

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



**Faculté de Génie de la Construction**

**Département Génie Mécanique**

**Mémoire de Master**

**Filière :** Electromécanique

**Spécialité :** Maintenance Industrielle

**Présenté par :**

*ABDOUNE Abderraouf*

*AMENOUCHE Mohand*

**Thème :**

**Simulation d'une pompe Triplex Avec  
Simscape**

Soutenu le : 17/01/2022 devant le jury :

Mr. CHERABI	Bilal	MCB	UMMTO	Promoteur
Mr. NAIT OUSLIMANE	Ahmed	MCB	UMMTO	President
Mr. BOUMRAR	Akli	MAA	UMMTO	Examineur

**Année Universitaire : 2020/2021**

# *Remerciement*

Je remercie ALLAH tout puissant de nous avoir beaucoup aidés pour élaborer ce travail. Toutes nos infinies gratitude à notre promoteur, pour son encadrement et ses aides précieuses.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants qui n'ont préservés aucun effort afin de transmettre leur savoir et leurs expériences aux étudiants.

Nous tenons à remercier nos amis qui nous ont toujours soutenus et qui sans eux ce mémoire n'aura pas eu lieu.

Nous remercions vivement tous les membres de jury, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

# *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A mes chères parentes*

*Pour leurs soutient durant toutes mes années d'études. Leurs sacrifices illimités, leurs réconforts moraux, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.*

*- A ma chère sœur*

*- A mes deux frères*

*- A mes adorables amis*

*- A tout ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.*

**ABDOUNE Abderraouf**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes parents en témoignage de tout mon amour.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis.*

AMENOUCHE Mohand

## **Résumé :**

Ce travail est consacré à l'étude diagnostique et à la maintenance de la pompe triplex, au cours duquel nous avons faits plusieurs simulations avec le logiciel SIMSCAPE, un programme servant à déceler les anomalies potentielles dans la pompe. Pour cela, nous avons délibérément créés 4 defaults dans la machine, après que le programme ait dessellé un default la jauge qui lui ai dédié s'allume automatiquement.

**Mots clés :** Maintenance, Intelligence artificielle, Apprentissage automatique, Matlab, Simulink, SIMSCAPE.

## **Abstract :**

This work is dedicated to the diagnostic study and maintenance of the triplex pump, during which we made several simulations with the SIMSCAPE software, a program used to detect potential anomalies in the pump. For this, we have deliberately created 4 defaults in the machine, after the program has designed a default the gauge that has dedicated to it automatically lights up.

**Keywords :** Maintenance, Artificial intelligence, Machine Learning, Matlab, Simulink, SIMSCAPE.

## **Zusammenfassung :**

Diese Arbeit ist der diagnostischen Untersuchung und Wartung der Dreifachpumpe gewidmet, in deren Verlauf wir mehrere Simulationen mit der SIMSCAPE-Software durchgeführt haben, einem Programm zur Erkennung möglicher Anomalien in der Pumpe. Zu diesem Zweck haben wir absichtlich vier Defekte in der Maschine erzeugt, nachdem das Programm einen Defekt ausgetrocknet hat, der die Anzeige automatisch aufleuchtet.

**Stichwörter:** Wartung, Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen, Matlab, Simulink, SIMSCAPE.

## TABLE DES MATIÈRES

### Liste De Figures et Tableaux

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	4
<b>I.2 Définition de La Maintenance</b> .....	4
<b>I.3 Politique de La Maintenance</b> .....	4
<b>I.4 Les Objectifs de La Maintenance</b> .....	5
<b>I.4.1 Les objectifs de coût</b> .....	5
<b>I.4.2 Les objectifs opérationnels</b> .....	5
<b>I.5 Les Niveaux de Maintenance</b> .....	6
<b>I.6 Les Types de Maintenance</b> .....	7
<b>I.6.1 Maintenance Corrective</b> .....	7
<b>I.6.2 Maintenance Préventive</b> .....	7
<b>I.6.3 Maintenance Prédictive</b> .....	8
<b>I.6.3.1 Les Techniques de La Maintenance Prédictive</b> .....	9
<b>I.7 Apprentissage Automatique</b> .....	11
<b>I.8 Les types d'apprentissage automatique</b> .....	11
<b>I.8.1 L'apprentissage supervisé</b> .....	13
<b>I.8.2 L'apprentissage non-supervisé</b> .....	13
<b>I.8.3 L'apprentissage semi-supervisé</b> .....	14
<b>I.8.4 L'apprentissage partiellement supervisé (probabiliste ou non) :</b> .....	14
<b>I.8.5 L'apprentissage par renforcement</b> .....	14
<b>I.9 Les algorithmes utilisés</b> .....	15
<b>I.9.1 Régression Linéaire</b> .....	15

<b>I.9.2 Les réseaux de neurones .....</b>	<b>16</b>
<b>I.9.3 Méthodes des K Plus Proches Voisins .....</b>	<b>17</b>
<b>I.9.4 Classification Naïve de Bayes .....</b>	<b>17</b>
<b>I.9.5 Les arbres de décision .....</b>	<b>18</b>
<b>I.9.6 Random Forest .....</b>	<b>18</b>
<b>I.9.7 Machines à Vecteurs de Support .....</b>	<b>19</b>
 <b>CHAPITRE II</b>	
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>II.2 Rôle des pompes .....</b>	<b>21</b>
<b>II.3 Classification des pompes .....</b>	<b>22</b>
<b>II.3.1 Turbopompe (Centrifuge).....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.2 Constitution d'une pompe centrifuge .....</b>	<b>23</b>
<b>II.3.2.1 Pompe Axiale.....</b>	<b>25</b>
<b>II.3.2.2 Pompe hélico-centrifuge .....</b>	<b>25</b>
<b>II.3.2.3 Pompe Centrifuge .....</b>	<b>26</b>
<b>II.3.3 Pompes Volumétriques.....</b>	<b>27</b>
<b>II.3.3.1 Pompes volumétriques rotatives.....</b>	<b>28</b>
<b>II.3.3.2 Les pompes volumétriques alternatives :.....</b>	<b>32</b>
<b>II.4 Avantages et inconvénients :.....</b>	<b>34</b>
<b>Avantages et inconvénients des pompes centrifuges.....</b>	<b>34</b>
<b>Avantages et inconvénients des pompes volumétriques .....</b>	<b>34</b>
<b>II.5 Pompes triplex .....</b>	<b>35</b>
<b>II.6 Principe de fonctionnement et débit instantané .....</b>	<b>36</b>
<b>II.6.1 Principe de fonctionnement .....</b>	<b>36</b>
<b>II.6.2 Débit instantané .....</b>	<b>37</b>

<b>II.7 Caractéristiques du débit triplex .....</b>	<b>38</b>
<b>II.8 Les Différents parties de la pompes triplex .....</b>	<b>38</b>
<b>II.8.1 La partie hydraulique .....</b>	<b>39</b>
<b>II.8.2 La partie mécanique .....</b>	<b>39</b>
<b>II.8.3 La Partie électrique .....</b>	<b>40</b>
<b>II.9 Conclusion.....</b>	<b>41</b>
 <b>CHAPITRE III</b>	
<b>III.1 Présentation Simscape .....</b>	<b>43</b>
<b>III.1.1 Electrical .....</b>	<b>44</b>
<b>III.1.1.1 Electrical Elements .....</b>	<b>44</b>
<b>III.1.1.2. Electrical Sensors .....</b>	<b>45</b>
<b>III.1.1.3. Electrical Sources .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.2 Mechanical .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.2.1 Eléments des différentes bibliothèques .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1.2.2 Translational Elements .....</b>	<b>48</b>
<b>III.1.2.3 Rotational Elements .....</b>	<b>48</b>
<b>III.1.3 Thermal.....</b>	<b>49</b>
<b>III.1.3.1 Thermal Elements .....</b>	<b>49</b>
<b>III.1.3.2 Thermal Sensors .....</b>	<b>50</b>
<b>III.1.3.3 Thermal Sources.....</b>	<b>50</b>
<b>III.2 Programme de simulation de la pompe triplex .....</b>	<b>51</b>
<b>III.3 Les étapes de lancement de programme de simulation .....</b>	<b>52</b>
<b>Aperçu de la pompe triplex avec défauts.....</b>	<b>53</b>
<b>Etat initial .....</b>	<b>54</b>
<b>Animation de l'état initial .....</b>	<b>54</b>
<b>1<sup>er</sup> Défaut fuit de joint.....</b>	<b>55</b>

<b>Animation de 1<sup>er</sup> défaut</b> .....	55
<b>2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées</b> .....	55
<b>Animation 2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées</b> .....	56
<b>3<sup>eme</sup> défaut usure de roulement</b> .....	56
<b>Animation 3<sup>eme</sup> défaut usure de roulement</b> .....	56
<b>4<sup>ème</sup> défaut dégradation de bobinage (Broken Winding)</b> .....	57
<b>III.4 Interprétation des courbes de Débit et la Vitesse de la pompe et la Pression</b> .....	58
<b>III.4.1 Interprétation des courbes de Débit et la Vitesse de la pompe</b> .....	58
<b>Etat initiale</b> .....	58
<b>Premier défaut fuite de joint (Seal leak)</b> .....	58
<b>2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées (blocked intel)</b> .....	59
<b>3<sup>ème</sup> défaut usure du roulement (Worn Bearing)</b> .....	59
<b>4<sup>ème</sup> défaut dégradation de bobinage (Broken Winding)</b> .....	60
<b>III.4.2 Interprétation des courbes de Pression</b> .....	61
<b>Etat initial</b> .....	61
<b>Premier défaut fuite de joint (Seal leak)</b> .....	61
<b>2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées (blocked intel)</b> .....	61
<b>3<sup>ème</sup> défaut usure du roulement (Worn Bearing)</b> .....	62
<b>4<sup>ème</sup> défaut dégradation de bobinage (Broken Winding)</b> .....	62
<b>Conclusion Générale</b> .....	64
<b>ANNEXE</b> .....	66
<b>Bibliographie</b> .....	75

## Liste De Figures et Tableaux :

### *Chapitre 1*

<b>Figure I 1:</b> les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée.....	5
<b>Figure I 2:</b> Fondements de la maintenance prédictive .....	9
<b>Figure I 3:</b> Les grandes classes d'apprentissage automatique .....	12
<b>Figure I 4:</b> Taxonomie des modèles d'apprentissage automatique .....	12
<b>Figure I 5:</b> schéma descriptive de l'apprentissage par renforcement.....	15
<b>Figure I 6:</b> Neurone artificiel .....	16
<b>Tableau I 1:</b> Les niveau de maintenance.....	6

### *Chapitre 2*

<b>Figure II. 1:</b> les différents types des pompes .....	22
<b>Figure II. 2:</b> pompe axiale.....	25
<b>Figure II. 3:</b> Pompe hélico-centrifuge.....	26
<b>Figure II. 4:</b> Pompe Centrifuge .....	27
<b>Figure II. 5:</b> Pompe à vis.....	28
<b>Figure II. 6:</b> Pompes à palettes libre .....	29
<b>Figure II. 7:</b> Pompes à palettes flexibles.....	29
<b>Figure II. 8:</b> Pompes à palettes guidées .....	30
<b>Figure II. 9:</b> Pompes à engrenages extérieurs .....	31
<b>Figure II. 10:</b> Pompes à engrenages intérieur .....	31
<b>Figure II. 11:</b> Pompe à lobes.....	32
<b>Figure II. 12:</b> Pompes à pistons .....	32
<b>Figure II. 13:</b> Pompe à membranes .....	33
<b>Figure II. 14:</b> Pompe à boue triplex simple effet. ....	36
<b>Figure II. 15:</b> Principe de fonctionnement des pompes triplex.....	36
<b>Figure II. 16:</b> Débit instantané de la pompe triplex simple effet. ....	37
<b>Figure II. 17:</b> partie hydraulique .....	39
<b>Figure II. 18:</b> Partie mécanique d'une pompe à boue.....	40
<b>Figure II. 19:</b> Moteurs électriques .....	41

## Chapitre 3

<b>Figure III. 1:</b> librairies des domaines de base.....	44
<b>Figure III. 2:</b> bibliothèque des éléments de base de l'électricité .....	45
<b>Figure III.3:</b> bibliothèque de capteur de tension et courant.....	45
<b>Figure III. 4:</b> bibliothèque de source de courant et tension .....	46
<b>Figure III.5:</b> bibliothèques des capteurs des grandeurs physiques .....	47
<b>Figure III.6:</b> bibliothèque des sources mécaniques .....	47
<b>Figure III.7:</b> Des éléments mécaniques de translation.....	48
<b>Figure III.8:</b> Des éléments mécaniques de rotation .....	48
<b>Figure III.9:</b> Bibliothèque des éléments thermique .....	49
<b>Figure III.10:</b> Bibliothèque des grandeurs thermique.....	49
<b>Figure III.11:</b> capteur de température et un capteur de flux thermique.....	50
<b>Figure III.12:</b> deux sources des capteurs (température et le flux thermique).....	50
<b>Figure III.13:</b> courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe a l'état initial .....	58
<b>Figure III.14:</b> courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 1er default.....	59
<b>Figure III.15:</b> courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 2eme default.....	59
<b>Figure III.16:</b> courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 3eme default.....	60
<b>Figure III.17:</b> courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 4eme default.....	60
<b>Figure III.18:</b> graphe représente la pression à la sortie de la pompe a l'état initial .....	61
<b>Figure III.19:</b> graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 1er default .....	61
<b>Figure III.20:</b> graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 2eme default...	62
<b>Figure III.21:</b> graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 3eme default...	62
<b>Figure III.22:</b> graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 4eme default...	62

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## Introduction générale

L'histoire des pompes hydrauliques a commencé au 1er siècle en chine. Et au XVIIe siècle les pompes modernes ont été développées. De nos jours, l'utilisation des pompes diesel et électriques peuvent avoir des débits très élevés et des pressions très élevées plus de 400 bars suivant les besoins de l'utilisateur.

Toujours en quête de puissance, beaucoup de types de pompes ont été inventés afin de répondre aux besoins actuels dans le domaine de l'extraction. Plusieurs types de pompe de forage, (duplex double effet et triplex simple effet) ont été inventés et chacune d'entre elles possèdent ses propres caractéristiques, mais ont toutes le même mode de fonctionnement.

Les pompes de forage les plus utilisées dans les chantiers sont les pompes à piston triplex à simple effet. Utilisation intensive et continue ou presque sans arrêt de ces pompes dans les opérations de forage provoque plusieurs pannes, C'est pour cela qu'on a choisi d'étudier la maintenance de la pompe triplex à simple effet. L'amélioration de ses performances dépend des méthodes de son exploitation ; c'est pourquoi elle doit assurer la bonne mise en marche de ces dernières, et surtout, trouver des solutions aux inévitables pannes pouvant causer l'arrêt de la chaîne, ce qui relève du domaine de la maintenance prédictive.

La maintenance prédictive est ce qui nous permet de détecter d'éventuelles apparitions d'anomalies par le biais d'une intelligence artificielle et notamment l'apprentissage automatique constitué d'algorithmes d'apprentissage qui permettent de faire des prédictions de très grande précision et à long terme grâce à leur capacité à inférer des modèles prédictifs qui se basent sur l'exploitation des historiques des données collectées effectuent des opérations de maintenance tout en optimisant le taux de disponibilité des machines et augmentant ainsi leur productivité.

Le mémoire est structuré en trois chapitres, en dehors de l'introduction générale, la conclusion générale et l'annexe

Le premier chapitre est consacré à l'étude théorique de la maintenance, la définition générale, la classification de la maintenance, les buts et l'importance de la maintenance, les avantages et les inconvénients de la maintenance prédictive, la maintenance prédictive, et à la fin du chapitre nous parlons d'intelligence artificielle et apprentissage automatique.

Le deuxième chapitre sera consacré aux généralités des pompes est à la présentation des pompes triplex et leur principe de fonctionnement et à la fine de ce chapitre on a traité les parties de la pompe triplex

Ou troisième et le dernier chapitre nous effectuerons la simulation du comportement de la pompe Triplex 1051 à travers la Toolbox Simscape de Matlab Simulink.

# CHAPITRE I

### I.1 Introduction :

Avec les avancées technologiques notamment l'apparition de l'intelligence artificielle, de nouvelles méthodes de prévision ont vu le jour, à l'image de l'Apprentissage Automatique et l'Apprentissage Profond. Nous nous concentrons dans cette partie sur le domaine de de la maintenance, et plus précisément ce qui est appelé aujourd'hui les systèmes de maintenance prédictive dans le domaine de l'industrie.

Dans ce chapitre, nous définirons brièvement la maintenance, ses différentes formes, la surveillance des données et les systèmes de prédiction des pannes, mais tout d'abord nous expliciterons la source de données de ces systèmes, ainsi que les différents traitements nécessaires afin d'extraire et d'exploiter efficacement ces données dans le processus de prédiction.

### I.2 Définition de La Maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-010, la maintenance est définie comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». En effet, maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, réparation, amélioration, vérification, ...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production ainsi que la sécurité d'opération. [1]

### I.3 Politique de La Maintenance

La politique de maintenance peut être répertoriée en deux grandes catégories la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est la maintenance qui intervient suite à la défaillance du système alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement. Le recours à l'une ou à l'autre de ces politiques diffère suivant l'élément considéré mais aussi le type de structure, la politique d'exploitation et de suivi, les coûts, la disponibilité de l'information, etc.

Dans la figure (I.1) nous présentons les différentes politiques suivant le type de maintenance étudié. Alors que la mise en place d'opérations correctives ne dépend que de l'occurrence d'une panne, les maintenances préventives peuvent être programmées en fonction de différents paramètres. [8]

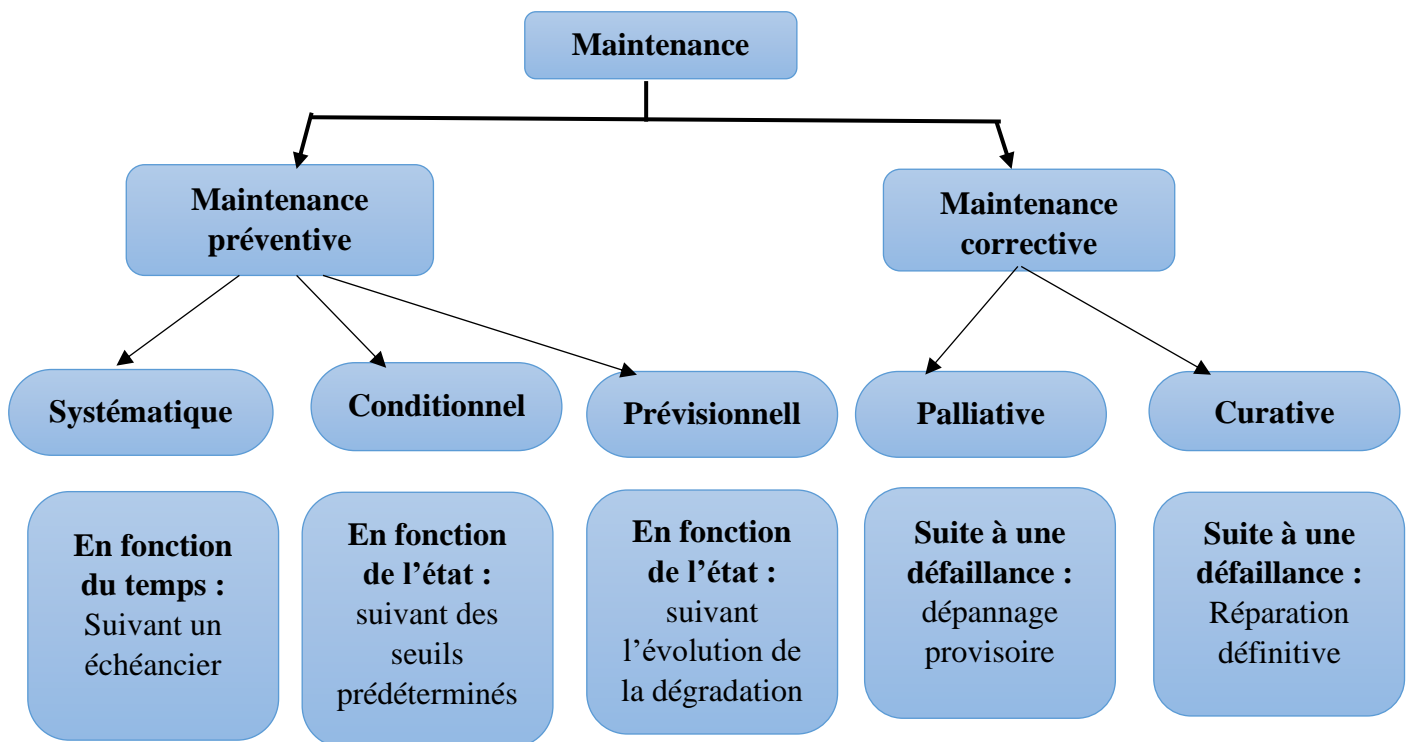


Figure I 1: les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée

## I.4 Les Objectifs de La Maintenance

### I.4.1 Les objectifs de coût

- Minimiser les dépenses de maintenance.
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation.
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépense imprévue

### I.4.2 Les objectifs opérationnels

- Maintenir le bien durable :
  - ✚ Dans un état acceptable.
  - ✚ Dans des meilleures conditions.
- Assure la disponibilité maximale à un coût raisonnable.

- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
- Maximiser la durée de vie de bien. Remplacer le bien à des périodes prédéterminées. Assurer au bien des performances de haute qualité.
- Assurer au bien un fonctionnement sûr et efficace. Obtenir de l'investissement un rendement maximum. Garder au bien une présentation suffisamment satisfaisante.
- Maintenir le bien dans un état de propreté absolue [4]

### **I.5 Les Niveaux de Maintenance**

Le degré du développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux. Ces niveaux sont donnés par la norme à titre indicatif pour servir de guide et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type de bien maintenir. [4]

<b>NIVEAU</b>	<b>ACTIVITES</b>
<i>NIVEAU1</i>	<i>RONDE PETIT ENTREIEN, RAISSAGE</i>
<i>NIVEAU2</i>	<i>ECHANGE STANDARD, CONTROLES DU BON FONTIONNEMENTE</i>
<i>NIVEAU3</i>	<i>DIAGNOSTIC, PETITES REPARATION, OPERATIONS MINEURES PREVENTIVES</i>
<i>NIVEAU4</i>	<i>TRAVAUX DE MAINTENANCE PREVENTIVE ET CORRECTIVE, REGLAGE DES MOYENS DE MESURE</i>
<i>NIVEAU5</i>	<i>RENOVATION, RECONSTRUCTION ET REPARATIONS IMPORTES</i>



**Tableau I 1:** Les niveau de maintenance

## I.6 Les Types de Maintenance

Généralement, la maintenance est divisée en trois types :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive
- La maintenance prédictive

### I.6.1 Maintenance Corrective

La maintenance corrective est définie par la norme AFNOR NF X 60 010 comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue deux types d'intervention : Palliative (dépannage) qui basé sur l'opération de dépannage, parce que la défaillance est partielle.

Curative (réparation) qui basé sur l'opération de réparation parce que la défaillance est totale [2]

### I.6.2 Maintenance Préventive

Exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs, et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de la dégradation du fonctionnement du bien, et augmenter la fiabilité et la disponibilité es machines. Cette maintenance se dissocie en [I. Rasovska 2006] :

**La maintenance systématique** : exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage indépendamment de l'état du bien. Elle repose sur le calcul du MTBF (Mean Time Between Failures, Temps Moyen de Bon Fonctionnement).

**La maintenance conditionnelle** : basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. L'intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les machines au maximum possible en diminuant le temps d'arrêt dû aux opérations de maintenance corrective systématique.

**La maintenance prévisionnelle** : exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs. [3]

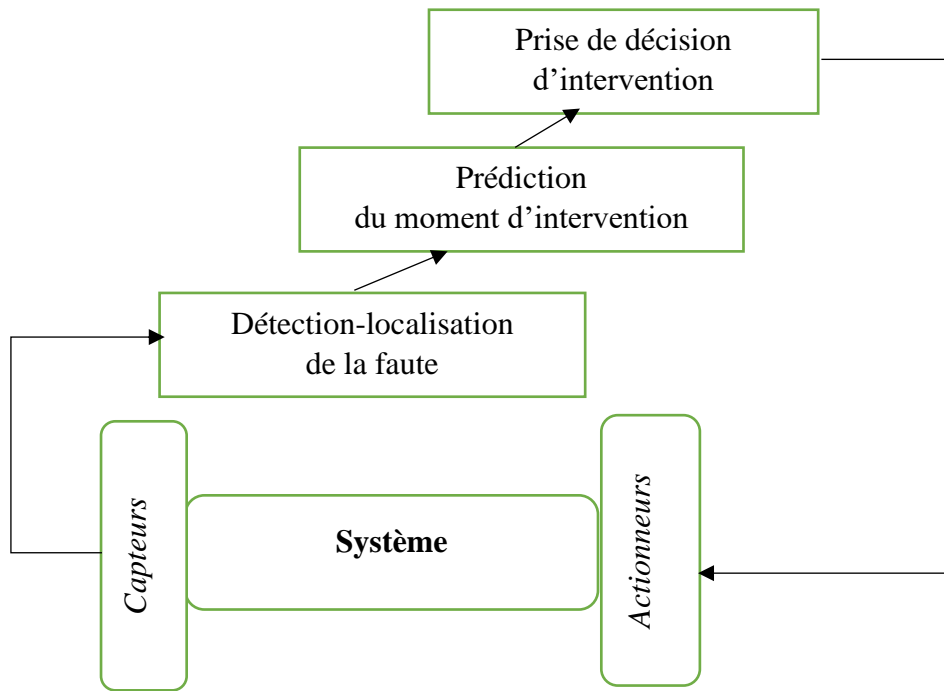
### I.6.3 Maintenance Prédictive

La maintenance prédictive permet de détecter des anomalies sur des machines avant qu'elles ne deviennent trop graves. La force de la maintenance prédictive est donc d'anticiper les pannes. Ce qui évite tout arrêt de la chaîne de production ; qui peut engendrer des réparations coûteuses.

Fondée sur l'analyse de données collectées grâce à des capteurs intelligents positionnés sur l'équipement, elle permet de pousser à bout la logique du « juste à temps » et ainsi d'optimiser l'usage d'une machine avant de procéder à sa réparation ou à son remplacement, juste avant qu'une panne ne se produise.

La maintenance prédictive permet de prévoir les incidents techniques plutôt que de les subir. Grâce à cette stratégie, il est ainsi possible de programmer des interventions que lorsque des signaux émis par une machine reflètent une panne probable à court terme. C'est donc l'état réel de l'actif, et non un calendrier théorique, qui déclenche une intervention. En comparant avec les stratégies de maintenance corrective et préventive, la maintenance prédictive présente les avantages suivants :

- L'équipement nécessitant une maintenance est arrêté avant une panne imminente.
- Réduire le temps total consacré à la maintenance des équipements.
- Réduire les coûts de maintenance en évitant les dégâts catastrophiques.
- Allonger la durée de vie des équipements et des processus. [5]



**Figure I 2:** Fondements de la maintenance prédictive

### I.6.3.1 Les Techniques de La Maintenance Prédictive

Diverses technologies peuvent et doivent être utilisées dans le cadre d'un programme global de maintenance prédictive. Parce que les systèmes mécaniques ou les machines représentent la plupart des équipements de l'usine, la surveillance des vibrations est généralement l'élément clé de la plupart des programmes de maintenance prédictive.

Par conséquent, un programme complet de maintenance prédictive doit inclure d'autres techniques de surveillance et de diagnostic. Ces techniques comprennent la surveillance des vibrations, la thermographie, la tribologie, les paramètres de processus, l'inspection visuelle, les ultrasons et d'autres techniques d'essais non destructifs.[6]

#### I.6.3.1.1 Surveillance des vibrations

Parce que la plupart des installations sont constituées de systèmes électromécaniques, la surveillance des vibrations est le principal outil de maintenance prédictive. Au cours des 20 dernières années, la plupart de ces programmes ont adopté des collecteurs de données monocanaux à microprocesseur et des logiciels Windows® pour acquérir, gérer, suivre et évaluer l'énergie vibratoire créée par ces systèmes électromécaniques. Bien que cette approche soit une méthodologie de maintenance prédictive précieuse, les limites de ces systèmes peuvent limiter les avantages potentiels.

La surveillance des installations concourt à limiter le niveau d'entretien préventif. L'analyse vibratoire constitue un outil de détection puis de diagnostic de défauts de fonctionnement des installations [6]

### **I.6.3.1.2 Thermographie :**

Définition AFNOR : « la thermographie est la technique permettant d'obtenir, au moyend'un appareillage approprié, l'image thermique d'une scène observée dans un domaine spectralde l'infrarouge ».

Thermographie signifie « écrire avec la chaleur » tout comme photographie signifie « écrire avec la lumière ». Ce cliché ainsi généré est appelé thermo gramme ou image thermique. La démarche consiste donc à produire des images à partir de radiations thermiques invisibles.

De ce fait, la thermographie infrarouge est un moyen instantané de détection deszones à problèmes, elle met en évidence des défauts que les méthodes plus conventionnelles ne peuvent déceler.

La thermographie est une technique de maintenance prédictive qui peut être utilisée pour surveiller l'état de la machinerie, des structures et des systèmes de l'usine, et non seulement de l'équipement électrique. Il utilise une instrumentation conçue pour surveiller l'émission d'énergie infrarouge (c'est-à-dire la température de surface) pour déterminer les conditions de fonctionnement. En détectant des anomalies thermiques (c'est-à-dire, des zones qui sont plus chaudes ou plus froides qu'elles ne devraient l'être), un technicien expérimenté peut localiser et définir une multitude de problèmes naissants dans l'installation.[6]

### **I.6.3.1.3Tribologie**

Tribologie est le terme général qui se réfère à la dynamique de conception et de fonctionnement de la structure de support de palier-lubrification-rotor des machines. Deux techniques principales sont utilisées pour la maintenance prédictive : l'analyse de l'huile de graissage et l'analyse des particules d'usure.[6]

### **I.6.3.1.4 Inspections visuelles**

L'inspection visuelle était la première méthode utilisée pour la maintenance prédictive. Presque depuis le début de la révolution industrielle, les techniciens de maintenance effectuaient quotidiennement des « walkdowns » des systèmes critiques de production et de fabrication afin

d'identifier les défaillances potentielles ou les problèmes de maintenance susceptibles d'affecter la fiabilité, la qualité des produits et les coûts de production. Une inspection visuelle est toujours un outil de maintenance prédictive viable et devrait être inclus dans tous les programmes de gestion de la maintenance de l'installation totale. [6]

D'autres techniques pouvant soutenir la maintenance prédictive comprennent les émissions acoustiques, les courants de Foucault, les particules magnétiques, les contraintes résiduelles et la plupart des méthodes non destructives traditionnelles.

### **I.7 Apprentissage Automatique**

L'Apprentissage Automatique est une discipline de l'Intelligence Artificielle. Il consiste à utiliser des machines pour l'inférence d'un modèle de traitement de l'information selon certains critères de performances à partir d'observations. Ce modèle de traitement est impossible à déterminer à l'aide d'algorithmes classiques pour la simple raison que leurs résultats sont généralement médiocres et coûteux en temps.

L'Apprentissage Automatique est applicable à tous les domaines, pour des tâches simples ou complexes, afin d'améliorer les résultats grâce à l'expérience. On peut citer le domaine industriel (routage de paquets, contrôle et maintenance de machines, etc.), les jeux (Backgammon, Échecs, etc.) ou même le domaine d'imagerie médicale (reconnaissance d'objets).

Le but même de l'Apprentissage Automatique est la prédiction de nouvelles données à partir d'un historique appris.

Le but de l'Apprentissage Automatique (AA) est de produire des modèles d'Apprentissage traitant un ensemble de caractéristiques (attributs). Par exemple, les caractéristiques d'un bilan médical ce sont généralement les valeurs qui ont été mesurées (âge, pression artérielle, niveau de cholestérol, etc.). Les tâches de l'AA peuvent être des tâches de classification, de Régression ou de détection d'anomalies. [5]

### **I.8 Les types d'apprentissage automatique**

L'apprentissage automatique ou Machine Learning (ML) est une branche de l'intelligence artificielle qui consiste à programmer des algorithmes permettant d'apprendre automatiquement à partir des données et d'expériences passées ou par interaction avec

l'environnement. Ce qui rend l'apprentissage machine vraiment utile est le fait que l'algorithme peut "apprendre" et adapter ses résultats en fonction de nouvelles données sans aucune programmation à priori.

Il existe plusieurs façons d'apprendre automatiquement à partir des données dépendamment des problèmes à résoudre et des données disponibles. La figure (I.3) donne un sommaire des types d'apprentissage automatique les plus connus. [7]

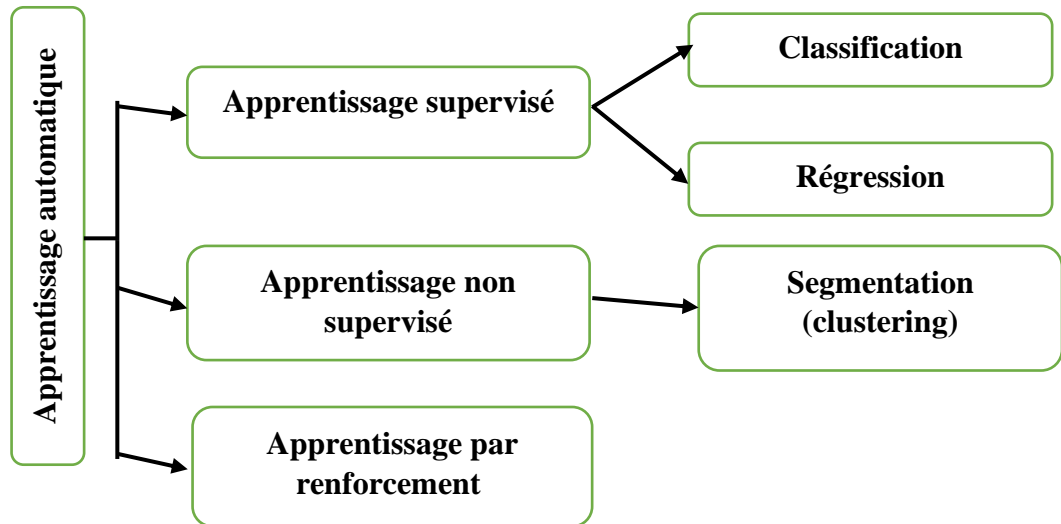


Figure I 3: Les grandes classes d'apprentissage automatique

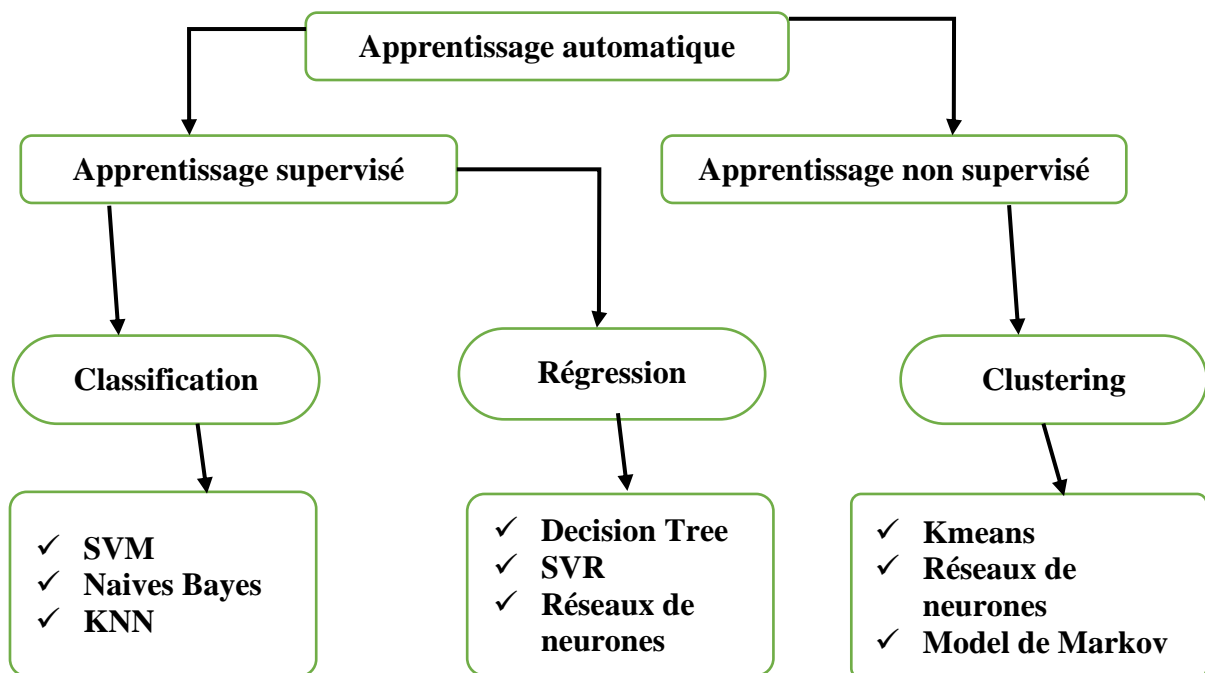


Figure I 4: Taxonomie des modèles d'apprentissage automatique

### I.8.1 L'apprentissage supervisé

#### CLASSIFICATION

Dans l'apprentissage automatique et les statistiques, la classification est le problème qui consiste à identifier à quel groupe de catégories (sous-populations) une nouvelle observation appartient, à partir d'un ensemble d'apprentissages contenant des données (ou instances) dont l'appartenance à une catégorie est connue. Par exemple, attribuer un courrier électronique donné à la classe "spam" ou "non-spam" et attribuer un diagnostic à un patient donné en fonction des caractéristiques observées du patient (sexe, pression artérielle, présence ou non de certains symptômes, etc.). La classification est considérée comme un exemple d'apprentissage supervisé et de reconnaissance de formes, c'est-à-dire un apprentissage dans lequel un ensemble de formations d'observations correctement identifiées est disponible. La procédure non supervisée correspondante est connue sous le nom de clustering. Elle consiste à regrouper des données en catégories en fonction d'une mesure de la similarité inhérente ou de la distance. [8]

#### RÉGRESSION

L'analyse de régression est largement utilisée pour la prévision, pour comprendre quelles variables indépendantes sont liées à la variable dépendante et pour explorer les formes de ces relations. Dans des circonstances restreintes, une analyse de régression peut être utilisée pour déduire des relations de cause à effet entre les variables indépendantes et dépendantes. [8]

### I.8.2 L'apprentissage non-supervisé

Quand le système ou l'opérateur ne dispose que d'exemples, mais non d'étiquettes, et que le nombre de classes et leur nature n'ont pas été prédéterminés, on parle d'apprentissage non supervisé (ou clustering). Aucun expert n'est disponible ni requis. L'algorithme doit découvrir par lui-même la structure plus ou moins cachée des données. Le système doit ici dans l'espace de description (la somme des données) cibler les données selon leurs attributs disponibles, pour les classer en groupe homogènes d'exemples. La similarité est généralement calculée selon la fonction de distance entre paires d'exemples. C'est ensuite à l'opérateur d'associer ou déduire du sens pour chaque groupe. Divers outils mathématiques et logiciels peuvent l'aider. On parle aussi d'analyse des données en régression. Si l'approche est probabiliste (c'est à dire que chaque exemple au lieu d'être classé dans une seule classe est

associé aux probabilités d'appartenir à chacune des classes), on parle alors de « *soft clustering* » (par opposition au « *hard clustering* »). [9]

Exemple : Un épidémiologiste pourrait par exemple dans un ensemble assez large de victimes de cancers du foie tenter de faire émerger des hypothèses explicatives, l'ordinateur pourrait classifier différents groupes, qu'on pourrait ensuite associer par exemple à leur provenance géographique, génétique, à l'alcoolisme ou à l'exposition à un métal lourd ou à une toxine telle que l'aflatoxine [10]

### **I.8.3 L'apprentissage semi-supervisé**

Effectué de manière probabiliste ou non, il vise à faire apparaître la distribution sous-jacente des « *exemples* » dans leur espace de description. Il est mis en œuvre quand des données (ou « *étiquettes* ») manquent... Le modèle doit utiliser des exemples *non-étiquetés* pouvant néanmoins renseigner. Exemple : En médecine, il peut constituer une aide au diagnostic ou au choix des moyens les moins onéreux de tests de diagnostics. [10]

### **I.8.4 L'apprentissage partiellement supervisé (probabiliste ou non) :**

Quand l'étiquetage des données est partiel. C'est le cas quand un modèle énonce qu'une donnée n'appartient pas à une classe *A*, mais peut-être à une classe *B* ou *C* (*A*, *B* et *C* étant 3 maladies par exemple évoquées dans le cadre d'un diagnostic différentiel). [10]

### **I.8.5 L'apprentissage par renforcement**

L'apprentissage se fait sans supervision, par interaction avec l'environnement (principe d'essai / erreur) et, en observant le résultat des actions prises. Chaque action de la séquence est associée à une récompense. Le but est de déterminer la stratégie comportementale optimale afin de maximiser la récompense totale. Pour cela, un simple retour des résultats est nécessaire pour apprendre comment la machine doit agir. Ceci est appelé le signal de renforcement. Il peut être très avantageux pour la prévision financière à haute fréquence où l'environnement est dynamique et en conséquence, il est difficile de trouver ou d'automatiser manuellement des stratégies efficaces. [7]

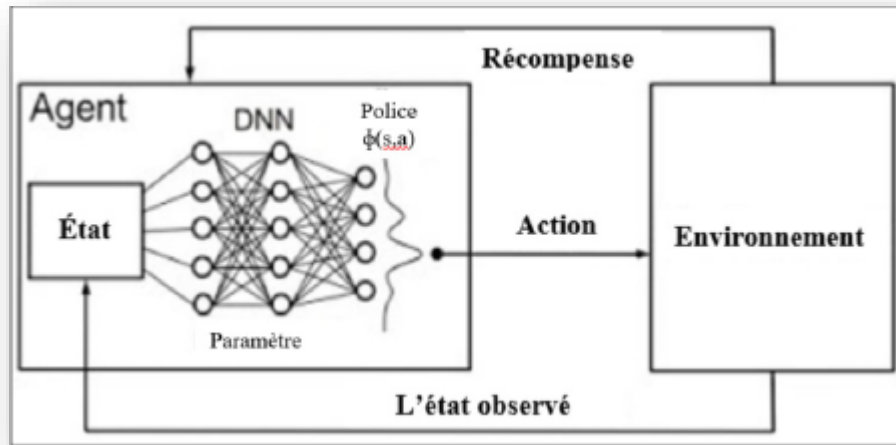


Figure I 5: schéma descriptive de l'apprentissage par renforcement

## I.9 Les algorithmes utilisés

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux méthodes qui sont souvent utilisées en Apprentissage Automatique

### I.9.1 Régression Linéaire

Le modèle de régression linéaire désigne un modèle qui cherche à établir une relation linéaire entre une variable, dite expliquée, et une ou plusieurs variables, dites explicatives.

Autrement dit, il consiste à rechercher la droite permettant d'expliquer le comportement d'une variable statistique  $Y$  comme étant une fonction affine d'une autre variable statistique  $X$  :

$$Y = F(X) \quad [1]$$

On considère le modèle pour l'individu  $i$ . Pour chaque individu, la variable expliquée s'écrit comme une fonction linéaire des variables explicatives, tel que :

$$y = y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_K x_{k,i} + \varepsilon_i \quad [2]$$

Où :

\*  $Y_i, X_i$  sont fixes et  $\varepsilon_i$  représente l'erreur.

\*  $\beta$  le vecteur des paramètres du modèle ( $\beta [0], \dots, \beta[k]$ )

En Apprentissage Automatique, la méthode de régression linéaire est considérée comme une méthode d'apprentissage supervisé utilisée pour prédire une variable quantitative. Le modèle de régression linéaire est aussi bien utilisé pour chercher à prédire un phénomène que pour chercher à l'expliquer. Après avoir estimé un modèle de régression linéaire, on peut prédire quel serait le niveau de  $Y$  pour des valeurs particulières de  $X$ . Le modèle de régression linéaire est souvent estimé par la méthode des moindres carrés, mais il existe aussi de nombreuses autres méthodes pour estimer ce modèle. [5]

### I.9.2 Les réseaux de neurones

Le réseau neuronal s'inspire du fonctionnement du système nerveux humain. C'est une modélisation mathématique et algorithmique qui simule les unités de "calcul" que nous avons par milliards. Le modèle se compose de trois couches principales : couche de données d'entrée (exemple, les caractéristiques d'une voiture), couche (s) cachée(s) (souvent appelée « boîte noire ») et couche de sortie (exemple, prix estimé de la voiture).

Le réseau neuronal est un réseau interconnecté de neurones artificiels avec une règle pour ajuster la force ou le poids des connexions entre les unités en réponse à des données fournies extérieurement (Stanley et al., 1998).

Un neurone (un perceptron) est une unité de calcul. Elle comporte :

- \* Un vecteur comme entrée (noté  $X$ )
- \* Un vecteur de poids (noté  $W$ ) avec un biais  $W_0$
- \* Une valeur de sortie (noté  $Y$ )

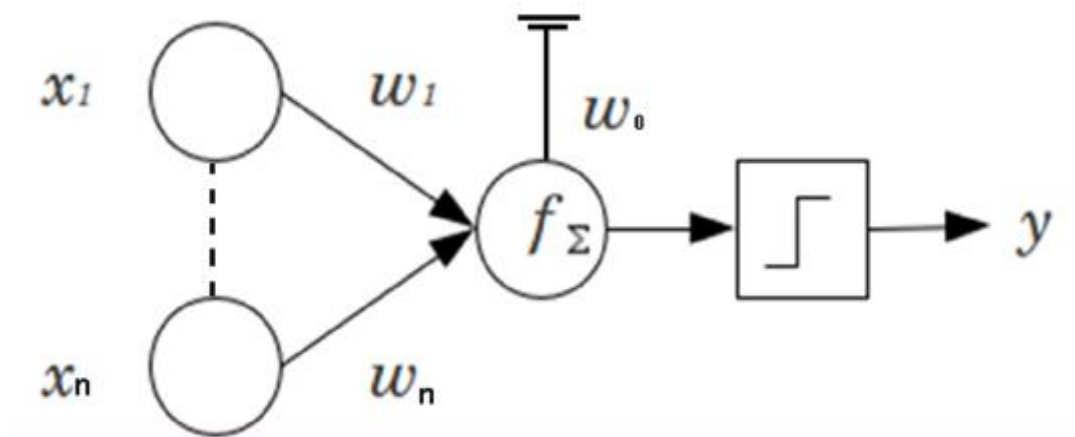


Figure I 6: Neurone artificiel

Le principe de fonctionnement est assez simple, chaque neurone ayant comme entrée un vecteur  $X$  le multiplie par un vecteur de poids  $W$ . Le résultat de cette opération est, par la suite, injecté comme entrée dans une fonction d'activation  $F$ . On pourra noter le résultat comme ci :

$$y = F_{\text{activation}}(\sum X_n X w_n) \quad \mathbf{[3]}$$

La fonction  $f(x)$  d'activation peut être une fonction :

- Seuil avec un résultat binaire : exemple si  $f \sigma > 0.5$  alors  $\text{output}=1$ , sinon  $\text{output}=0$ ,
- À Sigmoidale
- À tangente hyperbolique

Il existe divers types de réseaux de neurones : les réseaux de neurones multicouches (MLP) utilisant la rétro propagation du gradient de l'erreur, mais aussi d'autres types de réseaux encore plus efficaces tels que les réseaux de neurones récurrents LSTM (Long Short-Term Memory) et les réseaux de neurones convolutifs. [5]

### I.9.3 Méthodes des K Plus Proches Voisins

La méthode des K plus proches voisins (KPPV) de l'anglais K-Nearest Neighbors (KNN), est une méthode d'apprentissage supervisé. Dans ce cadre, on dispose d'une base de données d'apprentissage constituée de  $N$  couples « entrée-sortie ». Pour estimer la sortie associée à une nouvelle entrée  $X$ , la méthode des k Plus Proches Voisins consiste à prendre en compte (de façon identique) les  $K$  échantillons d'apprentissage dont l'entrée est la plus proche de la nouvelle entrée  $X$ , selon une distance à définir.

Par exemple, dans un problème de classification, on retiendra la classe la plus représentée parmi les  $k$  sorties associées aux  $k$  entrées les plus proches de la nouvelle entrée  $x$ . [5]

### I.9.4 Classification Naïve de Bayes

C'est un classifieur linéaire probabiliste basé sur le théorème de Bayes avec une indépendance naïve, c.-à-d. qu'il se base sur le fait qu'une caractéristique pour une classe est indépendante des autres caractéristiques. Il s'agit d'un apprentissage supervisé très simple à implémenter mais qui donne de très bons résultats de classification. [5]

### I.9.5 Les arbres de décision

Un arbre de décision est la représentation graphique d'une procédure de classification ou d'association. Cette association est définie en commençant à la racine de l'arbre et en descendant dans l'arbre selon les réponses aux tests qui étiquettent les nœuds internes. La classe associée est alors la classe par défaut associée à la feuille qui correspond à la description. La procédure de classification obtenue a une traduction immédiate en termes de règles de décision. Les systèmes de règles obtenus sont particuliers car l'ordre dans lequel on examine les attributs est fixé et les règles de décision sont mutuellement exclusives. C'est un outil d'aide à la décision représentant un ensemble de choix sous la forme graphique d'un arbre. Les différentes décisions possibles sont situées aux extrémités des branches (les feuilles) et sont atteintes en fonction de décisions prises à chaque étape. [5]

Il existe plusieurs algorithmes qui implémentent les arbres de décision à l'image d'ID3 ou M5 ou J48.

### I.9.6 Random Forest

Random Forest ou forêts d'arbres décisionnels aléatoires est une technique d'Apprentissage Automatique. L'algorithme des forêts d'arbres décisionnels effectue un apprentissage (régression ou classification) sur de multiples arbres de décision ; entraînés sur des sous-ensembles de données légèrement différents.

L'algorithme se repose sur l'apprentissage par arbre de décision, il se procède comme suit :

1. Créer  $B$  nouveaux ensembles d'apprentissage par un double processus d'échantillonnage :
  - a) - sur les observations, en utilisant un tirage avec remise d'un nombre  $N$  d'observations identique à celui des données d'origine (technique connue sous le nom de bootstrap),
  - b) - sur les  $p$  prédicteurs, en n'en retenant qu'un échantillon de cardinal  $m < p$  (la limite n'étant qu'indicative).
2. Sur chaque échantillon, on entraîne un arbre de décision selon une des techniques connues, en limitant sa croissance par validation croisée.
3. On stocke les  $B$  prédictions de la variable d'intérêt pour chaque observation d'origine.

4. La prédiction de la forêt aléatoire est alors un simple vote majoritaire (Ensemble Learning).

Le principal revers de cette méthode est que l'on perd l'aspect visuel des arbres de décision uniques. Elle effectue cependant des prédictions très précises par rapport aux arbres décisionnels ou divers autres modèles de régression puisqu'elle capture les variances de plusieurs variables en entrée en parallèle et les inclue dans la prédiction

### I.9.7 Machines à Vecteurs de Support

Les SVM, de l'anglais Support Vectors Machines, représente un des séparateurs à vaste marge, une technique d'apprentissage supervisé adaptée aux données à grande dimensionnalité et pouvant être utilisée pour la classification, la distribution et la régression.

Les SVM reposent sur deux concepts : la marge maximale et la fonction noyau permettant ainsi de traiter les problèmes linéaires et non linéaires. La marge maximale permet de trouver la frontière séparatrice optimale des données à partir d'un ensemble d'apprentissage. Quant aux données non séparables linéairement, on utilise la fonction noyau qui utilise l'hypothèse qu'une probable séparation linéaire existe dans un plan dimensionnel plus grand et donc transforme les données en des données de plus grande dimensionnalité (peut arriver jusqu'à une dimensionnalité infinie)

Il existe plusieurs variations d'optimisation pour les algorithmes SVM selon le problème, pour la classification, C-SVM et V-SVM sont les plus utilisés, on peut y ajouter le one-class SVM. Pour la régression, nous retrouvons SVR (epsilon SVR) et V-SVR (Simple VectorRegression). Ces divers algorithmes diffèrent principalement de par leurs fonctions de calcul d'erreur.

Cette section nous a permis d'introduire l'Intelligence Artificielle et ses différentes méthodes et algorithmes qui sont utilisés pour l'exploitation des données dans l'industrie et notamment la maintenance prédictive. Dans ce qui suit, nous présenterons quelques travaux récents que nous avons jugés pertinents par rapport à leurs approches et leurs résultats. [5]

# CHAPITRE II

### II.1 Introduction

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide. [1]

Ainsi, on peut vouloir augmenter le **débit** (accroissement d'énergie cinétique) **ou/et** augmenter la **pression** (accroissement d'énergie potentielle) pour des fluides gazeux, liquides, visqueux, très visqueux.... C'est pourquoi la diversité des pompes est très grande.

Nous distinguerons deux grandes catégories de pompes :

- les pompes volumétriques : ce sont les pompes à piston, à diaphragme, à noyau plongeur...et les pompes rotatives telles que les pompes à vis, à engrenages, à palettes, péristaltiques.... Lorsque le fluide véhiculé est un gaz, ces pompes sont appelées compresseur.

- les turbopompes : ces pompes sont toutes rotatives. Ce sont des pompes centrifuges, à hélice, ou hélico centrifuges.[1]

### II.2 Rôle des pompes

Les pompes hydrauliques sont des pompes conçus pour transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

Pendant son fonctionnement, l'action mécanique de la pompe remplit deux fonctions :

- ✓ En premier lieu, elle crée un vide partiel à l'aspiration, ce qui permet à la pression atmosphérique régnant dans le réservoir d'obliger le liquide à remonter la canalisation jusqu'à la pompe.
- ✓ En second lieu, elle assure le transport du liquide jusqu'à l'orifice de refoulement. Physiquement parlant, une pompe est une machine qui a pour rôle de déplacer un fluide liquide ou gazeux – d'un point à un autre en lui communiquant une augmentation de pression au cours de passage à travers le corps de la pompe.[2]

### II.3 Classification des pompes

Les pompes sont des machines permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

L'énergie requise pour faire fonctionner ces machines dépend donc des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements :

- **Les propriétés du fluide** : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- **Les caractéristiques de l'installation** : longueur, diamètre, rugosité, singularités ...
- **Les caractéristiques de l'écoulement** : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression

Certaines pompes fonctionnent avec un mouvement alternatif et d'autres, avec un mouvement de rotation continu. Les types de mouvement ne peuvent pas permettre une classification rationnelle. Par contre, le mode d'action des pompes permet de les classer :

- Pompes centrifuges : rotatives.
- Pompes volumétriques : alternatives ou rotatives.

Les pompes se subdivisent en deux catégories principales, et chacune d'entre elles se subdivisent en d'autres types ou catégories secondaires. Selon le schéma suivant [2]

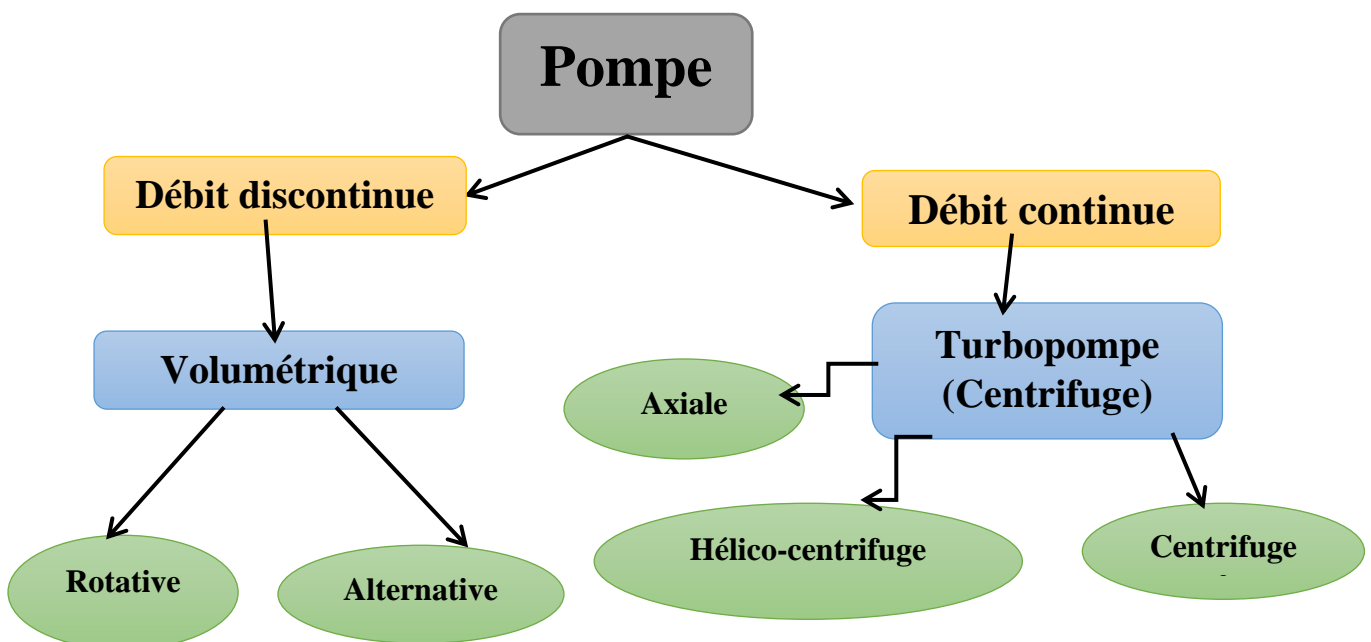


Figure II. 1: les différents types des pompes

### II.3.1 Turbopompe (Centrifuge)

Les pompes centrifuges, hélico-centrifuges et hélices. Cette famille peut être caractérisée par le fait que la pression  $y$  est générée soit par l'action des forces centrifuges, soit par la conversion en pression de l'énergie cinétique communiquée au fluide (en le ralentissant).

Dans la pratique, ces deux modes de génération de pression sont associés, même pour une pompe hélice, lorsque l'on s'écarte du point nominal. Les pompes roto dynamique constituent un système ouvert et en équilibre, où le fluide n'est jamais enfermé dans un volume totalement clos.

Cette famille de pompes est capable d'atteindre des débits  $Q$  très élevés, allant jusqu'à  $105\text{m}^3/\text{h}$ . Encore il convient de remarquer que cette limite n'est pas de caractère technologique, et que des débits sensiblement plus grands seraient réalisables, s'il y avait un appel du marché dans ce sens

Une turbo pompe est constituée d'une *partie tournante* et d'une autre *partie fixe* :

- ❖ La partie tournante comprend l'arbre avec l'impulseur.
- ❖ La partie fixe comprend le corps avec les supports de palier. [3].

### II.3.2 Constitution d'une pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont de construction très simple en version de base. Elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation le rotor appelée aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelée corps de pompe ou volute.

Ces machines se composent donc :

- D'un distributeur : sorte de tubulure qui sert à conduire l'eau avec une vitesse et une direction convenable dans l'axe de la pompe, il est généralement constitué par un cône convergent qui permet de réaliser une meilleure disposition des filets liquides en améliorant le parallélisme et l'égalité des vitesses.
- D'une roue : constituée par un moyen porté par un arbre et munie d'aubes à l'intérieur de deux flasques ouverts, semi-ouverts ou fermés. Entre l'entrée et la sortie de la roue, l'énergie hydraulique totale de la veine fluide est augmentée. [4]

Cette augmentation provient essentiellement d'un accroissement de l'énergie cinétique, cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression par un ralentissement progressif qui est obtenu dans une pièce placée à l'extérieur de la roue et qui, suivant le cas, peut-être :

- Un diffuseur lisse.
- Un diffuseur à ailettes.
- Un colimaçon volute.

Dans tous les cas, cette dernière pièce se termine par un cône divergent qui contribue encore à ralentir la vitesse du fluide et à transformer sous forme de pression l'énergie cinétique correspondante.[4]

Les pompes centrifuges peuvent être à axe horizontal ou vertical et leur utilisation est très répandue dans la mesure où elles peuvent s'adapter à tous les liquides, exception faite des produits à grande viscosité.

- D'un corps de pompe : construit en fonte, en générale, en un seul bloc pour les pompes monocellulaires horizontales. Dans le corps de pompe se trouve tous les logements et supports destinés à l'arbre, à savoir : coussinets, diaphragmes, joints ainsi que les goulottes de refoulement et d'aspiration.
- Tubulure d'aspiration : il fait normalement partie du corps de pompe et la conduite d'arrivée y est reliée.
- Tubulure de refoulement : comme l'orifice d'aspiration, il fait partie du corps de pompe et la conduite de refoulement y est reliée.
- Étanchéité : Pour éviter les pertes ou l'écoulement du fluide autour de l'arbre à l'endroit où celui-ci se trouve en saillie du corps de pompe, on utilise des garnitures et des joints. Les matériaux de construction utilisés peuvent être de différents métaux ou bien des fibres antifriction, il faut avoir un système de refroidissement forcé sur les pompes où l'on a monté des joints exclusivement métalliques.
- Arbre et chemises : l'arbre est l'élément de la pompe sur lequel s'emboitent les roues mobiles et qui reçoit la force motrice utilisée. Les chemises sont des revêtements métalliques qui préservent l'arbre des corrosions, érosions et glissement.
- Coussinets : Les coussinets supportent l'arbre dans le sens radial et axial et le roulement sur l'axe de tout le groupe rotor. Les matériaux de construction utilisés peuvent être en acier revêtu de métaux blancs ou rose antifriction
- Collecteur à volute : l'on peut dire qu'en général le corps de pompe prend sa propre physionomie à partir de la forme du transporteur, nous disons donc que le transporteur est la chambre située autour du refoulement de la roue mobile qui recueille et envoie le fluide aspirer de façon progressivement radiale.

- Anneaux d'usure : ce sont des anneaux métalliques montés en série jumelés sur le moyeu de la roue mobile et sur le corps de la pompe. Ces anneaux sont construits dans des métaux différenciés afin d'empêcher le grippage en cas de glissement. Ces anneaux assurent la séparation entre le refoulement de la roue mobile et l'œillard de celle-ci. Le rendement de la pompe dépend en grande partie du degré de l'usure de ces anneaux [4].

### II.3.2.1 Pompe Axiale

Les pompes axiales, pompes à hélice ou hélicoïde sont des pompes destinées à générer un fort débit et une faible variation de pression. Elles sont utilisées principalement dans l'irrigation. L'hélice de pompe axiale est comparable à l'hélice de bateau carénée. Le point de fonctionnement de l'hélice de pompe sera déterminé par le débit souhaité. Ce n'est plus la poussée qui sera recherchée mais la variation de pression. L'hélice sera réalisée pour qu'au débit souhaité elle réalise la différence de pression égale à la perte de charge du conduit où circule le fluide [5].



**Figure II. 2:** pompe axiale

### II.3.2.2 Pompe hélico-centrifuge

Comme son nom l'indique, la pompe hélico-centrifuge est à la fois en partie pompe axiale et pompe centrifuge. Cette pompe est d'un grand intérêt pour l'irrigation par pompage car elle constitue un bon compromis permettant d'éviter le désavantage de la hauteur de refoulement faible d'une pompe hélice, et en même temps avoir des rendements et de débits supérieurs à ceux d'une pompe centrifuge à volute. De plus, les pompes à débit axial fonctionnent uniquement à aspiration nulle tandis que les pompes hélico-centrifuges peuvent fonctionner à des hauteurs d'aspiration non nulles tout en n'étant pas à auto-amorçage [5].



**Figure II. 3:** Pompe hélico-centrifuge

### II.3.2.3 Pompe Centrifuge

Les pompes centrifuges fonctionnent suivant le principe d'une mise en rotation du fluide à pomper dans une roue tournant à grande vitesse (600 - 3500 tr/min). En sortie de roue, le fluide est canalisé dans un diffuseur, puis ralenti dans une volute, et la pression dynamique acquise au niveau de la roue (énergie de vitesse ou cinétique) est transformée en pression statique (énergie de pression). Le débit pompé est essentiellement fonction :

- la différence de pression entre aspiration et refoulement
- la vitesse de rotation de la roue.
- diamètre de la roue (vitesse périphérique) [5].

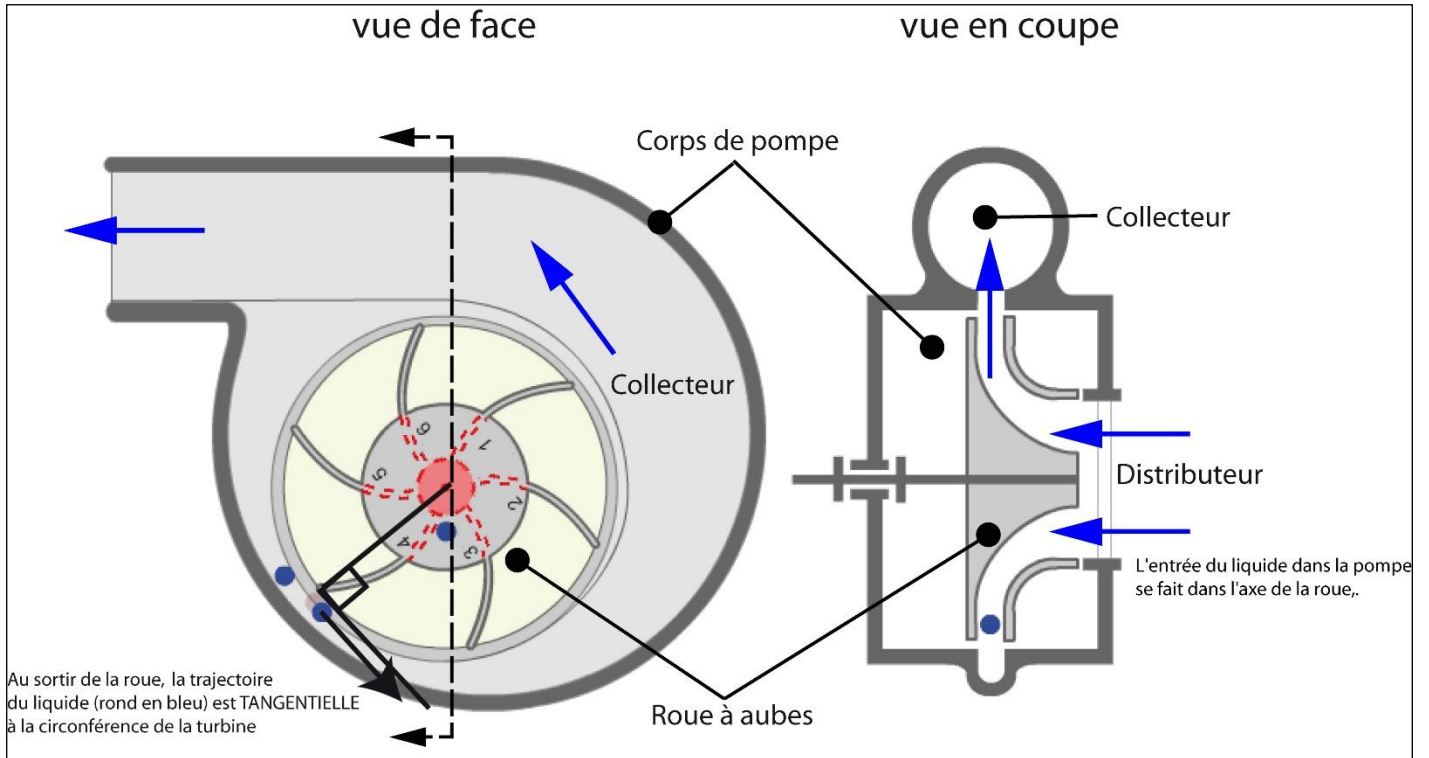


Figure II. 4: Pompe Centrifuge

### II.3.3 Pompes Volumétriques

Elles transportent le fluide grâce à un changement de volume à l'intérieur d'une ou plusieurs cavités. Dans son principe général, une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur dans laquelle se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté, leur fonctionnement repose sur le principe suivant :

- L'exécution d'un mouvement cyclique.
- Pendant un cycle, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refouler à la fin.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et celui de Refoulement. En distingue généralement :

- ❖ Les pompes volumétriques rotatives.
- ❖ Les pompes volumétriques alternatives. [2]

### II.3.3.1 Pompes volumétriques rotatives

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation circulaire autour d'un axe, qui tourne dans une enveloppe (le corps) et crée le mouvement du fluide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Les principaux types de pompes sont les suivants : à palettes, engrenages, lobes, vis, etc. [6]

#### II.3.3.1.1 Pompes à vis

Elles sont constituées de deux ou trois vis s'engrenant entre elles. Le liquide remplit les cavités qui existent entre les vis et le corps. Pendant la rotation des vis, les cavités se déplacent transférant ainsi du liquide de la zone d'aspiration vers la zone de refoulement. Ce type de pompe volumétrique admet une vitesse de rotation élevée (3000 tr/mn) ; elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées ( $\approx 100$  bars).

Elles ne véhiculent que des liquides à bon pouvoir de lubrification et ne contenant pas particules abrasives. [7]

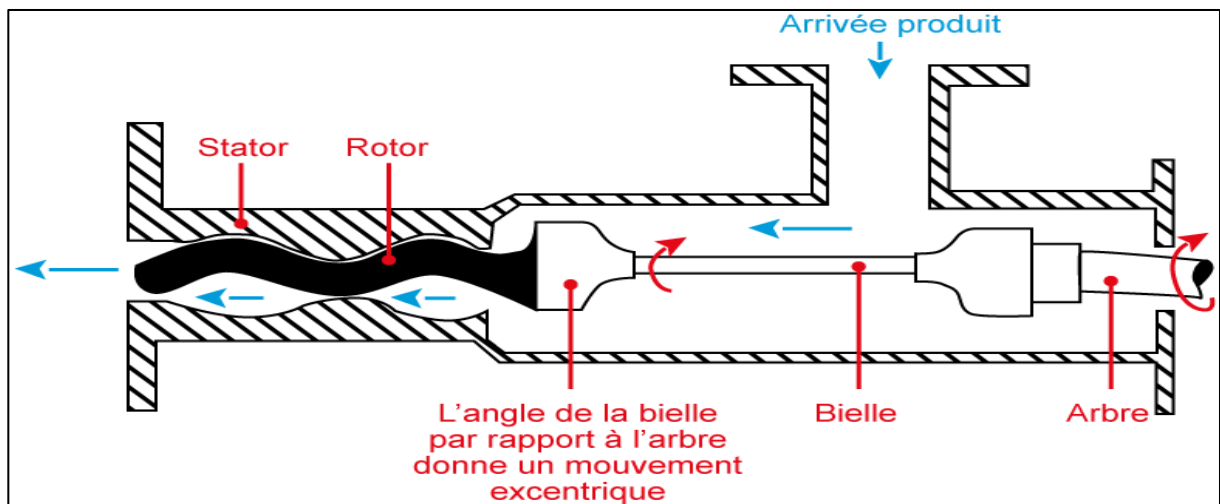


Figure II. 5: Pompe à vis

#### II.3.3.1.2 Pompes à palettes

Une pompe à palettes est une pompe rotative dont le rotor est muni de plusieurs lames (les palettes) qui coulisent radialement et assurent le transfert du fluide pompé.

Il existe trois types des pompes à palettes :

- Pompes à palettes libre.
- Pompes à palettes flexibles.
- Pompes à palettes guidées

### II.3.3.1.2.1 Pompes à palettes libre

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement.

A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps

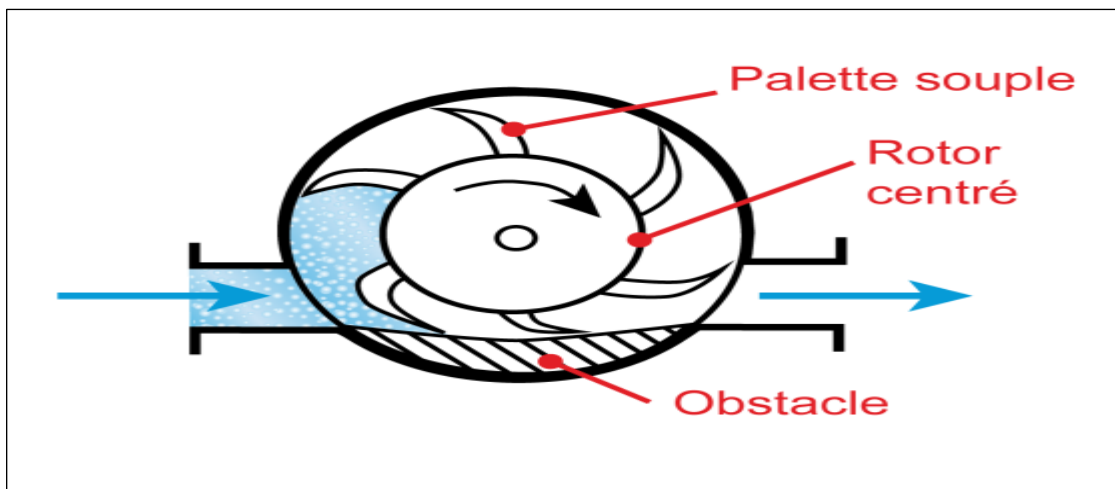


Figure II. 6: Pompes à palettes libre

### II.3.3.1.2.2 Pompes à palettes flexibles

L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide.



Figure II. 7: Pompes à palettes flexibles

### II.3.3.1.2.3 Pompes à palettes guidées

Le principe est le suivant : un corps conchoïdal dans lequel tourne un tambour excentré, qui entraîne des palettes guidées. La tranche de la palette frôle le corps sans le toucher.[8]

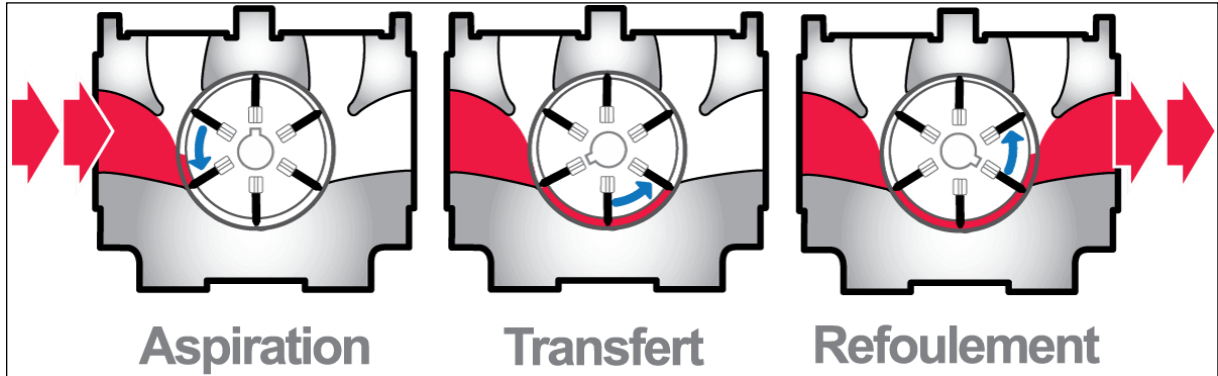


Figure II. 8: Pompes à palettes guidées

### II.3.3.1.3 Pompes à engrenages

#### II.3.3.1.3.1 Pompes à engrenages extérieurs :

Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages. Dans tous les cas, le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale, ou encore à chevrons. Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme.

Ces pompes peuvent tourner vite (2 000 à 3 000 tr/min), elles sont relativement silencieuses et permettent d'atteindre des pressions moyennes au refoulement de l'ordre de 20 à 50 bars. Par contre, elles nécessitent d'avoir quatre coussinets, et deux ou quatre boîtiers d'étanchéité suivant le principe d'entraînement des engrenages. Enfin, elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction totale.[3]

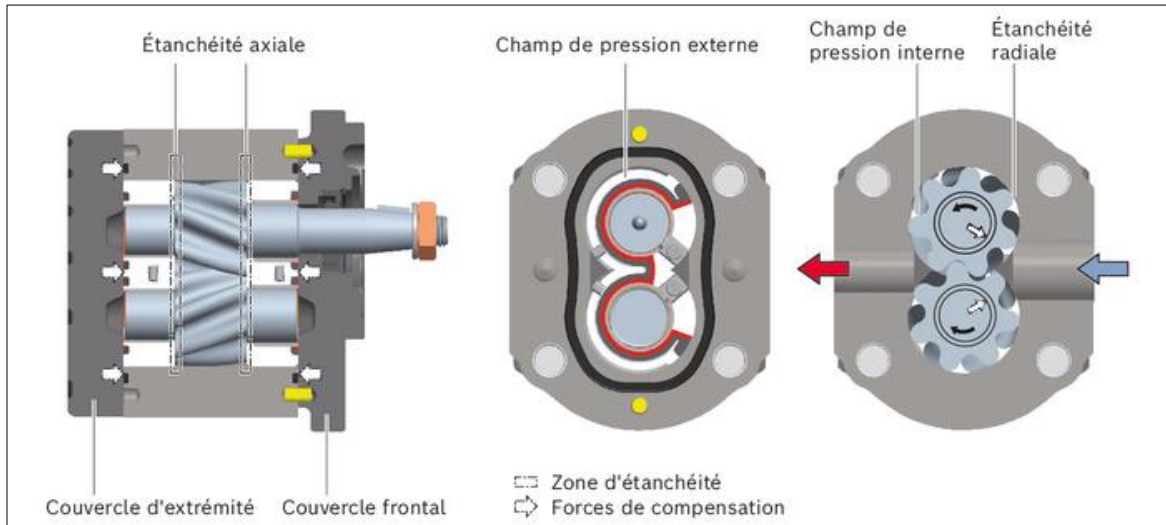


Figure II. 9: Pompes à engrenages extérieurs

### II.3.3.1.3.1 Pompes à engrenages intérieur :

Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages.

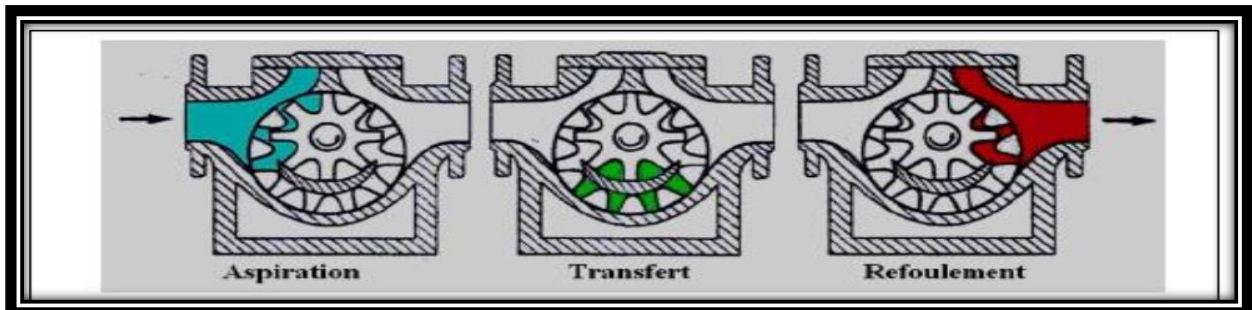


Figure II. 10: Pompes à engrenages intérieur

### II.3.3.1.4 Pompes à lobes

La rotation régulière des couples de lobes crée un vide au niveau du côté aspiration déterminé par le sens de rotation de l'entraînement. Ce vide attire le liquide dans le compartiment de pompe. Lorsque la rotation se poursuit, le liquide pompé est refoulé par les lobes, longe la paroi de la pompe et arrive dans la zone de refoulement.[9]

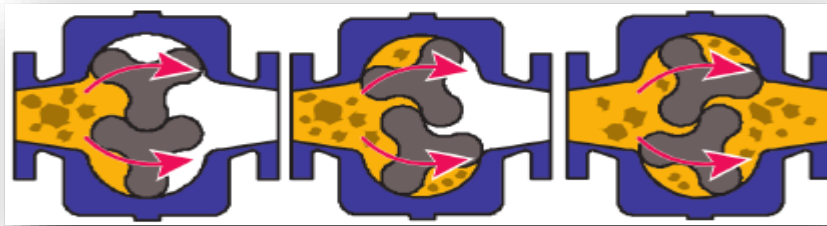


Figure II. 11: Pompe à lobes

### II.3.3.2 Les pompes volumétriques alternatives :

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de pompes sont les suivants : à membrane ou à piston.[6]

#### II.3.3.2.1 Pompes à pistons :

Elles peuvent être à simple effet et, dans ce cas, le piston n'a qu'une seule phase active (premier temps : aspiration, deuxième temps : refoulement) sur les deux phases que comporte le cycle. Elles peuvent être à double effet et, dans ce cas, le piston est actif dans les deux phases, permettant un débit deux fois plus important et une plus grande régularité de débit. Il est possible d'associer plusieurs éléments de pompe à piston, décalés dans un cycle de rotation (pompe Triplex par exemple) de façon à augmenter le débit et la régularité. Ces pompes possèdent une grande capacité d'aspiration et permettent d'atteindre des pressions de refoulement importantes. [7].

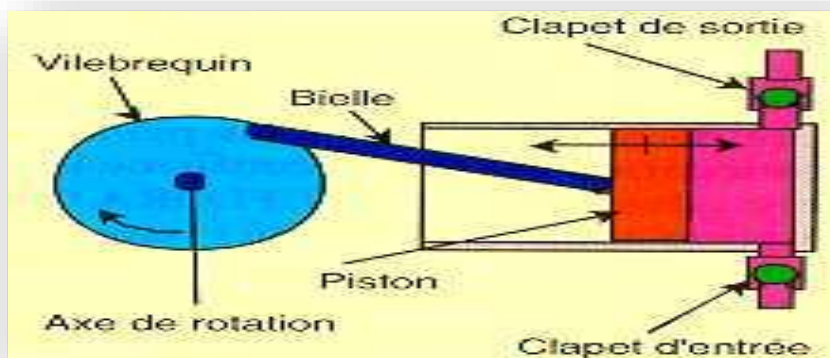


Figure II. 12: Pompes à pistons

### II.3.3.2 Pompe à membranes

Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, Viton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative.

Actuellement, les pompes à membranes sont constituées de deux membranes, ce qui permet d'avoir des pompes à double effet. Elles ont l'avantage de pouvoir pomper à peu près n'importe quel liquide : chargé, abrasif, acide, visqueux ou non. Cependant, elles ne conviennent que pour des débits moyens de l'ordre de 80 m<sup>3</sup>/h, pour des températures inférieures à 150°C et des viscosités faibles. [10]

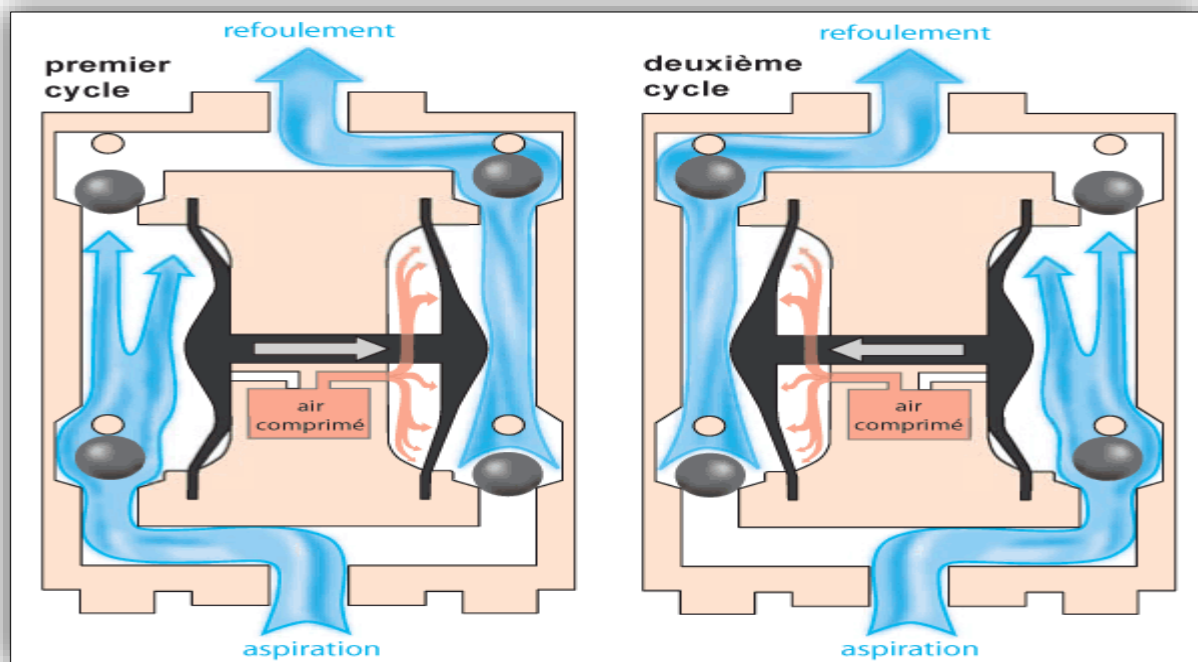


Figure II. 13: Pompe à membranes

## II.4 Avantages et inconvénients :

### Avantages et inconvénients des pompes centrifuges

#### Avantage

- Faible encombrement.
- Bruit négligeable.
- Simplicité de construction.
- Régularité dans le fonctionnement.
- Aptitude au fonctionnement à grande vitesse, donc l'accouplement peut se faire directement avec des moteurs électriques ou des moteurs diesels.

#### Inconvénients

- A faible débit et aux grandes hauteurs de refoulement, le rendement diminue.
- Phénomène de cavitation en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.
- Diminution de la hauteur de refoulement en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration. [10]

### Avantages et inconvénients des pompes volumétriques

#### Avantage

- Le débit refoulement ne dépend pas de la hauteur de refoulement, donc elles sont bien placées comme pompe de dosage et d'injection.
- Pompage possible de liquide très visqueux.
- Elles ont une très bonne puissance d'aspiration.
- Le débit de refoulement ajustable de manière exacte.

#### Inconvénients

- Appareils plus lourds et plus encombrants, elles ne sont pas bien adaptées à des grandes vitesses de rotation.

- Débit pulsé ce qui nécessite l'installation d'appareils spéciaux pour avoir un débit continu.
- Impossibilité d'obtenir de gros débits sous faible pression.
- Danger de surpression dans le circuit de refoulement d'où la présence indispensable de sécurités (by-pass et soupape de sûreté).
- Impossibilité en général de pomper des liquides chargés.
- On ne peut pas limiter la pression de refoulement, et pour cela une soupape de sécurité est obligatoire. [9]

### II.5 Pompes triplex

Ce sont des pompes qui comportent trois cylindres dans lesquels coulisent trois pistons à simple effet, c'est-à-dire que chaque piston aspire et refoule d'un seul côté. Chaque cylindre comporte un clapet d'aspiration et un autre de refoulement à l'avant seulement.

Lorsque le piston se déplace vers l'arrière, le clapet d'aspiration s'ouvre et celui de refoulement se ferme, la chemise se remplit de boue. Lorsque le piston arrive en fin de course et revient vers l'avant, le clapet d'aspiration se ferme et celui de refoulement s'ouvre et la boue est ainsi refoulée dans la conduite de refoulement. [6]

Ainsi pendant un aller et retour du piston, c'est à dire un tour complet de l'arbre petite vitesse, un piston refoule une seule fois le volume de la chemise correspondant à sa course. Le même cycle se produit par les autres pistons avec un décalage de  $1/3$  de tour.[6]



Figure II. 14: Pompe à boue triplex simple effet.

## II.6 Principe de fonctionnement et débit instantané

### II.6.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de chaque cylindre, pour un aller-retour du piston, est le suivant :

- Lorsque le piston se déplace vers la droite, le clapet d'aspiration est ouvert, le clapet de refoulement est fermé, le cylindre se remplit ;
- Lorsque le piston arrive en bout de course et revient vers la gauche, le clapet d'aspiration se ferme, le clapet de refoulement s'ouvre, la pompe refoule. [11

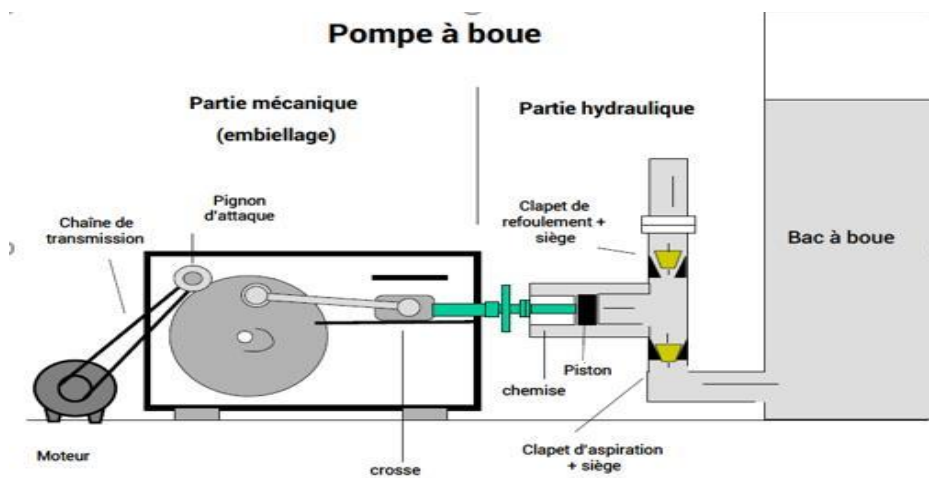


Figure II. 15: Principe de fonctionnement des pompes triplex

Ce fonctionnement de principe beaucoup plus simple que celui des pompes duplex, donne un avantage certain aux pompes triplex (diminution d'encombrement, facilité d'entretien et de surveillance).[11]

## II.6.2 Débit instantané

### A. Débit instantané par cylindre

La vitesse instantanée du piston suit une évolution qui a été étudiée pour les pompes triplex, qui sont des pompes à simple effet, donc le débit instantané par cylindre évolue comme la vitesse sur le trajet aller du piston, il est nul au retour.[11]

### B. Débit instantané de la pompe

Le débit instantané d'une pompe triplex est la somme des débits instantanés de chacun des cylindres, il dépend du mode de calage du piston les uns par rapport aux autres. Sur les pompes triplex, les pistons sont calés à  $120^\circ$ , c'est – à – dire  $2/3$  de course sépare chaque piston l'un de l'autre (lorsque le piston n°1 arrive en fin de course, le piston n°2 est au  $1/3$  de sa course et le piston n°3 n'a pas encore terminé sa course retour, il en est en  $2/3$ ). [11]

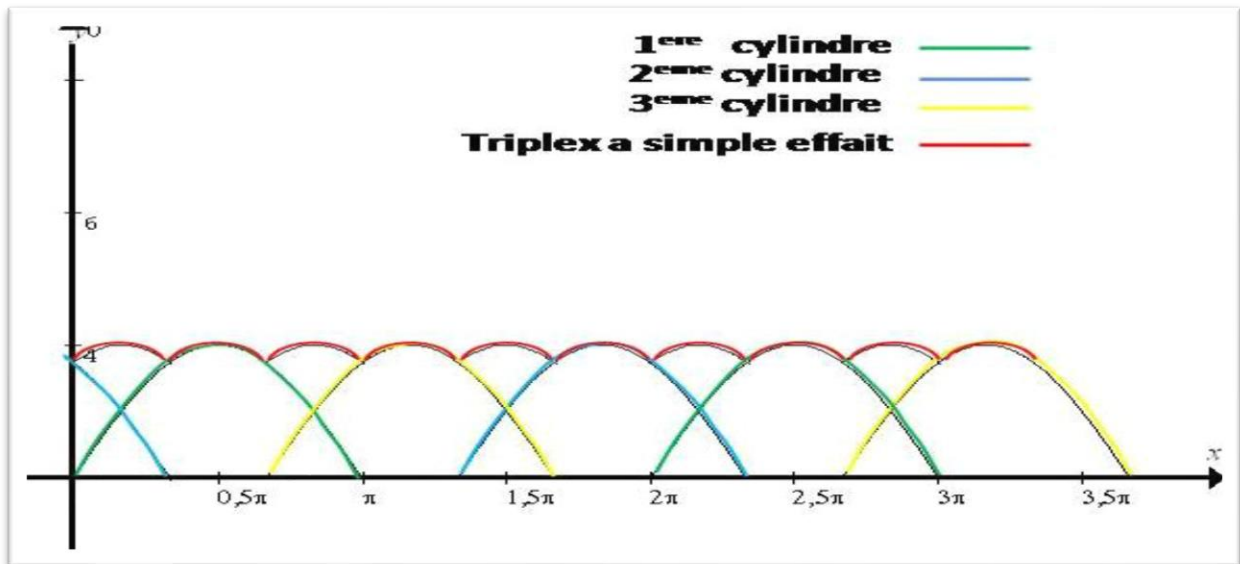


Figure II. 16: Débit instantané de la pompe triplex simple effet.

Le principe simple effet et le calage régulier des pistons (3 fois  $120^\circ$ ) entraînant des fluctuations de débit relativement régulier. L'amplitude de ces variations est par ailleurs faible. Elle impose, malgré tout, l'utilisation d'amortisseur de pulsation sur le refoulement. [11]

## II.7 Caractéristiques du débit triplex

### Le débit

Les débits requis en forage varient en fonction de diamètre foré. Il est important, pendant les premières phases (26", 16"), plus petit en fin de forage (8"½, 7").

Le débit d'une pompe dépend du diamètre intérieur de la chemise (alésage), de la vitesse de la pompe, exprimée nombre de coups de piston par minute, et de la course du piston.

### Le débit théorique

Le débit est la quantité de liquide qu'une pompe peut fournir par unité de temps, à une vitesse d'entraînement donnée, il s'exprime en (l/mn).

Le débit théorique d'une pompe dépend de sa cylindrée d'une part, de sa vitesse et du nombre de cylindres d'autre part.

Il peut être estimé par la relation suivante :

$$Q_{th} = \frac{3\pi * D^2 * C}{4} \quad [4]$$

Où :

$Q_{th}$  : Débit théorique de la pompe (l/mn) ;

C : Course de piston (mm) ;

D : Diamètre de la chemise (mm).

## II.8 Les Différents parties de la pompes triplex

C'est une pompe volumétrique alternative à piston à mécanisme bielle manivelle, de type triplex à simple effet, pour ce type les manivelles sont décalées à 120°, et le nombre de clapets est de 6 (3 à l'aspiration et 3 aux refoulements). [2]

Elle se compose de trois parties principales montées sur un châssis skid qui sont :

- La partie électrique
- La partie mécanique.
- La partie hydraulique

### II.8.1 La partie hydraulique

Ces pompes comportent trois cylindres. Elles sont à simple effet (la boue est aspirée et refoulée par un seul côté du piston).

Chaque cylindre est composé de :

- Le corps de la pompe
- Une chemise ; ce montant par l'arrière ou par l'avant suivant les constructeurs.
- Une tige de piston
- Deux clapets (clapet de refoulement, clapet d'aspiration), et son siège
- Système de refroidissement.

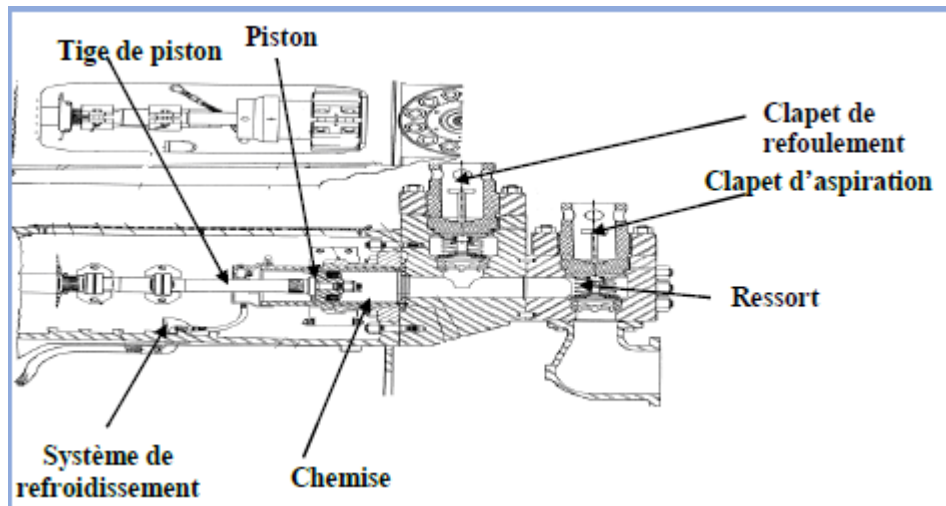


Figure II. 17: partie hydraulique

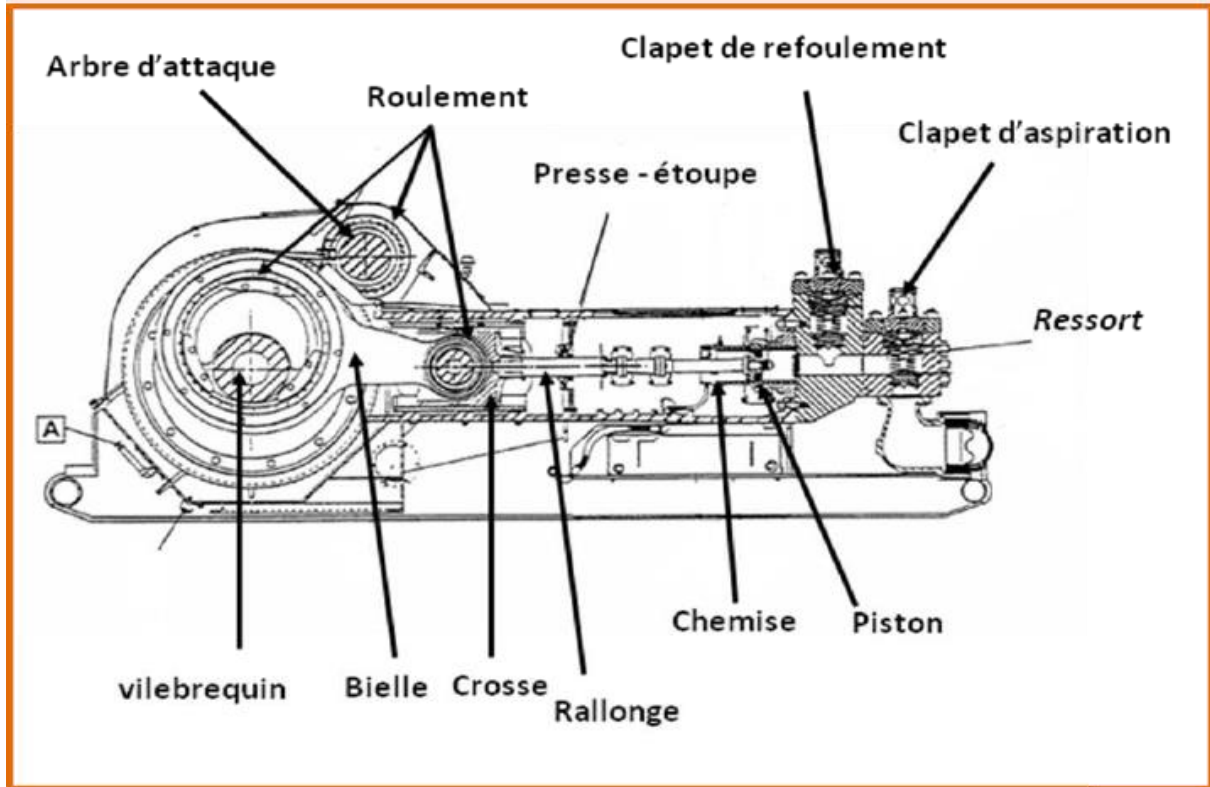
### II.8.2 La partie mécanique

La partie mécanique d'une pompe à boue est l'un des facteurs déterminants, notamment en ce qui concerne la valeur d'achat. Elle doit être d'une robustesse permettant une longévité de la machine (longue période de service), sans entretiens importants, en dehors de la lubrification.[6]

Elle se compose des sous-ensembles suivants :

- ✓ L'arbre grande vitesse.
- ✓ L'arbre petite vitesse ou vilebrequin.
- ✓ Le système bielle- manivelle.

- ✓ La crosse et la rallonge de crosse.
- ✓ Le bâti/carter de lubrification.
- ✓ Le système d'entraînement (chaîne + pignon + roue dentée).
- ✓ Les roulements.
- ✓ Les pompes à huile.



**Figure II. 18:** Partie mécanique d'une pompe à boue.

### II.8.3 La Partie électrique

Se compose de deux grands moteurs DC (à courant continu) qui entraînent la partie mécanique de la pompe à boue (entraînement par chaîne) et deux petits moteurs AC (à courant alternatif) qui entraînent les pompes à huile. [2]

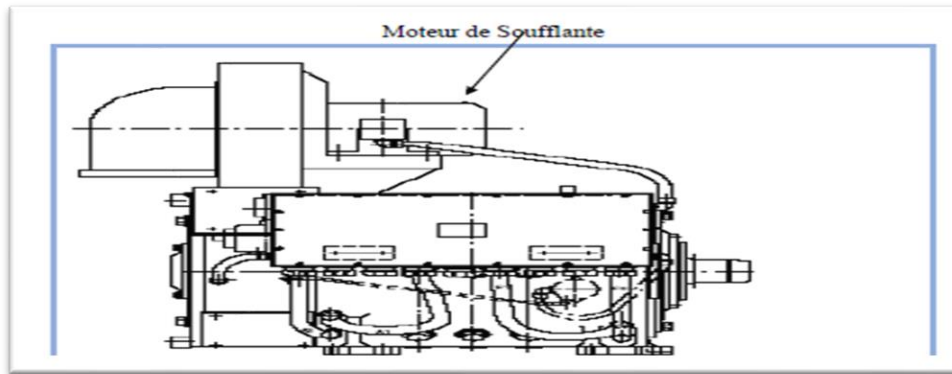


Figure II. 19: Moteurs électriques

## II.9 Conclusion

D'après ce chapitre où nous étudions les types de pompes (volumétrique et centrifuge) et leur principe de fonctionnement, nous avons une idée suffisamment expliquée pour étudier le type de pompe triplex.

# CHAPITRE III

### III.1 Présentation Simscape

Simscape, un langage multi-domaine, est une extension de Matlab/Simulink (Simulink est un environnement graphique de simulation et de modélisation de systèmes dynamiques. Il est intégré à Matlab, fournissant ainsi un accès immédiat à ses nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données) pour modéliser les systèmes électroniques, mécaniques, hydrauliques et thermiques.

Les blocs des bibliothèques de Simscape représentent ainsi des composants tels, des résistances, transistors, moteurs, pompes, ressorts, etc. Simscape comprend plusieurs bibliothèques, telles celle relative à l'électricité, la thermique, la mécanique ou l'hydraulique.

Comme le nombre de ces blocs ne peut couvrir l'ensemble de ceux utilisés dans l'Ingénierie, Simscape donne la possibilité à l'utilisateur de créer ses propres composants physiques à partir de ceux déjà présents dans la bibliothèque *Foundation Library*.

Pour cela, on utilise le langage de Simscape avec lequel on programme les équations mathématiques régissant les signaux d'entrée et de sortie du composant. De même, les paramètres des composants existants peuvent être paramétrés selon les besoins de l'utilisateur.

#### **Aide sous Simscape**

##### **Depuis la fenêtre "Simulink Library Brother" :**

MD Help puis Simulink Help puis Demos ou Exemples dans l'arborescence Sélection du bloc puis MD puis Help for the Selected Block...

BD sur le bloc dans sa bibliothèque puis Help for ... Recherche d'un bloc ou d'une fonction en tapant son nom dans "Enter search term" : **en anglais**

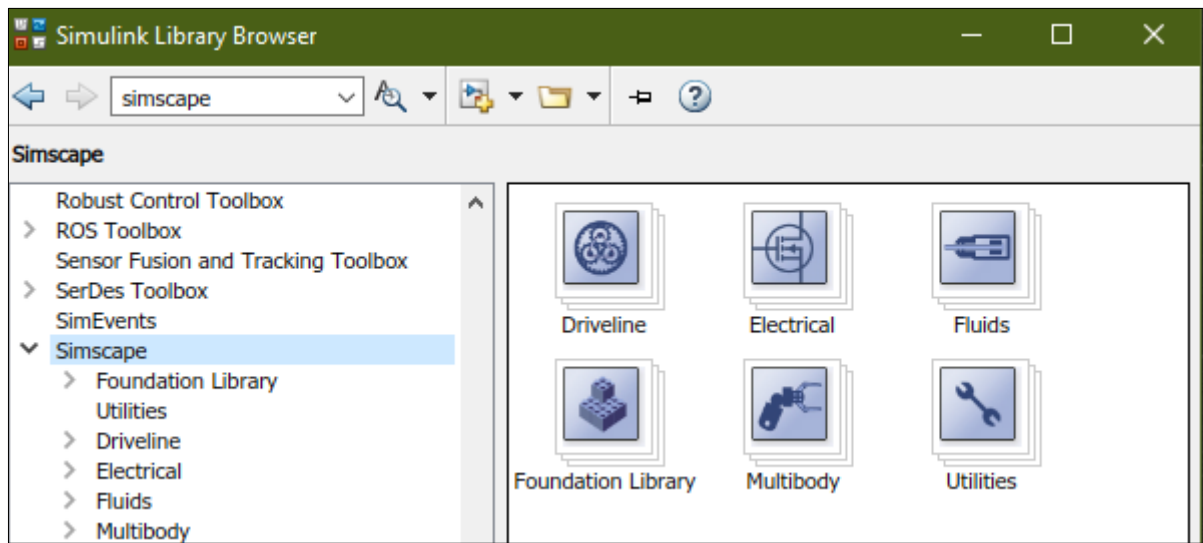
##### **Depuis la page blanche :**

BD sur les blocs dans la page blanche puis Help

DC sur les blocs dans la page blanche pour réglage des paramètres du bloc

On trouve différents blocs dans différents domaines :

Foundation Library : bibliothèques des domaines de base



**Figure III. 1:** bibliothèques des domaines de base

### III.1.1 Electrical

On y trouve les éléments, les sources et les capteurs électriques.

#### III.1.1.1 Electrical Elements

C'est une bibliothèque dans laquelle on trouve les éléments de base de l'électricité tels des résistances, des capacités, diode, self, amplificateur opérationnel, switch, ainsi que des éléments électromécaniques, de translation et de rotation.

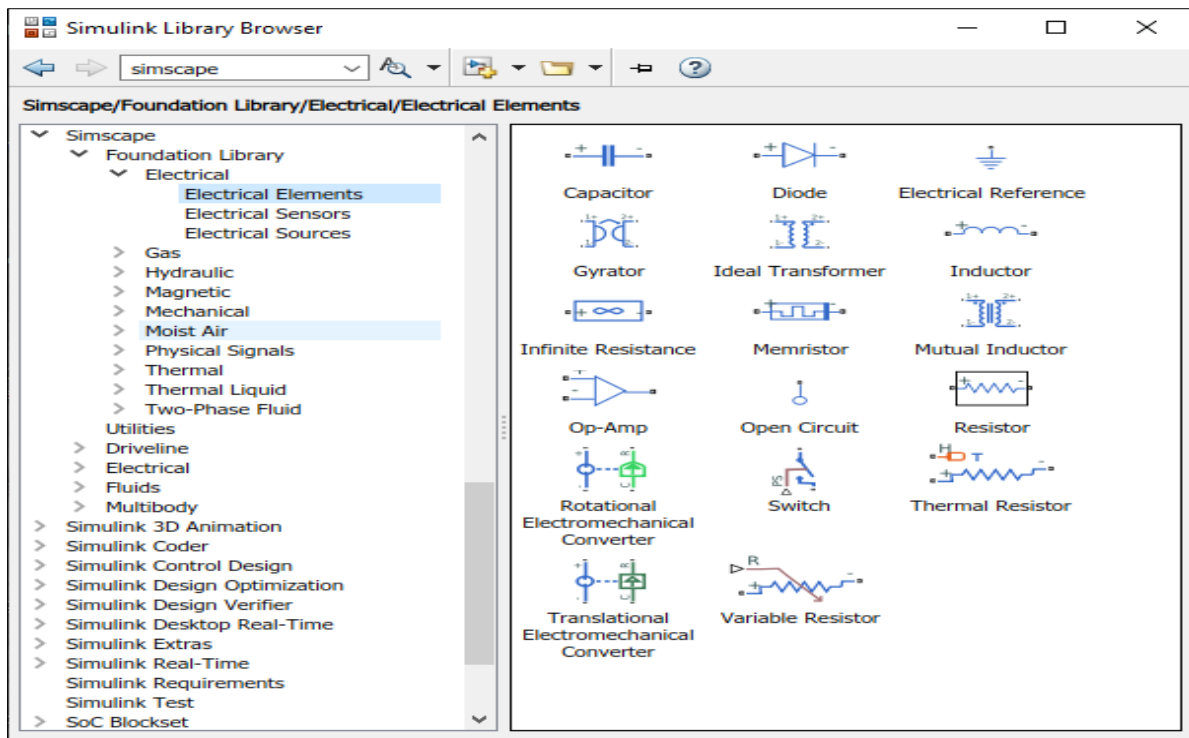


Figure III. 2: bibliothèque des éléments de base de l'électricité

### III.1.1.2. Electrical Sensors

Pour mesurer le courant et la tension, nous avons besoin de capteurs de tension et de courant qu'on trouve dans cette bibliothèque.

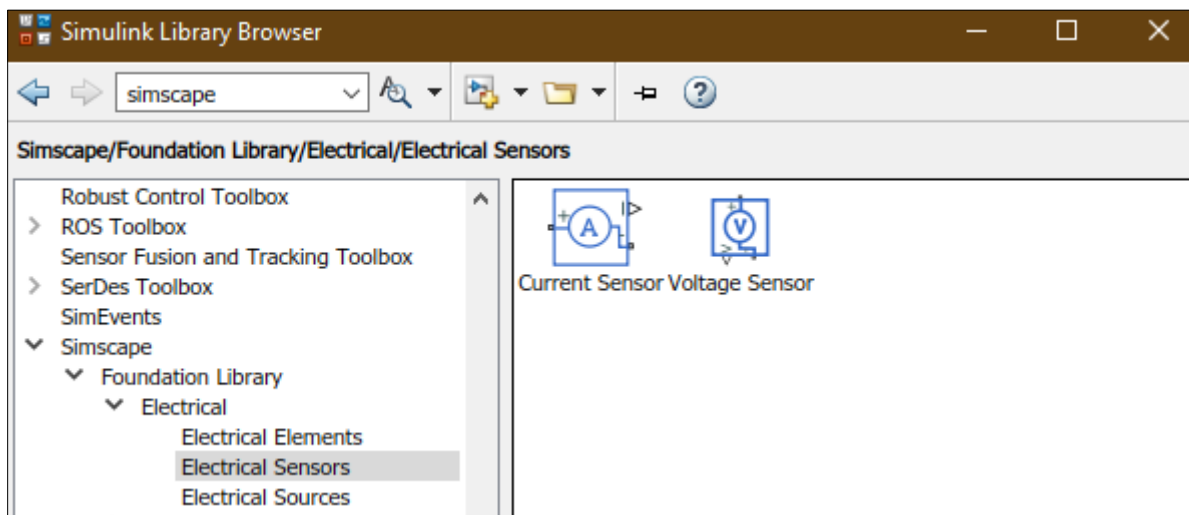


Figure III.3: bibliothèque de capteur de tension et courant

### III.1.1.3. Electrical Sources

Dans cette bibliothèque on trouve différentes sources de tension, de courant, continues ou alternatives et des sources de tension, de courant contrôlées par un courant ou tension.

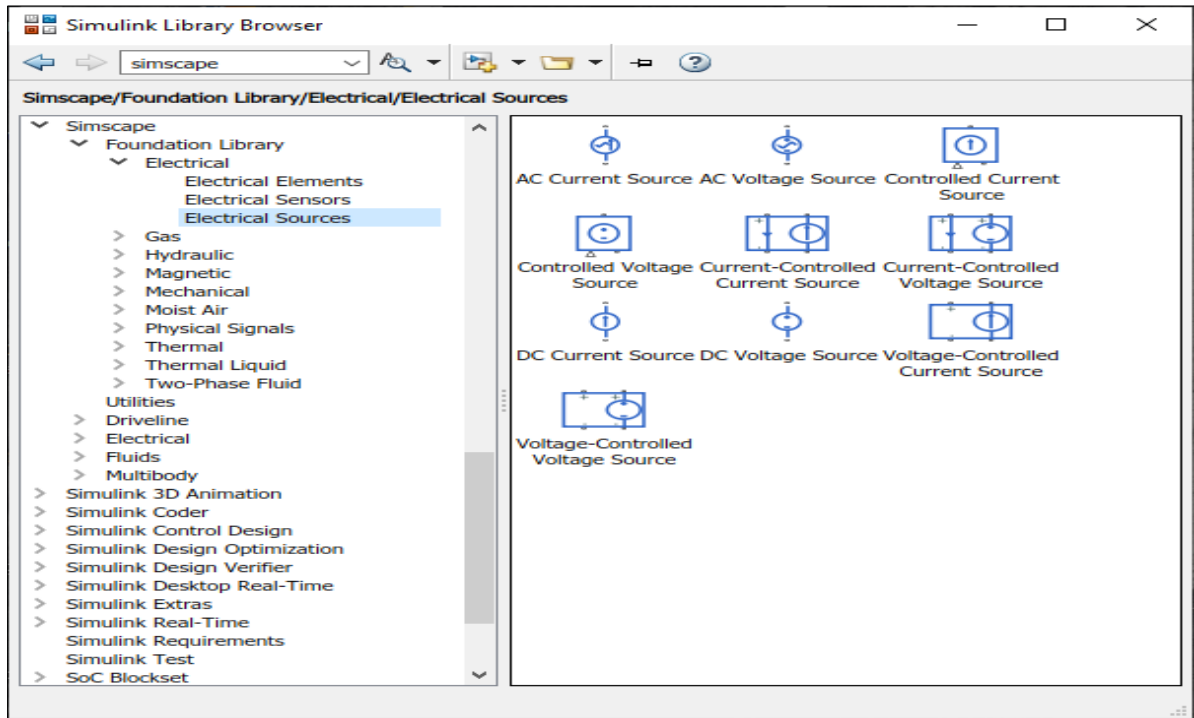


Figure III. 4: bibliothèque de source de courant et tension

### III.1.2 Mechanical

#### III.1.2.1 Eléments des différentes bibliothèques

Cette librairie de mécanique, comporte, comme celle de thermique :

Des capteurs (*Mechanical Sensors*)

Capteur de force (Ideal Force Sensor),

Capteur de couple (Ideal Torque Sensor),

Capteur de vitesse et de position (mouvement de translation, *Ideal Translational Motion Sensor* et de rotation, *Ideal Rotational Sensor*).

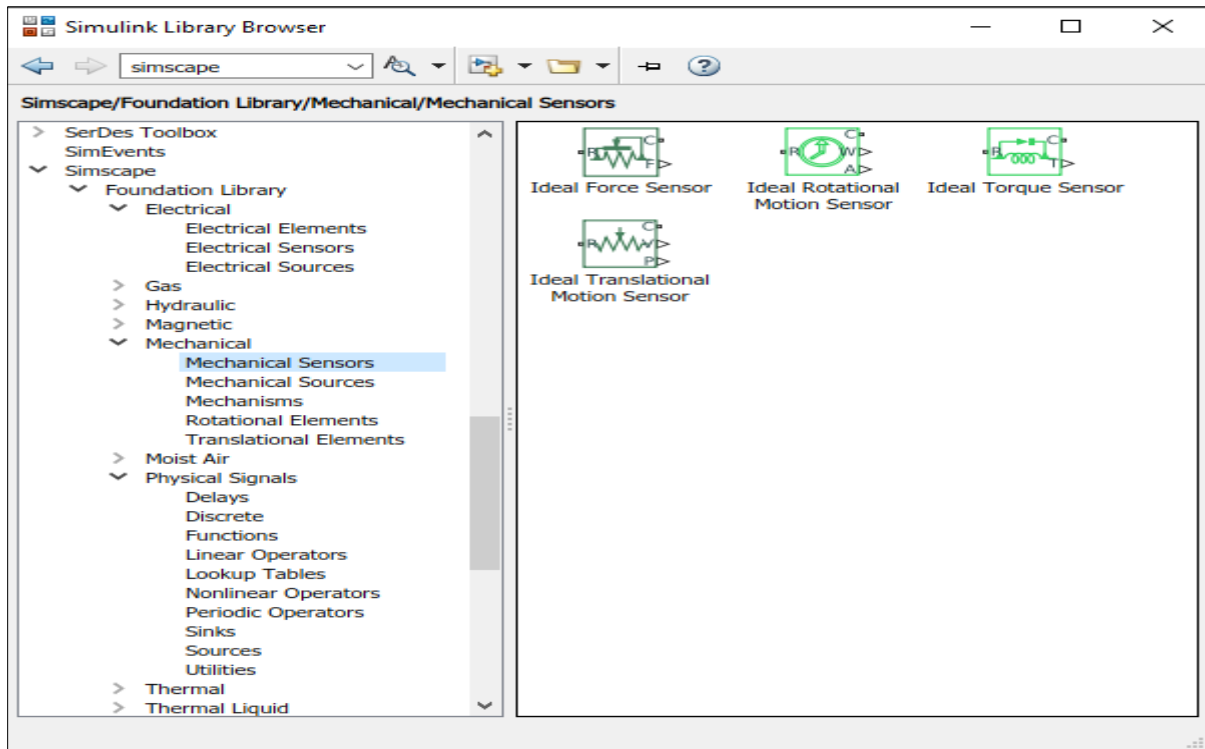


Figure III.5: bibliothèques des capteurs des grandeurs physiques

Les sources mécaniques

Source de vitesse, angulaire (*Ideal Angular Velocity Source*), de translation (*Ideal Translational Velocity Source*),

Source de force (*Ideal Force source*),

Source de couple (*Ideal Torque Source*).

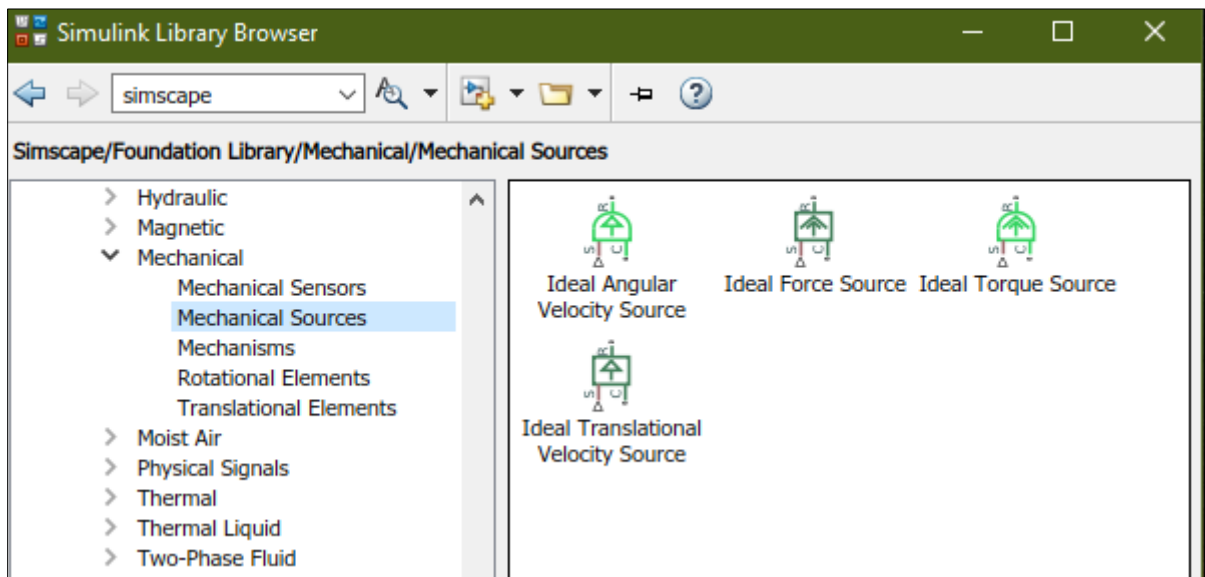


Figure III.6: bibliothèque des sources mécaniques

Des éléments mécaniques de translation, (*Translational Elements*) et de rotation, (*Rotational Elements*). Ces éléments comportent des ressorts, des frottements, une inertie ou une masse, un amortisseur, un limiteur de mouvement et une masse de référence.

### III.1.2.2 Translational Elements :

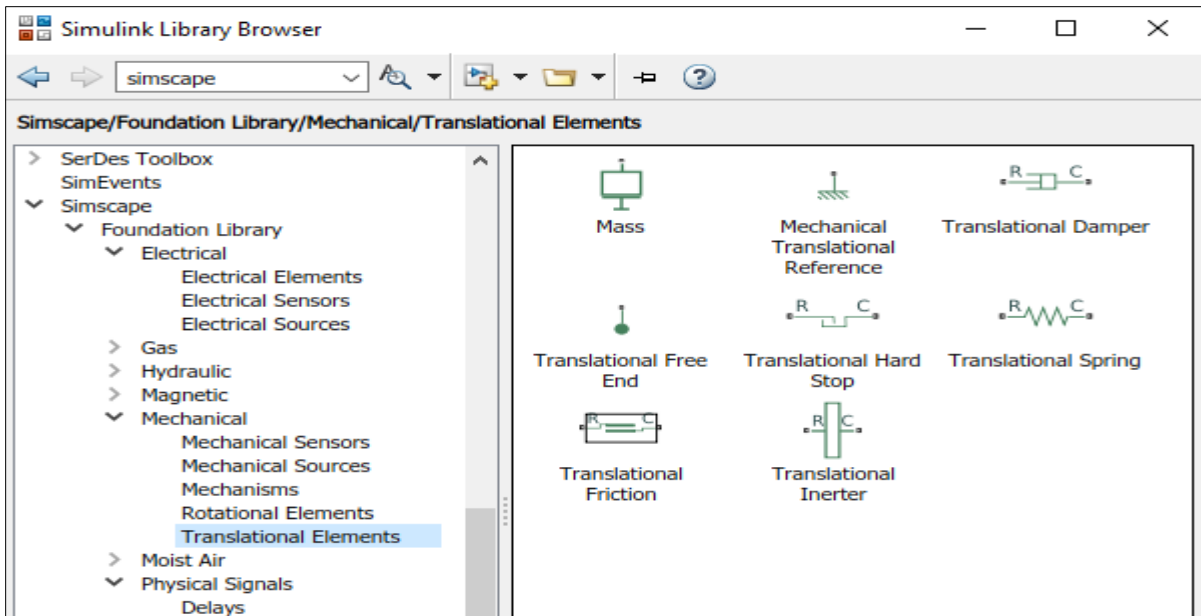


Figure III.7:Des éléments mécaniques de translation

### III.1.2.3 Rotational Elements

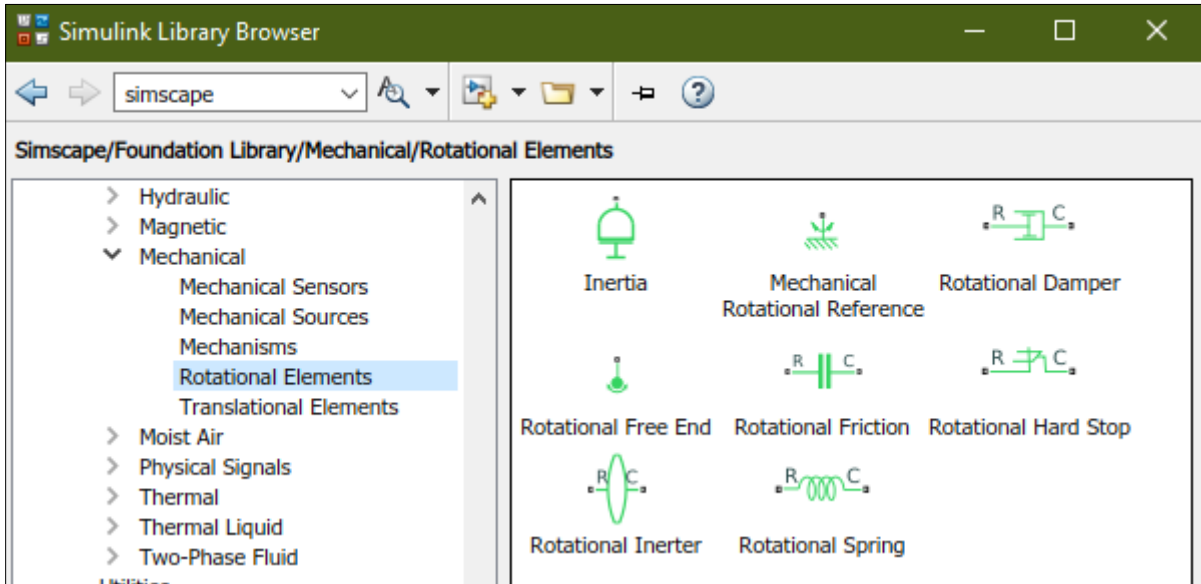


Figure III.8:Des éléments mécaniques de rotation

### III.1.3 Thermal

Cette librairie possède les 3 bibliothèques suivantes :

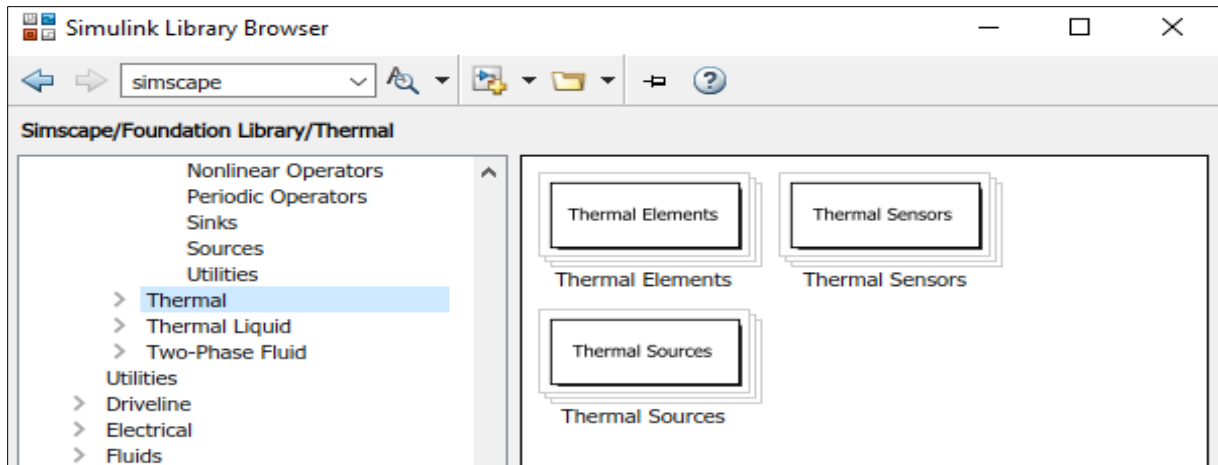


Figure III.9: Bibliothèque des éléments thermique

*Thermal elements* ou éléments thermiques (masse thermique, différents types de transfert thermiques, masse et référence thermique),

*Thermal sensors* ou capteurs de température,

*Thermal Sources* ou sources thermiques.

#### III.1.3.1 Thermal Elements

Cette bibliothèque contient les éléments thermiques, comme :

- la masse thermique,
- les coefficients d'échange thermique par rayonnement, conduction et convection,
- la masse thermique ou référence des circuits thermiques.

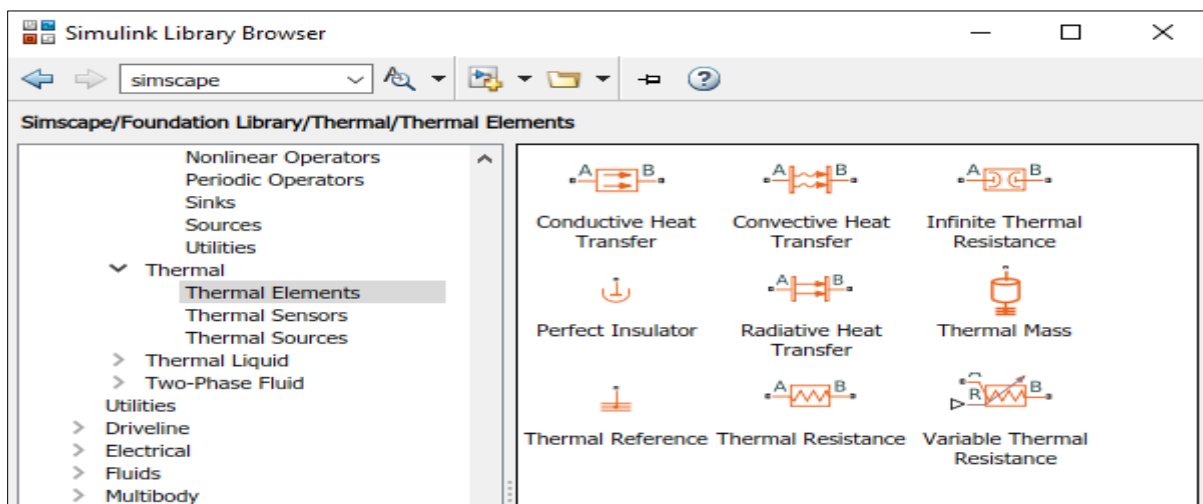


Figure III.10: Bibliothèque des grandeurs thermique

### III.1.3.2 Thermal Sensors

Nous avons 2 capteurs thermiques, un capteur de température et un capteur de flux thermique.

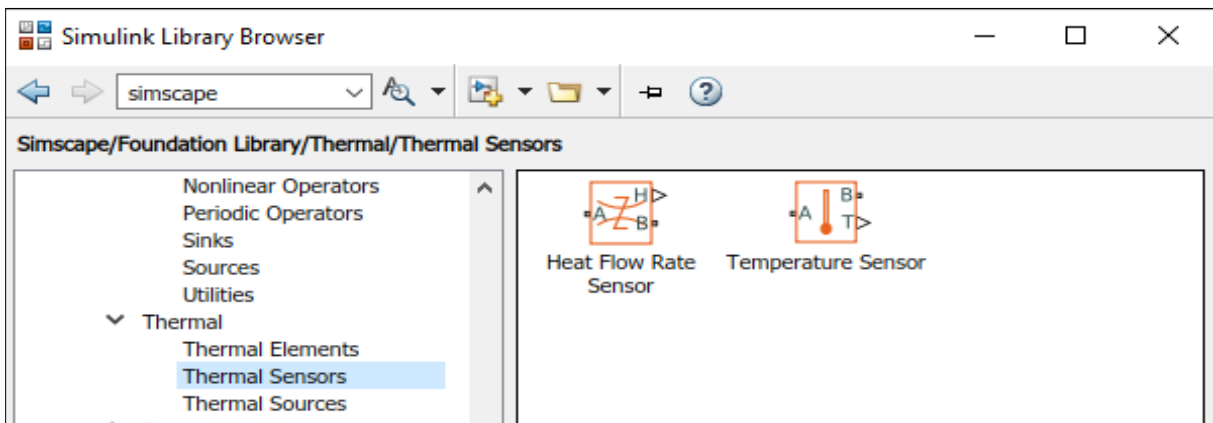


Figure III.11: capteur de température et un capteur de flux thermique

### III.1.3.3 Thermal Sources

Comme pour les capteurs, nous avons 2 sources, une de température et une autre de flux thermique.

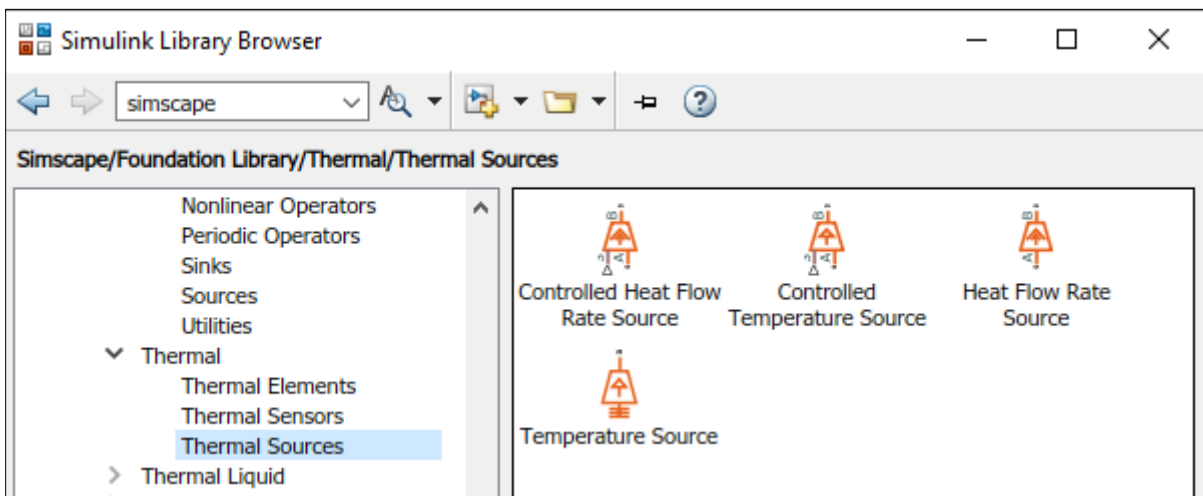


Figure III.12: deux sources des capteurs (température et le flux thermique)

## III.2 Programme de simulation de la pompe triplex

```

% Startup file for triplex pump example
%
% Copyright 2017-2019 The MathWorks, Inc.

% Set up path
TRP_HomeDir = pwd;
dirlist = {...
    [TRP_HomeDir],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Scripts_Data'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Libraries'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Libraries' filesep 'MPL_Libs'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Images'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'CAD' filesep 'Import'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'CAD' filesep 'SOLIDWORKS'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'CAD' filesep 'STEP_Source'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Slides_Videos' filesep 'Loop_mp4'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Fault_Sweep'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Fault_Sweep' filesep 'Data'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'ParamEst'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'Fault_Detect'],...
    [TRP_HomeDir filesep 'html' filesep 'html'],...
};

for dir_i = 1:length(dirlist)
    if(exist(dirlist{dir_i},'dir'))
        addpath(dirlist{dir_i});
    end
end

% Load Multiphysics Library
cd([TRP_HomeDir filesep 'Libraries' filesep 'MPL_Libs']);
startup_sm_ssci
cd(TRP_HomeDir)

% Load Parameters
sm_pump_triplex_param
CAT_Pump_1051_DataFile_imported

% Load Measured Data
load pOutMeas
end_index = find(pOutMeas_time==0.1);
pOutMeas_time = pOutMeas_time(1:end_index);
pOutMeas_data = pOutMeas_data(1:end_index);

% Create Measurement CSV Files
load('sm_pump_triplex_DOEdata.mat')
cd([TRP_HomeDir filesep 'Fault_Sweep']);
sm_pump_triplex_DOEdata_tocsv(test_Results);
clear test_Results test_Nominal
cd(TRP_HomeDir);

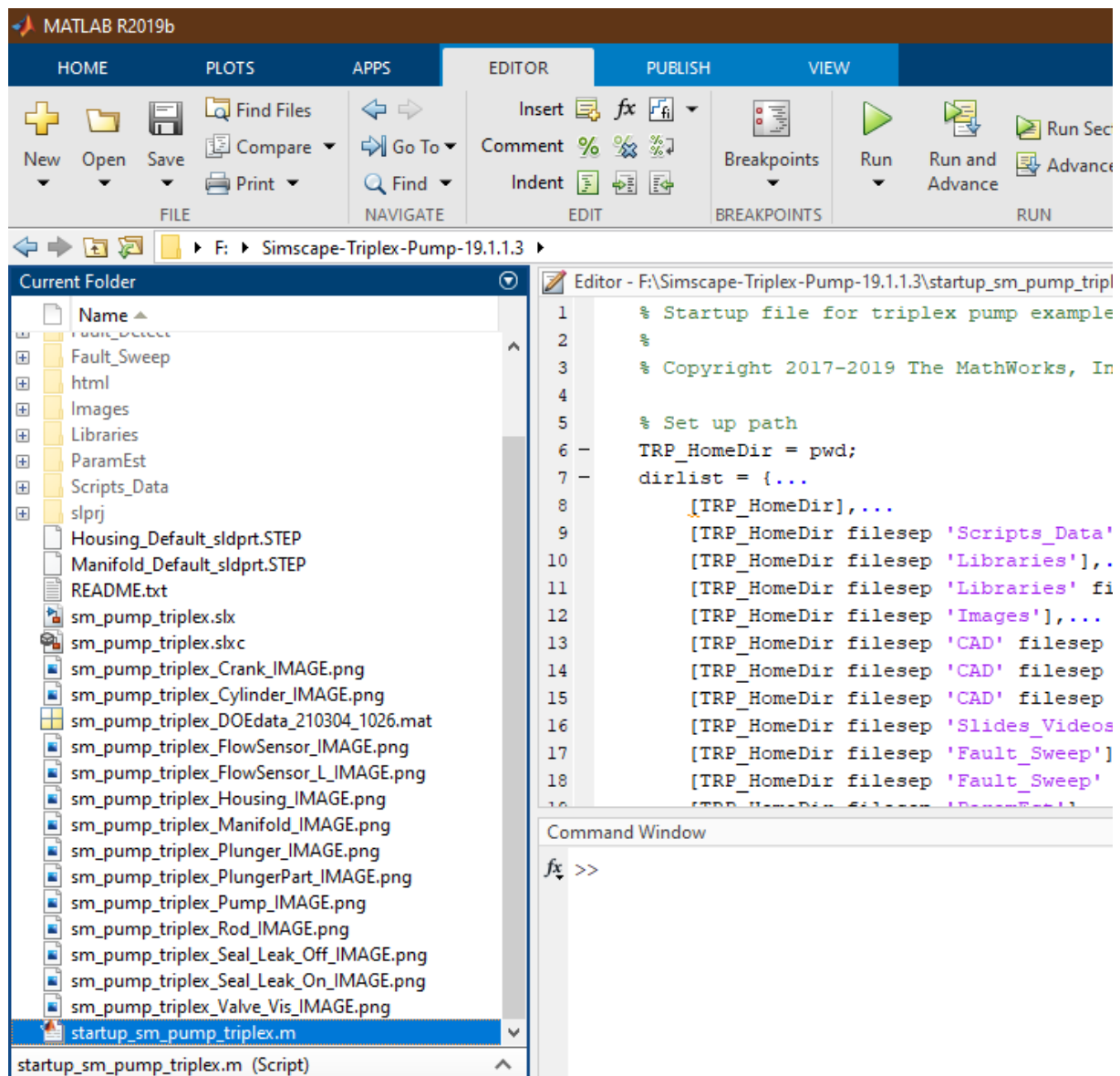
web('sm_pump_triplex_Demo_Script.html');
%sm_pump_triplex

```

### III.3 Les étapes de lancement de programme de simulation

Pour simuler le comportement de la pompe triplex sous Matlab à travers l'Open Source Simscape vous suivez les étapes suivantes :

1. Explorer le dossier Simscape avec Matlab.
2. Double clic sur le fichier **startup\_sm\_pump\_triplex.m** comme montre la figure ci-dessous.
3. Exécuter le contenu du code disponible dans le fichier **startup\_sm\_pump\_triplex** (en cliquant sur **Run** ou bien bouton clavier **F5**).



Après avoir lis en exécution le programme ci-dessus en obtient le résultat dans la fenêtre qui démontre le fonctionnement de la machine et ses defaults

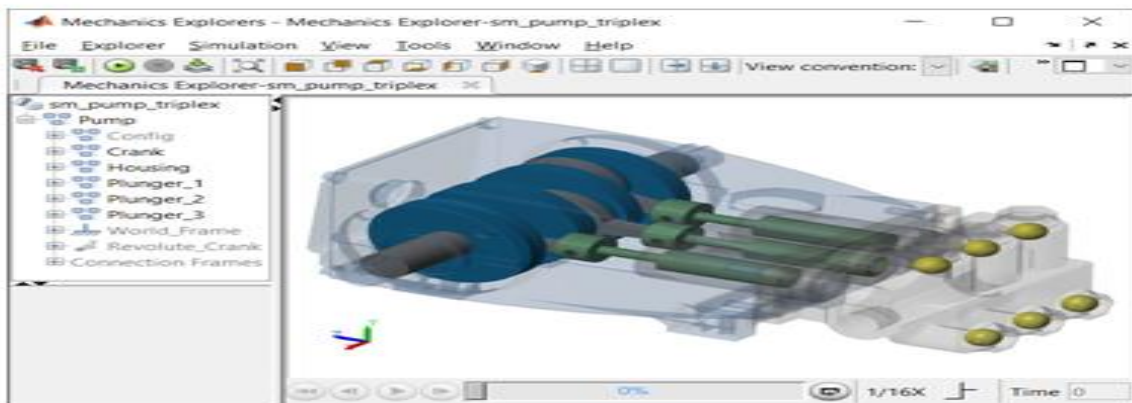
### Aperçu de la pompe triplex avec défauts



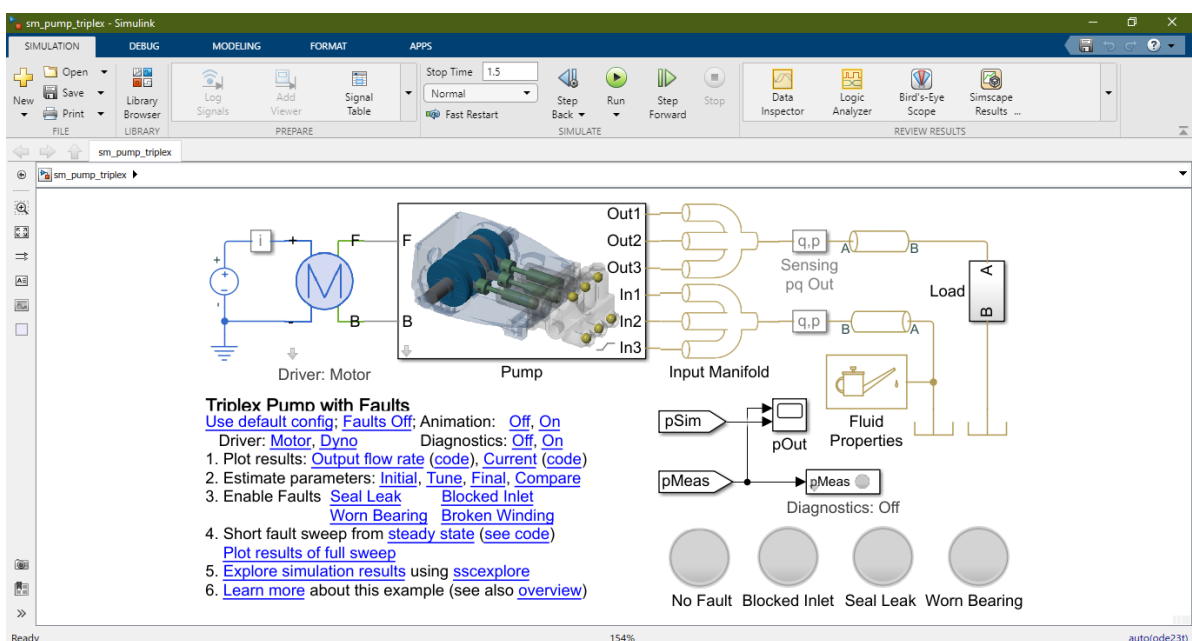
#### Triplex Pump with Faults Overview

This example shows how to develop predictive maintenance algorithms.

- [Open Triplex Pump Model \(see also model documentation\)](#)
- [Preprocess Measured Data from Pump](#)
- [Create Training Data and Develop Predictive Maintenance Algorithm](#)



Après avoir atterrie sur la fenêtre si dessus, on clique sur la fenêtre suivante pour trouver la simulation de la pompe triplex et ses défauts



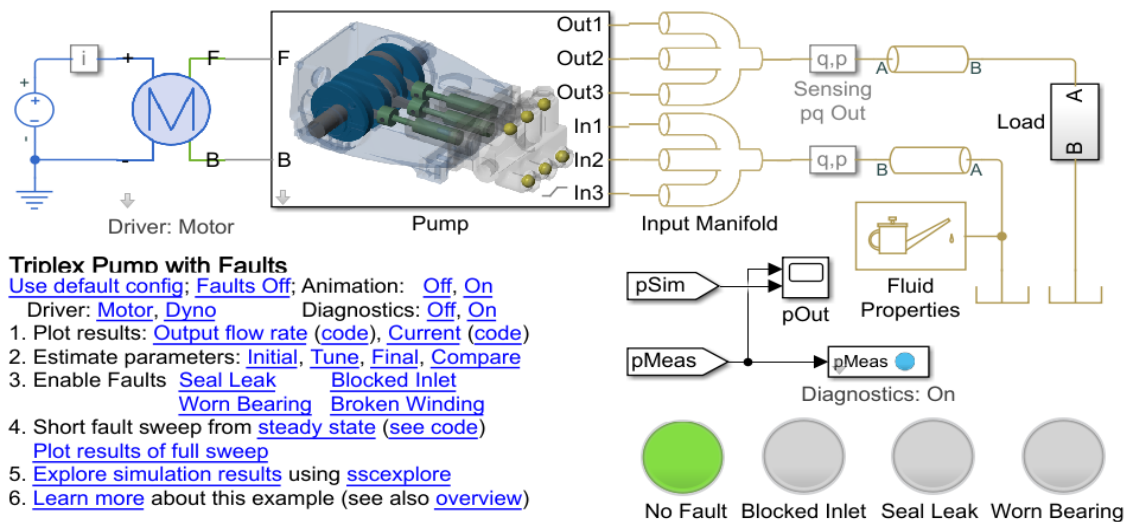
Le schéma représente le suivit de la machine à travers le programme de détection de defaults depuis la partie électrique jusqu'à la partie hydraulique en passant par la partie mécanique

### Description :

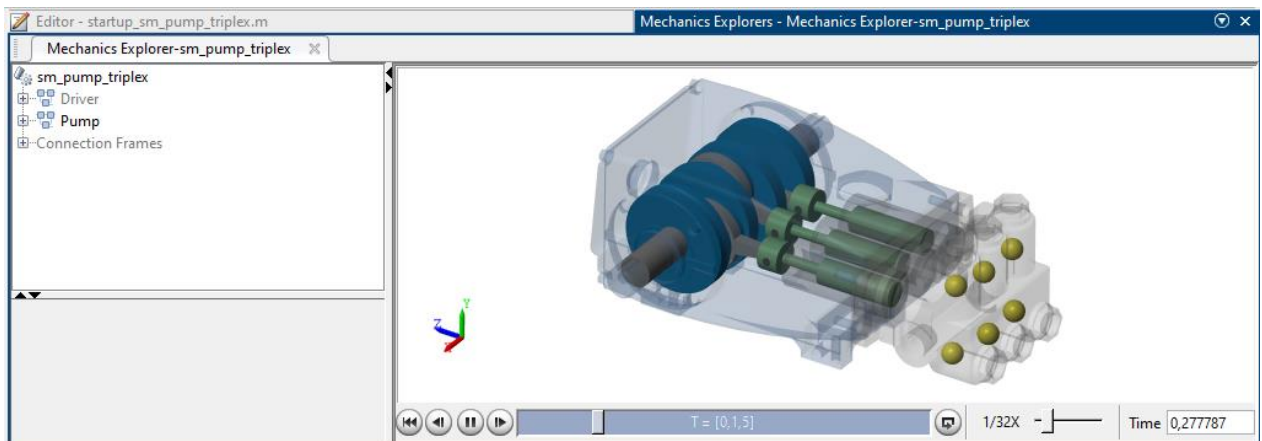
No Fault → Sans défaut / Blocked Intel → Les entrées bloquées

Seal Leak → Fuite de joint / Worn Bearing → Usure de roulement

### Etat initial

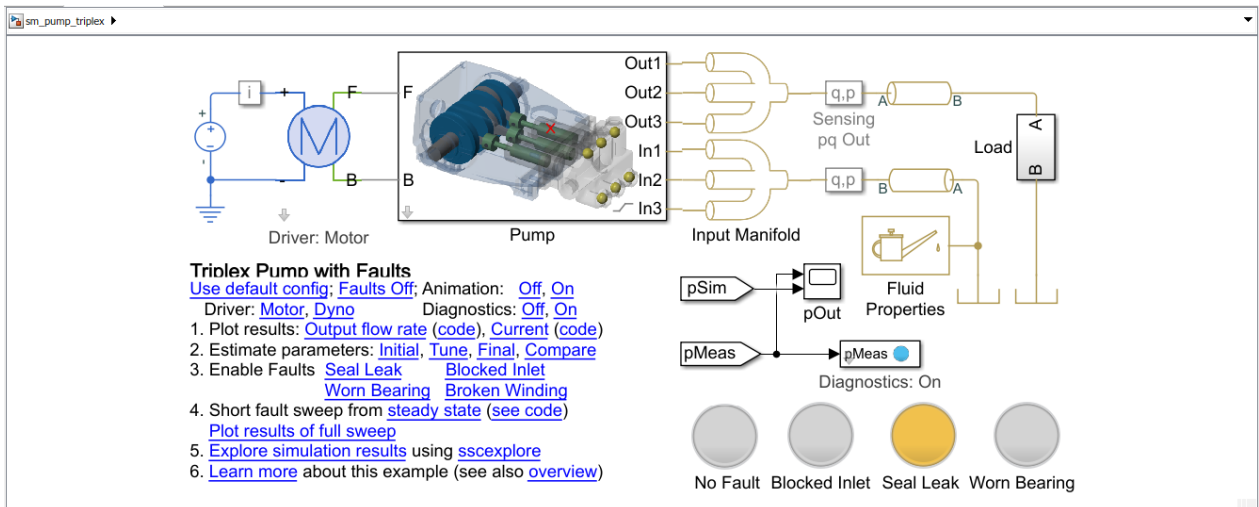


### Animation de l'état initial



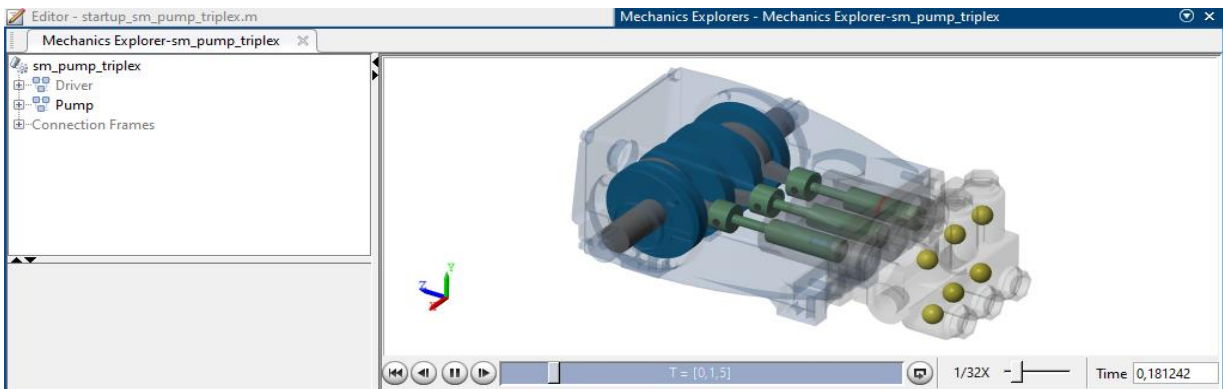
Après passage dans le programme de détection de defaults, le voyant vert s'allume signifiant que la machine est en parfaite état

## 1<sup>er</sup> Défaut fuit de joint

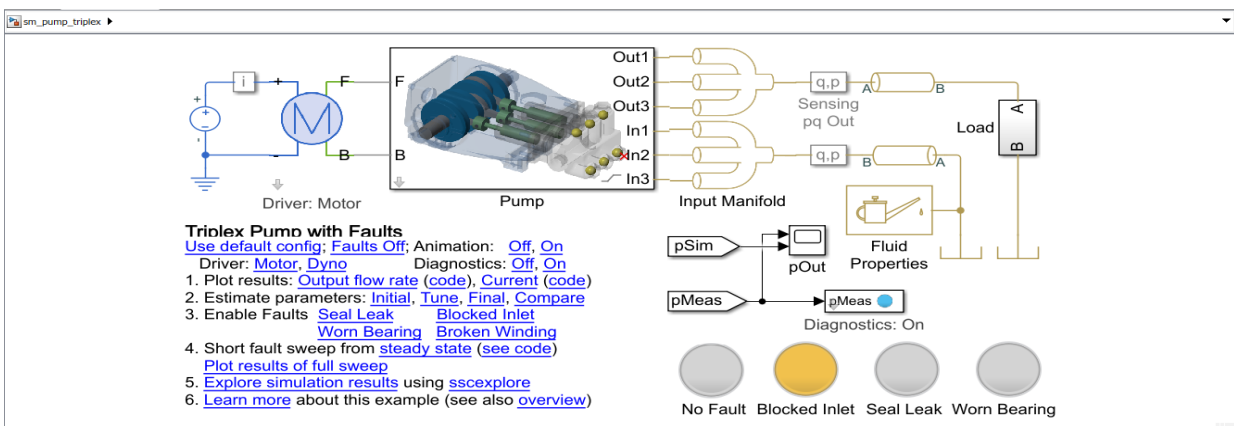


Après passage dans le programme le voyant orange s'allume signe qu'il y a une fuite de joint

## Animation de 1<sup>er</sup> défaut

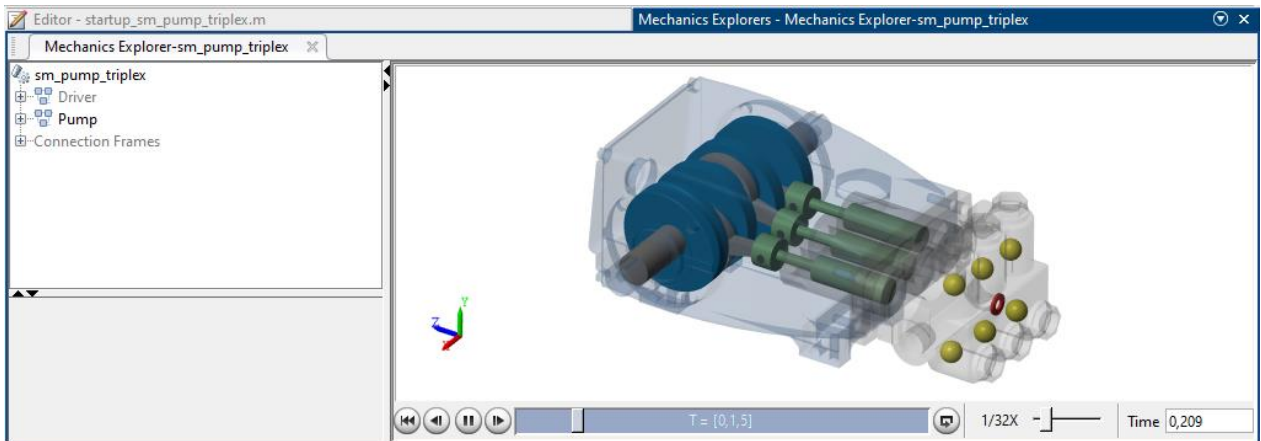


## 2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées

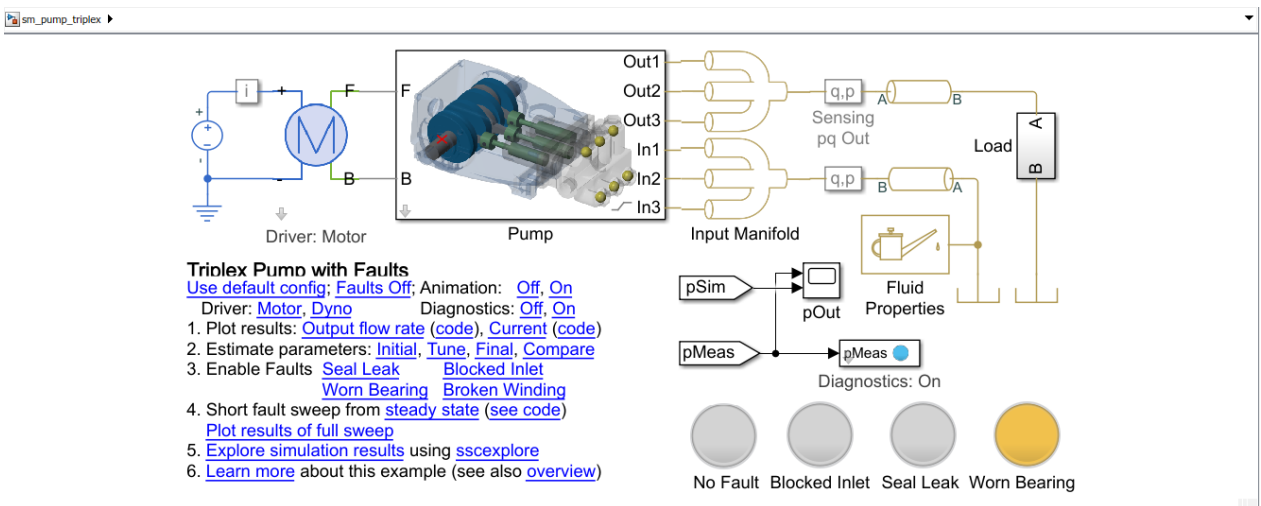


Après passage dans le programme le voyant orange s'allume signe que l'entrée est bloquée

## Animation 2ème défaut les entrées bloquées

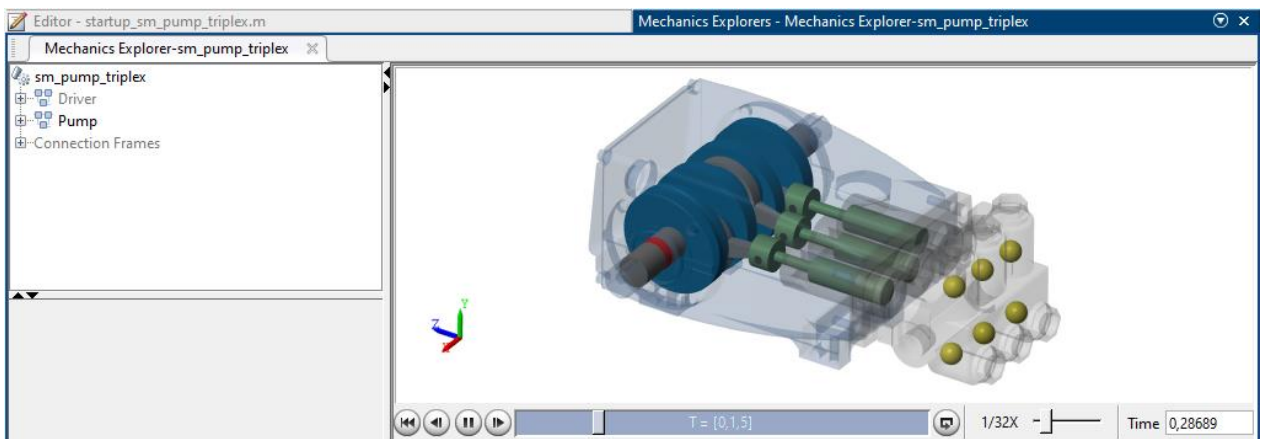


## 3eme défaut usure de roulement



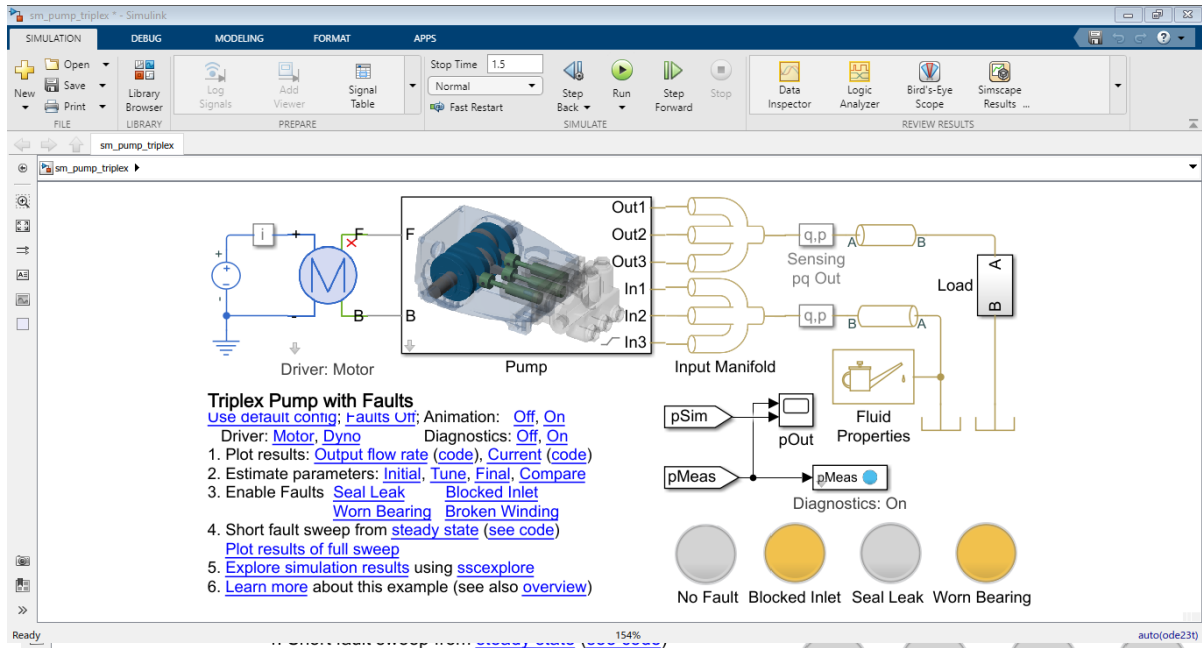
Après passage dans le programme le voyant s'allume signe qu'un roulement est usé

## Animation 3eme défaut usure de roulement

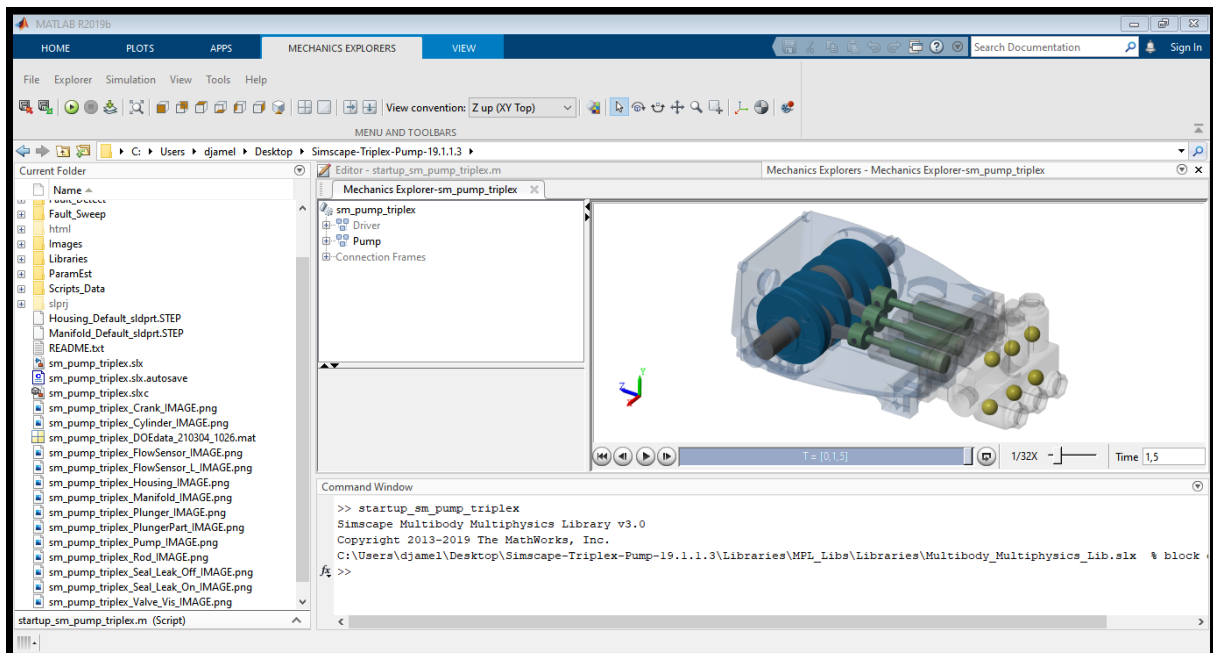


## 4ème défaut dégradation de bobinage (Broken Winding) :

Résultats avec le défaut dégradation de bobinage



## Animation de 4ème défaut dégradation de bobinage (Broken Winding) :

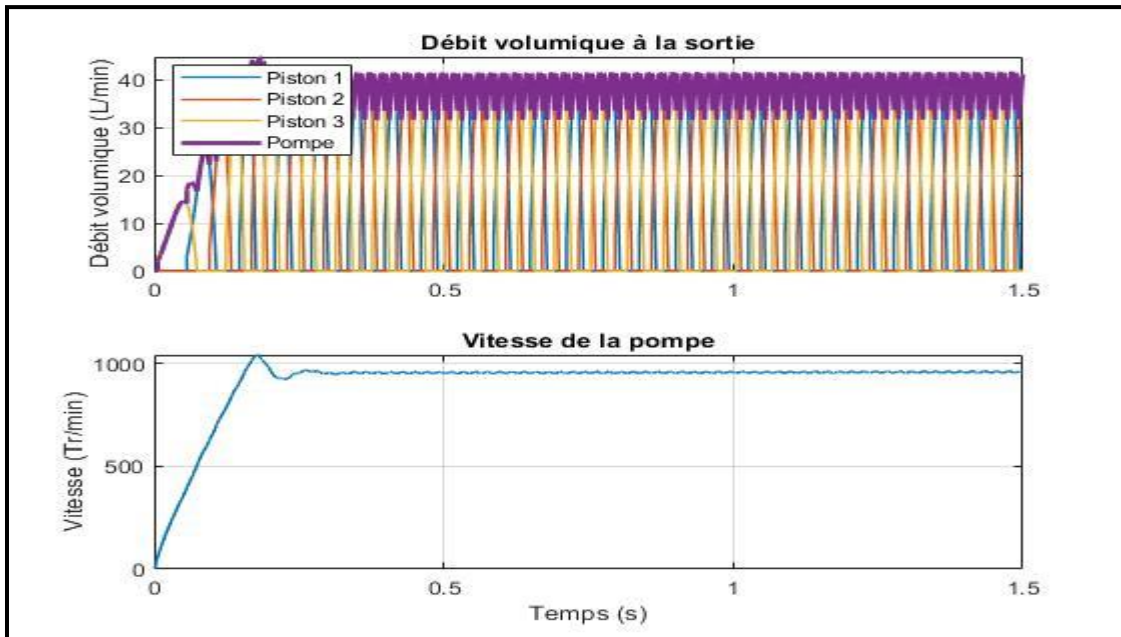


### III.4 Interprétation des courbes de Débit et la Vitesse de la pompe et la Pression :

#### III.4.1 Interprétation des courbes de Débit et la Vitesse de la pompe

##### Etat initiale

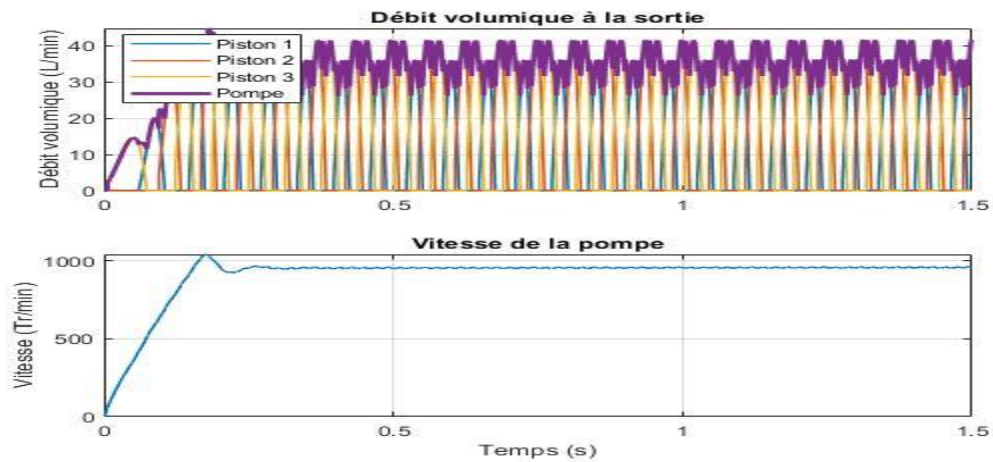
Les deux graphes sont dans leur état initial. Le premier graphe représente le débit volumique en fonction de temps et le 2ème représente la vitesse en fonction du temps.



**Figure III 13:** courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe à l'état initial

##### Premier défaut fuite de joint (Seal leak)

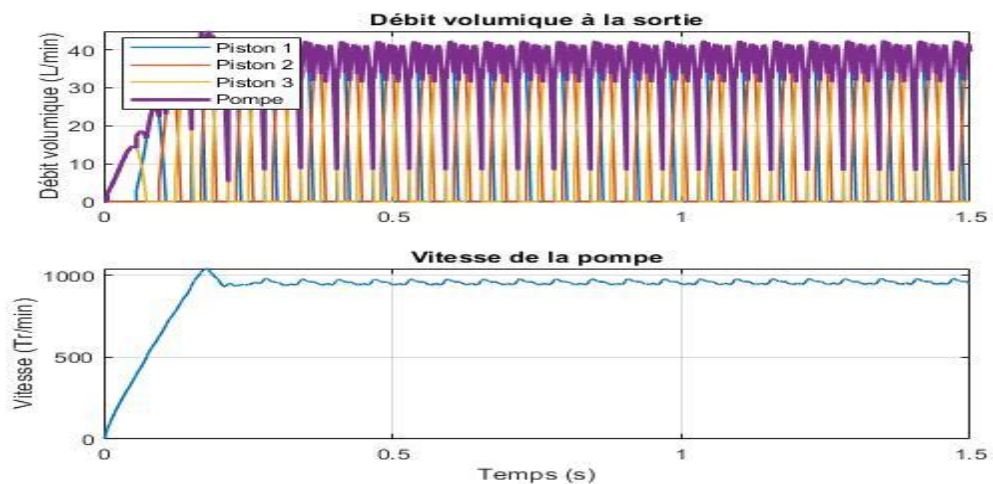
Dans ses 2 graphe il existe un défaut de fuite de joint ce qui a entrainé une perturbation au niveau du débit volumique par contre la vitesse de la pompe est resté la même que dans l'état initial .



**Figure III 14:** courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 1er défaut

### 2<sup>ème</sup> défaut les entrées bloquées (blocked inlet)

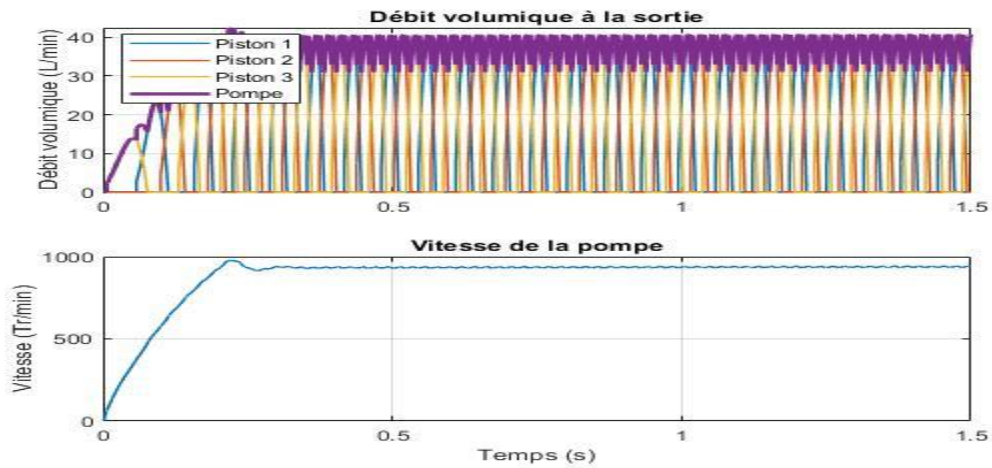
Dans ses 2 graphes il existe un défaut de blocage d'entrée ce qui a entraîné une légère perturbation au niveau du débit volumique, en ce qui concerne la vitesse de la pompe elle reste la même mais sous forme de fluctuations.



**Figure III 15:** courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 2eme défaut

### 3<sup>ème</sup> défaut usure du roulement (Worn Bearing)

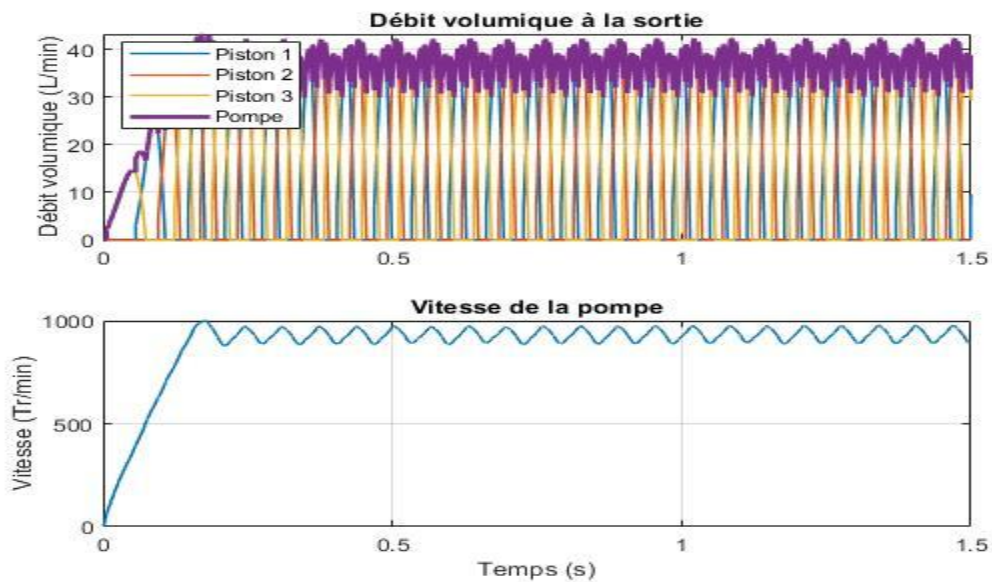
Dans ses 2 graphes il existe un défaut d'usure du roulement, le débit volumique est resté le même par contre on constate une évolution de la vitesse sous forme de courbe mais n'atteint pas la valeur maximale de l'état initial.



**Figure III 16:** courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 3eme défaut

### 4ème défaut dégradation de bobinage (Broken Winding)

Dans ses 2 graphes il existe un défaut dégradation de bobinage, on constate un dérèglement du débit volumique et une absence de régulation en ce qui concerne la vitesse.



**Figure III 17:** courbes de débit volumique a la sortie et la vitesse de la pompe après le 4eme défaut

### III.4.2 Interprétation des courbes de Pression

#### Etat initial

Le graphe est dans l'état initial. Il représente la pression en fonction de temps

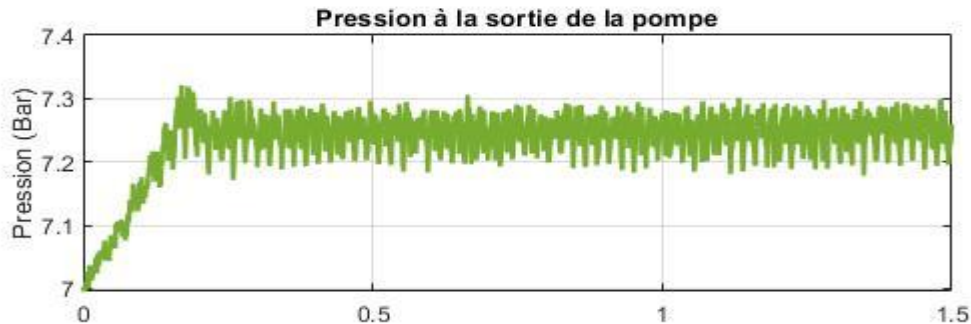


Figure III 18: graphe représente la pression à la sortie de la pompe a l'état initial

#### Premier défaut fuite de joint (Seal leak)

On constate un léger changement dans l'évolution de la pression de sorte qu'elle est moins concentrée et peine à rester stable à cause de la fuite de joint.

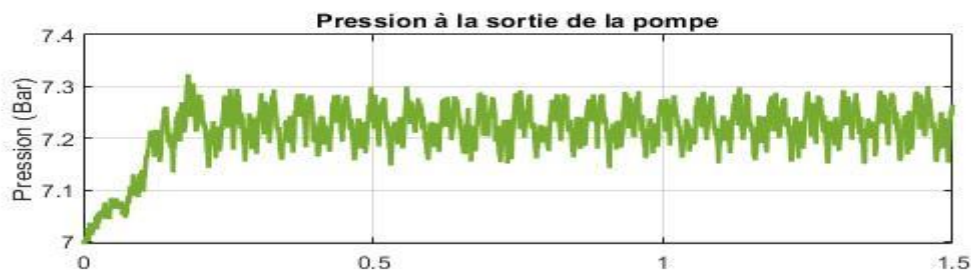
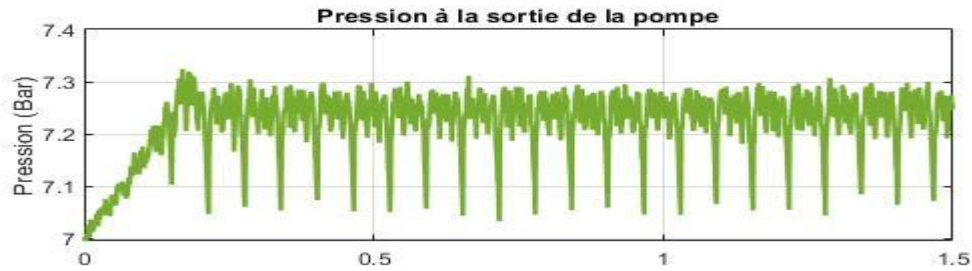


Figure III 19: graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 1er défaut

#### 2 ème défaut les entrées bloquées (blocked intel)

Dans ce graphe il existe un défaut de blocage d'entrée, ce qu'implique que la pression fluctue de manière importante pour à chaque fois essayer de rester stable.



**Figure III 20:** graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 2eme défaut

### 3ème défaut usure du roulement (Worn Bearing)

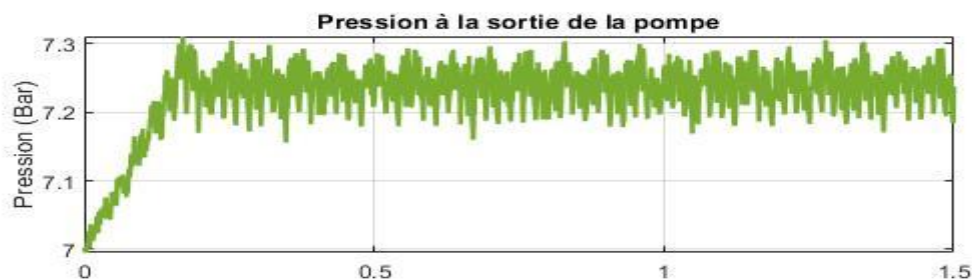
Dans ce graphe il existe un défaut d'usure de roulement, on constate que la pression est presque la même que l'état initial



**Figure III 21:** graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 3eme défaut

### 4ème défaut dégradation de bobinage (Broken Winding)

Dans ce graphe il existe un défaut de dégradation de bobinage, on constate que la pression est presque la même que l'état initial à raison de quelques fluctuations du au roulement brisé.



**Figure III 22:** graphe représente la pression à la sortie de la pompe après le 4eme défaut

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

Il est indéniable que l'industrie des temps modernes puisse rencontrer des dommages du cote mécanique surtout dans le domaine du forage ou les outils et machines sont soumis à rude épreuve de par la dureté de leur utilisation.

Pour y remédier, la maintenance continue de ces équipements est de rigueur, ce qui a fait l'objet de l'étude que nous avons réalisé au préalable sur la pompe triplex. Cela a été rendu possible avec l'utilisation du programme SIMSCAPE ; un algorithme de simulation et de modélisation de systèmes dynamiques.

Dans notre étude nous avons soumis une pompe triplex à 4 defaults que nous avons simulé, après avoir lancé le programme de maintenance nous avons recueillis les résultats suivants en fonction des defaults soumis :

1. Fuite de joint : nous constatant une perturbation au niveau du débit volumique, un léger changement dans l'évolution de la pression et une conservation de la vitesse.
2. Entrées bloquées : nous constatant une légère perturbation au niveau du débit volumique, une pression fluctuante de manière importante et une conservation de la vitesse.
3. Roulement usé : nous constatent que le débit volumique est resté le même, une pression similaire à l'état initial et une vitesse sous forme de courbe.
4. Bobinage défectueux : on constate un dérèglement du débit volumique, une pression similaire à l'état initial à raison de quelques fluctuations et une absence de régulation en ce qui concerne la vitesse.

Après que notre programme ait détecté ces défauts et traité leur origine il envoie un signal au tableau de contrôle où s'allume des jauges en fonction du problème détecté.

# **ANNEXE**

## ANNEXE

### Fiche technique Pompe triplex 1051

#### Caractéristiques

- La conception triplex offre un rendement élevé et une faible pulsation.
- La tubulure d'entrée spéciale du modèle 1051C permet un rinçage externe.

Pour un meilleur refroidissement avec des liquides à haute température et une lubrification avec liquides à faible lubrification.

- L'option d'entraînement par courroie permet un réglage précis du débit.
- Entraînement direct compact avec carter à cloche et coupleur flexible.

Moteur électrique NEMA ou IEC ou options hydrauliques disponibles.

- Joints NBR standard avec des options alternatives pour la température et la compatibilité chimique.

Compatibilité chimique.

<b>SPÉCIFICATIONS COMMUNES</b>	<b>U. S</b>	<b>Métrique</b>
<b>Alésage</b>	0,945"	24 mm
<b>Course</b>	1,181"	30 mm
<b>Capacité du carter</b>	(42 oz)	1,26 l
<b>Orifices d'entrée (2)</b>	3/4" NPT(F)	3/4" NPT (F)
<b>Orifices de rinçage (2) (1051C)</b>	1/8" NPT (F)	1/8" NPT (F)
<b>Orifices de refoulement (2)</b>	1/2" NPT (F)	1/2" NPT (F)
<b>Montage de la poulie</b>	Sur l'un ou l'autre côté	Sur l'un ou l'autre côté
<b>Diamètre de l'arbre</b>	1.181"	30 mm
<b>Poids</b>	44 Lbs	20 kg
<b>Dimensions (1051,1051C,1051D)</b>	16,10 x 12,99 x 6,45"	409 x 330 x 164 mm
<b>Dimensions (1057)</b>	16.25 x 12.99 x 6.45"	413 x 330 x 164 mm

<b>SPECIFICATIONS</b>	<b>U. S</b>	<b>Métrique</b>
<b>Débit</b>	10 Gal/m	38 L/m
<b>Plage de pression</b>	100 - 2200 psi	6.9 - 152 bar
<b>Vitesse de rotation de la pompe*</b>	958 tr/min	958 tr/min
<b>Pression d'entrée</b>	-5 - 60 psi	-0,35 - 4,1 bar
<b>Temp. max. Temp. Max du liquide (NBR)</b>	160°F	71°C

La vitesse minimale de la pompe est de 100 tr/min.

D'autres joints sont disponibles pour des températures plus élevées, jusqu'à 200° F.

<b>ALTERNATE SPECIFICATIONS</b>	<b>U. S</b>	<b>Métrique</b>
<b>Débit</b>	12,3 gal/m	46,6 l/m
<b>Plage de pression</b>	100 - 1800 psi	6.9 - 124 bar
<b>Vitesse de rotation de la pompe*</b>	1180 tr/min	1180 tr/min
<b>Pression d'entrée</b>	20 - 60 psi	1,4 - 4,1 bar
<b>Temp. max. Temp. max. du liquide (NBR)</b>	100°F	38°C

\*La pompe doit tourner au minimum à 100 tours/minute.

## CONFIGURATION ALTERNATIVE DU JOINT

MATÉRIAU	CODE SUFFIXE	TEMPÉRATURE	MAXIMALE
<b>NBR</b>	-	<b>160° F</b>	<b>(71° C)</b>
<b>FPM</b>	<b>.0110</b>	<b>180° F</b>	<b>(82° C)</b>
<b>EPDM</b>	<b>.0220</b>	<b>160° F</b>	<b>(71° C)</b>
<b>IPFE</b>	<b>.0770</b>	<b>200° F</b>	<b>(93° C)</b>
<b>HT</b>	<b>.3000</b>	<b>180° F</b>	<b>(82° C)</b>
<b>STHT</b>	<b>.3400</b>	<b>190° F</b>	<b>(88° C)</b>

Voir le bulletin technique 002 pour les conditions d'admission et le régime à haute température.

DÉTERMINER LE RÉGIME  
DE LA POMPE

$$\frac{\text{Gpm nominal}}{\text{"Régime nominal"}} = \frac{\text{Gpm "désiré"}}{\text{"souhaité" rpm}}$$

DÉTERMINATION  
LE P.C. REQUIS

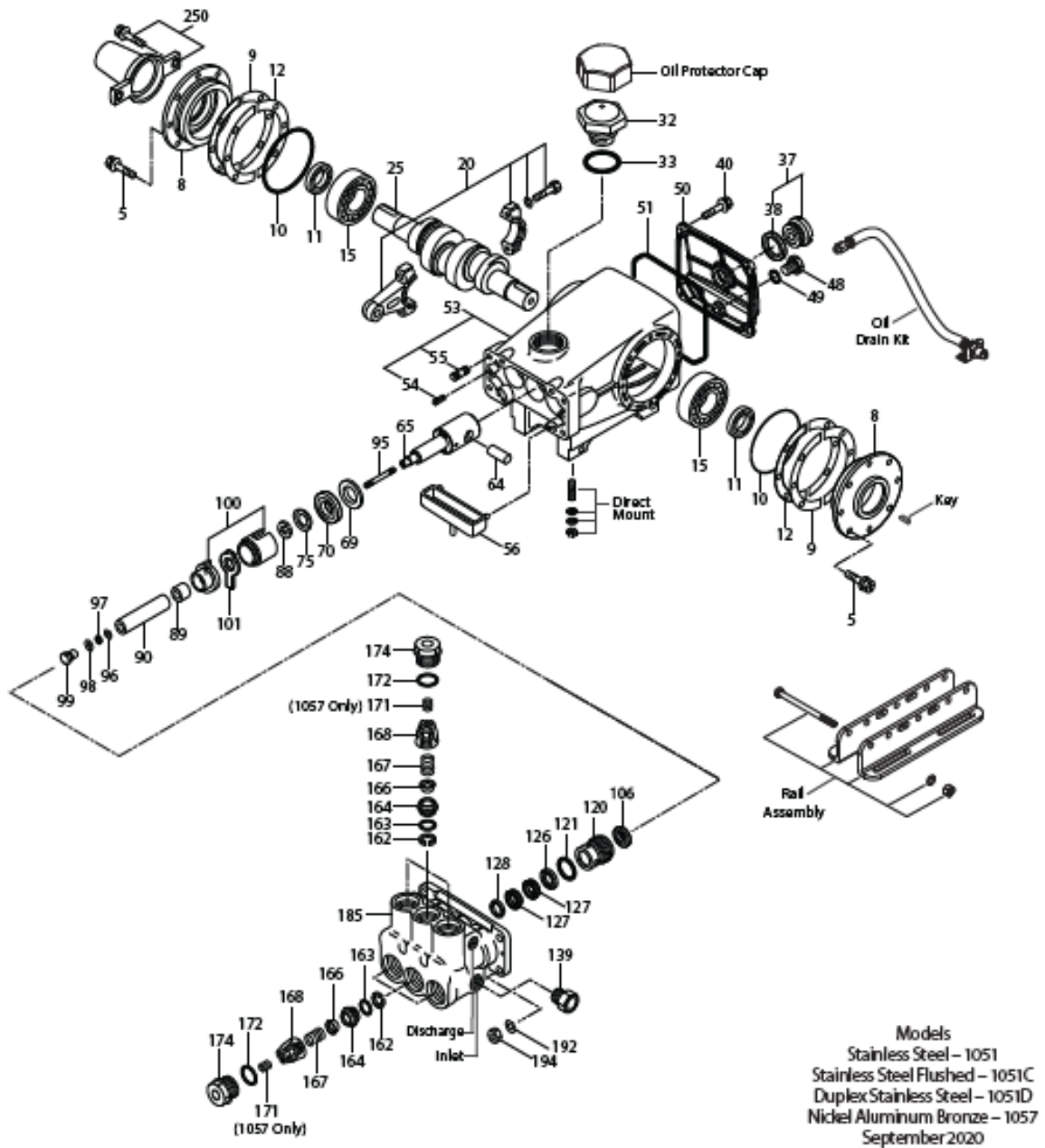
$$\text{HP (Frein électrique)} = \frac{\text{gpm x psi}}{1460}$$

DÉTERMINATION TAILLE  
DE LA POULIE DU MOTEUR

$$\frac{\text{D.E.de la poulie du moteur}}{\text{Régime de la pompe}} = \frac{\text{D.E.de la poulie de pompe}}{\text{Régime du moteur}}$$

Se reporter au manuel d'entretien de la pompe pour la procédure de réparation et les informations techniques supplémentaires.

# Vue éclatée



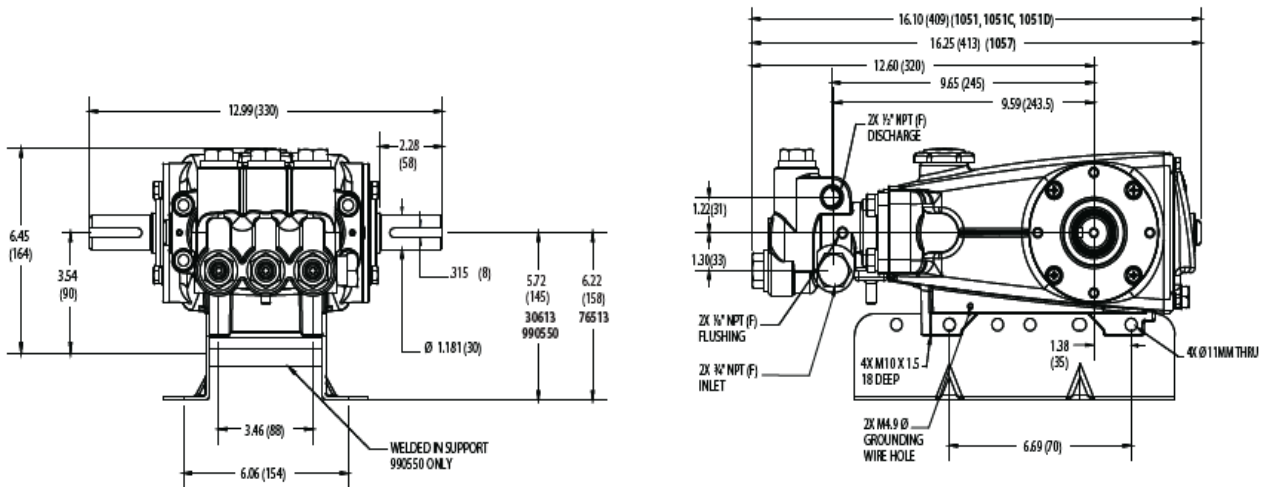
Numéro	Fréquence (1051/C/D)	Matériau	Nom	Quantité
5	49651	S	Vis, sems HHC (m8x20)	8
8	134805	ALE	Capot, palier	2
9	855043	FBR	Cale fendue, capot de roulement en 2 pièces	2
10	11340	NBR	Joint torique, capot de roulement – 70D	2
11	43495	NBR	Joint, huile, vilebrequin	2
12	855044	S	Cale fendue, capot de roulement en 2 pièces	0
15	39060	STL	Roulement, rouleau	2
20	48600	TNM	Tige, assemblage de raccordement	3
25	43494	FCM	Vilebrequin, double extrémité (M30)	1
32	43211	ABS	Bouchon de remplissage d'huile	1
33	14177	NBR	Joint torique, bouchon de remplissage – 70D	1
37	92241	PC	Jauge, huile, bulle avec joint d'étanchéité – 80D (voir le bulletin technique 074)	1
38	44428	NBR	Joint plat, jauge d'huile – 80D	1
40	92542	S	Vis, sems HHC (M6 x 20) (voir le bulletin technique 074)	4
48	25625	STCP	Bouchon, vidange (1/4" x 19BSP)	1
49	23170	NBR	Joint torique, bouchon de vidange – 70D	1
50	133576	ALE	Capot arrière	1
51	44834	NBR	Joint torique, capot arrière – 70D	1
53	134848	ALE	Carter (comprend : 54, 55)	1
54	27488	S	Épinglez, Guide	2
55	44005	S	Goujon, collecteur (M10 x 45)	4
56	44664	POP	Casserole, huile	1
64	43507	CM	Goupille, traverse	3
65	48892	SSHB	Tige, piston	3
69	126592	STCP R	Rondelle, joint d'huile	3
70	43500	NBR	Joint, huile, carter – 80D	3
75	43506	S	Élingue, barrière	3
88	45675	S	Rondelle, trou de serrure	3
89	45879	SS	Collier, entretoise	3
90	43552	CC	Piston (M24 x 77)	3
95	89651	SS	Goujon de retenue du piston (M6 x 70)	3
96	43235	PTFE	Anneau de renfort, dispositif de retenue du piston	3
97	17399	NBR	Joint torique, dispositif de retenue du piston – 80D	3
98	44041	SS	Joint, dispositif de retenue du piston	3
99	44031	SS	Dispositif de retenue, piston (M6)	3
100	855001	POP	Dispositif de retenue, sceller les 2 pièces [07/05]	3
101	43554		Wick, Long Tab	3
106	44035	NBR	Joint, LPS avec ressort SS	3
120	49286	SSNP	Étui scellé [07/05]	3
121	14762	NBR	Joint torique, étui étanche – 70D	3
126	48389	D	Adaptateur, femelle	3
	45073	SS	Adaptateur, femelle	3

127	103692	STG	V-emballage	6
128	45074	SS	Adaptateur, mâle	3
139	44382	SS	Bouchon, entrée [3/4" NPT(M)]	1
162	43248	PTFE	Anneau de rappel, siège de soupape	6
163	43249	NBR	Joint torique, siège – 80D	6
164	44037	SS	Siège	6
166	48793	SS	Vanne	6
167	44039	SS	Ressort, soupape	6
168	44564	PVDF	Dispositif de retenue, ressort	6
171	—	—	—	—
172	17617	NBR	Joint torique, bouchon de soupape	6
174	49293	SS	Bouchon, soupape	6
185	134823	SS	Tête, collecteur [8/18]	1
	49188	SS	Tête, collecteur, rincé (port 1/8 po) (1051C uniquement)	1
	134824	SSD	Head, Manifold (1051D seul) [8/18]	1
192	15847	S	Rondelle de blocage (M10)	4
194	81258	S	Écrou hexagonal (M10)	4
250	855047	NY	Protecteur, arbre avec deux vis	1

**CODES DES MATÉRIAUX** (Ne fait pas partie de la référence) :

<b>Abrv</b>	<b>Description</b>	<b>Abrv</b>	<b>Description</b>	<b>Abrv</b>	<b>Description</b>
ABS	ABS Plastic	FPM	Fluorocarbone	POP	Polypropylène
ALE	Aluminium époxy	HT	haute température	PTFE	Polytétrafluoroéthylène pur
CC	Céramique	IPEE	I-perfluoroelastomer	PVDF	fluorure de polyvinylidène
CM	chrome- molybdène	NAB	Nickel aluminium bronze	S	304SS
D	Acétal	NBR	= Nitrile moyen (Buna-N)	SS	316SS
EPDM	Ethylène Propylène Diène Monomère	NY	Nylon	SSD	Duplex SS
FBR	Fibre	PC	Polycarbonate	SSHB	316SS/Laiton haute résistance
FCM	Chrome molybdène forgé	PE	Polyéthylène	SSZZ	316SS/Zamak

STCP	Acier/Chrome plaqué	STG	Mélange spécial PTFE blanc	STHT	Spécial PTFE/haute température
------	------------------------	-----	-------------------------------	------	-----------------------------------



PIÈCES ET ACCESSOIRES EN OPTION			PIÈCES DE RECHANGE		
PARTIE	DESCRIPTION	QTÉ	PARTIE	DESCRIPTION	QTÉ
30067	Clé (M8 x 7,5 x 25)	1	<b>33916</b>	Kit d'étanchéité – Standard	1
30264	Mount, Direct	1	<b>34387</b>	Kit de vannes – Standard	2
30613	Ensemble, rail (voir le schéma dimensionnel)	1	6107	Huile, bouteille (21 oz) ISO 68 hydrauliques	2
76513	Ensemble, rail (voir le schéma dimensionnel)	1	6119	Lubrifiant et anti-grippant (2 oz) (voir le Bulletin technique 095) 1051, 1051C, 1051D	1
990550	Ensemble, rail pour Diesel/Gaz (Voir Schéma dimensionnel)	1	6119	Lubrifiant et anti-grippant (2 oz) (voir le Bulletin technique 095) 1051, 1051C, 1051D	1
828710	Protecteur, bouchon d'huile avec joint en mousse	1	6124	Joint, Liquide (3 oz.)	1
34334	Kit de vidange d'huile (3/8" x 24") (voir la fiche technique individuelle)	1	<b>818333</b>	Tête complète avec joints et joints toriques NBR modèle 1051C	1
33006	Douille, boîtier d'étanchéité (entraînement de 1/2 po)	1	<b>818442</b>	Tête complète avec joints et joints toriques NBR modèle 1051D	1
30696	Pinces, Reverse	1	<b>815261</b>	Tête complète avec joints et joints toriques NBR modèle 1057	1
30059	Moyeu, « H » 30 mm (clavette M8)	1	<b>816771</b>	Tête complète avec joints et joints toriques NBR modèle 1051	1

**KITS D'ÉTANCHÉITÉ** Un (1) kit d'étanchéité par pompe

MODÈLES DE POMPE	NBR (STD)	FPM (.0110)	EPDM (.0220)	IPFE (.0770)	STHT (.3400)
1051, 1051C, 1051D, 1057	33916	30986	33913	76913	76062

ARTICLE (inclus dans les trousse d'étanchéité).						DESCRIPTION	QTÉ
97	17399	14160	46204	701715	17399	Joint torique, dispositif de retenue du piston	3
100	855001	855001	855001	855001	855001	Dispositif de retenue, sceller 2 pièces	3
106	44035	44388	46208	703243	76035	Joint, LPS avec ressort SS	3
121	14762	11737	46205	701851	14762	Joint torique, étui étanche	3
127	103692	103692	103692	103692	103692	V-Packing	6

◆ Huile/graisse de silicone requise

**KITS DE VANNES** Deux (2) kits de vannes par pompe

MODÈLES DE POMPE	NBR (STD) STHT (.3400)	FPM (.0110)	EPDM (.0220)	IPFE (.0770)
1051, 1051C, 1051D, 1057	34387	30987	31258	76385

ARTICLE (inclus dans les trousse de soupapes)					DESCRIPTION	QTÉ
162	43248	43248	43248	43248	Anneau de renfort, siège	3
163	43249	44383	46206	701852	Joint torique, siège	3
164	44037	44037	44037	44037	Siège	3
166	48793	48793	48793	48793	Vanne	3
167	44039	44039	44039	44039	Printemps	3
168	44564	44564	44564	44564	Dispositif de retenue, ressort	3
172	17617	11691	46207	701853	Joint torique, bouchon de soupape	3

◆ Huile/graisse de silicone requise

# **BIBLIOGRAPHIE**

## **Bibliographie**

### **Chapitre I**

[1] *Mémoire* de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; *Thème* : utilisation de la GMAO pour la planification de la maintenance préventive – *Présenté par* : SALAH Oussama & MEDDOUR Abdessalem – *Université* MOHAMED BOUDIAF - M'SILA – *Faculté* : TECHNOLOGIE – *Département* : DE GENIE ELECTRIQUE – *Spécialité* : Maintenance Industrielle

[2] *Mémoire* de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; *Thème* : Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive – *Présenté par* BELOUADAH Abdenaceur – *Université* OHAMED BOUDIAF - M'SILA – *Faculté* : TECHNOLOGIE – *Département* : DE GENIE ELECTRIQUE – *Spécialité* : Ingénierie Des Systèmes Electromécaniques

[3] *Mémoire* de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Magister ; *Thème* : intégration des techniques du datamining dans le processus de gestion des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application à la maintenance industrielle - *Présenté par* : MEKROUD Noureddine – *Université* Ecole Doctorale d'Informatiques – *option* : ingénierie des systèmes informatiques

[4] *Mémoire* de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; *Thème* : analyse de la fonction maintenance a l'unité TSS – SIDER ANNABA – *Présenté par* : MAHFOUD Brahim – *Université* de BADJI MOKHTAR ANNABA – *Faculté* : DES SCIENCES DE L'INGENIORAT – *Département* : DE GENIE MECANIQUE – *Spécialité* : Maintenance Industrielle et Fiabilité Mécanique

[5] **Rapport de stage** M2 Systèmes Informatiques Intelligents et Autonomes : Intelligence Artificielle appliquée à la maintenance prédictive d'onduleurs **Réaliser par** : Ibtissem TAZTAZ **Tuteur** : Romain Le FORSTIER **Enseignant référent** : Vincent RODIN **Année** : 2018-2019 **UNIVERSITÉ** : DE BRETAGNE OCCIDENTALE **Faculté** des Sciences et Techniques **Département** INFORMATIQUE

[6] **THÈSE** Présentée pour obtenir le diplôme de **Doctorat** 3ème Cycle LMD En Génie Mécanique **Thème** : Développement d'un outil de pronostic pour la maintenance des systèmes mécaniques Présenter Par : **DEBBAH** Younes ; **Soutenue le** : 28 Mai 2018 **UNIVERSITÉ** DES FRÈRES MENTOURI – CONSTANTINE **FACULTÉ** DES SCIENCES DE LA

TECHNOLOGIE **DÉPARTEMENT** DE GÉNIE MÉCANIQUE **OPTION** : Maintenance Industrielle

[7] : **MÉMOIRE** PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE, CONCENTRATION PERSONNALISÉE M. Sc. A. **Thème** : Application des techniques d'apprentissage automatique pour la prédiction de la tendance des titres financiers **Présenter par** : Rachid MIFDAL.

[8] **Mémoire** présenté à l'**Université** du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences appliquée en ingénierie, profil recherche **Thème** : Application des algorithmes d'apprentissage automatique pour la détection de défauts de roulements sur les machines tournantes dans le cadre de l'Industrie 4.0 **Présenter Par** : **WendBenedo Arnaud Bienvenue ZOUNGRANA** ;2020.

[9] A. Cornuéjols, L. Miclet, Y. Kodratoff, « Apprentissage Artificiel, Concepts et algorithmes » ISBN 2-212-11020-0, 2002.

[10] **Mémoire** Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Informatique **Option** : Informatique Industrielle **Thème** : Apprentissage Incrémental & Machines à Vecteurs Supports **Présenté par** : Marref Nadia **Université** HADJ LAKHDAR – BATNA **Faculté** : des sciences **Département** : d'Informatique **Soutenu le** :18 /12 /2013.

## Chapitre II

[1] **COURS Hydraulique** IUT GENIE CIVIL – **UNIVERSITE** DE LIMOGES **MODULE** HYDRAULIQUE

[2] **Mémoire de fin d'études** en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel **Thème** ETUDE ET MAINTENANCE D'UNE POMPE A BOUE TRIPLEX A SIMPLE EFFET NATIONAL-OIL-WELL 12P160 **Présenté par** : Boudermine Ahmed Chawki Adjerrime Mouhamed Lamine Benkaouha Wail **UNIVERSITE** KASDI MERBAH OUARGLA **Faculté** des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de la Terre et de l'Univers **Département** de Forage et mécaniques des chantiers pétroliers **Spécialité** : Forage pétrolier

[3] **Mémoire de fin d'études** En vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel  
**Thème** : Etude, Conception et simulation d'une pompe centrifuge **Présenté par** : Kedjouch  
Ismail Khattab Redouane **UNIVERSITE DE KASDI MERBAH** **Faculté** des hydrocarbures et  
des énergies renouvelable et sciences de la terre et de l'univers mécaniques des chantiers  
pétroliers **Option** : Mécanique des chantiers pétroliers

[4] **Mémoire** de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de **Master** en  
Hydraulique **Thème** : Etude de système de refoulement TAFNA-DZIOUA **Présenté par** :  
\***HAMMAD** Mhammed Yehya \***MADOUNI** Choukri **UNIVERSITE** ABOU BEKR  
BELKAID **Faculté** de Technologie **Département** d'hydraulique **Option** : Eau Sol et  
Aménagement

[5] **Mémoire** de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; **Thème** :  
Rénovation de la station de pompage de l'hôtel Stambouli – Calcul du point de fonctionnement  
– **Présenté par** : HAMEL Mustapha **Université** Aboubakr Belkaïd – Tlemcen – **Faculté** de  
Technologie **Département** : Génie Mécanique **Spécialité** : Génie Energétique

[6] **Mémoire** de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; **Thème** : Etude et  
dimensionnement d'une pompe à boue – **Présenté par** : TEMACINI Djaber **Université**  
Mohamed khider – Biskra – **Faculté** des sciences et Technologies **Département** : de Génie  
Civil et Hydraulique **Spécialité** : Hydraulique

[7] **Mémoire** de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; **Thème** : Analyse  
et diagnostic des pompes industrielles (Etude de cas au niveau de HENKEL Ain Temouchent)  
– **Présenté par** : ABDALLAH BENKHATTOU Hocine **Université** de Tlemcen – **Faculté** de  
Technologie **Département** : de Génie Mécanique **Spécialité** : MAINTENANCE  
INDUSTRIELLE

[8] **Mémoire** de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; **Thème** : Etude et  
Maintenance des pompes centrifuges industrielles – **Présenté par** : MOUMENE SALAH  
EDDINE **Université** de BADJI MOKHTAR- ANNABA – **Faculté** de Sciences de L'Ingéniorat  
**Département** : Électromécanique **Spécialité** : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

[9] **Mémoire** de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; **Thème** : Mise au  
point d'un banc d'essai d'une motopompe centrifuge – **Présenté par** : Ben Salaheddine

Faouzi Ouahrani Houda *Université* A. MIRA-BEJAIA – *Faculté* des sciences et Technologies *Département* : DE GENIE électrique *Spécialité* : Électromécanique

[10] *Mémoire* de fin d'études pour l'obtention du diplôme de **MASTER** ; *Thème* : Diagnostic de la station de pompage d'eau de Draa El Khmis (wilaya de Bouira) – *Présenté par* : M. Selmane Tahar M. Ouramdane Younes *Université* de DE BOUIRA – *Faculté* DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES *Département* : DE GENIE CIVIL *Spécialité* : Ressources Hydrauliques

[11] : *Mémoire de fin d'études* en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel *Thème* ETUDE ET MAINTENANCE D'UNE POMPE A BOUE TRIPLEX A SIMPLE EFFET NATIONAL-OIL-WELL 12P160 *Présenté par* : ZEDIRI Seif Eddine MAMRA Yacine *UNIVERSITE* KASDI MERBAH OUARGLA *Faculté* des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de la Terre et de l'Univers *Département* de Forage et mécaniques des chantiers pétroliers *Spécialité* : Forage d'eau Soutenu publiquement : le 03 Juin 2017