

---

# SOMMAIRE

---

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Introduction générale..... | 4 |
|----------------------------|---|

## **Chapitre I : Présentation générale de l'entreprise & Processus de fabrication du ciment**

|  |    |
|--|----|
| <b>I.</b> Présentation générale du groupe LafargeHolcim..... | 6  |
| 1. Groupe international .....                                | 6  |
| 2. LafargeHolcim Maroc .....                                 | 6  |
| 3. Organigramme de la société LafargeHolcim.....             | 7  |
| <b>II.</b> Présentation des différents services .....        | 8  |
| <b>III.</b> Processus de fabrication du ciment.....          | 9  |
| 1. définition du ciment .....                                | 9  |
| 2. Matière première du ciment .....                          | 9  |
| 3. La chaîne de fabrication du ciment.....                   | 9  |
| <b>IV.</b> La pyramide SST.....                              | 12 |
| Conclusion .....   | 13 |

## **Chapitre II : dépoussiéreurs à media filtrants**

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 15 |
| <b>I.</b> Présentation et fonctionnement des dépoussiéreurs à média filtrant..... | 16 |
| 1. Les composants d'un filtre.....  | 16 |
| 1.1 Alimentation .....  | 17 |
| 1.2 Ensemble .....  | 17 |
| 1.3 Le compartiment air filtré.....   | 18 |
| 2. Principe de fonctionnement du filtre à manches.....                            | 19 |
| <b>II.</b> Perte de charges .....   | 20 |
| <b>III.</b> Efficacité de filtration.....   | 21 |
| <b>IV.</b> Décolmatage.....   | 21 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | Décolmatage à l'air comprimé.....  | 22 |
| 2.   | Décolmatage à ventilateur basse pression.....                              | 22 |
| V.   | Conséquences du décolmatage pneumatique.....                               | 23 |
| VI.  | Détérioration des manches résultant d'un usage prolongé.....               | 23 |
| VII. | Paramètres conditionnant les performances du décolmatage pneumatique ..... | 25 |
| 1.   | Pression du réservoir d'air comprimé Pr.....                               | 25 |
| 2.   | Diamètre et localisation de la buse d'injection.....                       | 25 |
| 3.   | Ecoulement de l'air dans les canalisations.....                            | 26 |
| 4.   | Les pertes de charge dans les canalisations.....                           | 28 |
| 4.1  | Pertes de charge par frottement .....                                      | 28 |
| 4.2  | Pertes de charge singulières.....  | 29 |
|      | Conclusion.....  | 30 |

### **Chapitre III : Dimensionnement du filtre de dépolluage**

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | Introduction.....   | 32 |
| II.  | Calcul des puissances utile et mécanique fournies au ventilateur..... | 32 |
| 1.   | Calcul de la puissance utile .....                                    | 33 |
| 2.   | Calcul de la puissance mécanique.....                                 | 34 |
| III. | calcul des dimensions du système de captage.....                      | 34 |
| 1.   | Dimensionnement du système de captage.....                            | 35 |
| 2.   | Dimensionnement des conduites.....                                    | 36 |
| IV.  | Dimensionnement de la surface du filtre du dépolluage.....            | 36 |
| 1.   | Calcul du nombre de manches.....                                      | 36 |
| 2.   | Calcul de la surface filtrante.....                                   | 38 |
| 3.   | Calcul des dimensions du filtre .....                                 | 38 |
| V.   | Calcul des pertes de charge.....                                      | 39 |
| VI.  | Conception du système sous le logiciel CATIAV5.....                   | 41 |
|      | Conclusion.....   | 43 |
|      | Annexe.....   | 44 |
|      | Bibliographie.....  | 51 |

---

## Introduction :

---

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

Dans le cadre de ce travail, nous apportons notre réflexion à la problématique de conception et du dimensionnement d'un filtre à manche de dépoussiérage pour un silo.

Un dépoussiéreur est constitué de media filtrants se présentant généralement sous la forme de manches.

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) et 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 (manches filtrantes) pendant l'étape de colmatage. Cela permet de diminuer la résistance à l'écoulement du filtre et d'éviter à l'utilisateur de s'exposer à une chute du débit de filtration ou d'augmenter la consommation d'énergie pour maintenir le débit de filtration initial.

Le décolmatage pneumatique, est la technique de régénération des media filtrants la plus fréquemment rencontrée en milieu industriel. Son efficacité et le fait que sa mise en œuvre ne nécessite pas un arrêt du procédé de filtration sont des atouts majeurs. Le décollage du dépôt est obtenu en déformant très brusquement le medium par envoi d'air sous pression à l'intérieur de la manche, à contre-courant du sens de filtration et pendant un temps très court (décolmatage pneumatique).

Ce travail a pour but la réalisation et la conception d'un filtre de dépoussiérage à manches pour un silo rempli de ciment.

Au début le silo se remplit de ciment par une visse sans fin, après l'installation d'une conduite cylindrique alimentée par un surpresseur, le débit de remplissage a augmenté, donc il fallait installer un filtre plus grand qui a la capacité de dégazer toute la poussière dégagée.

Notre rapport de stage est scindé en trois chapitres :

Le premier est réservé à la présentation du groupe LafargeHolcim et la description du processus de la fabrication du ciment.

Le deuxième chapitre évoquera le contexte général de notre projet et la démarche de la conception et du dimensionnement d'un filtre à manche de dépoussiérage pour un silo cylindrique rempli de ciment.

Le troisième chapitre est réservé aux calculs des dimensions d'un filtre de dépoussiérage, c'est-à-dire, calculer sa longueur, sa largeur, sa surface filtrante, de et aussi la puissance du ventilateur installé sur ce filtre.

**Chapitre I : Présentation générale de l'entreprise  
&  
Processus de fabrication du ciment**

# I. Présentation générale :

## 1. Groupe international :

**LafargeHolcim Ltd** est le leader mondial des matériaux de construction créé à la suite de la fusion de Lafarge et Holcim et dont le siège central se trouve dans la ville suisse de Jona.

Le groupe est aujourd'hui présent sur les 5 continents dans près de 90 pays à travers le monde et emploie près de 115 000 personnes. LafargeHolcim a développé donc un savoir-faire unique au niveau mondial dans ces métiers pour devenir un acteur incontournable dans la production de matériaux de construction. Le groupe LafargeHolcim offre la plus grande diversité géographique du marché. Présent aussi bien en Europe que dans les pays émergents, sa diversification géographique assure la solidité de son économie.

## 2. LafargeHolcim Maroc :

Aujourd'hui LafargeHolcim est présente dans différentes régions du Maroc et dispose d'une capacité annuelle de production de 4.4 millions de tonnes, elle exploite trois cimenteries à Oujda, Fès et Settat, un centre de broyage, d'ensachage et de distribution à Nador, ainsi qu'un centre de distribution à Casablanca, les tableaux suivants représentent la part du marché de chaque entreprise du ciment, et la fiche signalétique de LafargeHolcim

| Opérateurs cimentiers | Part du marché |
|-----------------------|----------------|
| Holcim Maroc          | 21%            |
| Lafarge Maroc         | 41%            |
| CIMAR                 | 18%            |
| Asmar                 | 13%            |
| Asment                | 7%             |

Tableau 1 : Part du marché des opérateurs cimentiers

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Raison social                 | Holcim (Maroc) S.A  |
| Siège social                  | Lotiss. La colline II (Sidi Maarouf), lot. 31-38, rés. Du jardin, imm.A, 3&4) étg. - 20190 Casablanca |
| Forme juridique               | Société Anonyme à directoire et conseil de surveillance   |
| Numéro de registre            | Holcim (Maroc) est immatriculée au greffe du tribunal de commerce de Rabat sous le numéro 24713       |
| Date de création              | 1976 pour une durée de 99 ans   |
| Date d'introduction en bourse | 21 décembre 1993  |
| Activité                      | Production et Commercialisation du ciment et matériaux de construction.                               |
| Capitale social               | 91.000.000 DH   |
| Capacité de Production        | 4.4 MT/an.  |

Tableau 2 : fiche signalétique de Holcim-maroc

### 3. Organigramme de la société LafargeHolcim :

La figure ci-dessous présente l'organigramme de la société LafargeHolcim:

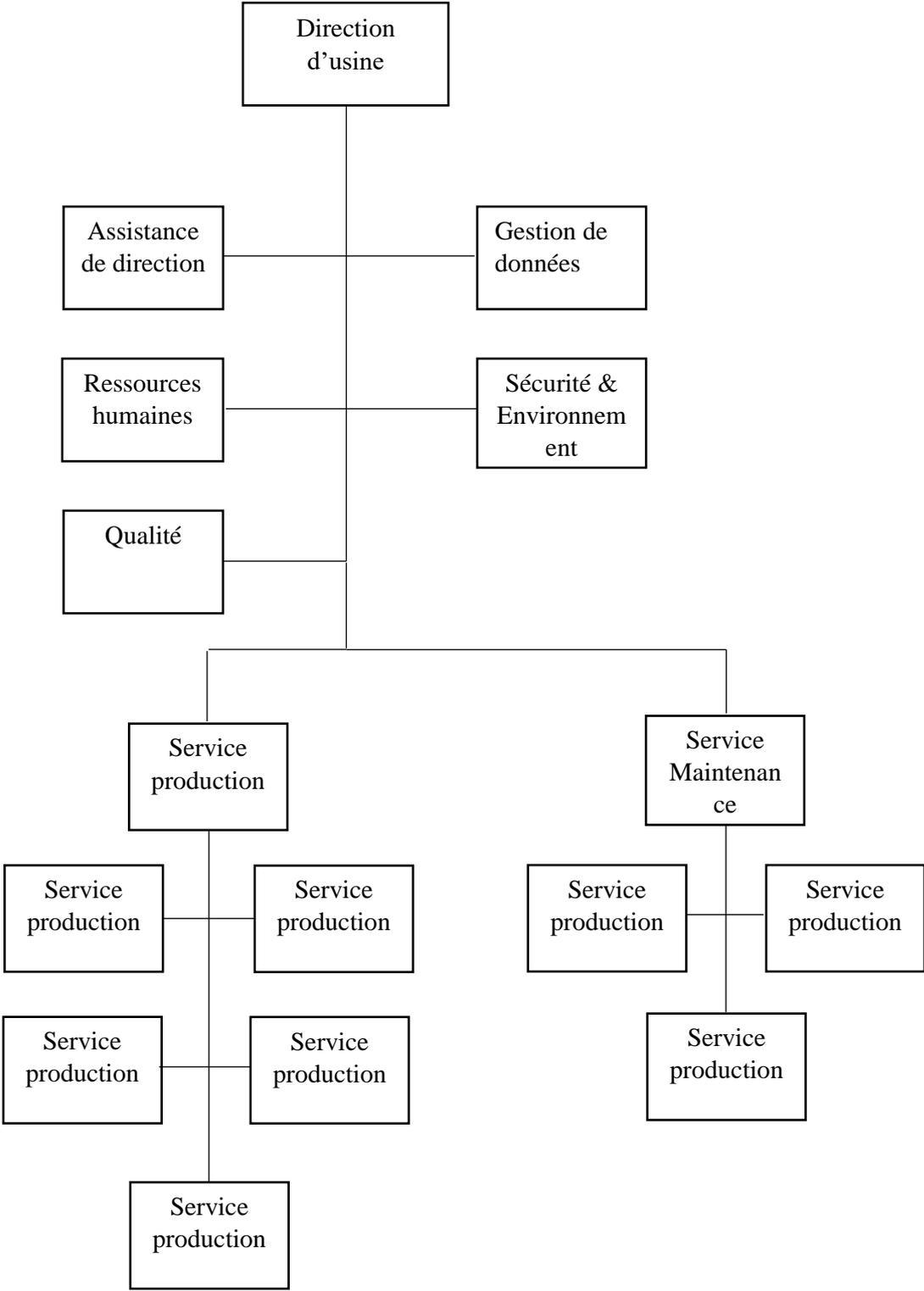


Figure 1 : L'organigramme de la société LafargeHolcim.

## II. Présentation des différents services :

- Service Production :

Le service production occupe une place importante au sein de LafargeHolcim, il est considéré comme le moteur de l'usine, l'organisation de ce service est assuré par :

- Le laboratoire de contrôle qualité.
- La salle de contrôle.
- Le bureau de gestion.

Toutes ces données et autres lui permettant de dresser un rapport journalier qui fera la base des réunions journalières des responsables des services concernés avec la direction afin d'étudier l'évolution de ces données et prendre les décisions correctives tout en assurant un suivi permanent de la production.

- Service expédition :

Le responsable expédition s'occupe de la réception, le stockage, la préparation et la distribution des produits aux clients en vue de garantir la qualité et les délais de livraison.

L'administration des ventes désigne l'ensemble des tâches administratives relatives à la conclusion d'une vente, ce métier contribue à fournir des informations clés aux métiers du marketing et aux métiers techniques sur les comportements des clients.

- Service maintenance :

Le service maintenance occupe une grande place au sein de LafargeHolcim, dans la mesure où il assure la disponibilité des machines en bon état pour une production dans des bonnes conditions. Ce service comprend la maintenance électrique, la maintenance mécanique, le bureau des méthodes et enfin le magasin qui alimente le service en pièces.

- Service commercial:

Le service commercial et marketing constitue un des piliers les plus importants de l'usine.

Le commerce peut mener plusieurs activités en même temps :

- La prospection c.-à-d. ramené des nouveaux clients à l'entreprise.
- La communication entre LafargeHolcim et les clients ciblés.
- Le service avant et après-vente en écoutant les remarques des clients.

- Service Ressources Humaines :

LafargeHolcim est une société moderne qui emploie un nombre important de salariés de différentes catégories. Le facteur humain tient toujours son rôle leader dans la mise en œuvre de l'usine et son développement.

La mission service ressources humaines s'articule autour de 3 axes principaux :

- Le recrutement.
- Le parcours professionnel.
- L'accompagnement des personnes et des équipes.

### III. Le processus de fabrication du ciment :

#### 1. définition du ciment :

Le ciment est une gangue hydraulique utilisée dans différents domaines, principalement comme matériau de construction. Il est fabriqué à partir de la cuisson, le mélange et le broyage des différentes matières premières. Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) environ de 80% et le schiste (environ de 20%). Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par l'apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

#### 2. matières premières du ciment :

Les matières premières qui rentrent dans la fabrication du Ciment sont essentiellement le calcaire et le schiste ou toutes matières renfermant essentiellement de la chaux ( $\text{CaO}$ ), de la silice ( $\text{SiO}_2$ ), de l'alumine ( $\text{AlO}_3$ ), et de l'oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Les matières d'ajout sont principalement:

- Le Gypse : son rôle est de régulariser le temps de prise du ciment.
- Le Calcaire : Ajout qui diminue la résistance du ciment et qui peut être remplacé par la Pouzzolane qui a les mêmes caractéristiques. C'est le composant principal du Clinker.
- Le Schiste : le gisement de schiste se situe à 20 Km de Sud-ouest de la ville Fès (Bhalil).
- Les matières de correction: Les matières de correction sont en général : les minerais de fer, elles sont ajoutées à la matière crue, leur coût est élevé car elles sont fournies par des fournisseurs étrangers.
- La Pouzzolane : une matière volcanique, et spécialement utilisée pour la fabrication de tous les types du ciment commercialisé par LafargeHOLCIM sauf pour le CPJ35.

#### 3. La chaîne de fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production ainsi que des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Il existe quatre principaux procédés de fabrication du ciment :

La voie humide : La matière première, après son concassage est délavée dans l'eau, puis broyée en humide. La pâte obtenue est homogénéisée, puis alimente le four.

Cette méthode est abandonnée pour des raisons d'économie d'énergie.

La voie semi humide : La matière est préparée en voie humide, puis séchée avant le four.

La voie semi sèche : La farine crue, sèche, passe d'abord dans un granulateur où elle est humidifiée. La voie sèche : C'est la plus utilisée et la plus économique. La matière première est concassée, broyée à sec, homogénéisée, et avant l'entrée au four elle est chauffée à travers des cyclones (type DOPOL). A l'entrée du four rotatif, la farine est à une température de 900 à 1000°C. Cette voie est plus rentable et plus optimale au niveau énergétique. Le procédé de fabrication du ciment utilisé à l'usine de Ras El Ma est la voie sèche.

#### -Extraction des matières premières :

Le Calcaire est exploité à partir de la carrière située à proximité de l'usine, l'extraction se fait à partir d'un abattage à l'explosif, le pourcentage du calcaire dans la production peut atteindre 80%. La carrière du schiste est située à 45 Km du site de l'usine, l'extraction est sous-traitée et le pourcentage peut aller de 13 à 14%.

Les autres matières dites de correction, le sable et le minerai de fer sont utilisées à hauteur de 4% et 1.8% respectivement. La production du ciment nécessite d'abord la production d'un produit semi-fini de base «le Clinker », qui subira en suite des transformations jusqu'au produit fini : « le ciment ».

- **Concassage :**

Le concassage se situe à proximité de la carrière de calcaire qui existe au voisinage de l'usine et compte plus de 2 siècles de réserves exploitables en calcaire de bonne qualité. Le but de cette opération est de réduire les dimensions des blocs qui atteignent parfois 1,2m. La granulométrie du produit concassé est de 95% < 80mm. La machine est un concasseur à marteaux à double rotor convenant pour le concassage primaire ou secondaire de toutes matières friables ou semi dures. La matière fragmentée est transportée vers le stockage.

- **Pré-homogénéisation :**

La pré-homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières. Des échantillons du mélange des matières premières sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage, ces échantillons sont analysés au niveau du laboratoire de l'usine. Les résultats de ces analyses permettent de définir les corrections nécessaires à apporter au mélange des matières premières, ce mélange est dénommé en cimenterie par le cru.

- **Echantillonnage :**

Des matières premières, ce mélange est dénommé en cimenterie par le cru.

Cette étape a pour but de déterminer et de réaliser un pré-dosage des quatre constituants de base du «clinker». Pour cela, on dispose de quatre trémies assurant le stockage des matières premières.

Une fois le dosage effectué, les constituants sont rejetés dans une bande transporteuse pour le Broyage.

- **Broyage cru :**

Les matières préparées par le concassage et la pré-homogénéisation doivent être maintenues réduites à la finesse requise pour la cuisson.

Le broyeur est constitué de deux paires de galets à suspension flottante. Ces paires de galets sont entraînées par un plateau de broyage. Sous l'effet de la force centrifuge, la matière passe sous les galets, alors que les particules trop lourdes retombent sous le plateau de broyage dans un élévateur à godets qui les recycle dans le broyeur, les fines entraînées par le flux de gaz, sont dirigées vers le séparateur monté sur le broyeur. La pression des galets est fournie par un système de vérins hydrauliques.

- **Homogénéisation :**

A la sortie du broyeur, après séparation, la cimenterie dispose d'un produit sec d'une extrême finesse comparable à celle du boulanger, d'où le nom de "Farine" qu'on lui donne en cimenterie.

Avant de procéder à la cuisson, une ultime étape de préparation va conférer à la matière crue une composition quasi-stable, c'est le but de l'homogénéisation.

Un cuve de grande capacité, appelée silo de capacité 5000 tonnes, reçoit la farine produite par le broyeur. Celle-ci est déversée par le haut à l'aide d'un élévateur. Le fond du silo est équipé par des conduites à l'intérieur desquelles de l'air sous pression est soufflé. Par l'effet de la

fluidisation par l'air s'effectue une mise en mouvement de la masse de la farine, ce qui assure l'homogénéisation de la composition chimique de la matière afin d'être préparé à la cuisson.

- **Préchauffage :**

Avant d'introduire la matière dans le four, elle passe par une tour. Cette dernière est composée d'un ensemble de cyclones disposés verticalement sur cinq étages, et d'un ventilateur situé à sa partie basse qui sert à tirer les gaz chauds avec une grande vitesse, du four vers les cyclones. La matière est ensuite remontée par des élévateurs jusqu'à la partie supérieure puis elle descend et en même temps se réchauffe grâce à son contact avec les gaz chauds.

- **Cuisson :**

A la sortie du préchauffeur, la farine arrive dans le four rotatif où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation. L'alimentation farine est située à l'extrémité opposée au brûleur. Le four rotatif est de forme cylindrique de 3,6m de diamètre, de 62,5m de longueur, avec une pente d'inclinaison de 3% et une vitesse de rotation pouvant atteindre 5.2 tr/mn. L'isolation du four se fait par des briques réfractaires.

- **Refroidissement :**

Quand le «clinker» sort du four, à environ 1300°C, il faut le refroidir pour le stockage, pour cela, l'usine dispose d'un refroidisseur à grille. Il est constitué de deux grilles, chaque grille est composée de plusieurs éléments légèrement inclinés. Le «clinker» progresse le long de la grille, grâce au mouvement alternatif des plaques de la grille, ce mouvement est actionné par des vérins hydrauliques. Sous la grille, des ventilateurs propulsent de l'air à travers la couche de «clinker», assurant un refroidissement progressif.

- **Broyage du Clinker :**

Après refroidissement, le «clinker» se présente sous forme de nodules gris foncés d'environ 2 cm de diamètre. Pour la fabrication du ciment, le «clinker» doit être broyé à une finesse inférieure à 40 microns.

Selon la qualité de ciment souhaitée et en conformité avec les normes marocaines NM 10.01.F.004 on peut ajouter dans des proportions bien définies des matières d'addition telles que le gypse, le calcaire et d'autres additifs. Cette conformité est assurée grâce à des dosages mesurés et des tests de laboratoire effectués tout au long du processus de production.

- **Ensachage et expédition du ciment :**

Le ciment produit est stocké dans des silos pour alimenter par la suite les ateliers d'ensachage pour les livraisons en sacs, ou les dispositifs de chargement et livraisons en vrac. Pour les livraisons en sacs, le chargement des camions ou des wagons se fait par des chargeurs automatiques répondant aux normes environnementales. Les sacs sont en papier kraft ou du papier poreux permettant le seul passage de l'air. Les sacs en Kraft sont perforés pour permettre la sortie d'air lors de leur remplissage en ciment. Toutes ces étapes de fabrication de ciment on peut les illustrées dans la suivante :

#### IV. La pyramide SST :

La << pyramide Santé-Sécurité au travail >> est un projet qui vise la responsabilisation de chacun et va de l'engagement de la direction, à des techniques et des procédures précises en passant par la politique d'achat, le respect de la santé et du bien-être... C'est à la fois un guide et un système référentiel pour analyser et organiser dans les moindres détails.

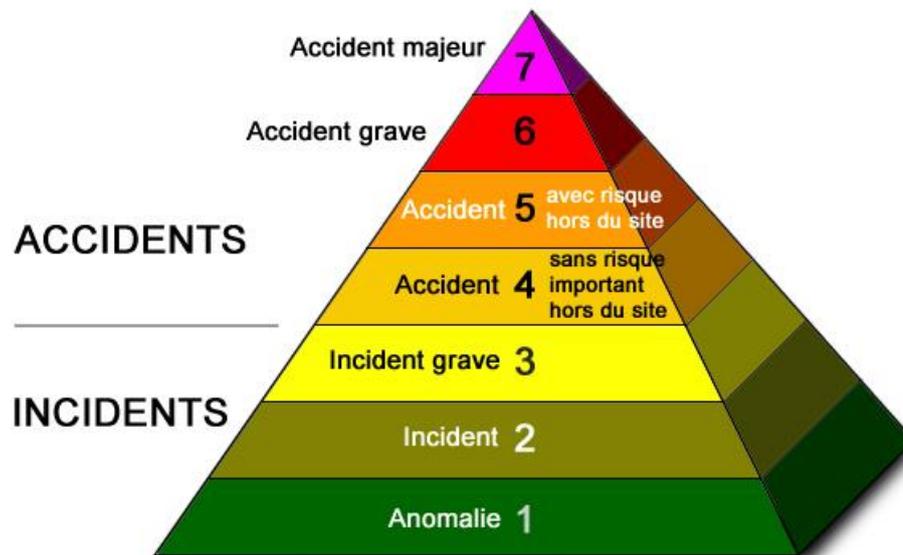


Figure3 : Pyramide SST.

Conclusion :

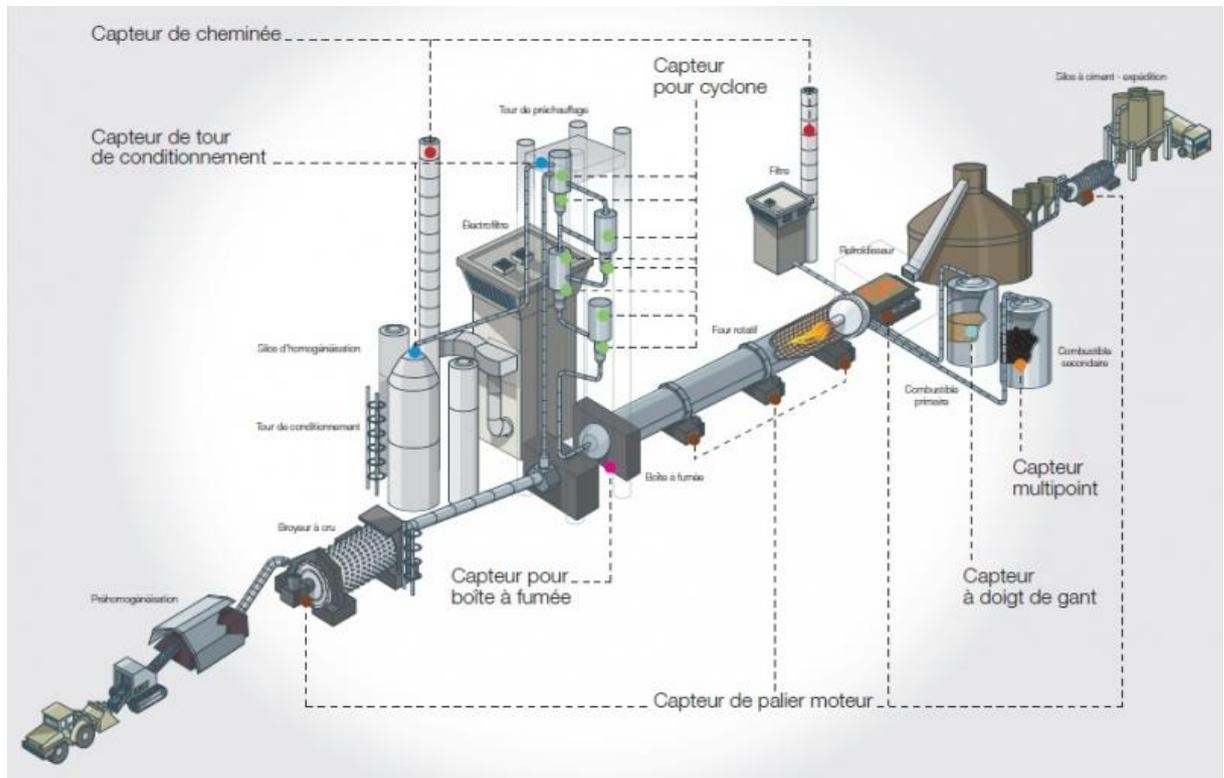


Figure 2 : processus de la fabrication du ciment.

Le dépoussiérage a pour but de dissocier les particules aspirées du flux d'air nécessaire à leur transport. La figure ci-dessus montre tout le circuit que la matière d'approvisionnement traverse pour être transformée en produit fini. Des carrières jusqu'à l'ensachage et l'expédition, les moyens matériels mis en jeu sont énormes avec des machines de grandes puissances. Cependant, les matières traitées étant exclusivement des poussières, il est plus qu'obligatoire de pouvoir contrôler leur mouvement au sein même des machines. En effet, les fines particules, par exemple lors du transport de matières, d'un système à un autre, peuvent gagner l'atmosphère car l'effet de leur poids ne leur permet plus de rester sur les bandes transporteuses. En outre, c'est aussi pour un souci de maintenabilité des machines et de la limitation de l'usure de leurs éléments que leur dépoussiérage est important. Plusieurs méthodes sont utilisées pour le dépoussiérage et la filtration. L'efficacité change avec la nature des dispositifs et parfois leur combinaison procure plus de satisfaction.

## **CHAPITRE II : dépoussiéreurs à media filtrants**

## Introduction :

Toute particule solide dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à 100  $\mu\text{m}$  ou dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 m.s<sup>-1</sup> est considéré comme poussière. Les poussières ainsi définies sont appelées "poussières totales".

Le terme "aérosols", tel qu'il est défini par la norme NF X 44-001 (1981), englobe quant à lui les poussières (aérosols solides) ainsi que des brumes et brouillards (aérosols liquides).

De nombreuses études convergent pour attribuer aux poussières fines une part de responsabilité dans une vaste gamme de pathologies (pneumoconioses, cancers, intoxications, lésions pulmonaires, allergies) dont certaines sont graves.

Les particules de diamètre aérodynamique supérieur à 10  $\mu\text{m}$  sont stoppées par le système ciliaire du nez et ne pénètrent pas dans l'appareil respiratoire. Leur absorption par voie digestive peut néanmoins provoquer des maladies extra-pulmonaires.

Les particules comprises entre 3 et 10  $\mu\text{m}$  se déposent au niveau de l'arbre respiratoire et sont expulsées par des phénomènes naturels tels que toux, éternuements ou élimination mucociliaire. Ce sont les particules les plus fines, de diamètre inférieur à 3  $\mu\text{m}$  qui sont les plus dangereuses pour l'homme car elles sont inhalables par les voies respiratoires et peuvent atteindre les alvéoles des poumons.

Les polluants véhiculés par les particules peuvent alors pénétrer dans le système sanguin et atteindre des organes vitaux tels que les reins, le foie ou le cerveau.

La dimension d'une particule ne permet pas de déduire tous les effets biologiques résultant de son inhalation ; des propriétés physiques telles que la forme, la porosité ou la rugosité peuvent aussi déterminer en partie l'effet produit.

L'une des conséquences de la pollution particulaire des ateliers de travail, mis à part l'inconfort résultant d'une exposition à un empoussièrément trop important, est l'apparition de maladies professionnelles.

La prévention des maladies d'origine professionnelle demande donc que l'exposition des personnes aux polluants présents dans l'air des lieux de travail soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possibles.

# I. Présentation et fonctionnement des dépoussiéreurs à media filtrants :

## 1. Les composants d'un filtre à manches :

On peut schématiser un filtre à manches par la figure suivante qui montre ses différentes composantes.

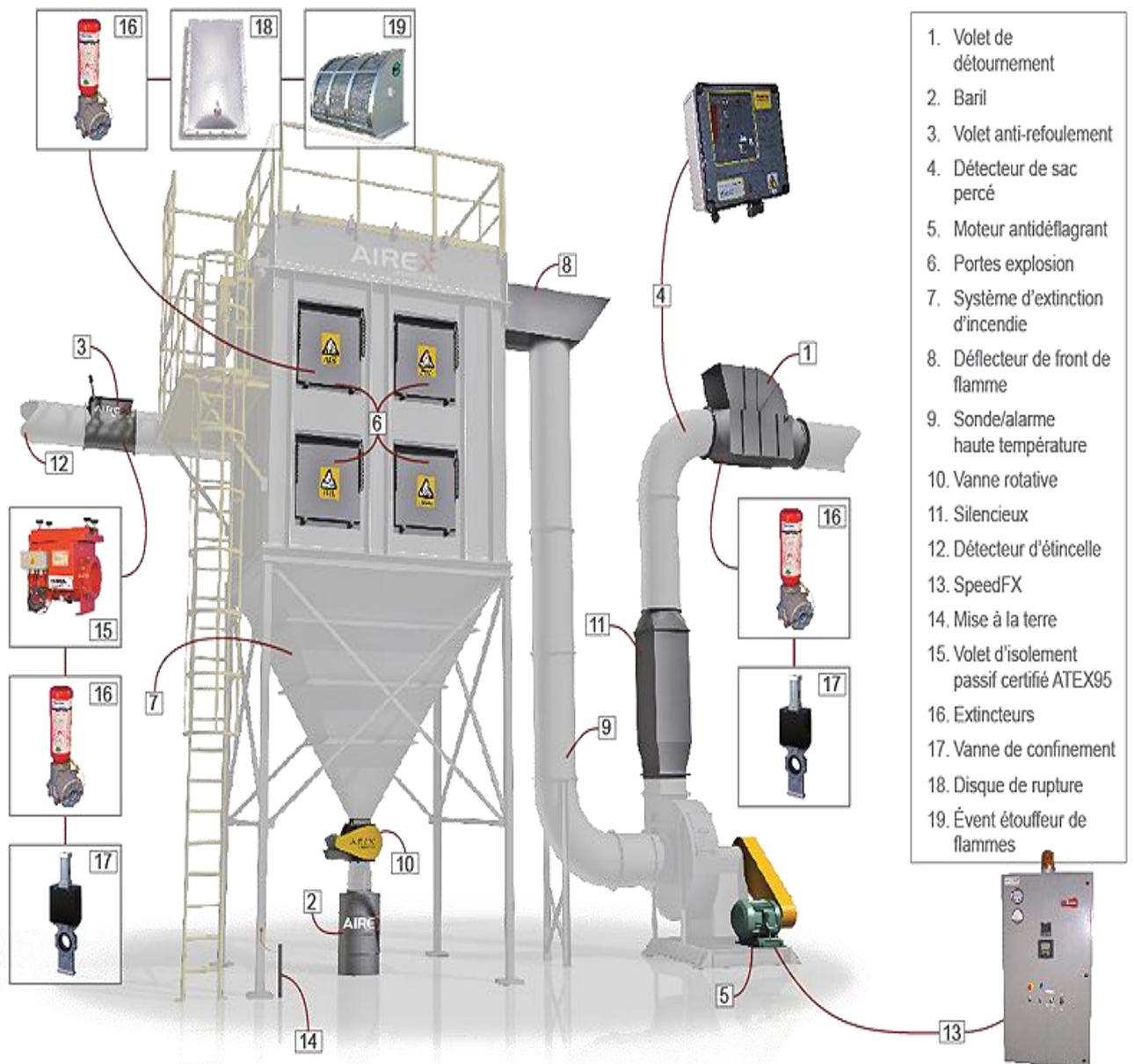


Figure3 : les composants d'un filtre à manches.



Figure 4 : filtre à manches.

### 1.1 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.

### 1.2 Ensembles filtrants :

- **Manches filtrante** : Assurent le maintien du gâteau de poussière et la filtration. Une manche percée et fortement préjudiciable au bon fonctionnement du filtre car elle autorise le passage d'une importante quantité de particule.

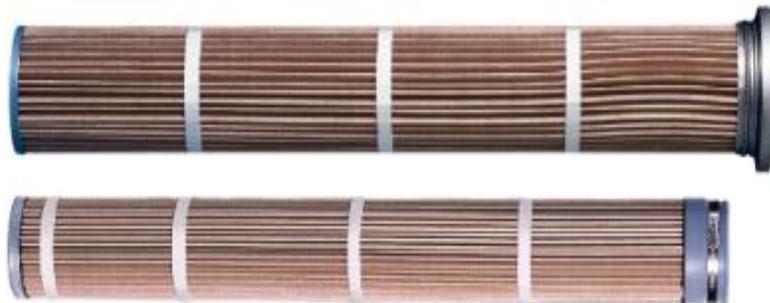


Figure 5 : Manches filtrante.

**-mannequins :** Maintiennent les manches en forme malgré la dépression due à la perte de charge. Un mannequin abimé peut entraîner d'importantes déchirures sur les manches.

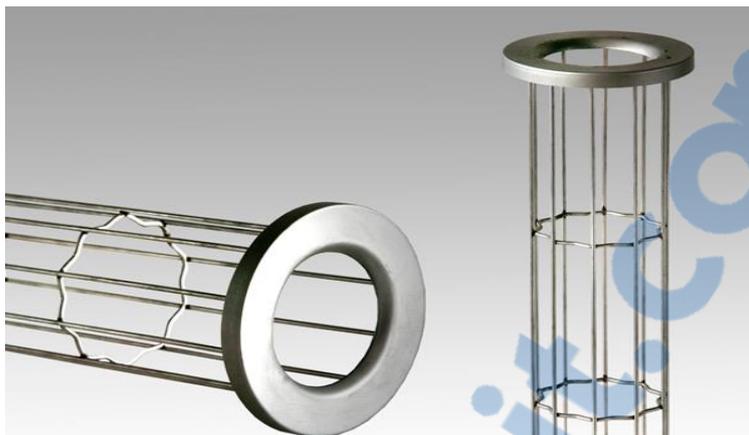


Figure 6 : Mannequins.

**-Éventuelles embouchures :** Assurent la liaison entre la tôle et la manche filtrante. Un défaut sur les embouchures offre un passage aux particules autres que les manches filtrantes.

### 1.3 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 vérification ou maintenance nécessitent de s'y introduire entièrement.

Cette partie a moins tendance à poser des problèmes d'entretien étant donné que l'air qui y circule est propre. Des fuites apparaissent parfois au niveau des portes d'accès, réduisant ainsi l'aspiration, et pouvant provoquer des introductions d'air froid génératrices de condensations et donc d'oxydation.



Figure 7 : compartiment air filtré.

## 2. Principe de fonctionnement du filtre à manches :

Le ventilateur crée une dépression amenant l'air chargé de poussières jusqu'au dépoussiéreur. A l'entrée du dépoussiéreur la trémie fait office de pot de détente et les particules les plus lourdes tombent directement dans le fût. Les poussières, vont être remontées par le flux d'air dans le corps du dépoussiéreur et se fixer aux éléments filtrants. Un système de décolmatage par air comprimé à contrecourant (géré automatiquement par un séquenceur) va décoller les poussières agglomérées et les faire tomber dans le fût. L'air filtré peut ainsi être évacué à l'extérieur ou recyclé (sous certaines conditions). L'air ressortant du dépoussiéreur est ainsi assaini.

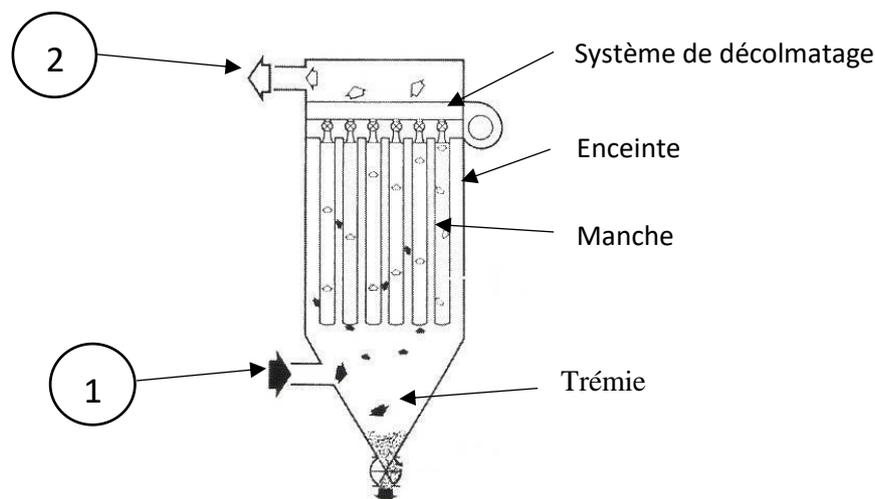


Figure 8 : filtre de dépoussiérage à manche, (1) Air + poussière, (2) Air dépollué

Un dépoussiéreur à media filtrants se compose de trois parties :

- une enceinte de filtration dans laquelle sont suspendues des manches ou des poches ;
- une partie supérieure comprenant le système de nettoyage des manches et l'accès aux éléments filtrants (coiffe du dépoussiéreur)
- une partie inférieure constituée d'une trémie conique de récupération des poussières.

Après captage dans un atelier, l'air chargé en poussières pénètre dans le caisson de filtration et rencontre généralement un déflecteur sur lequel s'impactent les plus grosses particules.

L'air empoussiéré peut pénétrer dans le caisson de filtration. L'air traverse les manches de l'extérieur vers l'intérieur. Pendant la phase de colmatage, les poussières sont retenues sur la surface externe des manches et s'accumulent sous forme d'une couche appelée gâteau de filtration. L'air filtré remonte à l'intérieur des manches et est évacué par la partie supérieure du caisson, la coiffe. La filtration d'air empoussiéré s'accompagne inévitablement d'une augmentation de la perte de charge consécutive à la formation du gâteau. Les éléments filtrants doivent donc être périodiquement régénérés par décolmatage.

Le système de régénération le plus fréquemment utilisé est le décolmatage pneumatique.

L'injection d'air comprimé à l'intérieur des manches provoque le détachement du gâteau de particules qui tombe sous forme d'agglomérats de différentes tailles dans la trémie. Ce fonctionnement basé sur une succession de cycles de colmatage et de décolmatage conditionne les performances des dépoussiéreurs à media filtrants.

## II. Pertes de charges :

La perte de charge  $\Delta P$  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  $P_{amont}$  et  $P_{aval}$  (l'entrée d'air poussiéreux et la sortie d'air pure) Elle traduit la Résistance de l'élément filtrant à l'écoulement de l'air.

$$\Delta P = P_{amont} - P_{aval} \quad (1)$$

En régime laminaire (régime toujours rencontré puisque les vitesses de filtration sont souvent de l'ordre de 2 à 10 cm.s-1), la perte de charge étant proportionnelle à la vitesse du fluide traversant le milieu poreux constitué par le medium, Darcy propose la relation suivante pour la perte de charge d'un medium filtrant vierge (Ref 1) :

$$\Delta P_f = \mu \cdot R \cdot U_f \quad (2)$$

Avec :

$\mu$  : La viscosité dynamique du fluide (Pa.s) ;

$U_f$  : La vitesse de filtration (m.s-1) ;

$R_f$  : La résistance du medium à l'écoulement [ $m^{-1}$ ] définie par :

$$R_f = \frac{4 \cdot f(\alpha_f)}{d_f^2} \times Z \quad (3)$$

Avec :

$\alpha_f$  : La compacité du medium ;

$Z$  : L'épaisseur du medium (m) ;

$d_f$  : Le diamètre moyen des fibres du medium (m) ;

Davies (1973) propose une relation expérimentale pour  $f(\alpha_f)$  définie par l'équation suivante (réf 2) :

$$f(\alpha_f) = 16 \cdot \alpha_f^2 \cdot (1 + 56 \cdot \alpha_f^3) \quad (4)$$

La perte de charge d'un medium neuf peut être obtenue par le modèle de Davies:

$$\Delta P_f = 64 \cdot \mu \cdot U_f \cdot Z \cdot \frac{\alpha_f^2}{d_f^2} \cdot (1 + 56 \cdot \alpha_f^3) \quad (5)$$

Ce modèle, largement utilisé dans le domaine de filtration des gaz, donne des résultats satisfaisants pour une compacité comprise entre 0,005 et 0,4 (gamme habituelle de la compacité des media utilisés en dépoussiérage industriel).

### III. 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 :

$$E = 1 - \frac{C_{p,aval}}{C_{p,amont}} \quad (6)$$

Avec :

$C_{p,amont}$  la concentration massique de particules à l'amont du medium ;

$C_{p,aval}$  la concentration massique de particules à l'aval du medium.

### IV. Décolmatage :

Pour maintenir le débit d'air constant en limitant les pertes de charges, les filtres sont nettoyés à l'aide de chocs pneumatiques par air comprimé (décolmatage). Le système de nettoyage des manches est situé dans la partie haute du bardage et agit sur la sortie des manches. Le décolmatage permet de détacher les particules de poussières fixées sur l'extérieur des manches. Dans un premier temps, un effet sonore décolle la poussière en surface. Un deuxième effet contrecourant est créé par l'air induit lors de l'injection et envoie les poussières vers la trémie. Les rampes de décolmatage sont reliées au réservoir d'air comprimé par des électrovannes, ces électrovannes sont gérées par un automate qui analyse les informations de pertes de pression données par un pressostat différentiel. Le pressostat compare la pression atmosphérique à la pression dans le filtre, Si la différence pré réglée est atteinte le décolmatage est déclenché. Le pressostat sert aussi à allumer un voyant sur le coffret pour alerter d'un colmatage trop avancé et imposer un contrôle du filtre. Il existe différents type de décolmatage.



Figure 9 : exemple de manches colmatées.

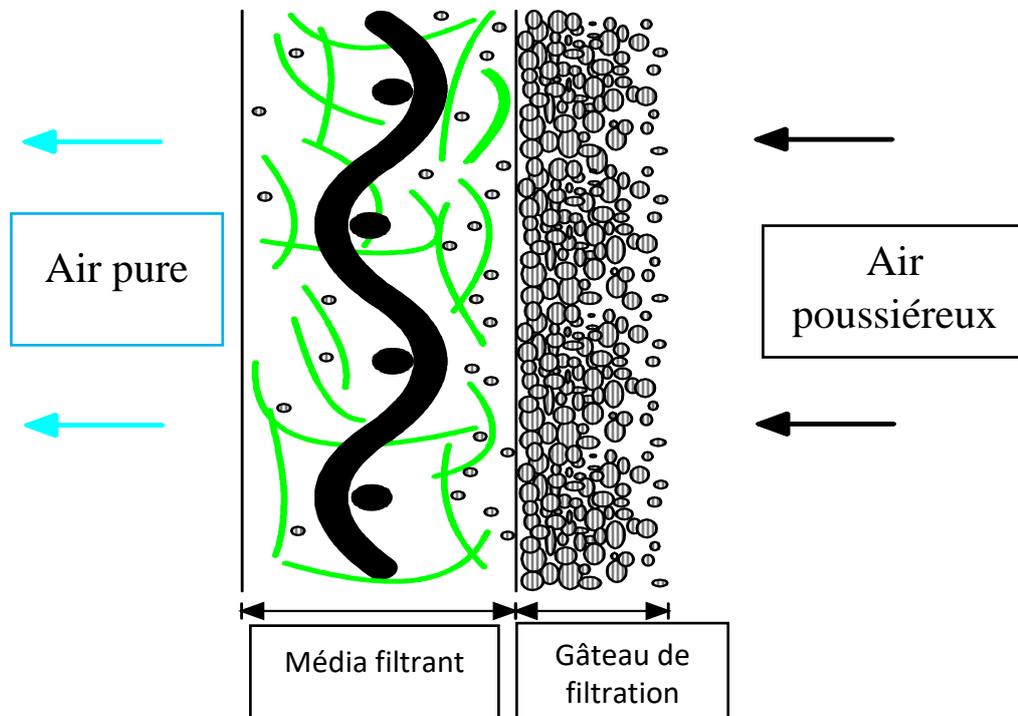


Figure 10 : fonctionnement d'une manche.

### 1. Décolmatage à l'air comprimé (Pneumatique) :

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).

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 dixièmes 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).

### 2. Décolmatage a ventilateur à basse pression (contrecourant) :

Un ventilateur centrifuge 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 de poussière entraîne d'énormes pertes de charge pouvant mener jusqu'à rendre le système totalement inefficace.

Les mouvements du medium filtrant sont principalement gouvernés par deux paramètres :

- Le module d'élasticité ( $M_e$ ),
- Le module de flexibilité ( $M_f$ ) du medium.

Ces deux paramètres ont mis à profit la notion de décélération du medium pour définir la force de séparation qui est créée lors d'un décolmatage:

$$F_s = (W_{res} + W_c) \times a_{max} \quad (7)$$

Avec

$F_s$  : La force de séparation par unité de surface.

$a_{max}$  : La décélération maximale du medium.

$W_{res}$  et  $W_c$  : la masse surfacique résiduelle après décolmatage et la masse surfacique additionnelle pendant un colmatage.

Dennis et al. (1981) proposent également une équation permettant d'accéder à la décélération maximale subie par le medium (Réf 3):

$$a_{max} = \frac{M_f}{(M_e \cdot (W_{res} + W_c))^{\frac{1}{2}}} \left( \frac{d(\Delta P)}{dt} \right)_{max} \quad (8)$$

Avec :

$\left( \frac{d(\Delta P)}{dt} \right)_{max}$  : La variation de perte de charge maximale pendant le décolmatage.

L'efficacité de décolmatage est améliorée par l'utilisation de media de faible élasticité (Module  $M_e$  petit) et très flexibles (Module  $M_f$  grand) ; par contre, plus le grammage d'un medium ou la masse de particules déposées sont grandes, plus l'accélération subit par le medium pendant un à-coup de pression de décolmatage est petite.

Montrent par ailleurs que pour avoir une action efficace, le décolmatage doit présenter une variation de la perte de charge,

$$\left( \frac{d(\Delta P)}{dt} \right) > 6.105 \text{ Pa. s}^{-1} \quad (9)$$

## V. Conséquences du décolmatage pneumatique :

Le décolmatage est la source principale de problèmes sur les dépoussiéreurs à manches. Il peut notamment entraîner des inhomogénéités locales de la vitesse de filtration sur la surface d'une manche, une progression du colmatage interne d'un medium, un vieillissement et une usure prématurés de la structure fibreuse, ou une forte augmentation de la concentration en particules à l'aval des manches.

D'autres problèmes, telles qu'une compression du gâteau, une augmentation progressive de la perte de charge résiduelle ou encore l'apparition de disparités dans les résistances à l'écoulement entre les manches, peuvent également être constatés et nuire au bon fonctionnement d'un dépoussiéreur.

## VI. Détérioration des manches résultant d'un usage prolongé :

La détérioration des manches filtrantes constitue un problème financier du fait du coût de fonctionnement lors de l'exploitation du dépoussiéreur et un problème majeur car la dégradation des éléments filtrants peut conduire à des baisses d'efficacité de filtration significative.



Figure 11 : Manches avant l'usage.



Figure 12 : Manches détériorées

Pour des raisons de coût d'investissement et de concurrence, un grand nombre de constructeurs travaillent en effet avec des conditions opératoires trop proches du point limite d'utilisation des media. Une vitesse de filtration trop importante apporte, par exemple, un excès de perte de charge par colmatage interne du medium et provoque une détérioration prématurée des éléments filtrants. En revanche, si la surface de filtration est correctement dimensionnée et le décolmatage bien dimensionné, les séparateurs sur media fibreux s'avèrent dans le temps des appareils très fiables. En moyenne, la durée de vie d'une manche est estimée à 5 ans.

## VII. Paramètres conditionnant les performances du décolmatage pneumatique :

### 1. Pression du réservoir d'air comprimé $P_r$ :

Les conditions optimales pour une combinaison 'diamètre de buse – pression du réservoir' peuvent être établies en fonction de la force critique de décolmatage du gâteau de filtration.

Les deux paramètres diamètre de buse et pression initiale du réservoir d'air comprimé sont intrinsèquement liés. une diminution de 10% de la pression du réservoir d'alimentation de l'air comprimé (de 6,4 à 6,4bar) fait évoluer la perte de charge moyenne des filtres d'environ 500 Pa à environ 2000 Pa en seulement trois heures : le décolmatage n'arrive plus à gérer la montée de la perte de charge résiduelle du medium.

### 2. Diamètre et localisation de la buse d'injection :

Lorsque le système d'injection n'est pas intrusif et qu'il est placé au-dessus de l'ouverture de la manche, la surpression est d'autant plus grande que la buse est éloignée de l'entrée de la manche. L'action de l'air comprimé semble alors plus efficace : le gonflement de la manche est plus brutal et la surface de filtration sollicitée par l'action de l'air comprimé de décolmatage est plus importante.

On note  $h$  la distance optimale de placement d'une buse d'injection par rapport à l'ouverture de l'élément filtrant (Réf 4) :

$$h = \frac{(D-d_b)}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (10)$$

Avec :

$D$  : Le diamètre de la manche

$d_b$  : Le diamètre de la buse (il est standard  $d_b = 10\text{mm}$ )

$\alpha$  : angle du jet d'air comprimé,  $\alpha = 20^\circ$  si  $\frac{h}{d_b} < 100$

Alors

$$h < 100 \times 0.01$$

$$h < 1\text{m}$$

Donc on peut prendre  $\alpha = 20^\circ$

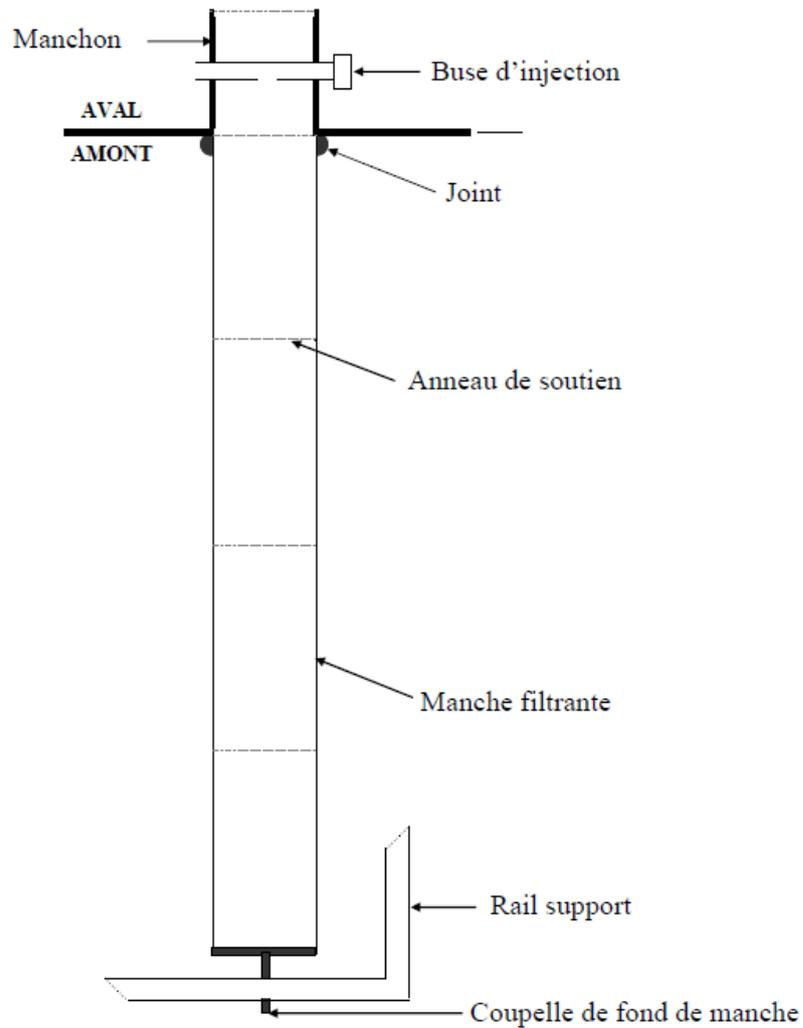


Figure 12 : Schéma d'une manche filtrante et de la buse d'injection de l'air comprimé de décolmatage qui lui est associé.

### 3. Ecoulement de l'air dans les canalisations :

La pression en un point d'un fluide en écoulement est la somme des deux termes :

- Une pression toujours positive et exercé dans le sens de l'écoulement appelée **pression dynamique** qui est égale à :

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (11)$$

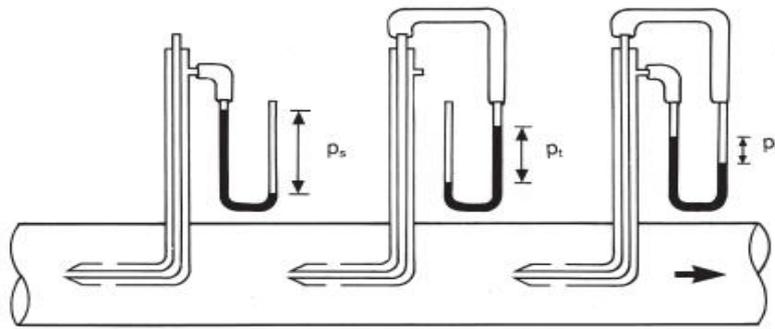


Figure 13 : mesure des pressions statiques, dynamique, totale.

Avec :

$P_d$  : pression dynamique (Pa),

$\rho$  : masse volumique du fluide ( $\text{kg.m}^{-3}$ ),

$V$  : vitesse local du fluide ( $\text{m.s}^{-1}$ ),

- Une pression exercée par ce fluide, que celui-ci soit en mouvement ou non, perpendiculairement aux parois de la canalisation, pression que l'on appelle **pression statique**  $P_s$  et qui peut être négative ou positive.

La pression total  $P_t$  est donc la somme algébrique des pressions statique et dynamique :

$$P_t = P_s + P_d \quad (19)$$

Les différents termes peuvent être mesurés séparément à l'aide d'un tube de pilot double :

En général, compte tenu des valeurs des pressions ou dépressions mises en jeu dans les systèmes de ventilation, on admet que l'air se comporte tout au long des canalisations comme **un fluide incompressible**. Sa masse volumique dépend de la pression barométrique de la température et de l'humidité de l'air. On pourra retenir que sous la pression atmosphérique normale à 20 °C, la masse volumique de l'air est voisine de  $1,20 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Le tableau suivant donne quelques valeurs de correspondance entre pression dynamique et vitesse de l'air (Réf.1) :

| Vitesse d'air<br>( $\text{m.s}^{-1}$ ) | Pression<br>dynamique<br>(Pa) |
|--|-------------------------------|
| 5                                      | 15                            |
| 10                                     | 60                            |
| 13                                     | 101                           |
| 15                                     | 135                           |
| 18                                     | 194                           |
| 20                                     | 240                           |
| 22                                     | 290                           |
| 25                                     | 375                           |

Tableau 3 : correspondance entre vitesse d'air et pression dynamique.

Les vitesses de l'air dans les canalisations doivent être choisies pour chaque installation en fonction de la nature et propriétés des polluants. La vitesse de transport est un facteur essentiel pour les réseaux d'évacuation de l'air contenant des poussières : elle doit être supérieure à une valeur minimale de façon à éviter une sédimentation des poussières et un bouchage des canalisations. Elle est d'autant plus grande que les particules sont de masse volumique et de dimensions élevées.

Le tableau suivant donne des vitesses de transport minimales pour différents cas d'air pollué :

| Exemples de polluant  | Vitesse minimale (m.s <sup>-1</sup> )          |
|---|--|
| Fumées d'oxydes de zinc et aluminium  | 7 à 10   |
| Peluches très fines de coton  | 10 à 13  |
| Poussières fines de caoutchouc, de moulage de bakélite ;<br>Peluches de jute ; poussières de coton, de savon                            | 13 à 18  |
| Abrasif de ponçage à sec ; poussières de meulage ; poussières de jute, de granit ; coupage de briques, poussières d'argile, de calcaire | 18 à 20  |
| Poussières de tonneaux de désablage ou de décochage, de sablage, d'alésage de fonte   | 20 à 23  |
| <b>Poussières de ciment humide, de découpe de tuyaux en fibres-ciment, chaux vive</b>   | Supérieur à 23 ou transport pneumatique humide |

Tableau 4 : les vitesses de transport d'air pollué dans les canalisations.

#### 4. Les pertes de charge dans les canalisations :

L'air s'écoulant dans une canalisation subit une chute de pression totale noté  $\Delta P$  (Pa) appelée perte de charge.

Celle-ci représente l'énergie dégagée sous forme de chaleur dans l'unité de volume sous l'effet des frottements dus à la viscosité de l'air ; elle est directement liée à la vitesse de l'écoulement et donc à la pression dynamique. On distingue deux types de pertes de charge.

##### 4.1 Pertes de charge par frottement :

Les pertes de charge dues à des frottements le long des parois de conduits rectilignes à section constante sont proportionnelles à la longueur du conduit. Elles peuvent se mettre sous la forme (Réf.4) :

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot P_d \quad (12)$$

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (13)$$

Avec :

L et D : longueur et diamètre du conduit (m).

Le coefficient sans dimension  $\lambda$  dépend en particulier de la rugosité des parois.

Pour les calculs, on se sert généralement d'abaques qui donnent la perte de charge sur unité de longueur,  $\frac{\Delta P}{L}$  connaissant le diamètre D et le débit Q ou la vitesse moyenne de l'air.

Les pertes de charge par frottement sont proportionnelles au carré de la vitesse d'écoulement.

Le tableau suivant donne des valeurs pour un débit de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  : (Réf.5)

| Diamètre de tuyauterie (mm) | Vitesse (m.s <sup>-1</sup> ) | Perte de charge (Pa.m <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 400                         | 8                            | 1.8                                   |
| 200                         | 32                           | 55                                    |
|                             |                              |                                       |

Tableau 5 : valeurs des pertes de charge en fonction de la vitesse d'écoulement

De la même manière, le frottement est très dépendant des matériaux constitutifs du conduit de son aspect de surface (tableau 6) (Réf.5).

| Matériau constitutifs de la gaine (diamètre 400 mm, débit de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Perte de charge (Pa.m <sup>-1</sup> ) |
|--|---------------------------------------|
| Matière plastique  | 1.46                                  |
| <b>Acier galvanisé</b>   | 1.60                                  |
| Béton ordinaire  | 2.33                                  |
| Béton grossier, briques  | 3.28                                  |
| Gaine souple annelée   | 10.15                                 |

Tableau 6 : valeurs des pertes de charge en fonction des matériaux constitutifs

#### 4.2 Pertes de charge singulières :

Ces pertes de charge sont dues à l'entrée de l'air dans les canalisations, au rejet de l'air hors des canalisations et aux singularités de parcours (coudes, raccordement, élargissement, contractions grilles, batteries et filtres en tenant compte de leur seuil d'encrassement admissible en service, échangeurs et récupérateurs thermiques, silencieux, etc.) (Réf.5).

$$\Delta P = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{u^2}{2} \quad (14)$$

Avec :

$u$  : La vitesse de moyenne de l'écoulement ( $\text{m/s}$ ).

$\rho$  : La masse volumique du fluide ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$\zeta$  : Ce facteur est en fonction de la nature de l'élément constituant la perte de charge. C'est en général le constructeur qui en donne la valeur mais des diagrammes normalisés dans des ouvrages spécialisés permettent de la déterminer.

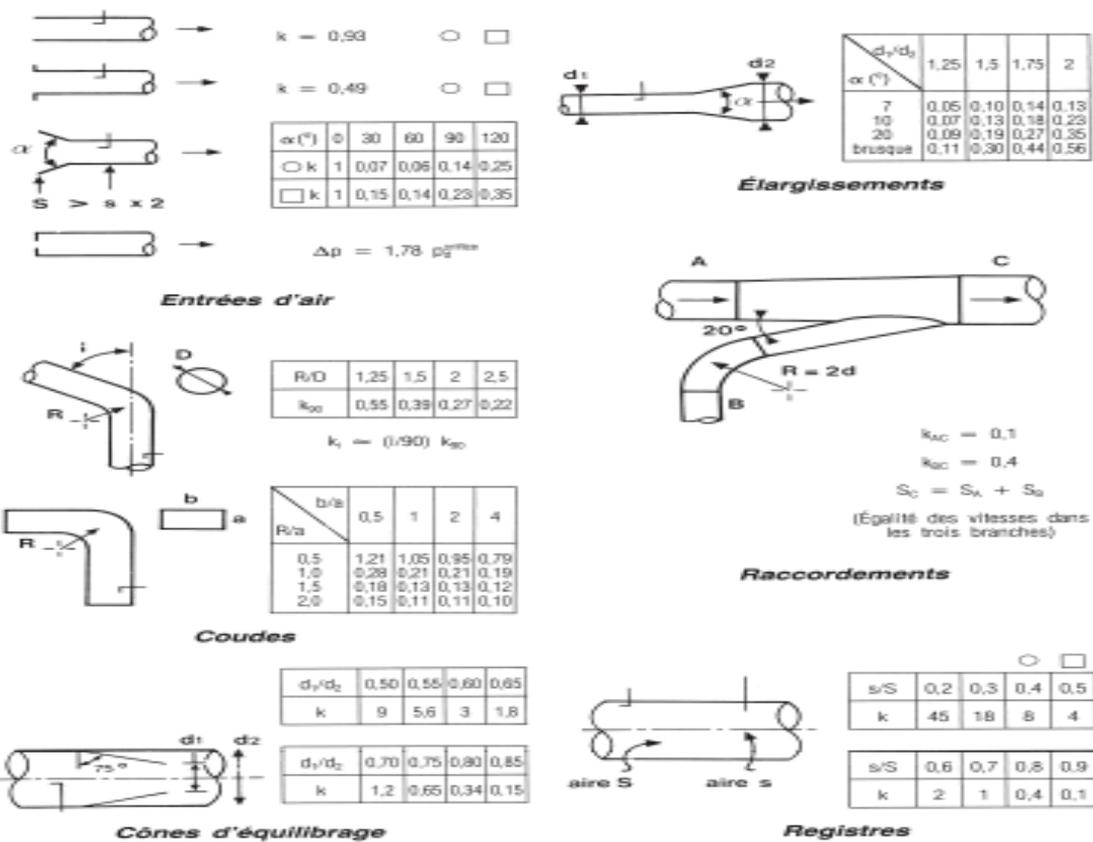


Figure 14 : exemples de valeurs du coefficient de perte de charge singulière.

### Conclusion :

Nous venons de voir les diverses techniques de dépoussiérage actuellement rencontrées dans le domaine de l'industrie. Les systèmes en question font jusqu'à présent l'objet d'étude dans le but d'améliorer les performances de dépoussiérage et de filtration. Des dispositifs toujours plus efficaces sont mis sur pied grâce à des méthodes telles que la ponction, la combinaison de sous-systèmes, afin de diminuer les émissions poussiéreuses.

## **CHAPITRE III : dimensionnement d'un Filtre de dépoussiérage**

## I. Introduction :

Au début le silo se remplit de ciment par une visse sans fin avec un débit de  $30 \text{ m}^3/\text{min}$ , après l'installation d'une conduite cylindrique alimenté par un surpresseur, le débit de remplissage a augmenté jusqu'au  $130 \text{ m}^3/\text{min}$ , donc il fallait installer un filtre plus grand qui a la capacité de dégager toute la poussière dégager. Avant de dimensionner un filtre de dépoussiérage à manches on doit d'abord choisir un ventilateur adéquat, c'est ce ventilateur qui va être branché sur le filtre afin d'aspirer la poussière dégager par la chute du ciment dans le silo.

Après en passe au dimensionnement des conduites reliant le silo au filtre et au ventilateur. Finalement on peut dimensionner le filtre, c'est-à-dire, calculer sa surface filtrante, le nombre de manches qu'il faut installer sur ce filtre, le diamètre et la longueur de chaque manche, et aussi le diamètre de la buse d'injection d'air comprimé. Il faut noter que si on augmente la longueur des manches, on peut diminuer leur nombre pour gagner de l'espace ou on doit monter le dépoussiéreur.

## II. calcul de des puissances utile et mécanique fournies au ventilateur :

Le ventilateur doit être choisi pour débitier un certain volume d'air sous une certaine pression (dépendante de la résistance du circuit). Le débit délivré par un ventilateur est à la fois fonction de ses caractéristiques propres et de la perte de charge rencontrée dans le circuit. On choisira un ventilateur en rapport avec la perte de charge maximale pouvant exister dans l'installation. A une vitesse de rotation  $N$  donnée, un ventilateur peut être caractérisé par quatre courbe représentant les variations en fonction du débit volumique  $Q (\text{m}^3/\text{s})$  traversant le ventilateur, de :

- La pression totale du ventilateur,  $\Delta P_t$  (Pa), définie comme la différence algébrique entre les pressions totales à la bride de refoulement et à la bride d'aspiration ;
- La puissance absorbé ou puissance à l'arbre,  $P_a$  (W), puissance mécanique fournie à l'arbre d'entraînement du ventilateur ;
- Le rendement du moto ventilateur,  $\eta_v$ , défini comme le rapport de la puissance utile,  $P_u$ , sur la puissance absorbée :

$$\eta_v = \frac{P_u}{P_a} \quad (15)$$



Figure 15 : ventilateur.

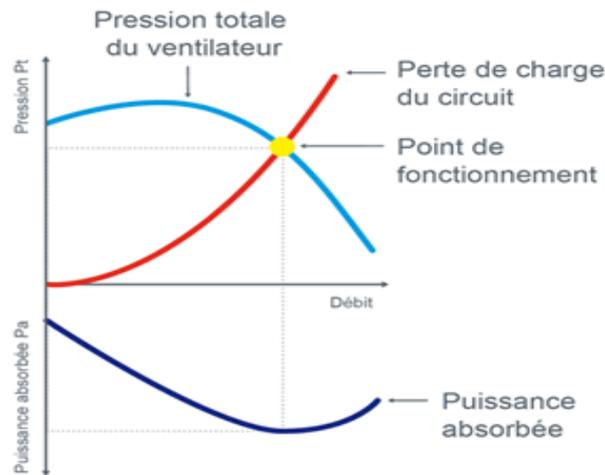


Figure 16 : variation des paramètres du ventilateur en fonction du débit de ventilation.

Point de fonctionnement des ventilateurs, (Réf.6) :

Soit un ventilateur ayant une courbe débit-pression connue, que l'on introduit dans un circuit dont on a calculé la parabole débit-perte de charge. Le débit mis en jeu sera tel que la pression fournie par le ventilateur égale la perte de charge du circuit. Le point de fonctionnement sera donc à l'intersection des deux courbes (figure 16).

1. Calcul de la puissance utile :

Pour calculer  $P_u$  on doit connaître la pression totale du ventilateur  $\Delta P_t$ , cette pression doit être comprise entre 6 et 15mbar.

On peut donc déduire  $P_u$  en utilisant la relation suivante :

$$P_u = Q \times \Delta P_t \quad (16)$$

Avec Q est le débit volumique de l'air poussiéreux qu'on doit dégazer :

$$Q = 130 \text{ m}^3/\text{mn}$$

Alor on aura un débit d'air poussiéreux :

$$Q = 130 \text{ m}^3/\text{mn} = 7800 \text{ m}^3/\text{h} = 2.167 \text{ m}^3/\text{s}$$

On prend une différence de pression entre l'entrée (air poussiéreux) et la sortie (air pure) :

$$\Delta P_t = 6\text{mbar} = 600\text{Pa}$$

Donc la puissance utile est estimée :

$$P_u = 600 \times 2.167$$

Finalement on trouve :

$$P_u = 1300.2 \text{ watt}$$

Le rendement du ventilateur ( $\eta_v$ ) peut varier de 0,3 pour les plus médiocres à environ 0,85 selon le modèle et le point de fonctionnement.

2. Calcul de la puissance mécanique :

Pour calculer la puissance utile on choisit un ventilateur avec un rendement de 85%

Donc on a

$$\eta_v = \frac{P_u}{P_a} \quad (17)$$

Alors

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_v} \quad (18)$$

On remplace la puissance utile et le rendement par leur valeur, et on aura :

$$P_a = \frac{1300.2}{0.85}$$

Donc la puissance mécanique fournie à l'arbre d'entraînement du ventilateur :

$$P_a = 1529.65 \text{ watt}$$

### III. calcul des dimensions du système de captage et des conduites :

1. dimensionnement du système de captage :

On s'efforcera d'enfermer autant que possible l'opération polluante dans une enceinte, une cabine ou à l'aide de parois, rideaux, etc., de façon à, simultanément contenir au maximum les polluants, diminuer la surface de la zone par laquelle ceux-ci peuvent s'échapper et réduire les effets nuisible des courants d'air. Les capotages devront être conçus de façon à ne pas apporter de gêne pour les opérateurs.

Ce principe



permet d'augmenter l'efficacité des dispositifs d'aspiration et de diminuer les débits à mettre en jeu.

Figure 17 : système de captage.

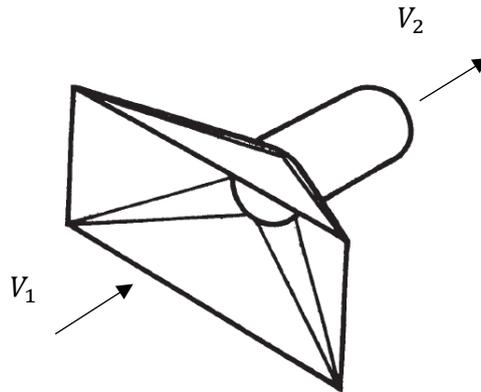


Figure 18 : schémas d'un system de captage des poussières.

On s'ait que le débit volumique est la vitesse de passage du fluide à travers une surface multiplier par la surface de passage.

On a donc :

$$Q = A \times V_1 \quad (19)$$

Avec :

$Q$  : Le débit volumique de l'air poussiéreux en  $m^3/s$ .

$A$  : La surface du system de captage en  $m^2$ .

$V_1$  : La vitesse de captage de l'air poussiéreux en  $m.s^{-1}$ .

Alors on aura :

$$A = \frac{Q}{V_1} \quad (20)$$

On a

$$Q = 2.167 m^3/s$$

Et

$$V_1 = 1.5 m/s \text{ (c'est une donnée.)}$$

Donc on peut calculer la surface du system de captage.

$$A = \frac{2.167}{1.5}$$

Alors :

$$A = 1.44 m^2$$

2. dimensionnement des conduites :

On calcule le diamètre des conduites qui relient le filtre au ventilateur puis à la sortie d'air

*On a d'après la relation de la continuité du débit volumique :*

$$A \times V_1 = S \times V_2 \quad (21)$$

Avec :

$$A = 1,44 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$V_2 = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Alors :

$$S = \frac{A \times V_1}{V_2} \quad (22)$$

Or :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (23)$$

Ce qui nous donne :

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{A \times V_1}{V_2} \quad (24)$$

Alors le diamètre de la conduite est définie par :

$$d = \left( \frac{4 \times A \times V_1}{V_2 \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Finalement on trouve :

$$d = 0,38 \text{ m}$$

#### **IV. Dimensionnement du filtre à manches :**

1. Calcul du nombre de manches :

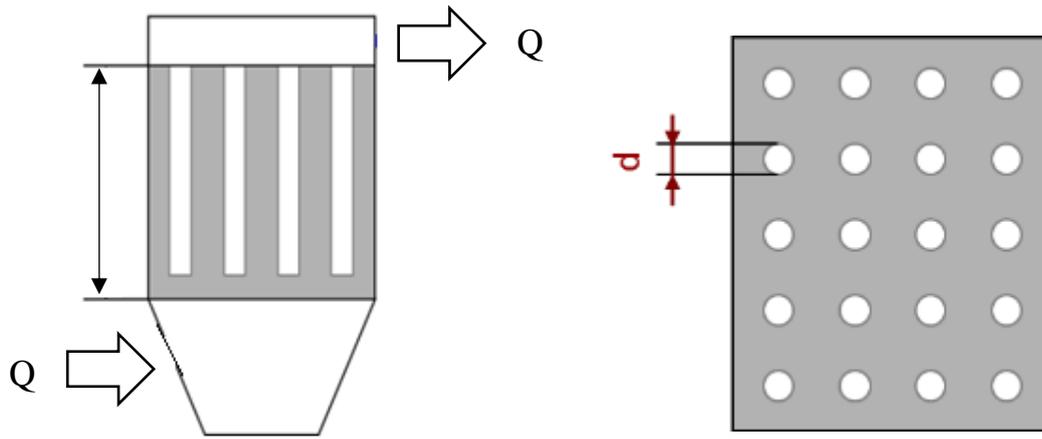


Figure 19 : vue de face et de dessous d'in filtre de dépoussiérage.

On sait que le taux de travail (ou la vitesse de passage à travers le média filtrant), est le débit volumique de l'air poussiéreux traversant le filtre divisé par la surface filtrante.

Alors on a

$$T = \frac{Q}{S_f} \quad (26)$$

Avec

$T$  : La vitesse de passage à travers le média filtrant en  $m/s$ . (Pour le ciment  $T = 1.2 \text{ m/mn}$ )

$Q$  : Le débit volumique de l'air poussiéreux en  $m^3/mn$ .

$S_f$  : La surface filtrante :  $m^2$ .

Pour calculer la surface filtrante on utilise la relation suivante :

$$S_f = n \cdot l \cdot d \cdot \pi \quad (27)$$

$n$  : Le nombre de manche.

$l$  : La longueur de chaque manche en.

$d$  : Le diamètre de chaque manche.

$$l = 3m$$

$$d = 15cm$$

Alors on a :

$$T = \frac{Q}{n \cdot l \cdot d \cdot \pi} \quad (28)$$

On déduit que :

$$n = \frac{Q}{T \cdot l \cdot d \cdot \pi} \quad (29)$$

En remplace chaque terme par sa valeur,

$$n = \frac{130}{1.2 \cdot 3 \cdot 0.15 \cdot \pi}$$

Finalement on trouve que le nombre de manche est de :

$$n = 76,63$$

Il est préférable que le nombre de manche soit pair, donc on prend

$$n = 78$$

2. Calcul de la surface filtrante :

On sait que la vitesse de filtration  $V_f = 1.2 \text{ m/s}$

Or 
$$S_f = \frac{Q}{V} \quad (30)$$

Avec :

$$Q = 2.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_f = 1.3 \text{ m/s}$$

Alors

$$S_f = 1.66 \text{ m}^2$$

3. Calcul des dimensions du filtre :

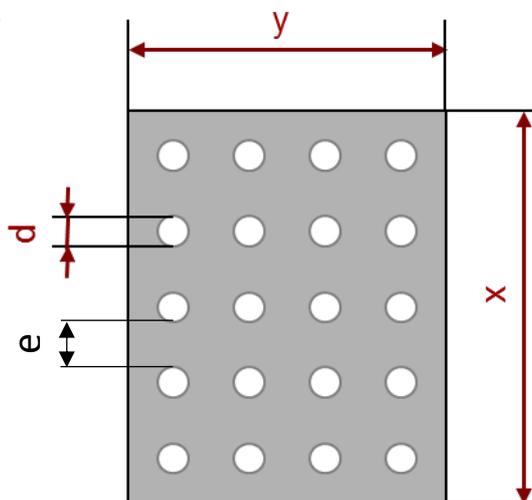


Figure 20 : vue de dessous d'un filtre à manches

On calcul la surface du compartiment d'air filtré  $S_{total}$ ,

On sait que :

$$S_{total} = x \times y \quad (31)$$

Or

$$S_f = S_{total} - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4} \quad (32)$$

Alors

$$S_{total} = S_f + \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4} \quad (33)$$

A.N :

$$S_{total} = 1.66 + \frac{78 \cdot \pi \cdot (0.15)^2}{4}$$

Finalement :

$$S_{total} = 3.03 \text{ m}^2$$

On détermine la longueur x et la largeur y du filtre.

On a :

$$\begin{cases} x = n_1 \times d + (n_1 + 1) \times e \\ y = n_2 \times d + (n_2 + 1) \times e \end{cases} \quad (34)$$

En remplace les termes connus par leurs valeurs

$$\begin{cases} x = 13 \times 15 + (13 + 1) \times 5 \\ y = 6 \times 15 + (6 + 1) \times 5 \end{cases}$$

On trouve finalement la valeur de x et de y :

$$\begin{cases} x = 2.65 \text{ m} \\ y = 1.25 \text{ m} \end{cases}$$

On prend :

$n_1 = 13$  (Le nombre de manche sur x)

$n_2 = 6$  (Le nombre de manche sur y)

V. Calcul des pertes de charge :

Pour calculer les pertes de charge dans le média filtrant on utilise la relation suivante :

$$\Delta P_f = 64 \cdot \mu \cdot U_f \cdot Z \cdot \frac{\alpha_f^3}{d_f^2} \cdot (1 + 56 \cdot \alpha_f^3) \quad (35)$$

Avec :

$$\mu = 18,5 \times 10^{-6} Pa \cdot s$$

$$Z = 2 \text{ mm}$$

$$d_f = 0,014 \text{ mm}$$

$$U_f = 1,3 \text{ m/s}$$

Finalement on trouve une fonction sous la forme de :

$$\Delta P_f = f(\alpha_f).$$

Avec :

$$0,005 \leq \alpha_f \leq 0,4$$

On aura donc :

$$\Delta P_f = 15706,12 \times \alpha_f^2 (1 + 56 \cdot \alpha_f^3)$$

Nous sommes donc devant une fonction d'un seul variable  $\alpha_f$ .

Pour  $\alpha = 0,005$  :

$$\Delta P_{f_{min}} = 5,56 \text{ Pa}$$

Pour  $\alpha_f = 0,4$  :

$$\Delta P_{f_{max}} = 39,5 \text{ KPa}$$

Donc on va prendre :

$$\Delta P_{f_{min}} = 5,56 \text{ Pa}$$

## VI. Conception du système sous le logiciel CATIAV5 :

On a fait une conception du système de dépoussiérage sous le logiciel CATIAV5 afin d'avoir une vue générale sur ce système.

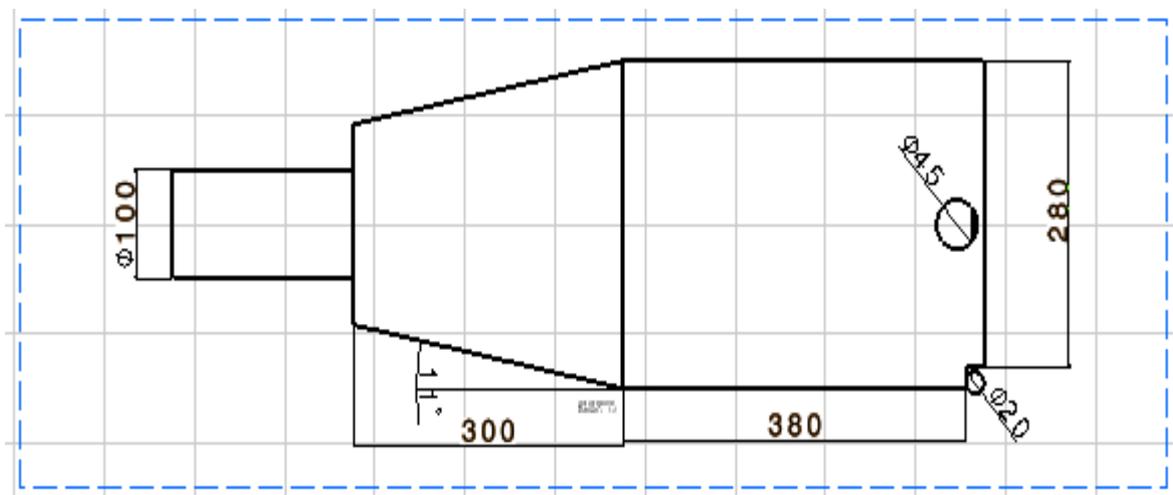


Figure 21 : vue de gauche du filtre.

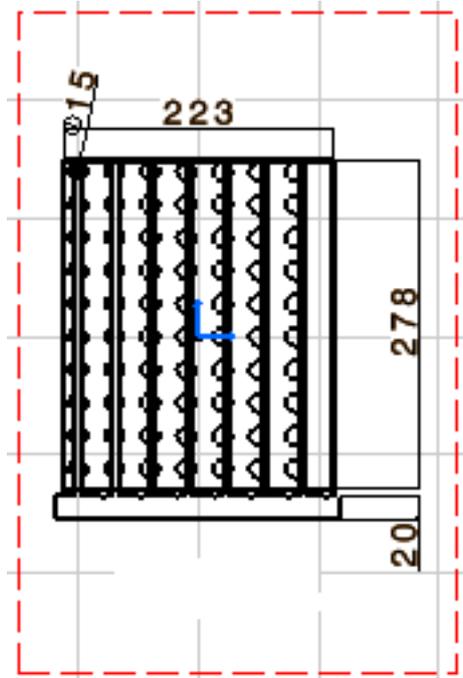


Figure 22 : vue de dessus

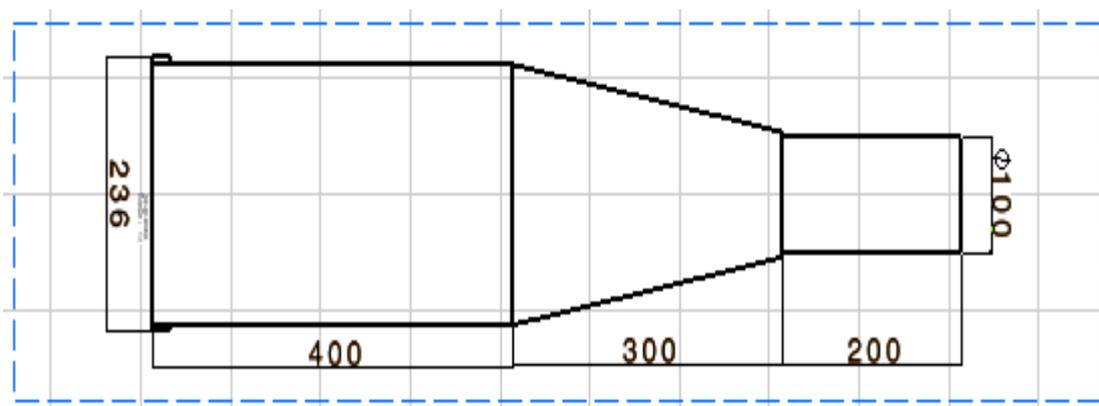


Figure 23 :vue de face du filtre

---

## *Conclusion*

---

Au terme de cette période passée au sein du service maintenance de l'entreprise LafargeHolcim, nous avons eu l'opportunité de travailler sur le projet « dimensionnement d'un filtre à manches de dépoussiérage ». Pour commencer nous avons étudié plusieurs filtres à manches de dépoussiérage montés sur différentes machines et silos au sein de l'usine afin d'avoir une vision générale sur la tâche qui nous a été confiée par la suite nous avons procédé au dimensionnement de notre propre filtre qui devra être monté sur un silo dans le but d'aspirer la poussière dégagée au cours de la chute du ciment dans ce dernier, durant son remplissage à l'aide d'un surpresseur. Pour cela nous avons commencé par calculer la puissance délivrée par le ventilateur afin d'aspirer toute la poussière dégagée sur le silo  $P_a = 1529.65 \text{ watt}$ , ensuite nous sommes allés au calcul du nombre de manches qu'on devra installer sur le filtre  $n = 78$  après nous avons calculés la surface sur laquelle nous allons installer les manches du filtre  $S = 6.75 \text{ m}^2$ , Enfin nous avons calculé les dimensions du système de captage et des conduites reliant le ventilateur au filtre puis au silo  $A = 1.44 \text{ m}^2$  et  $d = 0.38 \text{ m}$ .

Ce stage a été très enrichissant sur les plans personnel et professionnel, car il nous a permis de découvrir dans le détail le domaine de la cimenterie : ses acteurs, ses contraintes et ses applications. Nous avons eu aussi l'opportunité de participer concrètement à ses enjeux au

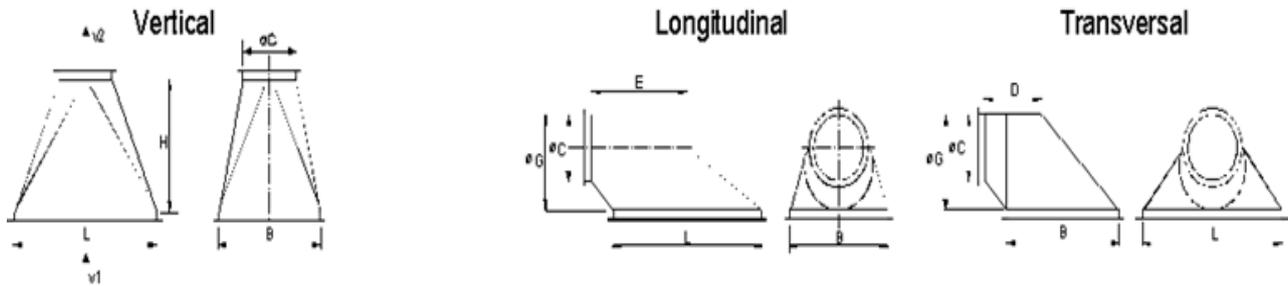
travers de notre mission, nous avons pu développer nos compétences en termes de pilotage de projet, de travail d'équipe, et de calculs mécanique. Cette période nous a permis aussi de développer des relations humaines avec les collaborateurs en entreprise qui est un facteur très important dans le cadre professionnel. De plus nous avons eu l'occasion de nous familiariser à l'entourage industriel, de faire preuve d'autonomie et de se confronter aux enjeux du domaine professionnel auxquels nous allons devoir faire face dans l'avenir pendant d'autres expériences professionnelles dans le cadre de nos études.

---

## *Annexe :*

---

**Annexe 1 :** Extrait du catalogue des systèmes de captage.

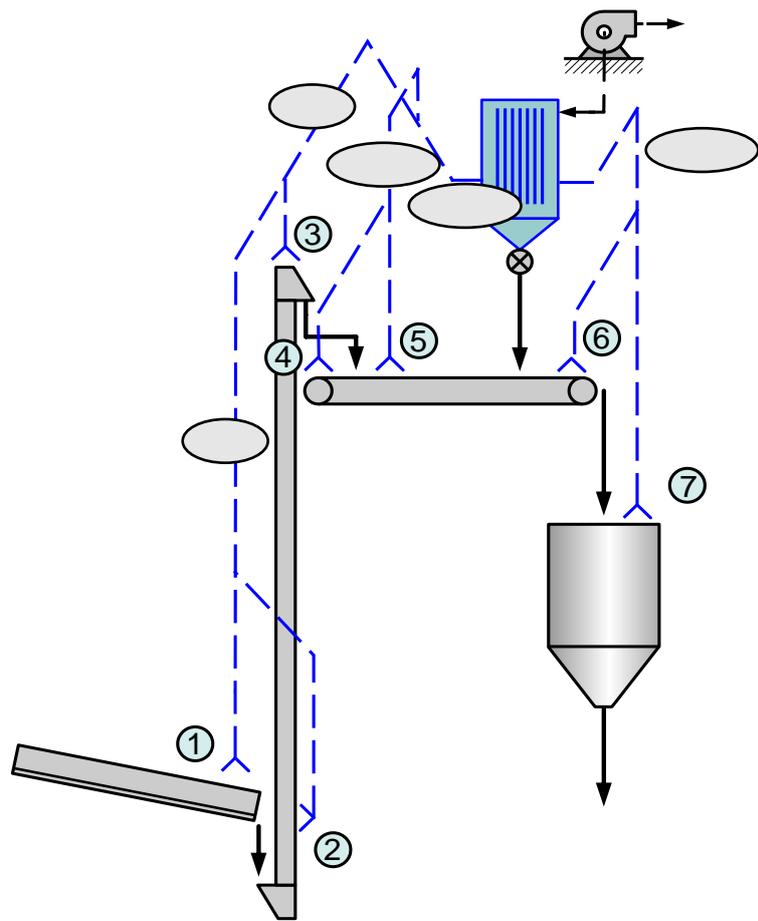


| Air Quantity      |                     | v1   | v2   | L    | B   | H   | Ø C     |  | Ø G | L    | B   | E     | D     |
|-------------------|---------------------|------|------|------|-----|-----|---------|--|-----|------|-----|-------|-------|
| m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /min | ms-1 | ms-1 | mm   | mm  | mm  | mm      |  | mm  | mm   | mm  | mm    | mm    |
| 250               | 4.2                 | 1.40 | 18.0 | 260  | 190 | 165 | 70.0 *  |  | 97  | 260  | 190 | 157.0 | 122.0 |
| 500               | 8.3                 | 1.40 | 17.5 | 370  | 270 | 235 | 100.5 * |  | 143 | 370  | 270 | 227.0 | 177.5 |
| 750               | 12.5                | 1.40 | 17.0 | 450  | 330 | 280 | 125.0 * |  | 178 | 450  | 330 | 278.0 | 218.0 |
| 1000              | 16.6                | 1.40 | 17.2 | 520  | 380 | 325 | 143.5 * |  | 207 | 520  | 380 | 323.5 | 253.5 |
| 1250              | 20.8                | 1.40 | 17.7 | 580  | 425 | 365 | 158.0   |  | 233 | 580  | 425 | 365.0 | 287.5 |
| 1500              | 25.0                | 1.44 | 17.9 | 630  | 460 | 400 | 172.0   |  | 253 | 630  | 460 | 396.0 | 311.0 |
| 1750              | 29.2                | 1.43 | 17.9 | 680  | 500 | 430 | 186.0   |  | 276 | 680  | 500 | 430.0 | 340.0 |
| 2000              | 33.3                | 1.39 | 17.9 | 740  | 540 | 470 | 198.0   |  | 299 | 740  | 540 | 471.0 | 371.0 |
| 2500              | 41.6                | 1.41 | 18.0 | 820  | 600 | 520 | 222.0   |  | 334 | 820  | 600 | 522.0 | 412.0 |
| 3000              | 50.0                | 1.40 | 17.9 | 900  | 660 | 570 | 244.0   |  | 368 | 900  | 660 | 574.0 | 454.0 |
| 3500              | 58.3                | 1.44 | 17.8 | 960  | 700 | 610 | 262.0   |  | 391 | 960  | 700 | 609.0 | 479.0 |
| 4000              | 66.6                | 1.40 | 18.0 | 1040 | 760 | 660 | 280.0   |  | 426 | 1040 | 760 | 666.0 | 526.0 |
| 4500              | 75.0                | 1.42 | 17.9 | 1100 | 800 | 700 | 298.0   |  | 449 | 1100 | 800 | 701.0 | 557.0 |
| 5000              | 83.3                | 1.42 | 17.9 | 1150 | 850 | 740 | 314.0   |  | 475 | 1150 | 850 | 739.0 | 589.0 |
| 6000              | 100.0               | 1.42 | 17.9 | 1260 | 930 | 800 | 344.0   |  | 524 | 1260 | 930 | 810.0 | 645.0 |

Avec :

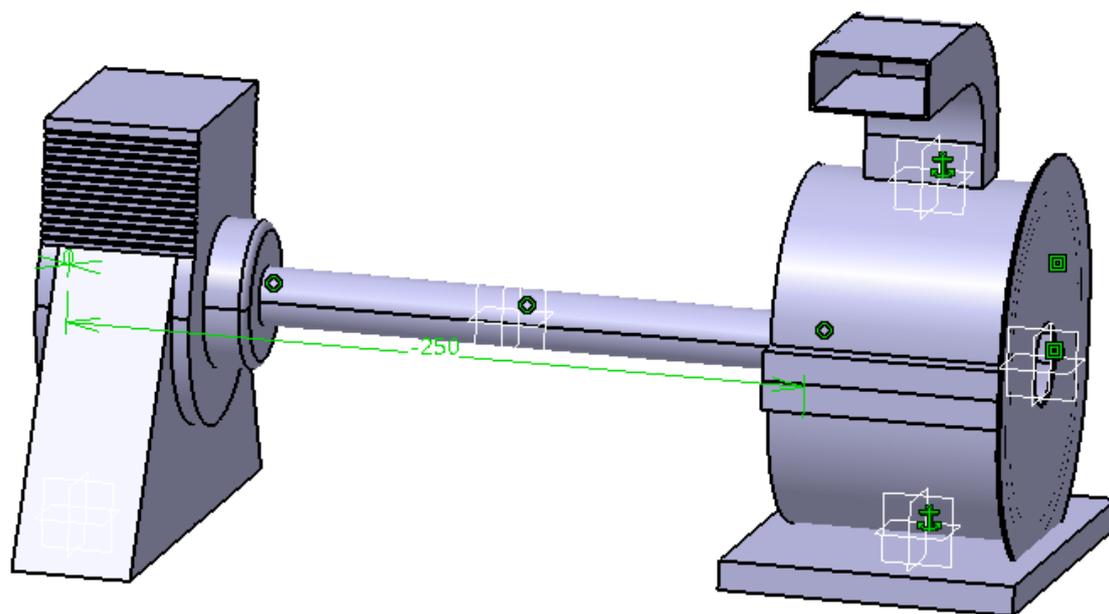
- Épaisseur de la feuille pour l'aspiration et les conduits : 3 – 4mm.
- Vitesse d'aspiration de l'aire :  $V_1 = 1.5 \text{ m/s}$
- Vitesse de l'air dans les conduites :  $V_2 = 18 \text{ m/s}$

**Annexe 2 :** Débit d'air d'évacuation nécessaire pour chaque lieu de poussière.

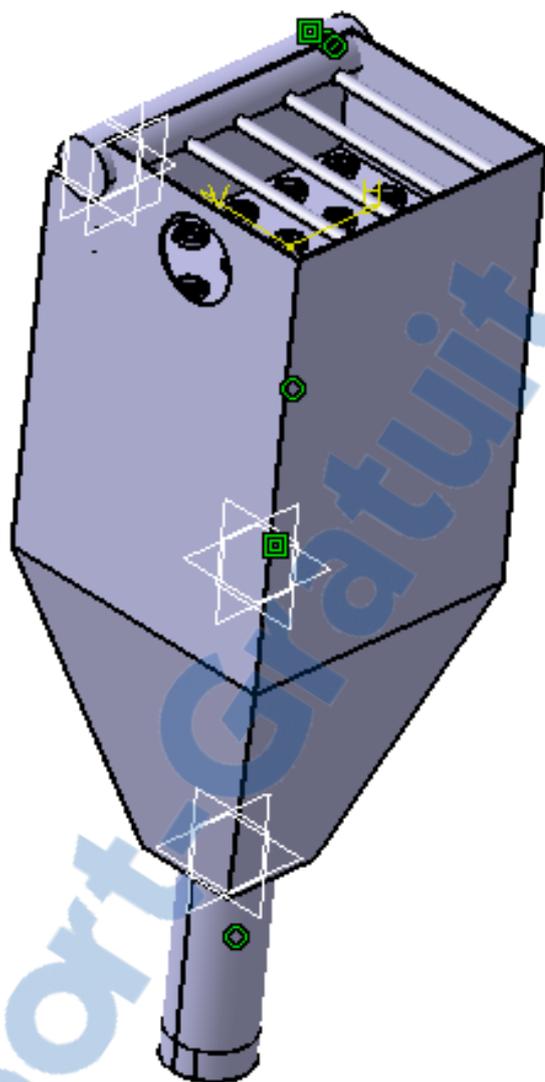


| Point de ventilation | Débit d'air d'évacuation requis [m3/h] |
|----------------------|--|
| 1                    | 1050                                   |
| 2                    | 1250                                   |
| 3                    | 3000                                   |
| 4                    | 1250                                   |
| 5                    | 2750                                   |
| 6                    | 2500                                   |
| 7                    | 1000                                   |
| 8                    | 2300                                   |
| 9                    | 5300                                   |
| 10                   | 4000                                   |
| 11                   | 9300                                   |
| 12                   | 3500                                   |

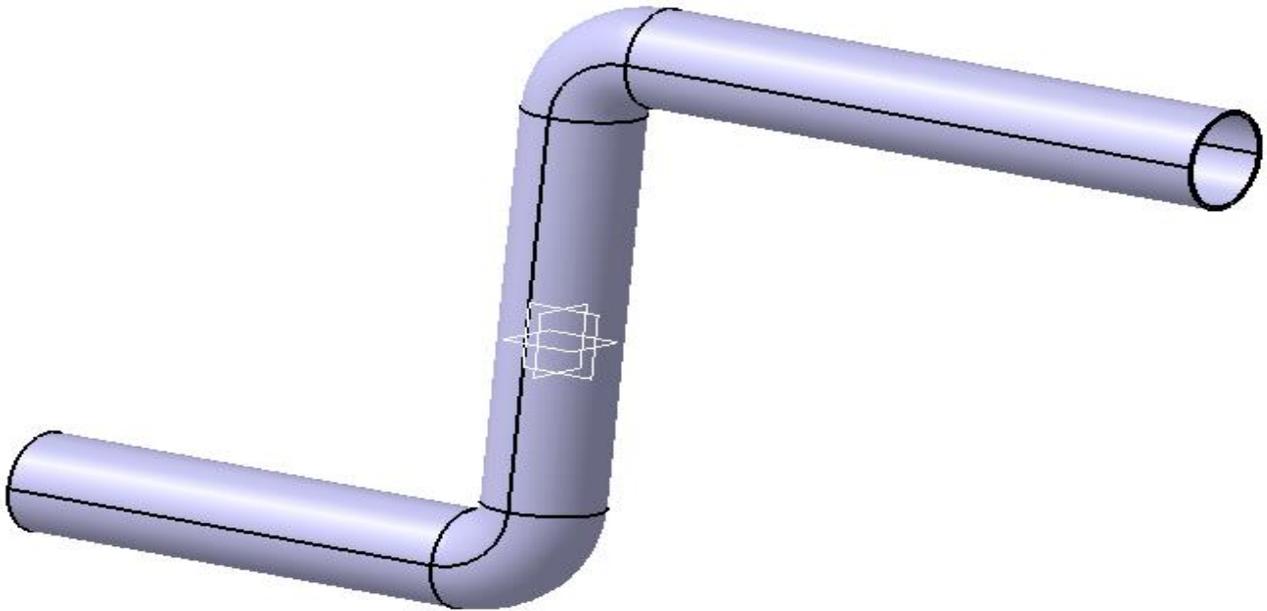
**Annexe 3** : conception du ventilateur sous le logiciel CATIAV5.



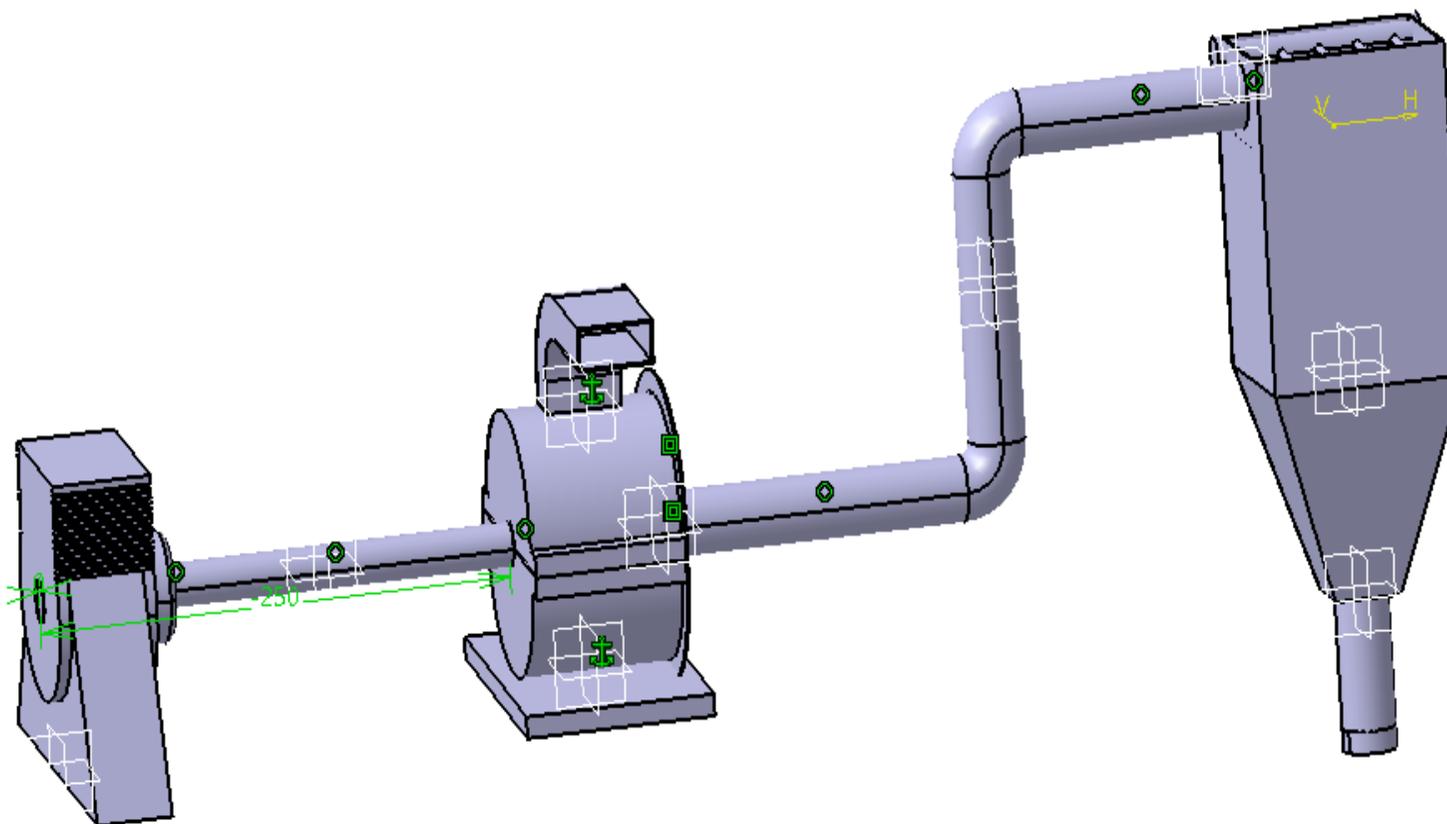
**Annexe 4 : Conception des conduites sous le logiciel CATIAV5.**



**Annexe 5 : conception des conduites sous le logiciel CATIAV5.**



**Annexe 6 : conception du système de dépoussiérage sous le logiciel CATIAV5.**



# Bibliographie & Web graphie

Réf.1: Projet de fin d'étude (étude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs), présenté par Xavier SIMON.

Réf.2: Davies C.N. ; Air filtration ; Academic press, London – New York ; 1973.

Réf.3: Predicting pressure loss for pulse jet filters; Journal of the air pollution control association, 31 (9), pp. 987 – 992 ; 1981.

Réf.4: Documents fourni au sein de l'entreprise.

Réf.5 : L'institut national de recherche et de sécurité INRS

Réf.6 : [www.ventilation-industrie.fr](http://www.ventilation-industrie.fr).

