
- Si les points sont alignés sur une droite, on a $\lambda = 0$.
- Détermination des paramètres η et β :

L'échelle utilisée pour la lecture devra être la même que celle choisie pour l'axe de t. Le paramètre β est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des η. La valeur de b se lit sur l'axe des β , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus.

Conclusion générale

Des grandes quantités de poussières sont produites lors des opérations d'extraction des matières premières en carrière ainsi que lors des phases de broyage, cuisson, refroidissement, stockage et conditionnement de ciment.

Ces émissions peuvent cependant être bien contrôlées au moyen de système de filtration de la poussière en suspension dans l'air à travers une manchette avant rejet à l'atmosphère.

La poussière ainsi collectée peut être recyclée dans le procédé de production ou mélangée à d'autres produits cimentiers.

La société de cimenterie de Beni-Saf (S.C.I.B.S) regroupe plus de 32 filtres à manches (FAM) éparpillées sur 7 zones de l'usine.

Ces dispositifs ont des capacités de charge variantes selon les points de dépoussiérage considérés, de l'approvisionnement en matières premières jusqu'à l'ensachage du ciment. La zone broyeur-ciment (BK1) regroupe 12 filtres à manches.

La gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) est un outil informatisé, de gestion opérationnelle des équipements. La cimenterie de Beni-Saf utilise le logiciel COSWIN 7i SIVECO qui a été mis en service en 2010 pour l'archivage et le stockage des données relatives aux opérations de maintenance. Il constitue une base de données (historique) qui est alimentée par le personnel de maintenance.

Des pannes sont mises en mémoire pour une variété d'équipements (date, temps passé, matériel remplacé, etc.). Nous avons exploité ce logiciel afin de raffiner les données relatives aux 12 FAM de la zone broyeur-ciment.

Nous avons assisté à plusieurs opérations de maintenance des filtres en question. Quelques FAM ont présentés plus de défaillance que d'autres. Après un traitement et raffinement de données, une défaillance majeure s'est exposée. Il s'agissait du changement fréquent des manches filtrantes qui se détériorent rapidement pour quelques types de FAM.

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel. Cette méthode utilise habituellement un papier spécial, à échelle logarithmique appelé (papier de weibull). Dans le présent travail, un code de calcul de la méthode de Weibull est exploité. Cela a permis de déterminer une durée de vie exprimée en moyen temps de bon fonctionnement (MTBF). Elle pourra nettement être améliorée si le problème des défaillances fréquentes des manches filtrantes est résolu. Pour ce faire, il est bien évidemment primordial d'avoir des informations sur le comportement au quotidien de ces appareils afin de s'y familiariser et même de prévoir d'éventuels dysfonctionnements dont certains sont incontournables. La connaissance des facteurs qui contrarient l'efficacité de la filtration va permettre d'améliorer et d'augmenter l'emploi de ces filtres. Les défauts sont multiples par exemple:

a) taux de filtration excessifs;

b) choix incorrect du milieu filtrant;

c) insuffisance de capacité en service pendant le nettoyage….

La complexité du problème demande des études plus approfondies dont elles font appelle à plusieurs discipline : Aérodynamique, fatigue, Turbomachine, Mécanique des Fluides, Interaction fluide-structure, corrosion... Mais cela n’a pas empêché de poser une explication qui relie le problème à la présence d’humidité dans l’environnement fonctionnel. Selon le constructeur les manches filtrantes sont fragiles en présence d’humidité.

Comme perspective de ce travail, la résistance à l’hydrolyse dans les conditions de température et d’humidité envisagées doit être vérifiée.

Une étude théorique qui fait appelle à l’hydrodynamique et aux outils de simulation sera intéressante. Le problème de fatigue en présence d’hydrolyse permettra aussi de comprendre le phénomène de dégradation des tissus des manches filtrantes.

Des prélèvements de tissus et des images microscopiques des zones dégradées permettront aussi d’approcher le problème d’un point de vue microscopique.

Liste des figures

Figure 1.1 : Cimenterie du Beni Saf 4

Figure 1.2 : Organigramme de S.C.I.B.S 7

Figure 1.3 : Composants du ciment 8

Figure 1.4 : L'extraction des matières premières 9

Figure 1.5 : Concassage 10

Figure 1.6 : Staker 11

Figure 1.7: Roue-pelle 11

Figure 1.8 : Broyage du Cru 12

Figure 1.9 : Broyeur Cru 12

Figure 1.10 : Séparateur dynamique 13

Figure 1.11 : Séparateur statique 14

Figure 1.12 : Elévateur à godet 14

Figure 1.13 : Electrofiltre 15

Figure 1.14 : Différentes étapes de la cuisson 16

Figure 1.15 : Four rotatif 17

Figure 1.16 : Filtre à manches 18

Figure 1.17 : Broyeur ciment 19

Figure 1.18 : Expédition 20

Figure 1.19: Réseau de distribution 21

Figure 2.1 : Schéma de principe d'un cyclone 26

Figure 2.2 : Schéma d'un cyclone 27

Figure 2.3 : Principe de la séparation électrostatique 29

Figure 2.4 : Schéma de principe d'électrofiltre 30

Figure 2.5 : Schéma de principe d'un filtre à manches 34

Figure 2.6 : Nouveaux filtres antipollution 36

Figure 2.7 : Répartition des FAM dans les différentes zones 38

Figure 3.1: Schéma de filtre à manches 40

Figure 3.2: Compartiment air propre 41

Figure 3.3: Réservoir d'air comprimé pour le décolmatage des manches filtrants..... 42

Figure 3.4: Séquenceur..... 43

Figure 3.5: Electrovanne 43

Figure 3.6: Organigramme de fonctionnement 44

Figure 3.7: Grafcet décrit de fonctionnement 45

Figure 3.8: Chronogramme descriptif de fonctionnement du filtre 45

Figure 3.9: Ventilateur centrifuge 46

Figure 3.10: Trémie d'évacuation 47

Figure 3.11: Sortie d'air propre..... 47

Figure 3.12: Tube de pitot..... 49

Figure 4.1: Concept de FMD 53

Figure 4.2: Probabilités d'une défaillance..... 55

Figure 4.3: Courbe en baignoire..... 56

Figure 4.4: Fiche d'équipement 57

Figure 4.5: Saisie d'un équipement 57

Figure 4.6: Emplacement de filtre à manches 16Q003 63

Figure 4.7: Emplacement de filtre à manches 16Q011 et 16Q012 64

Figure 5.1: Papier de Weibull (étape 1) 72

Figure 5.2 Papier de Weibull (étape 2) 72

Figure 5.3 Papier de Weibull (étape 3)..... 73

Figure 5.4: Papier de Weibull (étape 4) 73

Figure 5.5: Organigramme de code de calcul 74

Figure 5.6: Exécution du code de calcul pour l'exemple graphique 75

Figure 5.7: Exécution du code de calcul pour les manches filtrantes 76

Figure 5.8: Fiabilité R(t) 77

Figure 5.9: Fonction de répartition F(t) 77

Figure 5.10: Taux de défaillance 78

Liste des histogrammes

Histogramme 4.1: Indicateur de l'indisponibilité 60

Histogramme 4.2: Indicateur de fiabilité 61

Histogramme 4.3: Indicateur de maintenabilité 62

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Les étages de préchauffeur 16

Tableau 1.2 : Propriétés du filtre à manches 18

Tableau 1.3 : Détail de ventes à la cour de l'année 2009 21

Tableau 2.1 : Classement des fibres à partir la résistance au température 32

Tableau 2.2: Comparatif des méthodes de séparation 35

Tableau 2.3: Classement des FAM par zone 37

Tableau 4.1: Liste des OT en cours et archives avec l'heur d'interventions 59

Tableau 4.2 : Caractéristique de FAM 16Q003 63

Tableau 4.3 : Caractéristique de FAM 16Q012 64

Tableau 4.4 : Comparaisons entre FAM 16Q003 et 16Q012 65

Tableau 4.5: Caractéristique de manches filtrants 65

Tableau 4.6 : Détermination des fréquences des avaries 68

Tableau 5.1 : Calcul de TBF et F(i) 71

Tableau 5.2 : Comparaison des paramètres de Weibull 75

Tableau 5.3 : Caractéristiques de fibre PPS 80

Références bibliographiques

[1] Manuel de la S.C.I.B.S.

[3] Fiche technique de S.C.I.B.S

[11] Mr HENRI F, Le dépoussiérage et la filtration au ciment du Sahel : Etude de fonctionnement et la maintenance du Baghouse, école supérieur polytechnique, Mémoire d'ingénieur, Juillet 2008.

[17] Mr CHORFI et CHEKRON, Etude du comportement en fiabilité de l'acier X60 pour gazoduc selon le modèle de Weibull et leur endommagement par corrosion, Mémoire d'ingénieur (2000-2001).

Weboghraphies

[2] http://www.SCIBS-dz.com

[4] http://www.Skyuocj.25ENCINIP.com

[5] http://www.ALIBABAEN.com

[6] http://www.ouvelleusinen.com

[7] http://www.millexipo.com.

[8] http://www.CHRISTIANPFEIFFER.net

[9] http://www.ENCYCLO.voila.fr

[10] http://www.uvelia.BE

[12] http://www.directindustry.fr

[13] http://www.RUBIFIL.com

[14] http://www.Biomasse-normandi.org

[15] http://www.environement-ain Tmouchent.com

[16] http://www.WIKIPEUDIA.com

[18] http://www.TTLFrance.fr

ANNEXE

ANNEXE 1 :

Table à 5%

Cette table est relative à l'approximation de F(t) par les **rangs médians.**

Elle permet le tracé du niveau à 5%, niveau inferieur de la bande de confiance à 90%.

Les valeurs de F (t) sont exprimées en %

Ordre de rang	Taille de l'échantillon									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5,000	2,532	1,699	1,274	1,021	0,851	0,730	0,639	0,568	0,512
2		22,361	13,535	9,761	7,644	6,285	5,337	4,639	4,102	3,677
3			36,840	24,860	18,925	15,316	12,876	11,111	9,775	8,726
4				47,287	34,259	27,134	22,532	19,290	16,875	15,003
5					54,928	41,820	34,126	28,924	25,137	22,244
6						60,696	47,930	40,031	34,494	30,354
7							65,184	52,932	45,036	39,338
8								65,766	57,086	49,310
9									71,687	60,584
10										74,113

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,465	0,426	0,394	0,366	0,341	0,320	0,301	0,285	0,270	0,256
2	3,332	3,046	2,805	2,600	2,423	2,268	2,132	2,011	1,903	1,806
3	7,882	7,187	6,605	6,110	5,685	5,315	4,990	4,702	4,446	4,217
4	13,507	12,285	11,267	10,405	9,666	9,025	8,464	7,969	7,529	7,135
5	19,958	18,102	16,566	15,272	14,166	13,211	12,377	11,643	10,991	10,408
6	27,125	24,530	22,395	20,607	19,066	17,777	16,636	15,634	14,747	13,955
7	34,981	31,524	28,705	26,358	24,373	22,669	21,191	19,895	18,750	17,731
8	43,563	39,086	35,480	32,503	29,999	27,860	26,011	24,396	22,972	21,707
9	52,991	47,267	42,738	39,041	35,956	33,337	31,083	29,120	27,395	25,865
10	63,564	56,189	50,535	45,999	42,256	39,101	36,401	34,060	32,009	30,195
11	76,160	66,132	58,990	53,434	48,925	45,165	41,970	29,215	36,811	34,693
12		77,908	68,366	61,461	56,022	51,560	47,808	44,595	41,806	39,358
13			79,418	70,327	63,656	58,343	53,945	50,217	47,003	44,197
14				80,736	72,060	65,617	60,436	56,112	52,420	49,218
15					81,896	73,604	67,381	62,332	58,088	54,442
16						82,925	74,988	68,974	64,057	59,897
17							83,843	76,234	70,420	65,634
18								84,668	77,363	71,738
19									85,413	78,389
20										86,089

ANNEXE 2 :

Table à 95%

Cette table est relative a l'approximation de F(t) par les rangs médians.

Elle permet le tracé du niveau a 95% , niveau supérieur de la bande de confiance a 90%

Les valeurs de F(t) sont exprimée en %

Ordre de rang	Taille de l'échantillon = N									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	95,000	77,639	63,160	52,713	45,072	39,304	34,816	31,234	28,313	25,887
2		97,468	86,465	75,139	65,741	58,180	52,070	47,068	42,914	39,416
3			98,305	90,239	81,075	72,866	65,874	59,969	54,964	50,690
4				98,726	92,356	84,684	77,468	71,076	65,506	60,662
5					98,979	93,715	87,124	80,710	74,863	69,646
6						99,149	94,662	88,889	83,125	77,756
7							99,270	95,361	90,225	84,997
8								99,361	95,898	91,274
9									99,432	96,323
10										99,488

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	23,840	22,092	20,582	19,264	18,104	17,075	16,157	15,332	14,589	13,911
2	36,436	33,868	31,634	29,673	27,940	26,396	25,012	23,766	22,637	21,611
3	47,009	43,811	41,010	38,539	36,344	34,383	32,619	31,026	29,580	28,262
4	56,437	52,733	49,465	46,566	43,978	41,657	39,564	37,668	35,943	34,366
5	65,019	60,914	57,262	54,000	51,075	48,440	46,055	43,888	41,912	40,103
6	72,875	68,476	64,520	60,958	57,744	54,835	52,192	49,783	47,580	45,558
7	80,042	75,470	71,295	67,497	64,043	60,899	58,029	55,404	52,997	50,782
8	86,492	81,898	77,604	73,641	70,001	66,663	63,599	60,780	58,194	55,803
9	92,118	87,715	83,434	79,393	75,627	72,140	68,917	65,940	63,188	60,641
10	96,668	92,813	88,733	84,728	80,913	77,331	73,989	70,880	67,991	65,307
11	99,535	96,954	93,395	89,595	85,834	82,223	78,809	75,604	72,605	69,805
12		99,573	97,195	93,890	90,334	86,789	83,364	80,105	77,028	74,135
13			99,606	97,400	94,315	90,975	87,623	84,366	81,250	78,293
14				99,634	97,577	94,685	91,535	88,357	85,253	82,269
15					99,659	97,732	95,010	92,030	89,009	86,045
16						99,680	97,868	95,297	92,471	89,592
17							99,699	97,989	95,553	92,865
18								99,715	98,097	95,783
19									99,730	98,193
20										99,744

ANNEXE 3:

Loi de Weibull. Moyenne =Aη+λ Ecart-type =Bη

β	A	B
0,20	120	1 901
0,25	24	199
0,30	9.2605	50,08
0,35	5,0291	19,98
0,40	3,3234	10,44
0,45	2,4786	6,46
0,50	2	4,47
0,55	1,7024	3,35
0,60	1,5046	2,65
0,65	1,3663	2,18
0,70	1,2638	1,85
0,75	1,1906	1,61
0,80	1,1330	1,43
0,85	1,0880	1,29
0,90	1,0522	1,77
0,95	1,0234	1,08
1	1	1
1,05	0,9803	0,934
1,10	0,9649	0,878
1,15	0,9517	0,830
1,20	0,9407	0,787
1,25	0,9314	0,750
1,30	0,9236	0,716
1,35	0,9170	0,687
1,40	0,9114	0,660
1,45	0,9067	0,635

β	A	B
1,50	0,9027	0,613
1,55	0,8994	0,593
1,60	0,8966	0,574
1,65	0,8942	0,556
1,70	0,8922	0,540
1,75	0,8906	0,525
1,80	0,8893	0,511
1,85	0,8882	0,498
1,90	0,8874	0,486
1,95	0,8867	0,474
2	0,8862	0,463
2,1	0,8857	0,443
2,2	0,8856	0,425
2,3	0,8859	0,409
2,4	0,8865	0,393
2,5	0,8873	0,380
2,6	0,8882	0,367
2,7	0,8893	0,355
2,8	0,8905	0,344
2,9	0,8917	0,334
3	0,8930	0,325
3,1	0,8943	0,316
3,2	0,8957	0,307
3,3	0,8970	0,299
3,4	0,8984	0,292
3,5	0,8997	0,285
3,6	0,9011	0,278
3,7	0,9025	0,272
3,8	0,9038	0,266
3,9	0,9051	0,260

β	A	B
4	0,9064	0,254
4,1	0,9077	0,249
4,2	0,9089	0,244
4,3	0,9102	0,239
4,4	0,9114	0,235
4,5	0,9126	0,230
4,6	0,9137	0,226
4,7	0,9149	0,222
4,8	0,9160	0,218
4,9	0,9171	0,214
5	0,9182	0,210
5,1	0,9192	0,207
5,2	0,9202	0,203
5,3	0,9213	0,200
5,4	0,9222	0,197
5,5	0,9232	0,194
5,6	0,9241	0,191
5,7	0,9251	0,186
5,8	0,9260	0,185
5,9	0,9269	0,183
6	0,9277	0,180
6,1	0,9286	0,177
6,2	0,9294	0,175
6,3	0,9302	0,172
6,4	0,9310	0,170
6,5	0,9318	0,168
6,6	0,9325	0,166
6,7	0,9333	0,163
6,8	0,9340	0,161
6,9	0,9347	0,160

ANNEXE 4:

Calcul des paramètres de fiabilité

temps	R(t)	f(t) $f(t) = \lambda R(t)$	F(t) $F(t) = 1 - R(t)(2)$	λ(t)
20	0.987	$6.84*10^{-4}$	$1.24*10^{-2}$	$6.92*10^{-4}$
420	0.698	$6.67*10^{-4}$	$3.05*10^{-1}$	$9.60*10^{-4}$
820	0.465	$4.80*10^{-4}$	$5.34*10^{-1}$	$1.03*10^{-3}$
1220	0.305	$3.28*10^{-4}$	$6.94*10^{-1}$	$1.07*10^{-3}$
1620	0.197	$2.18*10^{-4}$	$8.02*10^{-1}$	$1.10*10^{-3}$
2020	0.125	1.42*10-4	8.74*10-1	1.13*10-3
2420	$7.949*10^{-2}$	$9.20*10^{-5}$	$9.20*10^{-1}$	$1.15*10^{-3}$
2820	$4.981*10^{-2}$	$5.86*10^{-5}$	$9.5*10^{-1}$	$1.17*10^{-3}$
3220	$3.099*10^{-2}$	$3.70*10^{-5}$	$9.69*10^{-1}$	$1.19*10^{-3}$
3620	$1.916*10^{-2}$	$2.31*10^{-5}$	$9.80*10^{-1}$	$1.20*10^{-3}$
4020	$1.178*10^{-2}$	$1.44*10^{-5}$	$9.88*10^{-1}$	$1.22*10^{-3}$

ANNEXE 5

Tableau 6.a Liste Des OT Archives Avec Commentaires

Destination du FAM	Type de défaut	Nature d'intervention	Heurs d'intervention
16Q003	Contrôle et entretien de FAM	Nettoyage des portes visites	03
16Q004		Contrôle de FAM	02
16Q10-A		Débourrage des gains d'aspiration de FAM	04
16Q10		Entretien double clapet (graissage, nettoyage)	16
16Q003		Remplacement des pommelles cassées	02
16Q004		Remplacement des rompes d'air comprimé	40
16Q004		Changement des manchettes filtrantes	08
16Q004		Contrôle de FAM+conduit de rinçage	08
16Q004		Changement des 14 venturi +nettoyage de têt de filtre	08
	Intervention électriques		
16Q003		Changement des disjoncteurs	1.5
16Q006		Changement des contacteurs +relais thermiques	1.5
16Q004		Contrôle de séquenceurs	01
16Q003		Travaux électriques	03
16Q011		Changements des fusibles	02
	sedure		
16Q006		Soudure de fuites au niveau des gaines de dépoussiérage	12
16Q007		Soudure des gaines au niveau d'extraction	22
16Q010		Soudure des gaines au niveau de FAM	14
16Q006		Soudure les gains au niveau d'extraction	28
	Réparations mécaniques		
16Q010-A		Contrôle des conduits de dépoussiérage	48
16Q005		Détachement des échafaudages au niveau de FAM	03
16Q005		Changement double clapet	11
	Graissage		
16Q003		Graissage des paliers de ventilateur	02
16Q010-A		Graissage des paliers de ventilateur	04
16Q004		Graissage au niveau des paliers	02
16Q011		Graissage au niveau des paliers	01
16Q010		Graissage au niveau des paliers	01
16Q010-A		Graissage au niveau des paliers	1

ANNEXE 6

Changement des manchettes perce

Figure 7.a: manchette percée

Figure 7.b: changement des manchette

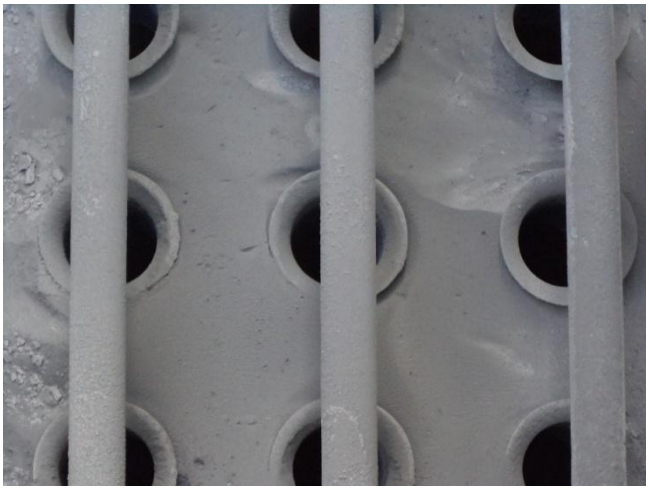


Figure 7.c: conduit de rinçage

Figure 7.d: graissage de palier

ANNEXE7

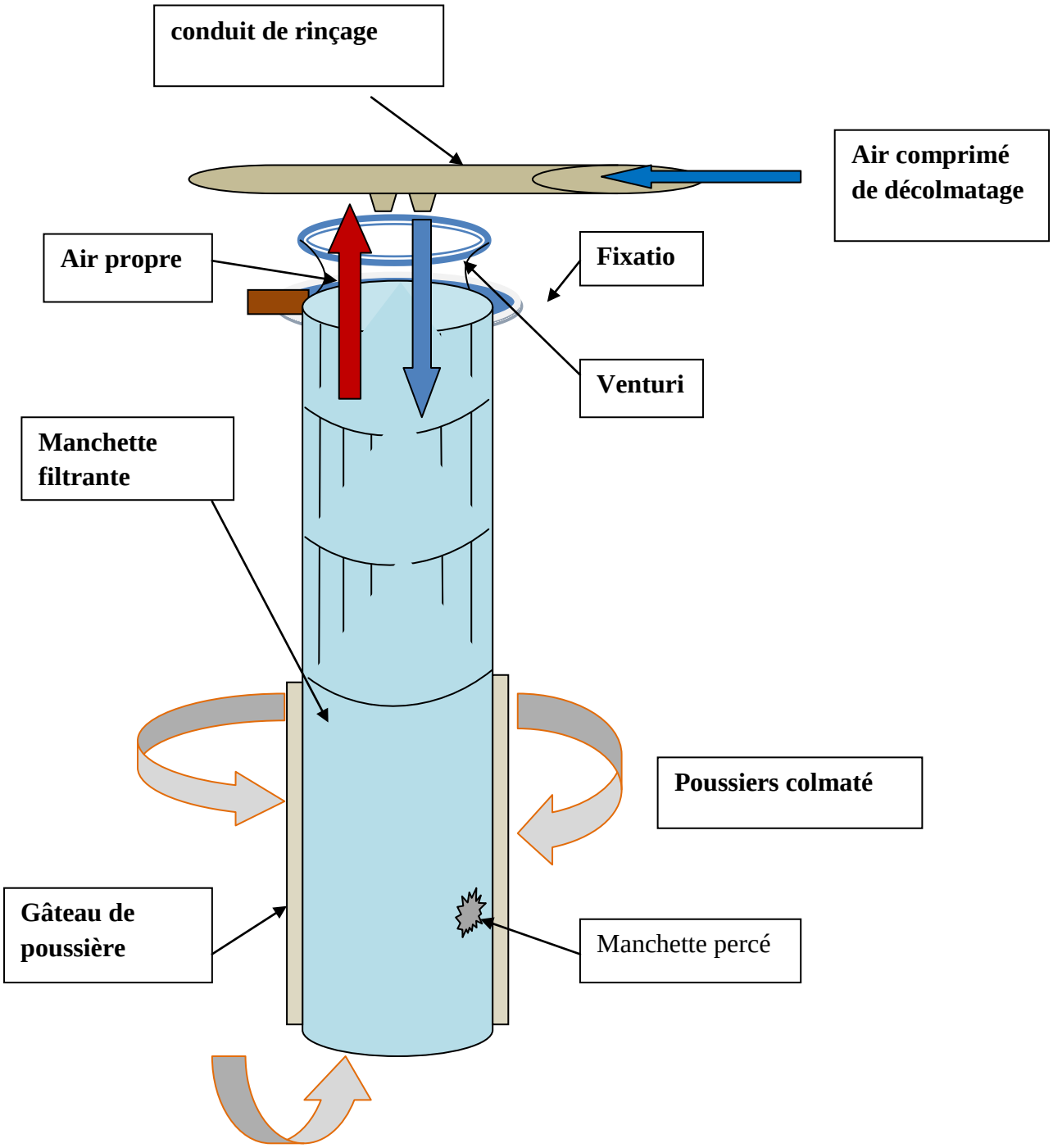


Figure 8.amanchette filtrant

ANNEXE 8

Défaillances	Causes probables	Remédie	Actions pratiques
Chute de pression trop haute entre les collecteurs du FAM	Dysfonctionnement du system de nettoyage des manches	Vérifier tous les composants du système de nettoyage	S'assurer d'un débit adéquat du ventilateur reverse (mesures de débit
			Vérifier si les vérins de commande des vannes de retour pilotés
	Mauves nettoyage des munches	Modifier le cycle de nettoyage en cours	Entrer les modifications nécessaires sur le
	Bourrage au niveau de la récupération des matières	Vérifier le bon état de marché	Inspecter les moteurs d'entraînement des vis
	Manches bouchées dû à l'humidité	Rechercher d'éventuelles zones de fuites d'air extérieur ; assécher si possible les manches; remplacer manches si le phénomène persiste	Disposer des ourse d'air Propre et sec pour assécher les manches si possible;
			Suivre la procédure de remplacement des manches
	Capacité du **FAM** dépassée	Vérifier et corrigerle débit de matière à traiter	Réguler automatiquement le débit d'air envoyé au **FAM**
Chute de pression trop basse entre les collecteurs du FAM	Manomètre défectueux ou mal branché	Inspecter et réparer ou remplacer	
	Conduites obstruées en aval du filtre	Déboucher et vérifier la vitesse des gaz normalement supérieur à 15m/s	Arrêter l'installation
			Déboucher la section colmatée
	Manches trop nettoyées	Réduire la pression de nettoyage du ventilateur d'air inversé et/ou réduire le temps de nettoyage	Agir sur le volet du ventilateur ou modifier le temps de nettoyage dans le programme
	Manches trouées ou déchirées	Remplacer les manches	Suivre la procedure de remplacement des manches

ANNEXE

Emissions excessive de poussières	Manches des serrées à la base	Resserrer de manière adequate le collier de fixation	Après un temps plus ou moins long, revérifier a tension des manches récemment installées
	Manches des serrées à la base	Resserrer de manière adequate le collier de fixation	Après un temps plus ou moins long, revérifier a tension des manches récemment installées
	Manches trop poreuses dû à leur durée de vie	Tester un échantillon représentatif ;Réduire la pression de nettoyage du ventilateur et/ou réduire le temps de nettoyage	Remplacer un nombre représentatif de manches d'une chambre suspectée pour des tests de porosité
	Mauvaise étanchéité des vannes	Inspecter et réparer	Enarrêt de l'installation, mesurer le jeu compris entre la vanne et son logement pou évaluer l'étanchéité
Bruits forts ou inhabituels	vibrations	Tester les paliers des systems d'entraînement	
	Eléments mobiles sollicités ou cassés	Inspectertous les éléments mobiles	S'il ya lieu(selon l'intensité du bruit),arrêter l'installation et vérifier les vérins ,les moteurs, les ventilateurs…
	Courroies en usure	Suivre la procedure de maintenance de courroies	
Corrosion	Infiltration d'air	Vérifier l'étanchéité de l'enceinte	
	Conditions demise à l'arrêt inadéquat du **FAM**	Minimiser la durée des inspections	Préparer au mieux les interventions pour perdre moins de temps
Courte durée de vie des manches	Tension trop grand ou trop faible des manches	Régler la tension des manches à la valeur prescrite	Utiliser l'appareillage des tine à cet effet s'il est disponible
Pert de charge différentielle supérieur a 150 daPa	- Cycle de décolmatage mal réglé - Une ou plusieurs électrovannes ne fonctionne pas	-coffret de décolmatage -raccordement électriques	-augmentée la fréquence de décolmatage -vérifier la tension d'alimentation, le fonctionnement d'électrovannes (et les câblages électriques)

-	- débit de gaz trop élevé	- vitesse de rotation du ventilateur et débit aspiré	- charger le rapport de transmission du ventilateur ou ajuster le registre de réglage
	-pression d'air comprimée Insuffisant	-manométrie	-revoir le réseau d'air comprimé
	-fonctionnement près du point de rosée	-manche filtrantes, condensation qui traduisent par la formation sur la manche	-nettoyage ou remplacement de la manche
	-vieillissement de la couche poreuse-colmatage	-manche filtrant	-changement des manches
	-bourrage trémie de collecte des poussière	-dispositif d'évacuation de poussière	-vider la trémie et remettre en route
Chute de pression d'air comprimé	-fuite ou consommation trop important dans le réseau	-manométrie-pressostat de sécurité	-vérifier le réseau d'air comprimé
	-vanne a membrane reste ouvert	-membrane de la vanne	-remplacée la membrane
	-impulsion ouverture vanne trop longue	-électrovanne pilote	-remplacer le plongeur ou la bobine
Rejet de poussière visible a la cheminée	-fixation des manche incorrect	-ouvrir les portes de toiture et vérifier l'étanchéité des manches sur les plaques supports	
	-perte de charge insuffisante	-coffret de décolmatage	-espacer la fréquence de décolmatage
	-manche percées	-ouvrir le caisson supérieur	-changer le manche effectuée
	-qualité des manches inadaptés	-vérifier la référence des manche	-nous consulter