

Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de la

Licence Sciences et Techniques

Spécialité : Conception et Analyse Mécanique

Titre

Détection d'une fuite du lubrifiant et l'amélioration de la machine de perçage

Lieu

Floquet Monopole

Fès

Présenté par :

- Assia CHICHANE
- Hajar MAZAR

Encadré par :

- Pr. Imane MOUTAOUAKKIL (FSTF)
- Mr. Hassan RACHED (Floquet Monopole)

Soutenu le 06/06/2018 devant le jury :

- Pr. Abdelouahhab JABRI
- Pr. Imane MOUTAOUAKKIL

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :

A nos chers parents qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite, et pour leur compréhension pendant notre vie estudiantine.

En espérant qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que Dieu leur prête bonheur et longue vie.

A nos frères et sœurs, nos amis, tous nos professeurs qui nous ont enseigné et finalement à ceux qui nous ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce projet.



Remerciements

Au terme de notre projet de fin d'études, nous adressons nos profonds remerciements :

En premier lieu à Mme Imane MOUTAOUAKKIL, notre encadrante et notre enseignante qui nous a fait bénéficier de ses connaissances et de son savoir-faire durant toute la période de notre formation, et que nous saluons en lui ses compétences et ses engagements.

Aussi à tout le cadre administratif et professoral pour leurs efforts considérables, spécialement le département génie mécanique.

À Mr. Abdelatif IRAQUI, Directeur de la société Floquet monopole Fès pour nous avoir accordé l'opportunité d'approfondir nos connaissances professionnelles.

Également à tous le personnel de la société Floquet Monopole (SMFN) et particulièrement Mr H.RACHID avec qui on a fait équipe pour réaliser ce travail et Mademoiselle ZINEB DERKAOUI responsable de maintenance pour leur aide et contribution dans la réalisation de notre projet.

Enfin, sans qu'il soit possible de les énumérer tous, à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI

Table des matières

Introduction générale :.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA SOCIETE FLOQUET MONOPOLE.....	2
I. HISTORIQUE :.....	3
II. FICHE TECHNIQUE :	3
III. ORGANIGRAMME DE LA SOCIETE :.....	4
IV. ORGANISATION TECHNIQUE DE LA SMFN :	5
CHAPITRE II : SYSTEME DE FREINAGE.....	8
I. LE FREIN A DISQUE :	9
II. LE DISQUE DE FREIN :	10
1-Description de disque :	10
2-Différences entre disques plein et ventilé :	10
III. PROCESSUS DE FABRICATION DES DISQUES DE FREIN:	11
CHAPITRE III: PROBLEMATIQUE A L'ETAT EXISTANT.....	14
I. DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE :	15
1-situation actuelle de perceuse :	16
2-Situation désirée :	16
II. LES CAUSES PROBABLES DU PROBLEME :.....	17
1-Calcul de la quantité de lubrifiant perdue :	18
2-Diagramme de Pareto :.....	20
III. ANALYSE FONCTIONNELLE :	22
1- Analyse fonctionnelle externe :	22
a--Le diagramme Bête à cornes :.....	22
b--Le diagramme pieuvre :	23
2- Analyse fonctionnelle interne :	24
IV. LES SOLUTIONS PROPOSEES :	26
1-Comparaison des solutions :	26
2-Choix de solution :.....	27

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA SOLUTION.....	28
I. ANALYSE DE SYSTEME :.....	29
1-Les composants de la solution choisie :	29
2-Dimension du système :	31
II. LE CHOIX DU CAPTEUR ET DE MINUTERIE:	36
CHOIX DE CAPTEUR :	36
III. SCHEMA ELECTRIQUE DU SYSTEME :	37
IV. ESTIMATION DU COUT TOTAL :	38
V. LE GAIN :.....	38
CONCLUSION ET PERSPECTIVE	40
BIBLIOGRAPHIE.....	41
ANNEXE 1 : ESTIMATION DE PERTE.....	42
ANNEXE 2 : DIAGRAMME DE MOODY.....	43
ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DE SINGULARITE.....	44
ANNEXE 4 : RUGOSITE	46

Abréviation

SMFN : Société Marocaine de Fonderie du Nord.

FM : Floquet Monopole.

ISO : International Standard Organisation.

OP : Opération.

BED : Bureau d'Etude et de Développements.

BM : Bureau de Méthodes.

DP : Disque Plein.

DV : Disque Ventilé.

FP : Fonction Principale.

FC : Fonction Contrainte.

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de la société FM.	5
Figure 2 : Les services de FM	7
Figure 3 : Frein à disque.....	9
Figure 4 : Types des disques de frein.....	10
Figure 5 : Schéma du processus de fabrication.....	13
Figure 6 : Schéma explicatif du problème proposé.....	16
Figure 7: Perceuse à commande numerique.....	16
Figure 8: Diagramme d'Ishikawa.....	17
Figure 9 : Les zones probables de fuite	18
Figure 10 : Diagramme de Pareto de DP	20
Figure 11: Diagramme de Pareto de DV	21
Figure 12: Diagramme de bête à corne.....	23
Figure 13: Diagramme de pieuvre.....	24
Figure 14: Diagramme de FAST.....	25
Figure 15: Convoyeur avec système de lavage	26
Figure 16: Convoyeur avec compresseur.....	26
Figure 17: L'installation hydraulique.....	32
Figure 18:Pompe en aspiration.....	36
Figure 19:Exemple d'un capteur photo-electrique.....	36
Figure 20:Schéma de puissance et de commande du système.....	37
Figure 21: Système avant.....	39
Figure 22: Système après.....	39

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Fiche technique de FM	4
Tableau 2 : Composants du disque à frein.....	9
Tableau 3 : La différence entre les deux disques.....	10
Tableau 4 : Estimation de la perte.....	18
Tableau 5 : Calcul des taux cumulatifs de DP.....	20
Tableau 6 : Calcul des taux cumulatif de DV.....	21
Tableau 7 : Les avantages et inconvénients des solutions proposées.....	27
Tableau 8 : Les composants utilisés dans le système	31
Tableau 9 : Les mesures de l'installation.....	33
Tableau 10 : Les éléments de circuit.....	37

Introduction générale

Le Maroc a pu réaliser durant l'année 2017 des pas géants dans le secteur de l'industrie automobile en gagnant la confiance d'opérateurs de renom pour se positionner ainsi comme un hub mondial de construction et d'exportation malgré la pression concurrentielle très forte. Dans cette perspective, la société Floquet Monopole a pu renforcer son positionnement dans le secteur d'automobile comme en témoigne les performances remarquables enregistrées au cours de ces dernières années avec une grande production des différentes pièces d'automobile. Actuellement, cette société a pu gagner la confiance de RENAULT grande industrie automobile par la réalisation des disques de frein.

La fabrication de ce nouveau produit requiert plusieurs étapes. De la réception jusqu'à la peinture, intervient une étape non moins importante qu'est le perçage. Ce processus permet de faire des trous sur le disque, ce qui génère des copeaux de fontes. Alors en vue d'éliminer ce dernier, on obtient une fuite de lubrifiant au cours de nettoyage du disque.

Le travail qui nous est assigné consistera à détecter les causes probables de la fuite afin de trouver une solution adéquate.

Afin de répondre à l'objectif de notre sujet, nous avons suivi le plan suivant :

- ✓ Généralité sur la société Floquet Monopole, ses activités et ses différents services.
- ✓ la description du disque de frein et son processus de fabrication.
- ✓ La détection des causes probables de la fuite et le choix de la solution convenable parmi les solutions proposées grâce à l'analyse fonctionnelle.
- ✓ L'estimation du coût de la solution proposée.
- ✓ Conclusion dans laquelle on a résumé les différentes parties abordées dans ce stage.

Le présent rapport explique les différents aspects de notre travail durant ces deux mois.

CHAPITRE I :

Présentation de la société Floquet Monopole



Introduction :

Le présent chapitre donne une vue générale sur l'environnement du projet, vous trouvez dans cette partie :

Présentation de l'organisme d'accueil « Floquet Monopole »

Ses différents services.

I. Historique :

1920 : Création de Floquet Monopole en France.

1981: Création de SMFN, sous licence Floquet Monopole France

(DANA CORPORATION).

1999 : Achat de la marque Floquet monopole France, enregistrée dans 83 pays dans le monde.

2003 : Création de FMI pour fabrication des Chemises OEM- PSA France.

2009 : Création de CROMODUROFMI pour la fabrication des chemises chromées.

2015 : signature de contrat avec RENAULT.

Les normes utilisées : ISO TS 16949, AFAQ, ASES RENAULT, AQP PSA.

II. Fiche technique :

Le tableau 1 présente la fiche technique de la société :

Raison sociale	Société Marocaine des Fonderies du Nord : Floquet monopole.
Forme	Société anonyme
Date de création	1981
Siege	Quartier Industriel Sidi Ibrahim, Lot 59, Rue 813 Fès-Maroc.
Activité (ancienne)	Fabrication par moulage des pistons en alliage d'aluminium
Production ancienne (piston)	Plus de 600.000 pistons par an
Activité (actuelle)	Fabrication des éléments de frein à disque.
Production (disque)	2400 par jour
Activité (future)	Fabrication des tambours
Capital	20800000
Chiffre d'affaire	80 millions DHS
Email	fm@floquetmonopole.co.ma sales@floquetmonopole.co.ma
Téléphone	05 35 64 26 91 05 35 64 28 69 05 35 64 26 42
Principaux pays d'exploitation (piston)	FRANCE, ALGERIE, LIBYE, MALI, NIGERIA
Exploitation (disque de frein)	RENAULT

TABLEAU 1 : FICHE TECHNIQUE DE FM

III. ORGANIGRAMME DE LA SOCIETE :

Afin de parvenir aux conditions optimales de production, la direction à la SMFN est structurée selon des niveaux hiérarchiques et fonctionnels comme l'illustre l'organigramme suivant (figure1) :

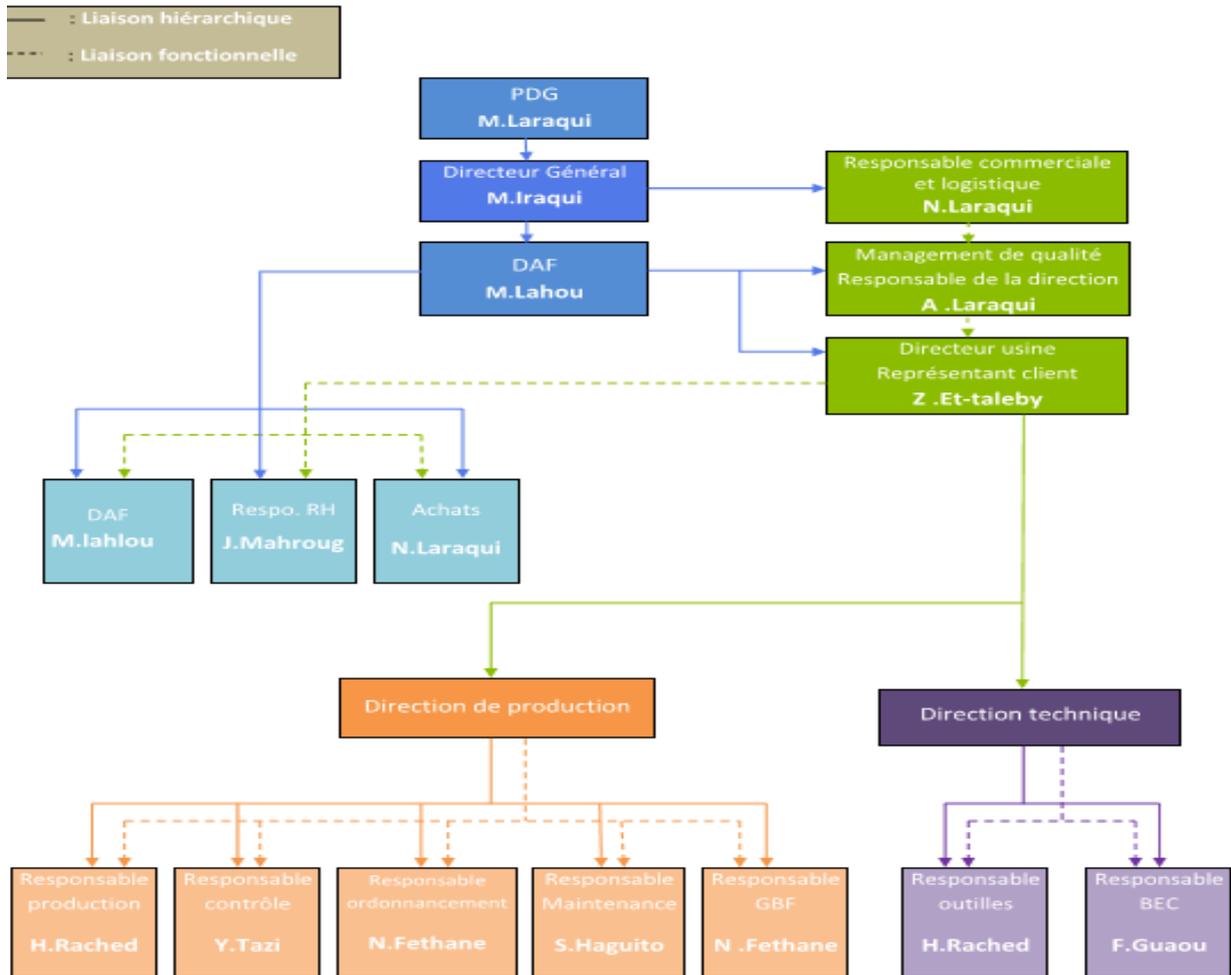


Figure 1 : Organigramme de la société FM

IV. Organisation technique de la SMFN :

La société Floquet Monopole se constitue de plusieurs services (figure 2) qui contribuent au bon déroulement des procédés de production, de contrôle et d'exportation ce qui entraîne ainsi un bon fonctionnement de l'entreprise.

Le bureau de méthodes

- consiste à étudier et à préparer la fabrication, donc à prévoir, préparer, lancer puis superviser le processus d'usinage permettant de réaliser des pièces conformes au cahier des programmes de production donné, dans un contexte technique, humain et financier déterminé.

Le bureau d'étude et de Développements

- Etudier un mécanisme.
- Concevoir le fonctionnement.
- Choisir les matériaux constitutifs.
- Réaliser les plans de nouveaux produits en partant de relevées dimensionnelles du produit existant.
- Il est en relation avec le bureau d'étude de FM pour l'homologation des études.
- Dessiner les plans des outillages de fonderies et d'usinage spécifique à chaque produit.

Le service fonderie

- Il est responsable de la production fonderie tant au niveau de la qualité, que de la quantité, il est chargé de faire respecter les procédures et les règles de sécurité dans le travail.

Le service maintenance

- une maintenance préventive qui est effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire les problèmes techniques éventuels.
- une maintenance corrective qui est effectuée après défaillance, ainsi qu'une maintenance
- systématique qui a pour fonction de remédier sur-le-champ.

Le service qualité

- Surveiller la qualité de la production et déceler les facteurs ayant causé des fluctuations sur la qualité des produits. A partir de cette analyse, ce service détermine les actions correctives nécessaires à entreprendre.
- Assurer la mise en application et le maintien du système de management de la qualité ainsi que la tenue à jour des normes et certificats de la société. Ces besoins peuvent évoluer avec le temps, ceci implique la révision périodique des exigences pour la qualité.

Le service contrôle

- Ce service a pour rôle de contrôler, l'action de mesurer, d'examiner, d'essayer, de passer au calibre une ou plusieurs caractéristiques d'un produit ou d'un service et de les comparer aux exigences spécifiées en vue d'établir leur conformité.

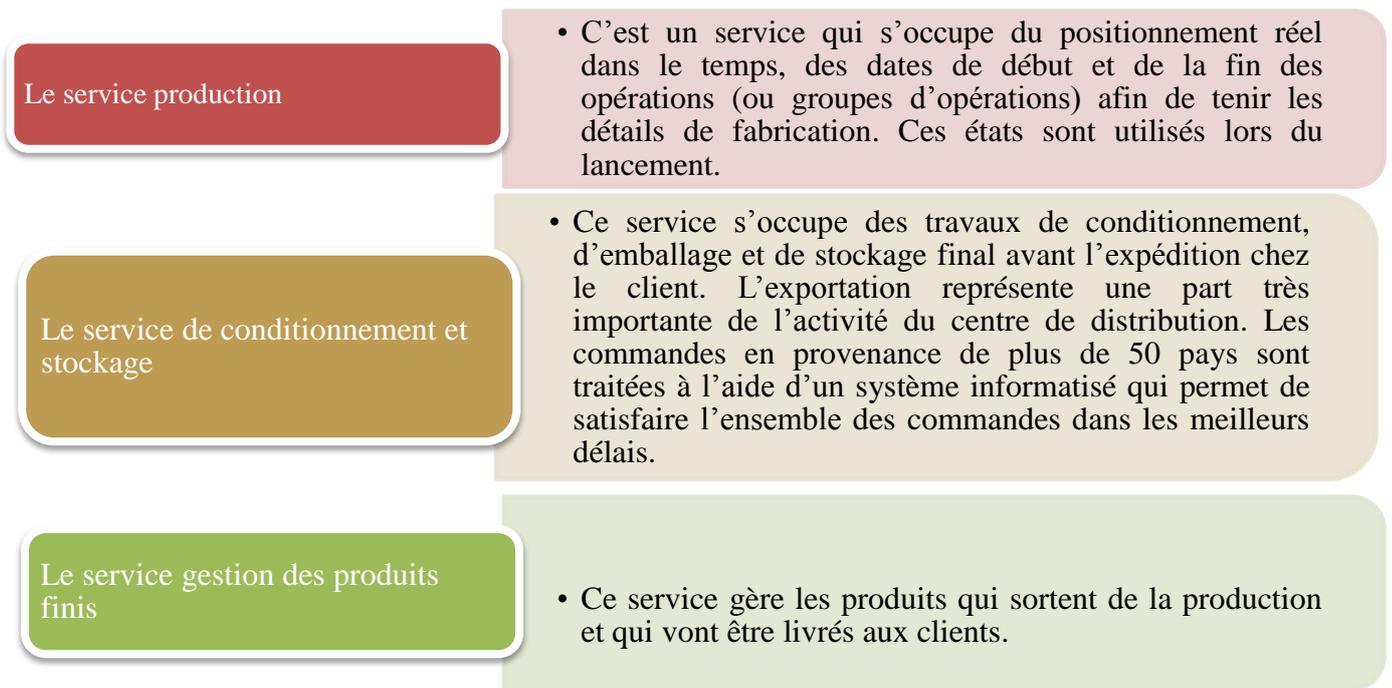


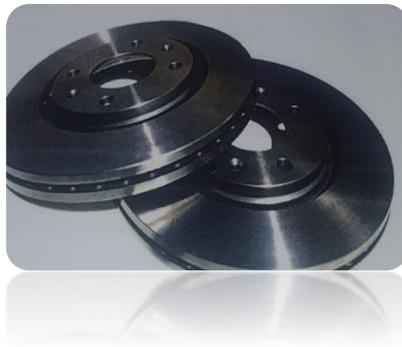
Figure 2 : Les services de FM

Conclusion:

Dans ce chapitre, on a vu l'organigramme de la société Floquet Monopole, ses activités et ses différents services.

CHAPITRE II :

Systeme de freinage



Introduction :

Ce chapitre représente une définition sur le système de freinage et de ses différents composants, avec une description du disque frein et son processus de fabrication conçu par l'usine.

I. Le frein à disque :

Le frein à disque est un système de freinage (figure 3 et sa nomenclature tableau 2) performant pour les véhicules munis de roues en contact avec le sol: automobile, avion, train, etc. et pour diverses machines.

Il se compose d'un disque fixé sur le moyeu ou la jante de la roue et des plaquettes, maintenues par un étrier fixé au véhicule, venant frotter de chaque côté du disque.

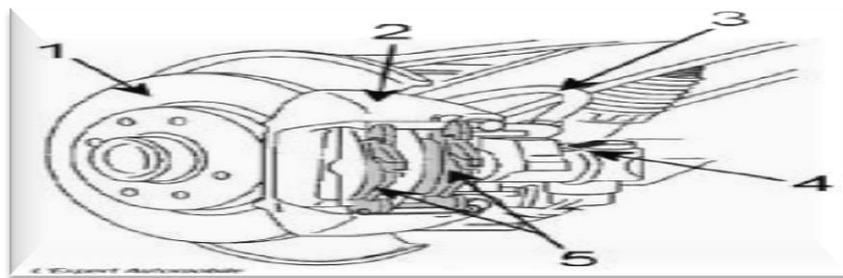


Figure 3 : Frein à disque

Repère	Désignation
1	Disque
2	Étrier
3	Flexible de frein
4	Vis de purge
5	Plaquettes

Tableau 2 : Composants du frein à disque

Remarque :

Les freins à disque sont conçus pour les roues avant parce que ce sont elles qui assurent principalement le freinage. **Les freins à tambour** sont un peu moins performants et conviennent donc plus pour les roues arrière.

II. Le disque de frein :

1-Description de disque :

Le disque est constitué d'un anneau plein avec deux pistes de frottement, d'un bol qui est fixé sur le moyeu et sur lequel est fixée la jante, d'un raccordement entre les pistes et le bol. Les pistes de frottement sont dites extérieures quand elles se situent du côté de la jante et intérieures quand elles se situent du côté de l'essieu. Il existe deux types de disques : plein et ventilé comme elle montre la figure 4.

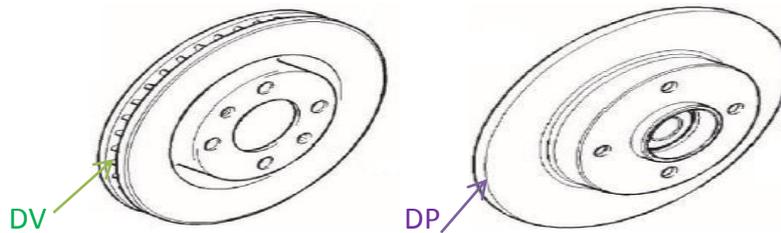


Figure 4 : Types des disques de frein

2-Différences entre disques plein et ventilé :

On résume la différence entre les deux types de disque dans le tableau ci-dessous (tableau 3) :

Disques pleins	Disques ventilés
Géométrie simple → fabrication simple. Placés sur l'essieu arrière de la voiture. Ils se composent tout simplement d'une couronne	Géométrie plus complexe. Ils sont apparus plus tardivement. Composés de deux couronnes 'appelées flasques' séparées par des ailettes ils refroidissent mieux que les disques pleins grâce à la ventilation entre les ailettes qui, en plus, favorisent le transfert thermique par convection en augmentant les surfaces d'échange. Le disque ventilé comporte plus de matière que le disque plein ; sa capacité d'absorption calorifique est donc meilleure.

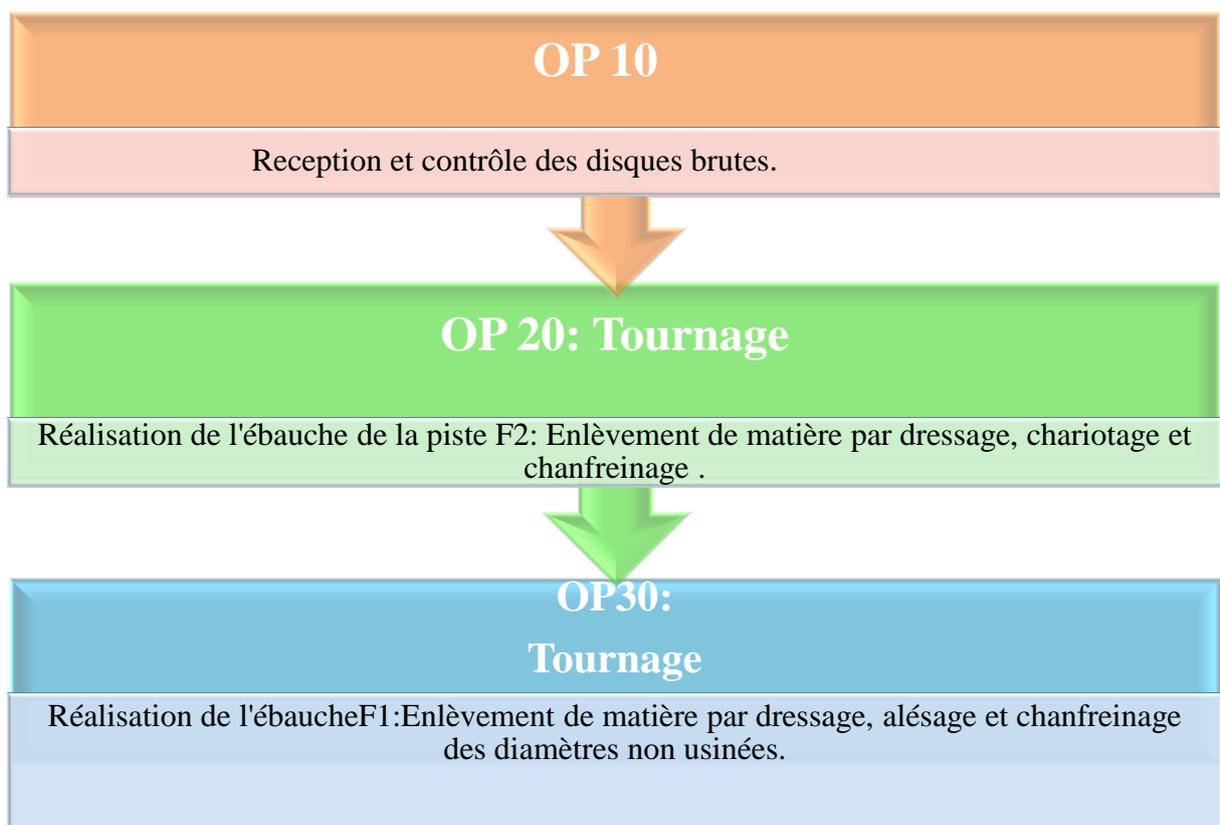
Tableau 3: La différence entre les deux disques

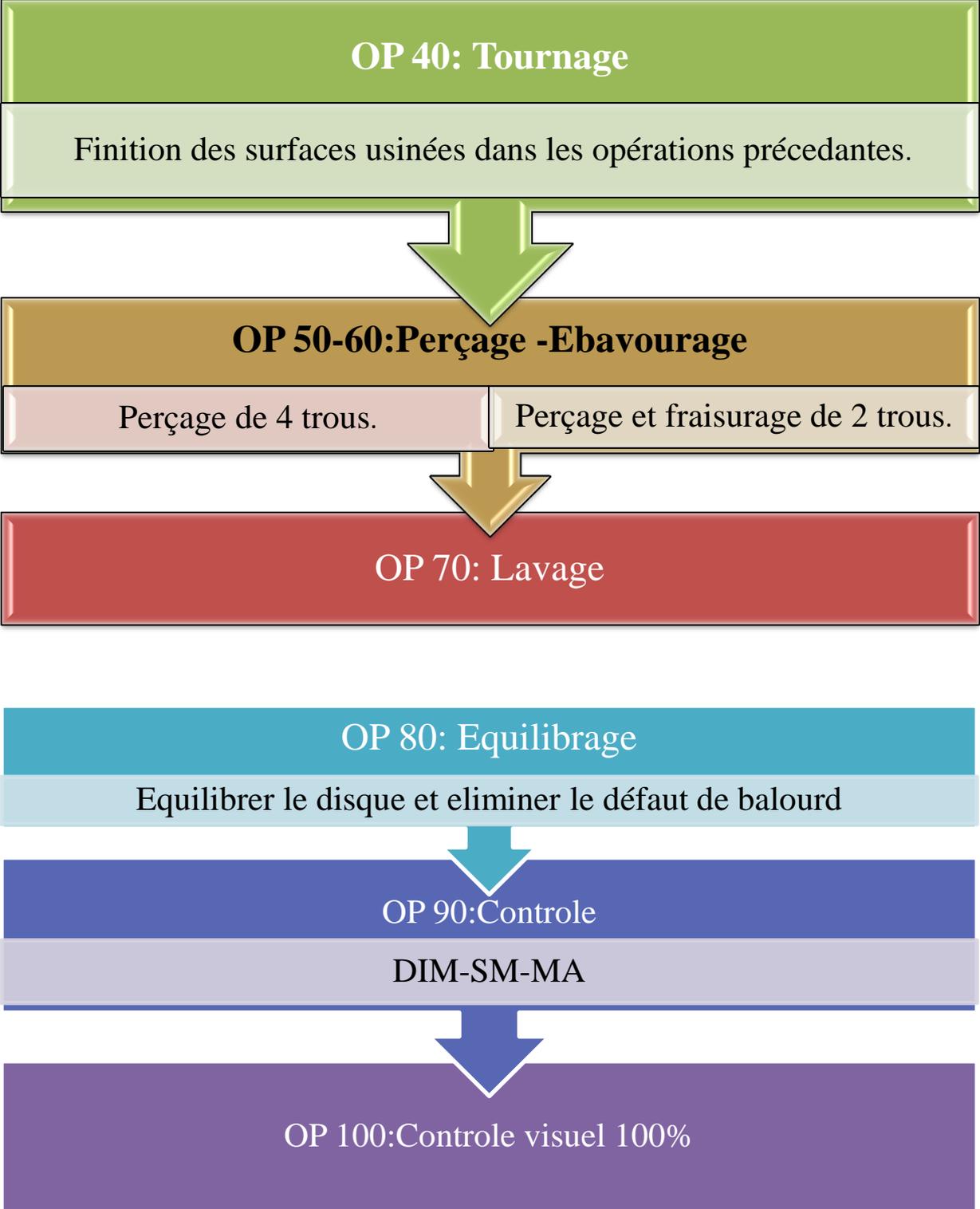
NB :

Les disques peuvent être en : Carbone, acier inoxydable (Assez cher, peu accrocheur) et la fonte. Pour FM, les disques sont de fonte.

III. Processus de fabrication des disques de frein:

Après son parcours de fabrication des pistons de haute qualité, FM a pris la décision de se lancer à un nouveau projet de fabrication des disques du frein en partenariat avec RENAULT pour élargir son marché de travail. La fabrication du disque de frein passe par ces étapes suivantes (figure 5):





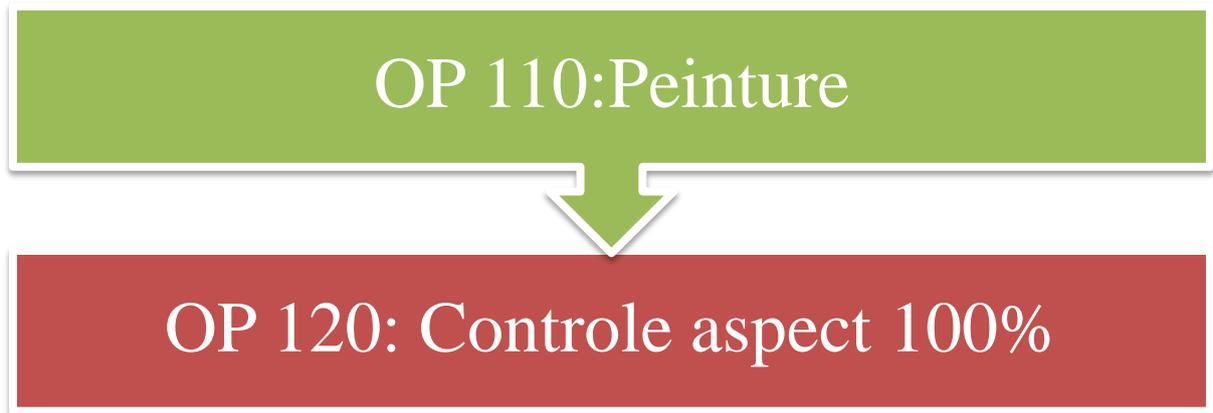


Figure 5: Schéma du processus de fabrication

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté d'une façon générale le système de freinage. Par la suite, on a donné une description du disque de frein, qui est la base de notre étude, on décrivant son processus de fabrication.

CHAPITRE III: Problématique à l'état existant

*Attention !
Détection d'une
fuite.*



Introduction :

Dans le cadre d'une politique générale, Floquet Monopole a visé l'ancrage des méthodes d'amélioration continue et de fiabilisation dans les différentes lignes de production afin de garder sa place dans le marché pour obtenir les résultats attendus et répondre aux exigences, alors ceux-ci sont les atouts principaux de toute démarche efficace permettant d'obtenir des résultats tangibles.

Les objectifs de notre PFE ont été fixés en adéquation avec les données disponibles et les différentes contraintes existantes : Moyens alloués (matériels et humains), délais etc. ainsi qu'une planification bien étudiée et respectée pour arriver à la concrétisation des différentes tâches programmées.

Le but de ce chapitre est de présenter la problématique, la situation désirée, les causes de fuites et on aura proposé quelques solutions afin de choisir le mieux parmi eux, en respectant les exigences suivantes :

- Avoir un coût optimum.
- Minimiser le temps dû par rinçage de disques.
- Avoir plus de production.
- Eviter le gaspillage de l'eau.

I. Définition de la problématique :

La SMFN cherche la qualité et la satisfaction de l'entreprise RENAULT Tanger par la production des disques de frein de bonne qualité et dans le délai demandé. Et pour garder son objectif, il faut réaliser la roue Deming, et ce que nous intéresse dans notre projet est l'amélioration de la performance du service de production.

La machine sur laquelle on travaille est une perceuse. Cette machine a un problème de fuite de lubrification (perte de 5 à 40L pendant 5h) ce qui augmente la consommation d'huile, d'eau, et la probabilité d'avoir des accidents de travail. Pour résoudre ce problème on propose de détecter la source de fuite à fin d'améliorer la machine pour la rendre plus fonctionnelle. et la figure 6 résume ce problème.

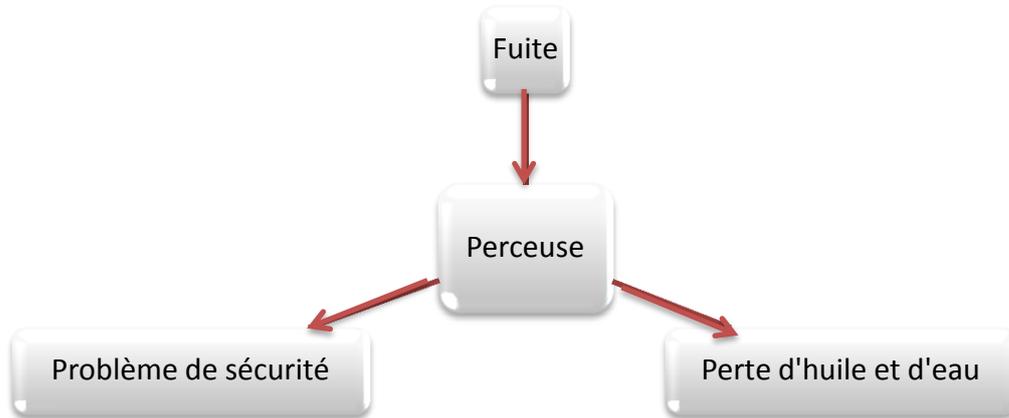


Figure 6: schéma explicatif du problème proposé

1-situation actuelle de perceuse :

Le perçage est une opération d’usinage importante. Elle permet de réaliser des trous cylindriques débouchant ou borgnes. Dans notre cas, nous allons travailler avec une perceuse à commande numérique (figure 7) qui réalise les trous des disques de frein. Ce processus consiste à utiliser le lubrifiant pour éviter l’usure de la pièce et en même temps pour augmenter sa dureté. Cette opération donne comme résultat des copeaux de fontes. Ces copeaux, lorsqu’ils ne sont pas évacués de la pièce, on recourt à l’usage d’un bassin qui contient des fluides aqueux (fluides à base d’eau) pour avoir un disque nettoyé, puis l’opérateur met le disque dans le convoyeur pour transporter à l’opération suivante (Ebavurage).



Figure 7 : Perceuse à commande numérique

2-Situation désirée :

Les responsables de la production et de la maintenance ont pour objectif de détecter la fuite de lubrification et l’amélioration de la performance de cette machine .Pour atteindre cet objectif nous avons proposé :

➡ La détection des sources de fuite.

➡ Amélioration.

II. Les causes probables du problème :

Afin de présenter, de façon structurée, toutes les causes qui conduisent à notre problème, on recourt à l'utilisation du diagramme Ishikawa (figure8).

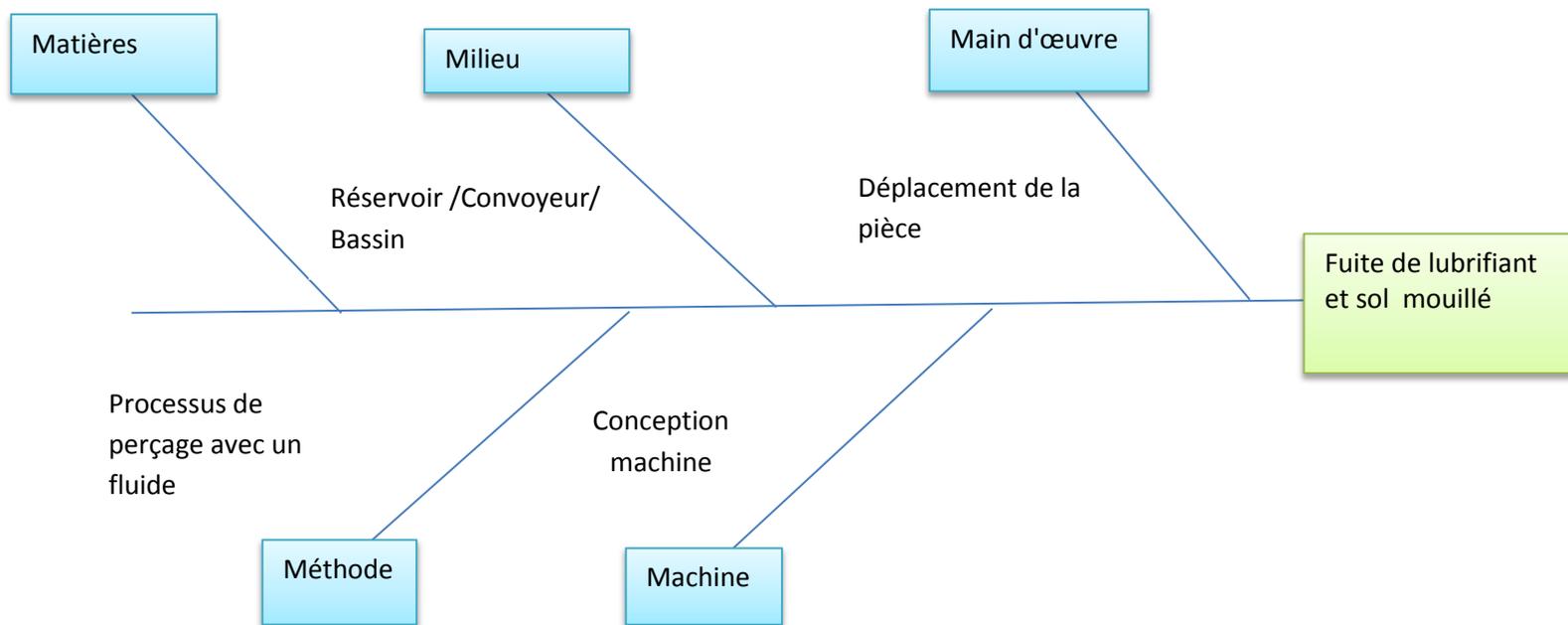


Figure 8 : Diagramme d'Ishikawa

On a choisi l'observation comme une meilleure méthode pour préciser les causes réelles du problème, où on a constaté que les zones (figure 9) qui font couler de lubrifiant sont :

- ✓ **Le convoyeur : puisqu'il est incliné, il facilite l'accumulation de lubrifiant apporté par les disques.**
- ✓ **le bassin dont lequel on fait nettoyer les disques : lors du transfert du disque de la machine de perçage vers le bassin et du bassin vers le convoyeur nous observons une perte de lubrifiant.**
- ✓ **l'opérateur : la façon de déplacer la pièce entraîne un écoulement.**
- ✓ **Le réservoir : Il y'a la probabilité d'avoir un trou.**

Cependant au niveau de la méthode et la machine on n'a aucun problème.



Figure 9 : les zones probables de fuite

1-Calcul de la quantité de lubrifiant perdue :

La vidange de réservoir par les responsables de la maintenance, montre qu'il n'y a aucun défaut. C'est pour cela on l'a éliminé d'être comme l'une des causes de fuite. Donc on se base juste sur l'estimation de la valeur du lubrifiant perdu par les autres causes à l'aide du tableau 4 (annexe 2):

Fuites	Perte en une journée (gallons)
Une goutte à la seconde	1.1
3 gouttes à la secondes	3.4
Gouttes formant un écoulement continu	24

Tableau 4:Estimation de la perte

Le convoyeur :

Disques de type DP : 3gouttes/s

1 gallon = 3.785411784 L ➡ 3.4 gallons = 12.8704000656 L

Pour une heure : 12.8704000656 L/24H =0.5362666694 L/H

Et pour 5 h : 0.5362666694 L*5=2.681333347L

Disques de type DV : 1s (écoulement continu)

- 120 disques fabriqués dans une heure :

$$24 \text{ gallons} = 90.849882816 \text{ L}$$

Pour une heure :

$$\text{On a : } 90.849882816 \text{ L} / 24 \text{ H} = 3.785411784 \text{ L/H}$$

$$\text{Donc pour 5h on aura : } 3.785411784 \text{ L} * 5 = 18,92705892 \text{ L}$$

Le bassin : 1s (écoulement continu) :

Dans une heure, chaque ligne de production peut fabriquer :

110 disques de type DP :

Donc pour une heure :

$$\text{On obtient : } 0.001051503273 \text{ L} * 110 = 0.1156653601 \text{ L/H}$$

$$\text{Pour 5h : } 0.1156653601 \text{ L} * 5 = 0.5783268005 \text{ L}$$

120 disques de type DV :

Pour une heure :

$$\text{On a } 0.001051503273 \text{ L} * 120 = 0.1261803928 \text{ L/H}$$

$$\text{Pour 5h : } 0.1261803928 \text{ L} * 5 = 0.630901964 \text{ L}$$

Les gants : 1gouttes/s

$$1.1 \text{ gallons} = 4.1639529624 \text{ l (24h)}$$

$$\text{Pour une heure : On a } 4.1639529624 \text{ L} / 24 \text{ H} = 0.17349804 \text{ L/H}$$

$$\text{Et pour 5 heures : } 0.17349804 \text{ L} * 5 = 0.8674902 \text{ L}$$

→ La somme totale :

$$\text{Dans le cas de DP est : } 2.681333347 + 0.5783268005 + 0.8674902 = 4.127150348 \text{ L}$$

$$\text{Dans le cas de DV est : } 18,92705892 + 0.630901964 + 0.8674902 = 20,425451108 \text{ L}$$

D'après ce que nous ont dit le pilote de maintenance et le responsable de nettoyage que pendant 5h on trouve la quantité du lubrifiant gaspillé entre 5 et 40L sans déterminer le type de disque.

Et les calculs ci-dessus, nous ont montré que le minimum du lubrifiant gaspillé est presque 4.1L pour le DP, et le minimum pour DV : 20,425451108 L.

Donc d'après cette coïncidence, on peut conclure qu'on n'a pas de fuite du lubrifiant, mais on a un gaspillage de ce dernier à cause de la mauvaise gestion au cours de nettoyage du disque.

2-Diagramme de Pareto :

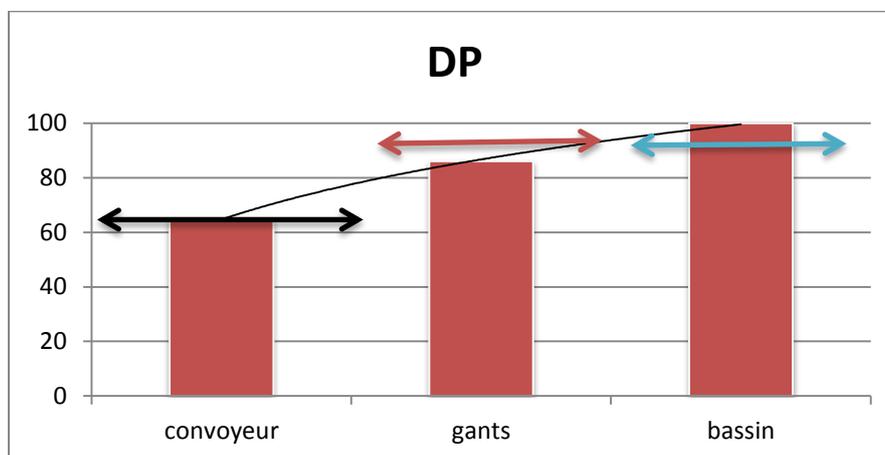
La méthode ABC nous permet de ressortir les causes les plus importantes qui sont à l'origine du plus grands nombre d'effet.

Les calculs ci-dessus nous permettent de calculer le taux cumulatif des deux types de disque (tableaux 5 et 6), et tracer les diagrammes de Pareto (figures 10 et 11).

DP :

Causes	Mesure (L)	Pourcentage %	Totaux cumulatifs %
Convoyeur	2.6813	64,9697	64,9697
Gants	0.8674	21 ,0191	85,9873
bassin	0.5783	14,0127	99,9999
Total	4.127		

Tableau 5 : Calcul des taux cumulatifs de DP



— La classe A

Figure 10 : Diagramme de Pareto de DP

— La classe B

— La classe C

Commentaire :

Pour le DP :

Le convoyeur constitue la classe A.

Les gants constituent la classe B.

Le bassin constitue la classe C.

- ❖ L'analyse du diagramme de Pareto cumulé met en évidence que les actions doivent porter sur le convoyeur. Ces actions devraient permettre d'éliminer 64,69% de la totalité des mesures.

DV :

Causes	Mesure (L)	Pourcentage %	Totaux cumulatifs %
Convoyeur	18,92705892	92,6644	92,6644
Gants	0.8674902	4,2471	96,911
bassin	0.630901964	3,0888	99,9998
Total	20,4253		

Tableau 6 : Calcul des taux cumulatifs de DV

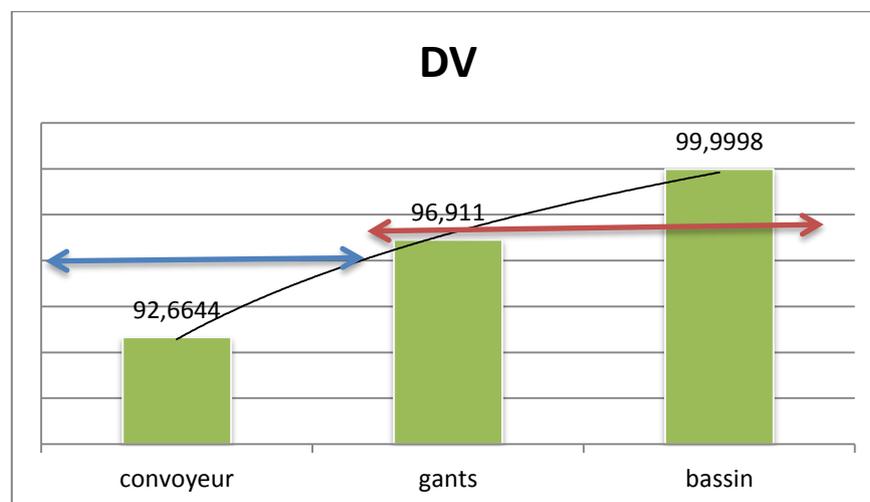


Figure 11 : Diagramme de Pareto de DV

— La classe B

— La classe C

Commentaire :

Pour le DV :

Le convoyeur constitue la classe B, cependant les gants et le bassin constituent la classe C.

- ❖ L'analyse de ce diagramme met en évidence que les actions doivent porter sur le convoyeur pour éviter 92,66% de la totalité des mesures.

➔ A partir de l'analyse des deux diagrammes, on peut conclure que les actions doivent être sur le convoyeur.

NB :

On peut éliminer l'usage de bassin puisqu'il est ajouté comme une modification pour nettoyer le disque.

III. Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui « consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. »

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer un produit.

1- Analyse fonctionnelle externe :

L'analyse fonctionnelle externe, décrit le point de vue de l'utilisateur et ne s'intéresse au produit qu'en tant que "boîte noire" Capable de satisfaire son besoin en donnant des services dans son environnement.

✚ METHODE APTE (Application aux Techniques d'Entreprise)

La méthode APTE est une méthode universelle pour la conduite de projets d'innovation ou d'optimisation. Elle s'agit à la fois d'accroître la qualité et de diminuer le coût de ce que l'on étudie. Elle repose sur des outils graphiques comme la bête à cornes ou le diagramme pieuvre.

a--Le diagramme Bête à cornes :

A quoi sert la bête à cornes ?

Dès le lancement d'un projet d'innovation, il est nécessaire d'explicitement le besoin primaire, c'est-à-dire l'exigence principale. Son but doit être de satisfaire un besoin exprimé ou non par l'utilisateur.

Comment utiliser la bête à cornes ?

La bête à cornes est un outil graphique d'analyse du besoin qui permet de répondre à trois questions :

A qui le produit rend-il service ? C'est la cible-utilisateur du produit.

Sur quoi agit-il ? C'est la matière d'œuvre que va transformer mon produit ou sur laquelle mon produit va agir.

Dans quel but ? C'est la fonction principale de mon produit.

On peut établir le diagramme bête à cornes de notre projet comme suit (figure 12):

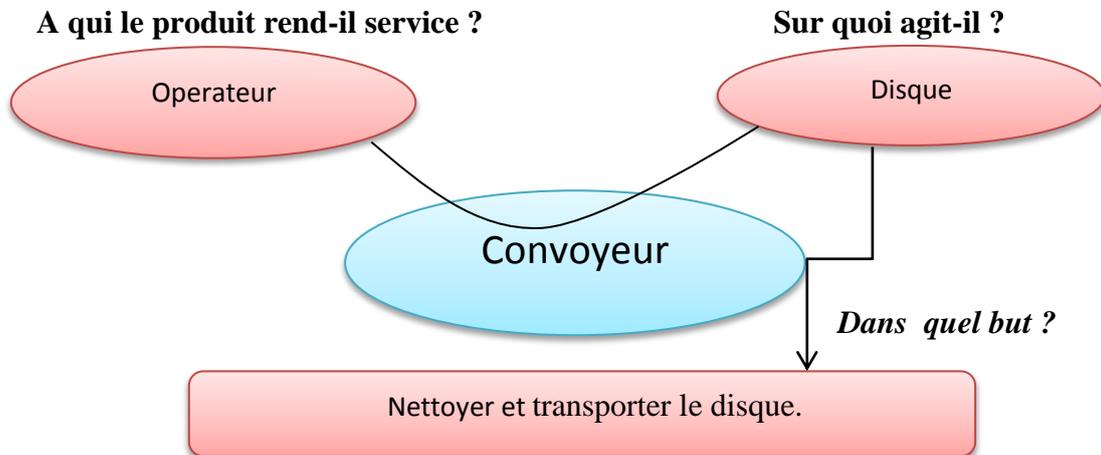


Figure 12 : Diagramme de bête à corne

b--Le diagramme pieuvre :

Le diagramme pieuvre est la représentation graphique des interactions d'un produit avec son environnement.

Le diagramme pieuvre est composé :

- du produit (au centre du diagramme),
- des Éléments du Milieu Extérieur (E.M.E.) (à la périphérie du produit),
- des relations d'interaction ou d'adaptation entre le produit et les E.M.E.,
- des repères des fonctions principales (FP1, FP2, ...) et des fonctions contraintes (FC1, FC2,...).

Le diagramme pieuvre de notre travail peut s'effectuer sous la forme suivante (figure 13):

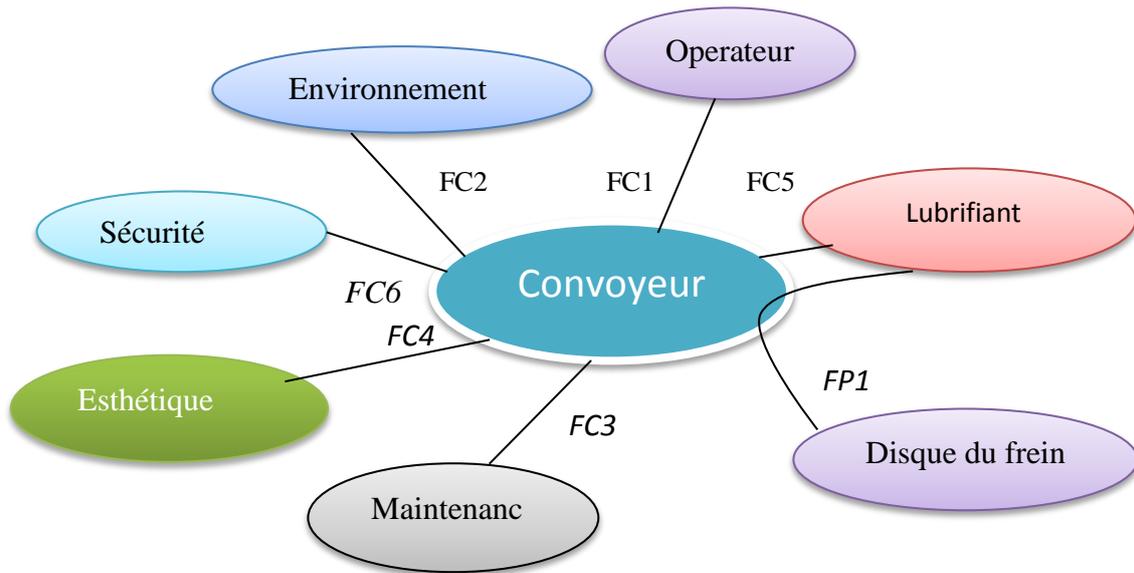


Figure 13 : Diagramme de pieuvre

Les fonctions de service sont les suivantes :

- FP1 : transporteur /nettoyer le disque.
- FC1 : Poser /réceptionner le disque manuellement.
- FC2 : Non polluant.
- FC3 : Etre maintenable.
- FC 4 : Plaire l'utilisateur.
- FC5 : Résister à la corrosion.
- FC6 : Assurer la sécurité d'opérateur.

NB :

FP : Fonction Principale est une fonction de service qui assure la prestation du service rendu. Une fonction principale traduit l'interaction de plusieurs E.M.E avec le produit.

FC : Fonction Contrainte est une fonction de service qui oriente (qui limite) la liberté de choix du concepteur. Une fonction contrainte traduit une adaptation du produit à un E.M.E.

2- Analyse fonctionnelle interne :

Elle concerne le produit lui-même, car l'objectif est d'améliorer son fonctionnement ou ses propriétés ; il s'agit de comprendre « l'intérieur de la boîte » pour en comprendre l'architecture, la combinaison des constituants, les fonctions techniques.

Diagramme FAST :

Le diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) permet de traduire chacune des fonctions de service en fonction(s) technique(s), puis matériellement en solution(s) constructive(s). En partant d'une fonction principale ou contrainte imposée de répondre aux 3 questions suivantes :

- Pourquoi cette fonction doit être assurée ?
- Comment cette fonction doit être assurée ?
- Quand cette fonction doit être assurée ?

Ce diagramme se construit de la gauche vers la droite à partir de l'énoncé d'une fonction.

Le diagramme de notre travail (figure 14):

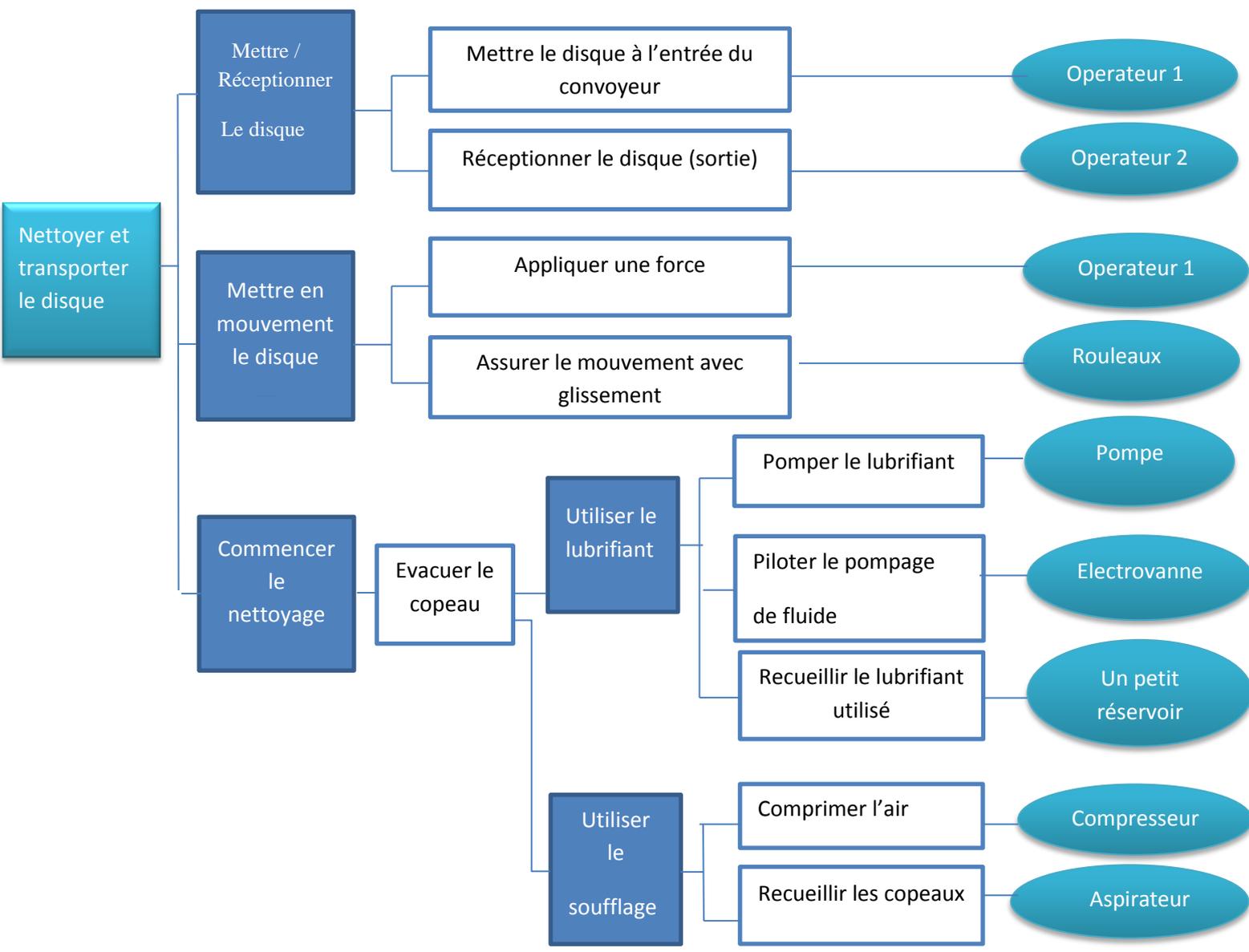


Figure 14 : Diagramme de FAST

IV. Les solutions proposées :

1 /Convoyeur avec un système de lavage (convoyeur incliné) :

Ce système a l'esprit d'un système (figure 15) de lavage, il permet de nettoyer le disque de frein après l'opération de perçage. Cette solution consiste à mettre trois tuyaux au centre de convoyeur l'un sous les rouleaux du convoyeur et les deux autres fixés dans l'intérieur de la cage, et ces tuyaux ont le rôle de passer le lubrifiant de la pompe vers le convoyeur, et le petit réservoir qui se trouve au-dessous de convoyeur permet le retour de lubrifiant vers le réservoir.

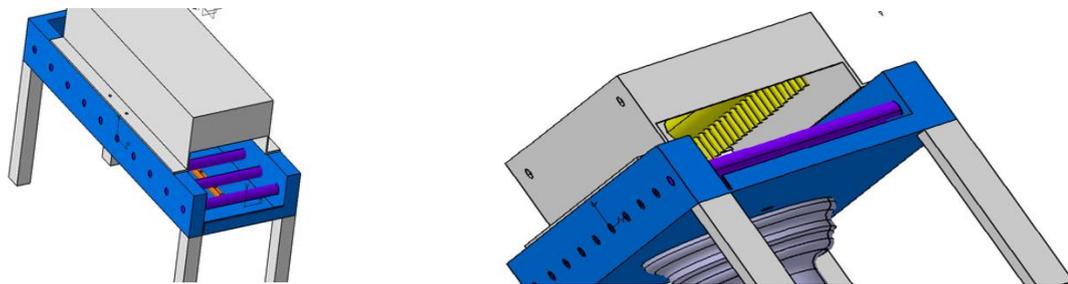


Figure 15 : convoyeur avec système de lavage

2/ **Convoyeur avec compresseur** : Ce système (figure 16) permet de nettoyer le disque par soufflage et les trous qui existent dans le composant jaune réservés pour les tuyaux de soufflage.

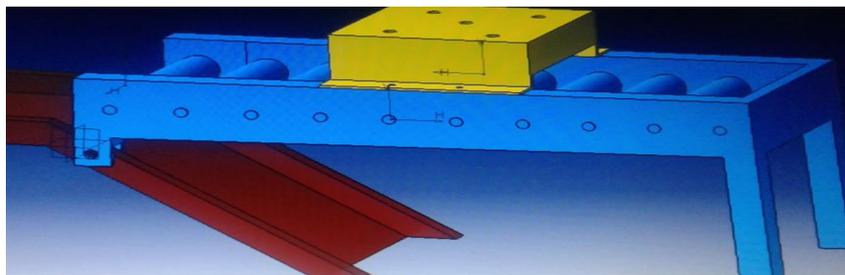


Figure 16: convoyeur avec compresseur

1-Comparaison des solutions :

Le tableau 7 contient un résumé de toutes les solutions proposées ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Solutions proposées	Avantages	Inconvénients
Convoyeur avec un système de lavage (convoyeur incliné) :	<ul style="list-style-type: none"> *Bien nettoyer *Coût de fabrication bas *Exploitation de la pompe de la machine de perçage 	
Convoyeur avec compresseur :	<ul style="list-style-type: none"> * Eviter l'utilisation de lubrifiant. *Bien nettoyer 	<ul style="list-style-type: none"> *L'utilisation de compresseur coûte chère (1mm=1kw).

Tableau 7: Les avantages et inconvénients des solutions proposées

2-Choix de solution :

Après discussions sur les solutions proposées avec les chefs de maintenance et de production, le convoyeur avec un système de lavage (convoyeur incliné) a été choisi suite à leurs avantages (tableau 7) pour éliminer l'opération de rinçage/nettoyage manuelle.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la cause principale de fuite et nous avons commencé à chercher des solutions pour éviter ce problème. En choisissant la solution qui marche bien avec les besoins de l'entreprise (la solution la moins chère, l'augmentation de la productivité, etc.).

Le prochain chapitre présente une étude approfondie de la solution choisie afin d'examiner toutes les informations sur les produits nécessaires.

CHAPITRE IV :

Etude de la solution



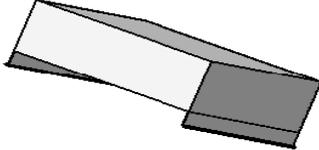
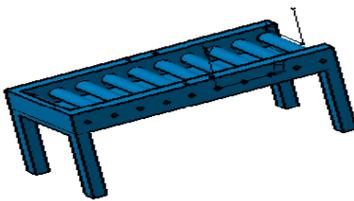
Introduction :

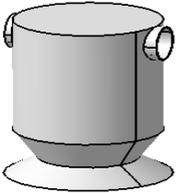
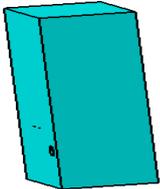
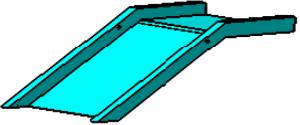
Dans ce chapitre, nous allons citer les différents composants de la solution choisie, étude de la pompe utilisée, on va éclaircir le choix du capteur et de minuterie et finalement le schéma électrique du système. De plus nous allons estimer le coût total de notre produit et déterminer le gain de cette solution.

I. Analyse de système :

1-Les composants de la solution choisie :

Ce système a été réalisé sur un logiciel de dessin industriel (CATIA, CAO), ce dernier nous a permis de créer, analyser et d'assembler les différents composants (tableau 8) conçus sur les ateliers Part-design, Assembly-Design qu'on peut les décrire dans ce tableaux ci-dessous :

Pièce	Illustration	Matière	Rôle
La cage		Fer	Eviter la volatilité du copeau et l'étanchéité de l'eau à l'extérieur du convoyeur.
La conduite supérieure		Fer galvanisé	Permettre le nettoyage de l'interface supérieur du disque.
La Conduite inférieure		Fer galvanisé	Permettre le nettoyage de l'interface inférieur du disque.
Le convoyeur à rouleaux (Incliné).		Fer	Transporter le disque de la machine de perçage vers la machine d'ébavurage.
			Permettre le

<p>Tube</p>		<p>Fer galvanisé</p>	<p>passage du lubrifiant de la pompe vers les conduites (inférieure et supérieure) et le retour de lubrifiant vers le réservoir.</p>
<p>La pompe</p>			<p>Aspirer le lubrifiant du réservoir et le refouler vers les conduites.</p>
<p>Le filtre</p>			<p>Séparer le copeau du lubrifiant.</p>
<p>La machine de perçage</p>			<p>Percer les disques.</p>
<p>La pente</p>			<p>Transporter le lubrifiant dégagé par la machine de perçage vers le réservoir.</p>

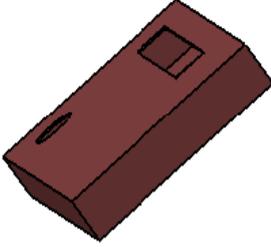
Le réservoir			Stocker le lubrifiant venant de la machine de perçage et du convoyeur à système de lavage qui va être par la suite aspiré par la pompe.
Electrovanne			piloter les réseaux de fluide à distance grâce à un signal électrique.

Tableau 8: Les composants utilisés dans le système

NB : Le choix de la matière a été spécifié par l'entreprise.

2-Dimension du système :

Hydraulique : Est la science qui étudie le comportement du fluide. Ses avantages :

- La simplicité des installations
- La souplesse d'exploitation
- Son pouvoir lubrifiant permet une excellente lubrification des appareils
- Une bonne réduction de l'usure exprimée par une assez longue durée des appareils
- très bon rendement.

✚ Le schéma de l'installation hydraulique de notre système (figure17) montre le trajet possible des conduites. Ce circuit de transport de lubrifiant se compose :

*D'un réservoir : source de lubrifiant

*D'une pompe (non volumétrique)

*D'un filtre

*Des conduites et des tuyauteries qui relient les différents constituants.

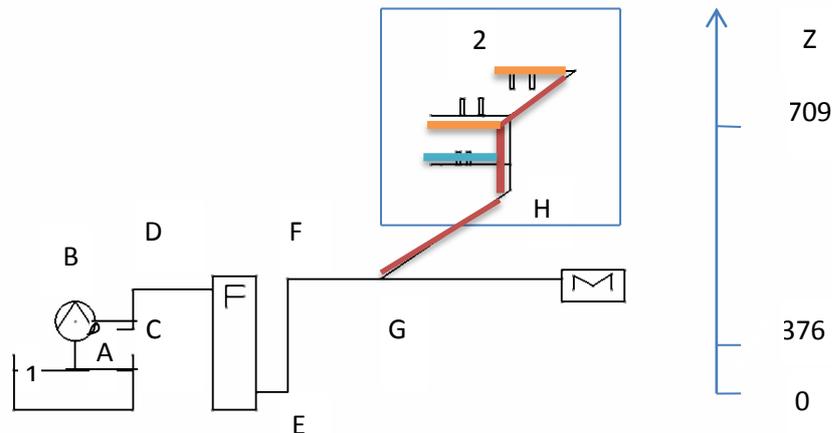


Figure 17 : l'installation hydraulique

- Tuyau qui lie la pompe avec le convoyeur (q_{v2}).
- Conduites supérieures fixées sur la cage (q_{v4} et q_{v5}).
- Conduite inférieure qui se trouve sous les rouleaux du convoyeur (q_{v3}).

A \Rightarrow G : On a q_v .

G \Rightarrow la perceuse : On a q_{v1} .

On va déterminer la puissance hydraulique qu'il faut fournir au lubrifiant, capable de faire vaincre la différence de côtes et toutes les pertes de charge du circuit. La puissance hydraulique P est donnée par :

$$P = q_v \rho g H$$

[W] [m³/s] [m]

Le schéma de l'installation hydraulique de notre système (figure 17) et ces données (tableau 9) sont présentées ci-dessus:

- 1 vers 2 : Ecoulement
- 1 vers A : Aspiration
- B vers 2 : Refoulement

Les grandeurs	Les valeurs
Débit	10L/min
L ₁ (B => G)	1966mm
L ₂ (G => 2)	1540mm
D ₁ (Diamètre de conduite supérieure)	25.4mm
D ₂ (Diamètre de conduite inférieure)	19.05mm
$\alpha_c=\alpha_D=\alpha_E=\alpha_F=\alpha_H$ (annexe 3)	1
μ (viscosité de l'eau)	10^{-3} kg/m.s
ε (rugosité) voir l'annexe 4)	0.15mm
α_G (rétrécissement voir l'annexe 3)	0.5

Tableau 9: les mesures de l'installation

Pour calculer la puissance hydraulique qu'il faut fournir au lubrifiant, nous avons utilisé la relation présentée dans la page 40.

$$P_h = \rho g qv (H_B - H_A)$$

P_h : La puissance hydraulique

H_B : la charge au point B

H_A : La charge au point

Pour calculer H_A on se place dans la partie aspiration, et H_B dans la partie refoulement

*Partie d'aspiration :

$$\Delta H_{1A} = H_1 - H_A$$

$$H_A = H_1 - \Delta H_{1A}$$

$\Delta H_{1A} = 0$ (car l'entrée de la pompe en contact direct avec le lubrifiant du réservoir)

Donc : $H_A = H_1 = P_0 / \rho g + Z_A = (1.013) / (9.81) * 102 + 0.376 = 10.7m$

*Partie Refoulement :

$$\Delta H_{B2} = H_B - H_2$$

$$H_B = \Delta H_{B2} + H_2$$

La relation des ΔH des conduites rugueuses est :

$$\Delta H = (1/(2 \cdot g)) \cdot V^2 \cdot (L/D) \cdot \lambda(\epsilon/D)$$

λ : fonction de perte de charges, est donnée par le diagramme de Moody

Re : nombre de Reynolds

ϵ : moyenne de la hauteur des aspérités (rugosités)

La relation des ΔH singulière est :

$$\Delta H_S = (1/(2 \cdot g)) \cdot V^2 \cdot \alpha_S$$

ΔH_S : La perte de charge de singularité.

α_S : caractéristique de la singularité.

Dans notre cas on a :

$$\Delta H_{B2} = 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot (L_1/D_1) \cdot \lambda_1 + 0.5 \cdot \rho \cdot V_2^2 \cdot (L_2/D_2) \cdot \lambda_2 + 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \alpha_G + 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \alpha_C + 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \alpha_D + 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \alpha_E + 0.5 \cdot \rho \cdot V_1^2 \cdot \alpha_F + 0.5 \cdot \rho \cdot V_2^2 \cdot \alpha_H$$

$$\Delta H_{B2} = 1/2 \cdot \rho \cdot (V_1^2 \cdot ((L_1/D_1) \cdot \lambda_1 + \alpha_C + \alpha_D + \alpha_E + \alpha_F + \alpha_G) + V_2^2 \cdot ((L_2/D_2) \cdot \lambda_2 + \alpha_H))$$

***Conduites d'un pouce :**

$$V_1 = 4q_v / \pi D_1^2 = (4 \cdot 0.00016) / (\pi \cdot 2.54^2 \cdot 10^{-4}) = 0.32 \text{ m/s}$$

$$\epsilon/D_1 = 0.15 / 25.4 = 0.006$$

***Conduites de 3/4 pouce :**

Au point G le débit se divise en 2 débits : q_{v1} et q_{v2}

$q_v = q_{v1} + q_{v2}$ et puisque on a la même section donc :

$$q_{v1} = q_{v2} = q_v / 2 = 0.008 / 2 = 0.00008$$

$$V_2 = 4q_{v2} / \pi D_2^2 = (4 \cdot 0.00008) / (\pi \cdot 0.01905^2) = 0.28 \text{ m/s}$$

$$\epsilon/D_2 = 0.15 / 19.05 = 0.008$$

Le diagramme de Moody s'agit d'un abaque de calcul direct du coefficient de perte de charge à partir de la rugosité relative de la paroi interne de la conduite

Donc : $\lambda_1 = 0.032$ et $\lambda_2 = 0.036$ (voir l'annexe 2)

A.N :

$$\begin{aligned}\Delta H_{B2} &= 1/2 * 103 * ((0.32^2 * (1966/25.4) * 0.032 + 4 + 0.5) + (0.28^2 * (1570/19.05) * 0.036 + 1)) \\ &= 512.72 \text{mCE}\end{aligned}$$

Nous calculons H_2 par la relation suivante :

$$H_2 = P/\rho g + z + 1/2 g V_3^2$$

Le débit q_{v2} se divise en 3 débits : $q_{v3} = q_{v4} = q_{v5} = q_{v2}/3 = 0.00008/3 = 0.00003$

$$V_3 = 4q_v/\pi D_3^2 = 4 * 0.00003/\pi * (0.0127)^2 \quad \text{donc} \quad V_3 = 0.21 \text{m/s}$$

$$Z = (709 - 376) * 10^{-3} = 0.333$$

A.N :

$$\begin{aligned}H_2 &= (2.5 * 105/103 * 9.81) + 0.333 + (1/2 * 9.81) * (0.21)^2 \\ &= 25.82 \text{m}\end{aligned}$$

A partir du calcul au-dessus on obtient :

$$H_B = H_2 + \Delta H_{B2} = 25.82 + 512.72 = 538.54 \text{m}$$

On déduire la puissance hydraulique qu'il faut fournir au lubrifiant

$$\begin{aligned}P_H &= \rho g q_v (H_B - H_A) \\ &= 103 * 9.81 * 0.00016 * (538.54 - 10.7) = 828.49 \text{w}\end{aligned}$$

Nous sommes parvenus grâce aux calculs que nous avons fait de la puissance hydraulique qu'il faut fournir au lubrifiant, que la pompe utilisée (3kw) est capable de parvenir le lubrifiant à notre système de lavage (0.83kw) et à la perceuse sans influencer le fonctionnement de cette dernière ou la qualité de disque.

NB :

Notre circuit contient aussi un tube de retour placé au-dessous de convoyeur pour faciliter le retour de lubrifiant vers le réservoir.

✚ Dans notre système on utilise le pompage en aspiration (figure 18).

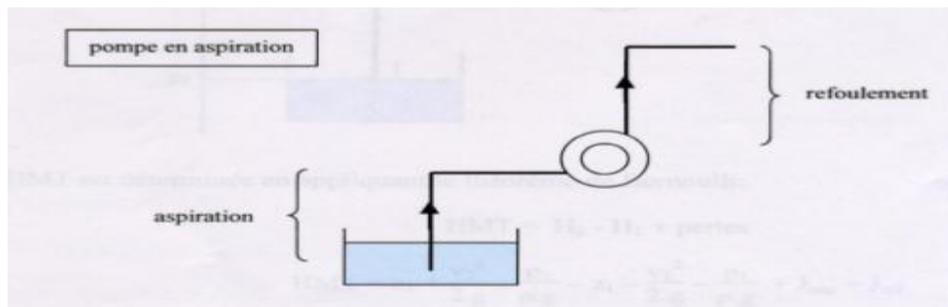


Figure 18 : Pompe en aspiration

II. Le choix du capteur et de minuterie:

Choix de capteur :

Puisqu'on va utiliser l'eau et pour éviter l'oxydation des capteurs, après discussion avec l'encadrant de l'entreprise, on a choisi des capteurs photo-électriques.

Les capteurs photo-électriques (figure 19) permettent :

- La détection d'objets de toutes formes et de matériaux de toutes natures.
- La détection à très grande distance.
- la rapidité de réponse.
- Généralement en lumière infrarouge invisible, indépendante des conditions d'environnement.

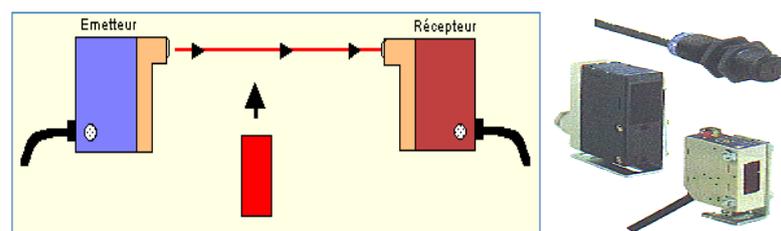


Figure 19: Exemple d'un capteur photo-électrique

Choix de minuterie :

La minuterie est un dispositif, souvent programmable, permettant de mesurer le temps. Elle est de la famille des relais temporisés. Son ou ses contacts internes se ferment au moment de la commande.

On a choisi la minuterie raccordée en 4fils pour :

Bien contrôler le temps de l'opération de nettoyage.

Eviter le gaspillage de lubrifiant lorsqu'on n'a aucun disque à nettoyer.

III. Schéma électrique du système :

L'opération de nettoyage de disque sera guidée par un circuit à commande électrique qui nécessite l'élaboration de deux sortes de schémas:

Un schéma de puissance et un schéma de commande électrique (figure 20 et sa nomenclature : tableau 10).

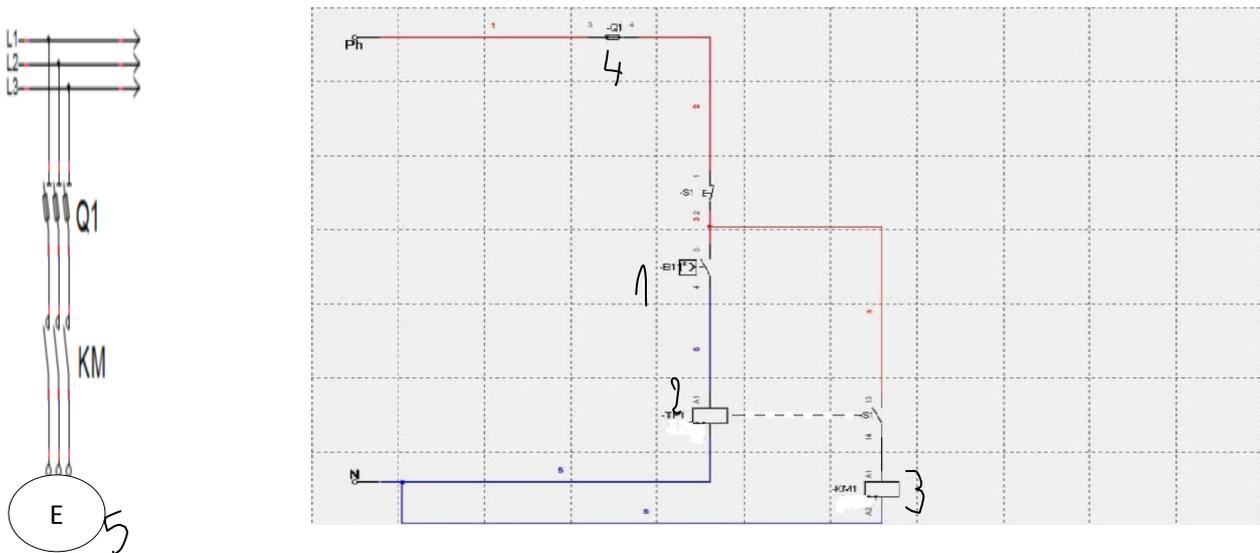


Figure 20 : schéma de puissance et de commande du système

Repère	Désignation
1	Capteur photo-électrique
2	Minuterie à 4 fils (3s)
3	KM
4	Q1
5	Electrovanne

Tableau 10 : les éléments de circuit

Le fonctionnement du circuit :

Le sectionneur porte fusible Q1 est fermé :

Le capteur photo-électrique se ferme lorsqu'on a la détection de disque.

La bobine de minuterie s'excite alors son contact sera fermé automatiquement.

Enfin, KM s'excite => l'ouverture de l'électrovanne => Pompage de fluide dans la conduite vers le convoyeur => Nettoyage de disque.

NB :

- ✚ Si un nouveau disque a été détecté, cependant l'ancien disque est encore en cours de nettoyage, la minuterie recommencera à compter le temps pour éviter tout retard dans la production.
- ✚ On peut remplacer la minuterie par un temporisateur au relâchement retardé.

IV. Estimation du coût total :

La plupart des composants utilisés dans notre système existent dans l'entreprise sauf : la minuterie (60,27€), le capteur (93€) et l'électrovanne (17,99€) alors l'achat de ces derniers nécessite : $S=17,99+93+60,27=171,26€ \Leftrightarrow 1712,6 \text{ DH}$.

V. Le gain :

Grâce à la réalisation de ce système l'entreprise FM pourra :

- ✓ Eviter le gaspillage de 15L d'huile, c'est-à-dire éviter la perte d'une somme de 463 DH chaque jour (1L \Leftrightarrow 31 DH).
- ✓ Eviter le gaspillage d'eau (5 à 40 L /jr).
- ✓ Minimiser le temps de cycle d'OP 50:

On a l'ancien temps = 32s (19s pour percer le disque +10s pour le nettoyer dans le bassin +3s pour le transporter par le convoyeur).

Cette solution nous permet de démonter le bassin et éviter son utilisation d'une façon permanente, donc on obtient comme un nouveau temps

$$T = 32 - 10 = 22s.$$

- ✓ Augmenter la production.
 - ✓ Réduire l'énergie gaspillée par l'aspirateur (l'aspirateur a utilisé 6fois /jr).
- ➡ Les figures 21 et 22 montrent l'état de système avant et après l'amélioration où nous avons démonté le bassin en créant un système de lavage dans le convoyeur en vue de résoudre la problématique proposée.
- Dans notre système nous avons sorti un tube qui nous va permettre le passage du lubrifiant par deux chemins différents :
- Le premier chemin mène le lubrifiant à la machine de perçage, et le deuxième à notre système de lavage précisément à les 3 conduites qui ont déjà mentionné dans la figure 15, en vue d'exploiter une seule pompe, et pour

le petit réservoir qui se trouve au-dessous de convoyeur permet le retour du lubrifiant vers le réservoir.

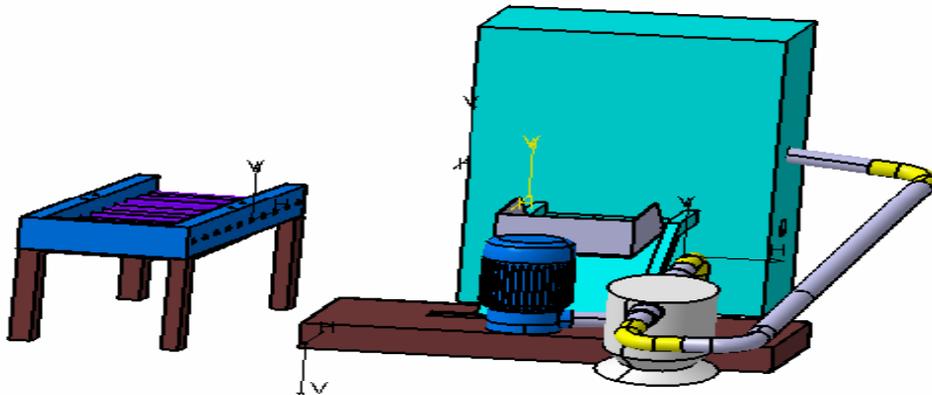


Figure 21 : Le système avant

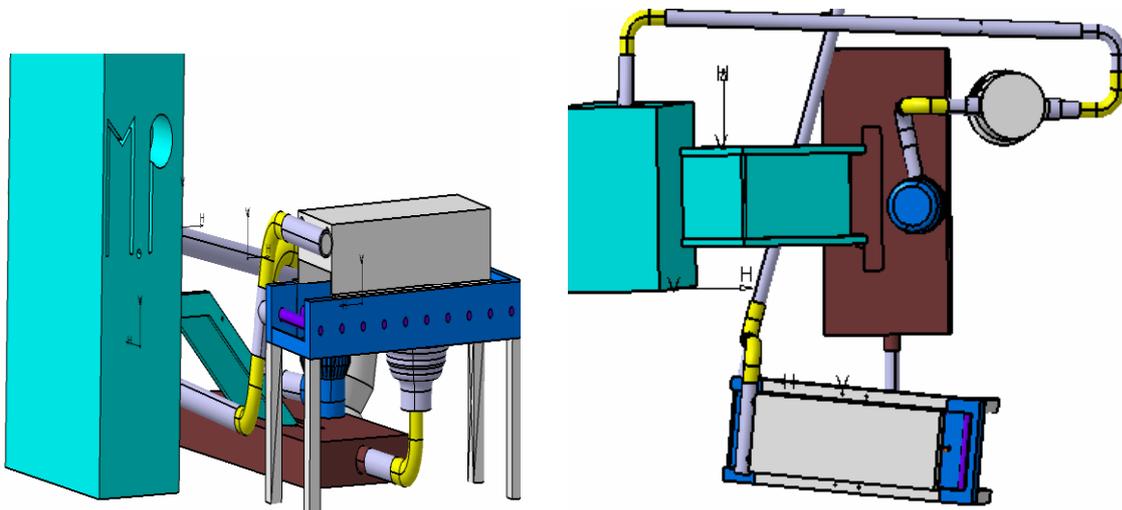


Figure 22: Système après

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'analyser les différentes cotes de notre système : ses composants, son coût et ses intérêts.

Conclusion et perspective

Arrivant à la fin de notre projet de fin d'étude concernant la détection d'une fuite de lubrifiant et l'amélioration d'une perceuse, nous présentons le bilan du travail effectué. D'abord il fallait bien comprendre le fonctionnement de la société et ses différents services et s'y intégrer afin de pouvoir bénéficier de la collaboration des responsables de la maintenance et de production.

Ensuite, nous avons commencé notre étude par une analyse du problème en cherchant les sources de fuite. C'est dans ce cadre que nous avons réalisé une analyse fonctionnelle pour proposer des solutions adéquates qui vont marcher bien avec les besoins de l'entreprise (la solution la moins chère, augmenter la productivité, ...etc.).

Parmi les solutions proposées, nous avons trouvé un convoyeur avec compresseur (nettoyage de disque par soufflage), cette solution n'était pas bien efficace car on a la contrainte de la sécheresse du disque, par suite l'augmentation de la température et ce changement instantané peut entraîner sa casse. Donc nous avons passé à l'autre solution: Convoyeur avec un système de lavage, ce dernier se base sur la fixation d'une électrovanne sur la conduite qui est liée au convoyeur pour piloter le réseau de fluide lorsqu'on a une détection de disque par un capteur photo-électrique.

Grâce à notre système, l'entreprise arrive à éviter le gaspillage d'huile, d'eau et d'énergie en même temps augmenter la production.

En perspective, et pour améliorer la performance de notre solution. Nous souhaiterons créer un système qui va permet de transporter le disque de façon verticale, afin de nettoyer ses deux faces en même temps. On peut abandonner la conduite inferieure et minimiser le temps de transfert du disque ainsi la quantité de lubrifiant utilisé par le système.

Bibliographie

<https://www.unitjuggler.com/convertir-volume-de-gallonus-en-l.html?val=3.4>

<http://www.sciences-technologies.net/genie-mecanique/conception-m%25C3%25A9canique/3-analyse-fonctionnelle.html>

http://stockage.univ-valenciennes.fr/EcoPEM/BoiteK/co/K3_P.html

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_fonctionnelle_\(conception\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_fonctionnelle_(conception))

https://fr.wikipedia.org/wiki/Function_analysis_system_technique

http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/Bete_a_cornes.htm

http://rb.ec-lille.fr/l/Projets/Projet_Analyse_fonctionnelle.pdf

https://www.lycee-champollion.fr/IMG/pdf/pertes_de_charge.pdf

https://www.thermexcel.com/french/ressourc/calcul_perte_de_charge_lineaire.htm

<http://guilhem.mollon.free.fr/Telechargements/Hydrau6.pdf>

<http://www.vft47.fr/medias/files/pertes-de-charge.pdf>

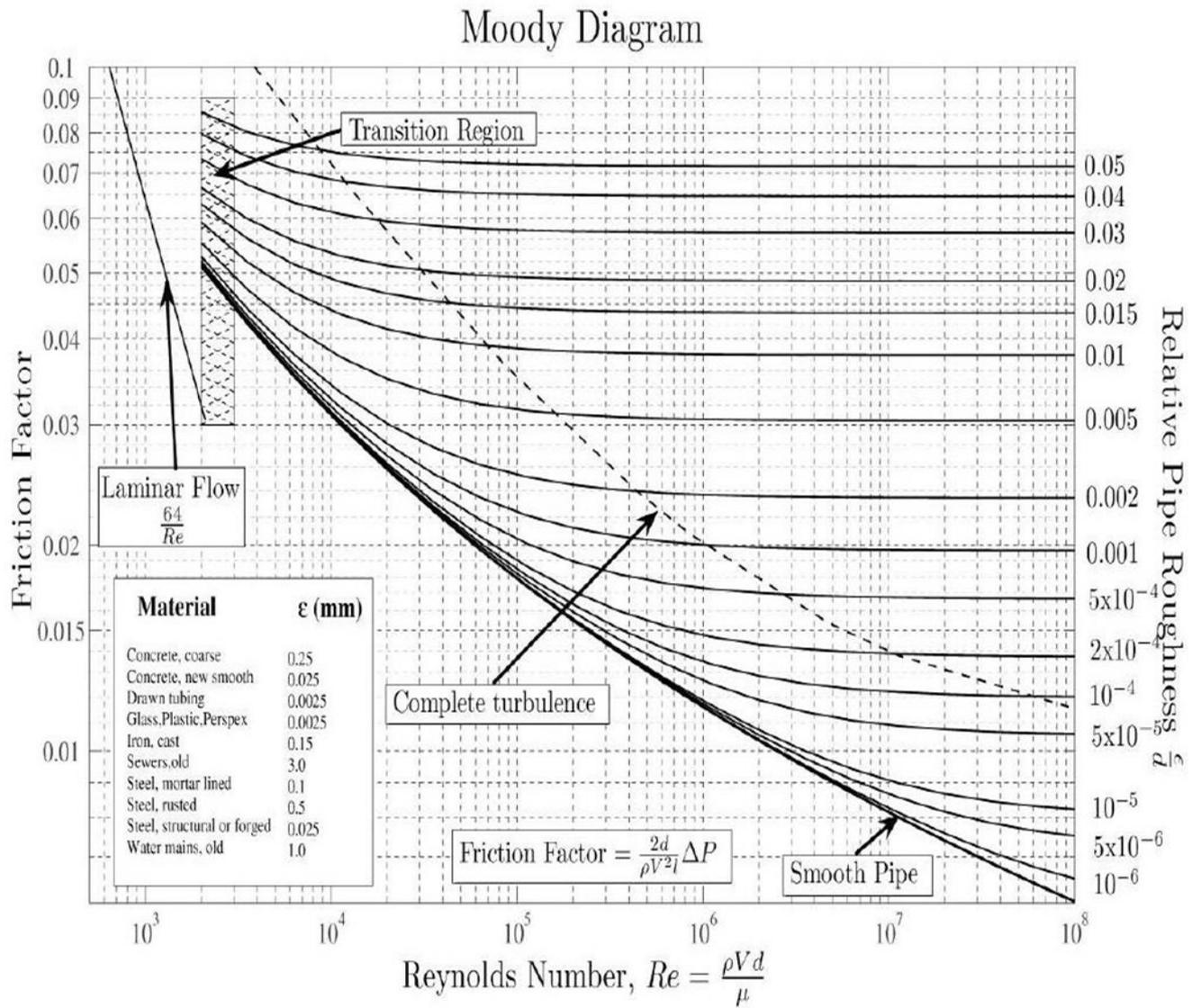
<https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#sent/163a2dc353e45a84?projector=1>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9_dynamique

Annexe 1 : Estimation de perte

Perte d'huile en raison de fuites			
Fuites	Perte en une journée (gallons)	Perte en un mois (gallons)	Perte en une année (gallons)
Une goutte aux 10 secondes	0,1	3,4	40
Une goutte aux 5 secondes	0,2	6,8	81
Une goutte à la seconde	1,1	33,8	405
Trois gouttes à la seconde	3,4	101,3	1 215
Gouttes formant un écoulement continu	24	720	8 640

Annexe 2 : Diagramme de Moody



Annexe 3 : Caractéristiques de singularité

<i>Diamètre du tube acier inox, cuivre ou plastique</i>		8 + 16 mm	18 + 28 mm	30 + 54 mm	> 54 mm	
<i>Diamètre du tube acier</i>		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"	
<i>Type de résistance singulière</i>	<i>Symbol</i>					
<i>Coude serré à 90°</i>	<i>r/d = 1,5</i>		2,0	1,5	1,0	0,8
<i>Coude normal à 90°</i>	<i>r/d = 2,5</i>		1,5	1,0	0,5	0,4
<i>Coude large à 90°</i>	<i>r/d > 3,5</i>		1,0	0,5	0,3	0,3
<i>Coude serré en U</i>	<i>r/d = 1,5</i>		2,5	2,0	1,5	1,0
<i>Coude normal en U</i>	<i>r/d = 2,5</i>		2,0	1,5	0,8	0,5
<i>Coude large en U</i>	<i>r/d > 3,5</i>		1,5	0,8	0,4	0,4
<i>Élargissement</i>		1,0				
<i>Restriction</i>		0,5				
<i>Dérivation simple avec T équerre</i>		1,0				
<i>Jonction simple avec T équerre</i>		1,0				
<i>Dérivation double avec T équerre</i>		3,0				
<i>Jonction double avec T équerre</i>		3,0				
<i>Dérivation simple avec angle incliné (45° - 60°)</i>		0,5				
<i>Jonction simple avec angle incliné (45° - 60°)</i>		0,5				
<i>Dérivation avec amorce</i>		2,0				
<i>Jonction avec amorce</i>		2,0				

	$k = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$		$k = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2$ avec $C_c \approx 0,59 + 0,41\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^3$
	$k \approx 1$ en pratique : $1,06 > k > 1,1$		$k = 0,46 R_v^{-0,06} \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^{0,5}$
	$k = 0,2 + 2\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2$		$k = a \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2$ avec $a = \sin \alpha$ pour $\alpha < 90^\circ$ $a = 1$ pour $\alpha > 90^\circ$
	$k \approx 0,5$		→ LISSE : $k = \left[0,13 + 1,85 \left(\frac{D}{2R_c}\right)^{3,3}\right] \frac{\alpha}{90}$ → RUGUEUX : $k = 0,42 \left(\frac{D}{R_c}\right)^{0,5}$

R_c : rayon de courbure du coude

Annexe 4 : Rugosité

Valeurs usuelles indices de rugosité (K) en mm		
	Nature de la surface intérieure	Indice rugosité k
1	cuivre, plomb, laiton, inox	0,001 à 0,002
2	Tube PVC	0,0015
3	Acier inox	0,015
4	tube acier du commerce	0,045 à 0,09
5	Acier étiré	0,015
6	Acier soudé	0,045
7	acier galvanisé	0,15
8	Acier rouillé	0,1 à 1
9	fonte neuve	0,25 à 0,8
10	fonte usagée	0,8 à 1,5
11	fonte incrustée	1,5 à 2,5
12	tôle ou fonte asphaltée	0,01 à 0,015
13	ciment bien lissé	0,3
14	Béton ordinaire	1
15	béton grossier	5
16	bois bien raboté	5
17	bois ordinaire	1