

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE 20 AOUT 1955 DE SKIKDA

Faculté des sciences
Département d'Informatique



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
du diplôme de Master Professionnel en Informatique**

Option :

Génie Logiciel Avancé et Applications

Thème :

**Conception et réalisation d'un système à base de cas
pour la détection des pannes des échangeurs de chaleur**

- Réalisée par:
- Rahmouni Hiba

➤ Membre du jury:

Présidente	Bouarroudj Samia
Examineur	Layadi Said
Encadrant	Kissoum Yacine

Session:2023/2024

Dédicaces

Je dédie cet effort à celui qui m'a aidé à chaque étape de ce projet.

À ma famille, pour leur soutien indéfectible et leur encouragement constant, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.

À mes amis, pour leur présence réconfortante et leurs conseils avisés, qui ont rendu cette aventure plus agréable.

À mes professeurs et encadrants, pour leur guidance, leur expertise et leur patience, qui ont été essentiels à la réalisation de ce projet.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à cette réussite, je vous exprime ma profonde gratitude.

Remerciements

je remercie tout d'abord le bon dieu pour m'avoir donné le courage et la santé pour accomplir ce travail.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Kissoum Yacine, mon encadrant, pour son expertise, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce projet. Sa guidance et ses encouragements ont été essentiels à la réussite de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance aux membres du jury : Madame Bouarroudj Samia, présidente du jury, pour sa bienveillance et ses observations pertinentes, et Monsieur Layadi Said, examinateur, pour ses remarques constructives et son évaluation rigoureuse.

Un merci du fond du cœur à ma famille, qui a toujours été là pour moi. À mes parents, pour leur amour et leur soutien inconditionnels ; à mon père, qui nous a quittés, pour tout ce qu'il m'a appris et pour sa présence spirituelle qui continue de m'inspirer ; et à mes sœurs et mon frère, pour leur soutien et leurs encouragements constants. Sans vous, ce projet n'aurait pas été possible.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Résumé

Recourir aux solutions des cas précédents similaires est un réflexe puissant et extrêmement naturel. L'objectif de ce mode de raisonnement est de réutiliser les expériences passées pour résoudre de nouveaux problèmes, car il est évident et légitime que les expériences passées sont réutilisées. Les solutions aux problèmes similaires seront similaires, et il est fréquent de se retrouver face à un problème que l'on a déjà rencontré. La présente étude vise à présenter une solution basée sur RàPC afin de détecter précocement et réduire les pannes des échangeurs de chaleur.

Mots clés : RàPC, échangeurs de chaleur.

Abstract

Resorting to solutions from similar past cases is a powerful and extremely natural reflex. The objective of this mode of reasoning is to reuse past experiences to solve new problems, as it is obvious and legitimate that past experiences are reused. Solutions to similar problems will be similar, and it is common to encounter a problem that one has already faced. The present study aims to present a solution based on Case-Based Reasoning (CBR) to detect and reduce heat exchanger failures early.

Key words : RàPC, heat exchangers.

المخلص

الاستعانة بحلول الحالات السابقة المشابهة هو رد فعل قوياً وطبيعي للغاية. الهدف من هذا الأسلوب في التفكير هو إعادة استخدام التجارب السابقة لحل المشكلات الجديدة، حيث من الواضح والمشروع أن التجارب السابقة تُعاد استخدامها. ستكون الحلول للمشكلات المشابهة متشابهة، وغالباً ما نواجه مشكلة سبق وأن قابلناها. تهدف هذه الدراسة إلى تقديم حل قائم على المنطق المعتمد على الحالات (CBR) من أجل الكشف المبكر وتقليل أعطال المبادلات الحرارية.

الكلمات المفتاحية: الاستدلال القائم على الحالات، (RàPC)، المبادلات الحرارية

Table des matières

Table de matières.....	1
Liste d'abréviation.....	2
Liste des tableaux.....	3
Liste des figures.....	4
Introduction générale.....	5

Chapitre 1: Le raisonnement à Partir de Cas (RàPC)

1.1 Introduction.....	5
1.2 Présentation de l'approche du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC).....	5
1.2.1 Historique	5
1.2.2 Définition du cas.....	5
1.2.3 Structure de cas.....	5
1.2.4 Indexation du cas.....	6
1.3 Modèles de RàPC.....	7
1.3.1 Le modèle conversationnel.....	7
1.3.2 Le modèle textuel.....	8
1.3.3 Le modèle structurel.....	8
1.4 Base de cas (la mémoire dans les systèmes de RàPC).....	8
1.4.1 Base de cas plate.....	9
1.4.2 Base de cas hiérarchique.....	9
1.5 Cycle du RàPC.....	9
1.5.1 Phase d'élaboration du cas.....	10
1.5.2 Phase de Recherche (la remémoration).....	10
1.5.3 Phase de Réutilisation(l'adaptation).....	10
1.5.4 Phase de révision(la validation).....	11
1.5.5 Phase d'apprentissage (la mémorisation).....	11
1.6 Quelques systèmes de RàPC.....	11

1.6.1 PERSUADER.....	11
1.6.2 ReThinK.....	12
1.6.3 CBR-Works.....	12
1.6.4 Kate Suite.....	12
1.6.5 jCOLIBRI.....	12
1.7 Algorithmes de recherche des cas similaires.....	12
1.8 La conclusion.....	13

Chapitre 2: Aspects théoriques des Échangeurs de chaleur

2.1 Introduction.....	15
2.2 Présentation de sonatrach.....	15
2.3 Organigramme de l'ensemble de la SONATRACH.....	16
2.4 Organisation de la Raffinerie de Skikda.....	16
2.4.1 Présentation de la raffinerie de Skikda.....	17
2.4.2 Situation géographique.....	17
2.5 Description des diverses unités.....	17
2.5.1 Département production I.....	17
2.5.2 Département production II.....	18
2.6 L'échangeur de chaleur.....	18
2.6.1 Définition.....	18
2.6.2 Structure de l'échangeur.....	18
2.6.3 Matériaux utilisés dans les échangeurs de chaleur.....	19
2.6.4 Classification des échangeurs de chaleur.....	20
2.6.5 Le processus de transmission.....	20
2.6.6 Géométrie de construction.....	20
2.6.7 Utilisation des échangeurs tubulaires.....	22
2.6.8 Utilisation des échangeurs à plaques.....	23
2.6.9 Mécanismes de transfert de chaleur	23
2.6.10 Autres types d'échangeurs.....	24
2.6.11 Rôles des échangeurs.....	29
2.6.12 L'encrassement des Echangeurs de chaleur.....	30
2.6.13 Classification : différents types d'encrassement.....	23

2.7 La conclusion.....	34
------------------------	----

Chapitre 3: Modélisation et similarité

3.1 Introduction.....	36
3.2 Langage de conception UML.....	36
3.3 Les Diagrammes UML utilisés.....	36
3.4 Exigence fonctionnelle.....	37
3.4.1 Diagramme de cas d'utilisation.....	37
3.4.2 Diagramme de classe.....	49
3.4.3 Diagramme de séquence.....	40
3.4.4 Diagramme d'activité.....	42
3.5 Le processus de recherche de cas.....	43
3.5.1 Similarités locales	44
3.5.2 Similarités globale.....	44
3.6 Conclusion	45

Chapitre 4: Implémentation

4.1 Introduction.....	47
4.2 Les outils utilisés pour la construction de l'application.....	47
4.2.1 Le Langage de programmation Python.....	47
4.2.2 Visual Studio Code (VS Code).....	47
4.2.3 WampServer.....	48
4.2.4 MySQL.....	49
4.3 Quelques interfaces de notre Application.....	49
4.3.1 Interface principale.....	49
4.3.2 Interface un nouveau cas.....	50
4.3.3 Interface ajouter un historique	51

4.3.4 Interface service..... 52

4.3.5 Interface s’inscrire53

4.3.6 Interface de connexion.....54

4.4 Conclusion..... 54

Liste des abréviations

CBR:Case-Based Reasoning

RàPC:Raisonnement à partir de cas

PHP:Hypertext Preprocessor

HTTP:Hypertext Transfer Protocol

IDE:Integrated Development Environment

GIT:Global Information Tracker

IA: Intelligence Artificielle

Liste des tableaux

Tableau 01 Composantes essentielles d'un 2changeur de chaleur.....	19
---	-----------

Table des figures

Figure 1.1: Illustration d'une situation dans un modèle de conversation	7
Figure 1.2: Illustration d'un cas présenté dans un modèle structurel de RèPC.	8
Figure 1.3 : Le cycle de raisonnement à partir de cas.....	10
Figure 2.1: Organigramme de l'ensemble de la SONATRACH.....	16
Figure 2.2: organigramme de la raffinerie de SKIKDA RA1K.....	16
Figure 2.3 : Situation géographique de la Raffinerie de Skikda.....	17
Figure 2.4: Structure générale d'un échangeur de chaleur (thermique).....	19
Figure 2.5 : Principe échangeur tubulaire	20
Figure 2.6 : Diverses variétés d'échangeurs tubulaires.....	21
Figure 2.7 : Composition d'un échangeur à plaques.....	22
Figure 2.7 : Configuration d'écoulements des échangeurs de chaleur.....	24
Figure 2.8 : Échangeurs régénérateurs rotatifs à matrice tournant.....	25
Figure 2.9: Échangeurs régénérateurs statiques	26
Figure 2.10: Échangeurs à caloducs.....	27
Figure 2.11: Échangeur spirale.....	27
Figure 2.12: Echangeur de chaleur lamellaire	28
Figure 2.13 : Échangeur de chaleur à plaques brasées	28
Figure 2.14: Echangeur sale et propre.....	30
Figure 2.15: Dépôt de forte épaisseur dans un tube de surchauffeur de Chaudière MP..	31
Figure 2.16 : Entartrage d'une chaudière à tubes de fumée (P=15 bar).....	31
Figure 2.17: Dépôt de slime bactérien, hydrocarbures et oxydes métalliques dans un échangeur de chaleur eau hydrocarbures (Raffinerie de pétrole).....	33
Figure 2.18 : Formation de dépôt	34
Figure 3.1 : Le diagramme de cas d'utilisation.....	37
Figure 3.2: Le diagramme de classe.....	39
Figure 3.3.: Le diagramme de séquence	40
Figure 3.4: Le diagramme d'activité.....	42
Figure 3.5: Le processus de recherche de cas.....	43
Figure 4.1: Logo Python.....	47
Figure 4.2: Logo de Visual Studio Code (VS Code)	47
Figure 4.3: Logo de WampServer	48
Figure 4.4: Logo de MYSQL.....	49
Figure 4.5: L'interface principale	50
Figure 4.6: l'interface nouveau cas avec la méthode Jaccard.....	50
Figure 4.7: l'interface nouveau cas avec la méthode Chebyshev.....	51
Figure 4.8: l'interface ajouter un historique.....	51
Figure 4.9: L'interface service.	52
Figure 4.10: l'interface s'inscrire.....	53
Figure 4.11: L'interface de connexion.....	54

Introduction générale

La prévention des pannes des échangeurs de chaleur constitue un enjeu majeur dans un contexte industriel où la fiabilité et la performance des équipements sont cruciales. De nombreux processus industriels impliquent l'utilisation de ces composants, en particulier dans les domaines de la production d'énergie, de la chimie, de la pétrochimie et de l'industrie alimentaire. Les pannes inattendues peuvent entraîner des coûts de réparation élevés, des arrêts importants de production et même des accidents graves.

En effet, Les échangeurs de chaleur sont fréquemment utilisés dans un large éventail d'applications, bien qu'ils soient utilisés dans des domaines très variés avec la même fonction de base : transférer de l'énergie thermique entre deux ou plusieurs fluides à des températures différentes. Ils sont également présents dans les domaines industriels (chimie, pétrochimie, agroalimentaire, électricité, etc.), résidentiels (chauffage et climatisation) et de transport[1].

En effet, le système de détection des pannes est capable d'identifier les signes avant-coureurs de défaillance, de les analyser en se basant sur des cas similaires, et de suggérer des actions correctives adéquates. Il est possible d'anticiper les pannes, d'optimiser les opérations de maintenance et d'augmenter la disponibilité des installations industrielles.

Au-delà de l'aspect technique, cette étude examine également les conséquences économiques et organisationnelles de l'application de cette solution. En effet, la transition vers une maintenance prédictive basée sur le RBC nécessite des investissements en infrastructures, des formations et un changement de paradigme au sein des entreprises. Cependant, ces efforts peuvent être justifiés par des avantages potentiels en termes de réduction des coûts de maintenance, d'amélioration de la productivité et de renforcement de la compétitivité.

En utilisant une revue de la littérature actuelle, des études de cas spécifiques et des analyses approfondies, l'objectif de ce mémoire est d'examiner les divers aspects de cette question. Cette recherche vise à contribuer à l'avancement des connaissances dans ce domaine stratégique de l'ingénierie industrielle en examinant les avantages, les défis et les meilleures pratiques associés à l'anticipation des pannes des échangeurs de chaleur en utilisant le raisonnement à base de cas(CBR) .

Au cours de ce travail, nous essayerons de résoudre le problème crucial de la maintenance réactive et inefficace des échangeurs de chaleur dans les industries. Les entreprises utilisant ces équipements vitaux sont confrontées au principal défi : éviter les pannes non anticipées, coûteuses et potentiellement dangereuses. Nous visons à réduire les temps d'arrêt imprévus, à réduire les coûts de réparation et à optimiser la disponibilité opérationnelle des

installations industrielles en développant une approche de maintenance prédictive basée sur le raisonnement à base de cas .

La structure du mémoire

Notre mémoire est organisée comme suit :

Le premier chapitre : examine le raisonnement à partir de cas et des techniques utilisées dans son cycle.

Le deuxième chapitre : Les aspects théoriques des échangeurs de chaleur.

Le troisième chapitre : utilisez les diagrammes UML pour donner une idée de conception.

Le quatrième chapitre : décrit l'environnement de développement et les langages de programmation utilisé pour créer le système et les interfaces.

Enfin, nous concluons ce mémoire en présentant une conclusion générale qui résume les actions menées.

Chapitre 1 :

Le raisonnement à Partir de Cas (RàPC)

1.1 Introduction:

En Intelligence Artificielle, le raisonnement a souvent été associé à l'inférence par règles ou par modèles. Et cela même si les modes de raisonnement sont très variés, comme le sont les mécanismes mentaux de l'homme. La plupart des applications en IA se concentrent sur la reproduction du raisonnement humain. Le raisonnement par cas consiste à résoudre des problèmes en utilisant des expériences passées, connues sous le nom de cas.

Le « RàPC » (ou Case Based Reasoning : C.B.R.) est une méthode qui gère une mémoire pour stocker ces divers cas. Pour trouver une solution à un nouveau problème, il débute en étudiant dans cette mémoire le cas le plus proche de celui-ci. Ensuite, le système modifie l'ancien cas en fonction du nouveau problème afin de déduire une solution à partir de celle de l'ancien cas[1].

Sur le plan cognitif, le raisonnement par cas est l'élément fondamental des théories psychologiques sur le comportement humain, notamment lors de la prise de décision. Cependant, l'utilisation de situations antérieures pour résoudre un problème n'est pas unique, car dans notre vie quotidienne, nous pouvons souvent utiliser les connaissances acquises et nos expériences passées pour trouver des solutions à de nouvelles situations[2].

1.2 Présentation de l'approche du Raisonnement à Partir de Cas (RàPC):

Selon Aamodt et Plaza (1994)[3], le RàPC est une méthode d'apprentissage et de résolution de problèmes qui repose sur les expériences passées. Les points suivants sont abordés :

- ✧ L'histoire du RàPC a débuté à partir de la fin des années 70 .
- ✧ Les communautés en RàPC .
- ✧ Le raisonnement analogique du RàPC .
- ✧ la définition de l'expérience dans le cas.
- ✧ les différents modèles de RàPC obtenus à partir de la représentation du cas .
- ✧ la base de cas dans laquelle les cas sont stockés .
- ✧ et la manipulation du cas à travers le cycle du RàPC.

1.2.1 Historique:

Étant influencé par les recherches menées par Minsky et Schank à la fin des années 70, Schank [1982][4], élabore pour la première fois le paradigme de raisonnement basé sur les cas. En effet, la théorie mise au point par Minsky [1975][5], expose un réseau de connexions et de liens entre ces éléments.

Les nœuds ainsi que le concept de « frame (script, schéma) » qui désigne une structure à l'esprit qui doit être ajustée pour s'adapter à la réalité d'une nouvelle situation rencontrée. Néanmoins, Shank remet en question la souplesse du raisonnement logique et une représentation des connaissances ordinaires sous la forme de propositions synthétiques, même si elles sont indépendamment vraies.

Il reprend ainsi ces travaux et suppose que le processus de compréhension est un processus d'explication qui s'applique de manière itérative [Schank, 1982][6].

Schank est d'ailleurs considéré comme l'inventeur du concept de « Case-Reasoning Based ».

Le modèle de « mémoire dynamique » introduit un niveau de généralité varié appelé « MOPS (Packets d'Organisation de la Mémoire) » qui forme un réseau dense d'expériences. En outre, l'écrivain cherche à mettre en pratique le comportement humain et à l'améliorer si cela est possible.

Selon Gebhardt et al. [1997][7], le raisonnement basé sur des expériences est défini comme une manière naturelle de penser qui caractérise la réflexion humaine, probablement plus que le raisonnement basé sur des règles.

Les recherches dans le domaine du RàPC ont commencé à se développer à la fin des années 80, en particulier avec les conférences « DARPA » organisées aux États-Unis en 1988 [Kolodner, 1988][8], avant de se développer en Europe avec la première conférence européenne en 1993 à Kaiserslautern [Richter et al., 1993][9], puis avec la première conférence internationale à Lisbonne en 1995 [Veloso et al., 1995][10].

1.2.2 Définition du cas:

Un cas correspond à une expérience représentée par un savoir. Le système de RàPC peut tirer des leçons de cette expérience pour résoudre des problèmes de diverses natures.

Les informations présentes dans le cas diffèrent en fonction du domaine d'application et des objectifs à atteindre. Selon Fuchs [2006][11], le cas est défini comme la description informatique d'une situation de résolution de problème.

D'après Mille [1995][12], la mise en évidence d'un cas (dans la base de cas) implique trois étapes :

- ✧ la première étape concerne la "synthèse", qui implique la recherche d'une structure qui répond aux spécifications.
- ✧ L'étape suivante est celle de « l'analyse » qui, à partir d'une structure spécifique, vise à déterminer le comportement qui lui est associé.
- ✧ L'étape suivante est « l'évaluation », qui vise à s'assurer que le comportement correspond à ce qui est attendu.

Nous allons examiner en détail la composition d'un cas et son indexation dans la base de cas en se basant sur différentes perspectives présentes dans la littérature.

1.2.3 Structure de cas:

En premier lieu, un cas en RàPC se compose habituellement de deux espaces distincts : l'espace des problèmes et l'espace des solutions. L'espace problème se réfère à la zone où se trouvent les objectifs à atteindre. La description de la solution apportée par le raisonnement, sa justification, son évaluation et les étapes qui ont conduit à cette solution sont regroupées dans l'espace solution.

Il existe deux catégories de cas : le cas source et le cas cible. Le cas de figure correspond à celui où les éléments « problème » et « solution » sont indiqués. Ainsi, ce cas sera une source d'inspiration pour résoudre un nouveau problème. Selon Reinartz et al. (2000)[13], le cas source peut également inclure une autre partie connue sous le nom d'« information de qualité ».

Dans cette section, vous trouverez des renseignements sur l'utilisation du cas dans le système. En ce qui concerne le cas cible, il s'agit de celui qui pose le problème et dont la solution n'est pas spécifiée.

En fonction de la nature du problème à résoudre, il y a différentes représentations de cas. Les méthodes classiques les répartissent en trois catégories :

- ✧ La mise en forme du texte .
- ✧ La mise en forme semi-structurée (vecteur de composants) .
- ✧ La mise en forme structurée.

Toutefois, la représentation organisée est la plus répandue dans la plupart des études.

Par conséquent, le cas se présente fréquemment sous la forme d'un ensemble de caractéristiques.

Une paire $d = (a, v)$ est un descripteur « d » dont « a » est un attribut et « v » est la valeur qui lui est attribuée. Pour définir les cas, nous utilisons le formalisme de Lieber [2007][14].

Un couple $(srce, Sol(srce))$ représente un cas source, tandis que le couple $(cible, Sol(cible))$ représente le cas cible, où $Sol(cible)$ est inconnu et pour lequel on souhaite lui fournir un résultat. Étant donné que les cas sont caractérisés par un ensemble de critères, alors :

- ✧ ds_i (pour $i = 1, \dots, n$) : caractérise la partie problème du cas source « srce » .
- ✧ dc_i (pour $i = 1, \dots, n$) : caractérise la partie problème du cas cible « cible » .
- ✧ Ds_i (pour $i = 1, \dots, m$) : caractérise la partie solution du cas source « $Sol(srce)$ » .
- ✧ Dc_i (pour $i = 1, \dots, m$) : caractérise la partie solution du cas cible « $Sol(cible)$ » .

1.2.4 Indexation du cas:

Les cas sont structurés dans un document nommé base de cas. Pour rendre cette organisation plus simple et ainsi faciliter la recherche du cas le plus adapté au problème posé, il est nécessaire de les classer. Il convient de souligner que lors de l'étude des cas, c'est la partie problème qui sera recherchée. Cependant, cette partie du problème est définie par un ensemble de caractéristiques pertinentes appelées "indices". Ces indices permettront de déterminer les contextes et les situations dans lesquelles les cas seront recherchés et retrouvés afin de les proposer au problème rencontré. Il est donc nécessaire de déterminer comment bien utiliser ces indices afin d'obtenir une configuration optimale.

Il existe différentes techniques d'indexation pour cela : manuelles ou automatiques.

En ce qui concerne les méthodes manuelles, il est supposé que l'objectif d'utilisation des cas, et surtout des circonstances dans lesquelles les cas seront pertinentes, soit précisément défini.

Cependant, la technique d'indexation est de plus en plus automatisée. De plus, la sélection des indices varie en fonction du domaine d'application. Selon Kolodner

[1996][15], il est nécessaire que ces indices vérifient certaines caractéristiques suivantes :

- ✧ Prédicatifs pour jouer un rôle crucial dans la sélection d'une solution pour un nouveau problème .
- ✧ Assez abstraits pour que le cas puisse être utilisé à plusieurs reprises pour résoudre plusieurs problèmes .
- ✧ Assez concrets pour que le cas soit reconnu comme le plus rapidement possible pour résoudre un nouveau problème.

1.3 Modèles de RàPC:

Les systèmes utilisant le RàPC comme approche de résolution de problème peuvent disposer de plusieurs modèles. Selon Bergmann et al. [2003][16], et Lamontagne [2004][17], ces modèles peuvent être regroupés en trois grandes familles à savoir : les modèles conversationnels, textuels et structurels.

1.3.1 Le modèle conversationnel:

Le modèle de conversationnel est principalement employé dans des systèmes de RàPC spécialement conçus pour les applications commerciales. Le triplet (Problème P, Questions QA, Action A) est utilisé dans le modèle conversationnel par Aha et al., [2001][18], comme illustré dans la Figure 1.6 :

Cas : 241
Titre : cartouche endommagée d'encre qui laisse des traces noires.
De petits points noirs sont laissés par l'imprimante sur les deux côtés de la page.
Il arrive également que de vastes tâches s'éteignent sur la zone à imprimer.
Questions : Les copies sont-elles de qualité médiocre?
Réponse : oui Score : (-)
Quels types de difficultés rencontrez-vous?
Remarque : traces sombres
Score : (par défaut)
Le problème est-il résolu par un nettoyage de l'imprimante?
Rép : non...

Figure 1: Illustration d'une situation dans un modèle de conversation.

- ✧ Problème P : cette section comprend une brève description textuelle du problème traité, généralement de quelques lignes .
- ✧ Les questions-réponses QA se présentent sous la forme d'un index, comprenant une série de questions et des réponses. D'un cas à l'autre, le nombre de questions et de réponses diffère. On peut attribuer un poids à chaque question en fonction de son importance dans le cas .

- ✧ Action A : de la même manière que la partie problème, elle présente de manière écrite la solution proposée au problème posé.

1.3.2 Le modèle textuel:

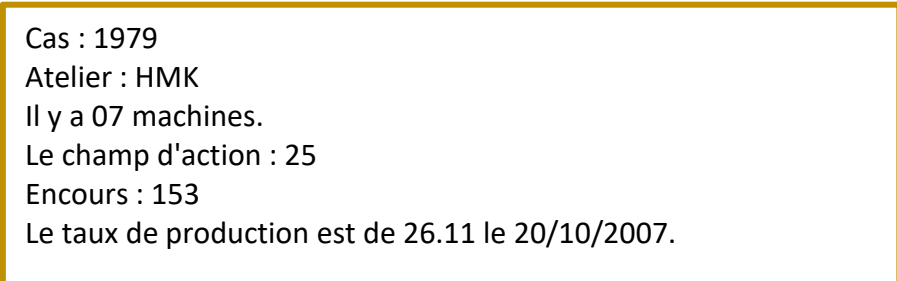
Les premières recherches sur le modèle textuel remontent au milieu des années 90 et jusqu'à présent, il n'y a pas de représentation standard pour ce genre de modèle. Il est essentiel de fournir une description précise du cas dans ces modèles. Les modèles textuels présentent des cas semi-structurés ou non-structurés :

- ✧ Les cas non-structurés correspondent aux cas qui ne possèdent qu'un seul attribut dont la description est entièrement libre (free-text) .
- ✧ Les cas semi-structurés correspondent aux cas qui possèdent plusieurs attributs étiquetés contenant du texte [19].

1.3.3 Le modèle structurel:

Le premier modèle utilisé lors de l'émergence des premiers systèmes de RàPC est le modèle structurel. Dans ce modèle de données, les cas sont entièrement organisés et représentés par des paires <attribut, valeur>.

Un attribut est une caractéristique essentielle du domaine étudié. En ce qui concerne la valeur, elle permet de structurer les attributs et elle est généralement exprimée à travers une échelle de valeur comprenant des entiers, des réels, des booléens ou des symboliques. La Figure 2 présente un exemple d'un cas illustré par la paire <attribut, valeur>.



Cas : 1979
Atelier : HMK
Il y a 07 machines.
Le champ d'action : 25
Encours : 153
Le taux de production est de 26.11 le 20/10/2007.

Figure 2. Illustration d'un cas présenté dans un modèle structurel de RàPC.

Différents types de cas du modèle structurel sont identifiés, tels que des frames, des objets, des arbres ou des graphes. On peut aussi les représenter sur un seul ou plusieurs niveaux hiérarchiques d'attributs Afouba et al .[2004][20].

1.4 Base de cas (la mémoire dans les systèmes de RàPC):

La base de cas joue un rôle essentiel dans le système de RàPC. L'organisation de la mémoire d'un système de RàPC est étroitement liée à son bon fonctionnement et à ses performances. Effectivement, la mémoire qui regroupe tous les cas sources précédemment sélectionnés est connue sous le nom de base de cas. La base de cas joue un rôle essentiel dans l'indexation et l'organisation des cas, permettant ainsi de

les retrouver de manière facile et efficace . Il existe deux catégories d'organisation de la base de cas :

1.4.1 Base de cas plate:

Dans l'organisation des cas de manière linéaire (vecteur, tableau, graphe, etc.). En d'autres termes, les cas sont enregistrés dans une liste chronologique. Il s'agit probablement de l'organisation la plus simple.

En outre, cette structure est considérée dans la plupart des travaux de RàPC .

1.4.2 Base de cas hiérarchique:

Dans laquelle les cas sont structurés et organisés en fonction de niveaux hiérarchiques spécifiques. Il est également possible de trouver des exemples concrets qui sont élaborés en fonction des deux types d'organisations combinées. Par exemple, cette combinaison est présente dans les travaux de Malek [2000][21], et est utilisée par le système ProBis. En réalité, il s'agit d'un mélange de RàPC et d'un réseau de neurones incrémental. Le niveau inférieur de la mémoire est la mémoire plate, qui est subdivisée en plusieurs groupes. Un prototype représente chaque groupe dans le réseau. La mémoire hiérarchique, en revanche, joue le rôle d'un système d'indexation pour les zones de la mémoire plate qui constituent le niveau supérieur de la mémoire. La structure est composée du réseau ARN2 qui permet de créer des prototypes représentatifs pour chaque catégorie.

Toutefois, lorsqu'on élabore une base de cas, il est important de prendre en compte trois aspects essentiels [Main et al., 2000] [22]:

- L'organisation et la présentation des cas.
- Le modèle de mémoire utilisé pour structurer la base de cas .
- Le choix des indices utilisés pour identifier chaque cas.

1.5 Cycle du RàPC:

Le cycle du RàPC est composé de plusieurs phases, dont le nombre varie en fonction des différentes sources bibliographiques. Il peut être constitué de trois, quatre ou cinq étapes distinctes.

Selon Fuchs et al. [2006][23], il existe trois étapes : la mémorisation, l'adaptation et la mémorisation. Aamodt et Plaza [1994][24] ont été les premiers à décrire le cycle du RàPC, qui se divise en quatre étapes : la mémorisation (ou la recherche d'un cas similaire), l'adaptation (ou la réutilisation du cas retrouvé), la validation (ou la révision du cas sélectionné) et la mémorisation (ou l'apprentissage). Selon Mille [2006][25], une étape préliminaire d'élaboration est ajoutée au début du cycle. La Figure 1 illustre le processus de RàPC en utilisant ces cinq étapes.

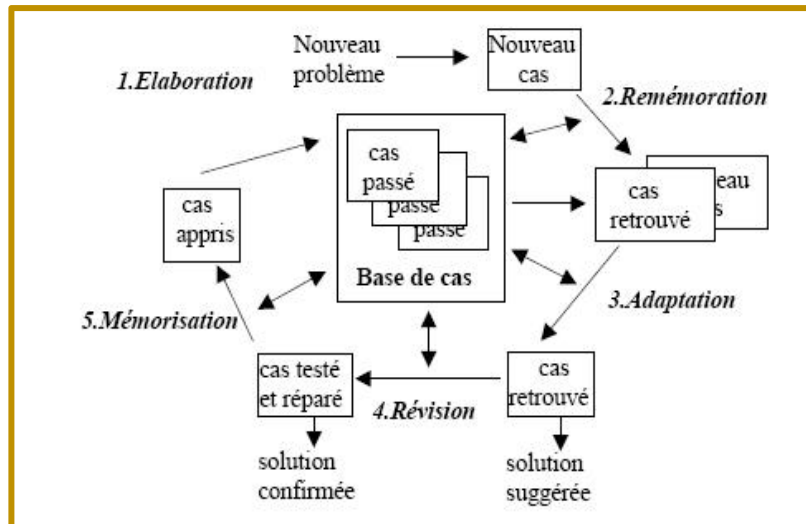


Figure 2 : Le cycle de raisonnement à partir de cas [26].

1.5.1 Phase d'élaboration du cas:

Au début du cycle d'utilisation du système RàPC, la phase d'élaboration consiste à collecter des informations sur le nouveau problème et à élaborer sa description. La description du nouveau problème repose principalement sur le modèle de raisonnement basé sur les cas utilisés[27].

1.5.2 Phase de Recherche (la remémoration):

Cette étape implique la recherche des cas sources les plus proches dans la base de cas en se basant sur la description du problème du cas cible, qui seront utilisés pour le résoudre. Il est essentiel que cette étape permette d'obtenir la solution optimale en accomplissant les tâches suivantes :

- ✧ identifier les caractéristiques pertinentes du problème, remémorer et choisir les cas les plus pertinents parmi les cas sources.
- ✧ La réalisation de ces tâches dépend de la manière dont les cas sont représentés, indexés et organisés dans la base de cas.
- ✧ Les techniques de recherche sont largement influencées par l'apprentissage automatique[27].

1.5.3 Phase de Réutilisation(l'adaptation):

Dans le cycle du RàPC, la phase d'adaptation consiste à proposer une solution à un nouveau problème en utilisant les solutions des cas sources rappelés. Cette étape peut être réalisée de manière manuelle ou automatique en utilisant des algorithmes, des méthodes, des formules, des règles, etc.

Les types principaux d'adaptation automatique comprennent :

- ✧ L'adaptation générative repose sur le fait que nous avons l'ensemble des connaissances nécessaires pour résoudre le problème à partir de zéro.
- ✧ Le cas trouvé retrace la démarche qui a conduit à la solution .

- ✧ L'adaptation transformationnelle est différente de la précédente, car elle implique que l'on n'a pas toutes les connaissances nécessaires pour résoudre le problème à partir de zéro .
- ✧ L'adaptation compositionnelle utilise deux ou plusieurs cas similaires répertoriés pour effectuer l'adaptation en composant les différentes solutions proposées [27].
- ✧ L'adaptation hiérarchique consiste à placer les cas dans une hiérarchie de généralisation.

1.5.4 Phase de révision (la validation):

Pendant la phase de révision, on évaluera la solution proposée après la phase d'adaptation. Cette évaluation porte sur diverses mesures qui peuvent être mises en œuvre [27]:

- ✧ Évaluer la solution proposée dans la réalité .
- ✧ Effectuer une analyse approfondie de la base de cas en utilisant tous les descripteurs de problème et de solution pour vérifier que les cas similaires ont été satisfaisants .
- ✧ Opter pour une autre méthode d'évaluation de la solution (simulateur, système expert traditionnel, etc.).

Il est donc important de poursuivre éventuellement l'élaboration de la solution cible lors de la phase de révision.

1.5.5 Phase d'apprentissage (la mémorisation):

L'objectif de cette étape est d'intégrer ce qui est pertinent à retenir dans la base de cas et de synthétiser les nouvelles connaissances qui seront réutilisées plus tard. Il est possible d'acquérir cet apprentissage non seulement grâce au succès, mais également à l'échec dans la résolution du problème visé. Ainsi, le stockage d'un cas nouveau permet d'enrichir la base de cas, ce qui permet d'accroître l'expérience du système [27].

1.6 Quelques systèmes de RàPC:

1.6.1 PERSUADER:

PERSUADER est un instrument pour résoudre les conflits en utilisant le raisonnement par cas. Le principe de fonctionnement repose sur la négociation/médiation. Il peut proposer des solutions écrites pour résoudre des problèmes de groupe. PERSUADER cherche à établir un accord mutuel entre les différents acteurs impliqués dans la dispute [28].

1.6.2 ReThink:

Actuellement, ReMind est l'un des outils les plus couramment employés pour le CBR. Il autorise l'importation de données provenant de bases de données déjà existantes.

ReMind offre la possibilité d'utiliser différentes méthodes pour atteindre son objectif, telles que l'utilisation d'algorithmes plus proches, la création d'arbres de décision, guidés par une connaissance externe ou non, mais il est regrettable qu'il ne permette pas de combiner ces approches.

Un autre avantage de cette méthode est de faciliter l'ajustement en utilisant des formules mathématiques, ce qui permet un apprentissage plus fiable.

Il convient de souligner que l'un de ses principaux défauts est qu'il a tendance à donner des résultats peu fiables lorsque les données contiennent de nombreux zéros [28].

1.6.3 CBR-Works:

L'avantage de CBR-Works réside dans son intérêt pour la chaîne de traitement entière. Ce logiciel offre la possibilité de visualiser des cas complexes, offre des méthodes de calcul de similarité préétablies et permet également de définir de manière intuitive des calculs de similarité sur mesure [28].

1.6.4 Kate Suite :

Kate-CBR est un éditeur de texte qui s'inspire de la suite Kate bien connue. Ce logiciel combine une détection des voisins les plus proches avec une induction dynamique, ce qui permet à l'utilisateur de distinguer les différents cas de la base de cas afin d'éviter qu'un cas "extraordinaire" n'ait une incidence excessive sur le résultat final [28].

1.6.5 jCOLIBRI:

Le framework jCOLOBRI a été créé par un groupe de chercheurs de l'université de Madrid. Le groupe GAIA, responsable du développement du logiciel jCOLIBRI, est un groupe spécialisé dans la création d'applications dans le domaine de l'IA. Ils visent à découvrir de nouvelles approches pour l'enseignement assisté par ordinateur [28].

1.7 Algorithmes de recherche des cas similaires:

Différents algorithmes ont été développés afin de trouver des situations adéquates. Prenons quelques illustrations :

- ✧ La méthode la plus fréquemment employée est celle des K plus proches voisins (KPPV).
- ✧ L'objectif de cette méthode est d'évaluer la similitude entre un cas cible (nouveau problème) et un cas provenant de la base de cas. Le chiffre K

correspond au nombre de cas sources voisins qui sont considérés comme étant proches (autour) du cas cible.

- ✧ Dans le processus d'induction, l'induction basée sur la connaissance utilise la connaissance pour identifier manuellement les caractéristiques des cas.
- ✧ La recherche de templates (recherche de templates) est comparable aux requêtes SQL où l'algorithme cherche des cas correspondant à certains paramètres.
- ✧ Les méthodes de discrimination inductive mettent l'accent sur les caractéristiques pertinentes dans la discrimination des cas et créent une structure arborescente des décisions pour structurer les cas dans la mémoire[29].

1.8 Conclusion:

L'objectif de ce chapitre était de déterminer les principes du RàPC, et nous avons fourni une description approfondie des systèmes de RàPC. Effectivement, cette méthode se situe à la croisée des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle et permet d'utiliser les connaissances du système. Les différentes étapes du cycle permettant de manipuler le mécanisme de connaissances ont été détaillées. Nous avons pu observer que ces étapes sont liées les unes aux autres, en particulier les deux étapes de remémoration et d'adaptation. Il a également été mentionné que trois modèles de RàPC existent, qui varient en fonction de la représentation du cas, et que nos systèmes seront basés sur le modèle structurel.

Effectivement, ce genre de modèle est employé dans les secteurs d'études qui sont généralement connus. Le prochain chapitre abordera les aspects théoriques des échangeurs thermiques.

Chapitre 2 :

Aspects théoriques des Échangeurs thermiques

2.1 Introduction:

Les échangeurs thermiques deviennent de plus en plus importants dans divers secteurs industriels, en particulier dans l'industrie pétrolière et gazière, dans un contexte où l'intérêt pour les enjeux environnementaux et énergétiques est croissant. Les échangeurs thermiques sont essentiels au transfert efficace de chaleur entre divers fluides, permettant ainsi à de nombreux processus industriels de fonctionner sans problème.

Dans le cadre de ces considérations, la raffinerie de Skikda en Algérie se distingue comme étant l'une des principales installations de la région méditerranéenne et aussi elle est un exemple intéressant pour étudier les difficultés et les progrès des échangeurs thermiques en raison de son importance stratégique dans le contexte énergétique algérien.

Dans ce chapitre, nous explorons le monde des échangeurs thermiques, et Nous discuterons des principes fondamentaux, des technologies modernes et des applications spécifiques des échangeurs thermiques tout en soulignant leur importance pour le bon fonctionnement des installations industrielles.

2.2 Présentation de sonatrach:

La société SONATRACH est spécialisée dans la recherche, l'exploitation, le transport par canalisation, la transformation et la vente d'hydrocarbures et de leurs dérivés en Algérie. Elle joue également un rôle dans d'autres domaines comme la production d'électricité, les énergies renouvelables. Les nouvelles et les renouvelables, ainsi que le dessalement de l'eau de mer. Elle travaille en Algérie ainsi que dans d'autres pays où des opportunités se présentent. SONATRACH occupe la position de leader sur le continent africain. Ses activités représentent environ 30% du PNB de l'Algérie, étant classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. Elle compte 120 000 employés au sein de l'ensemble du Groupe. De nos jours, SONATRACH ne peut envisager de développement économique sans prendre en compte le développement durable[1]

2. 3 Organigramme de l'ensemble de la SONATRACH:

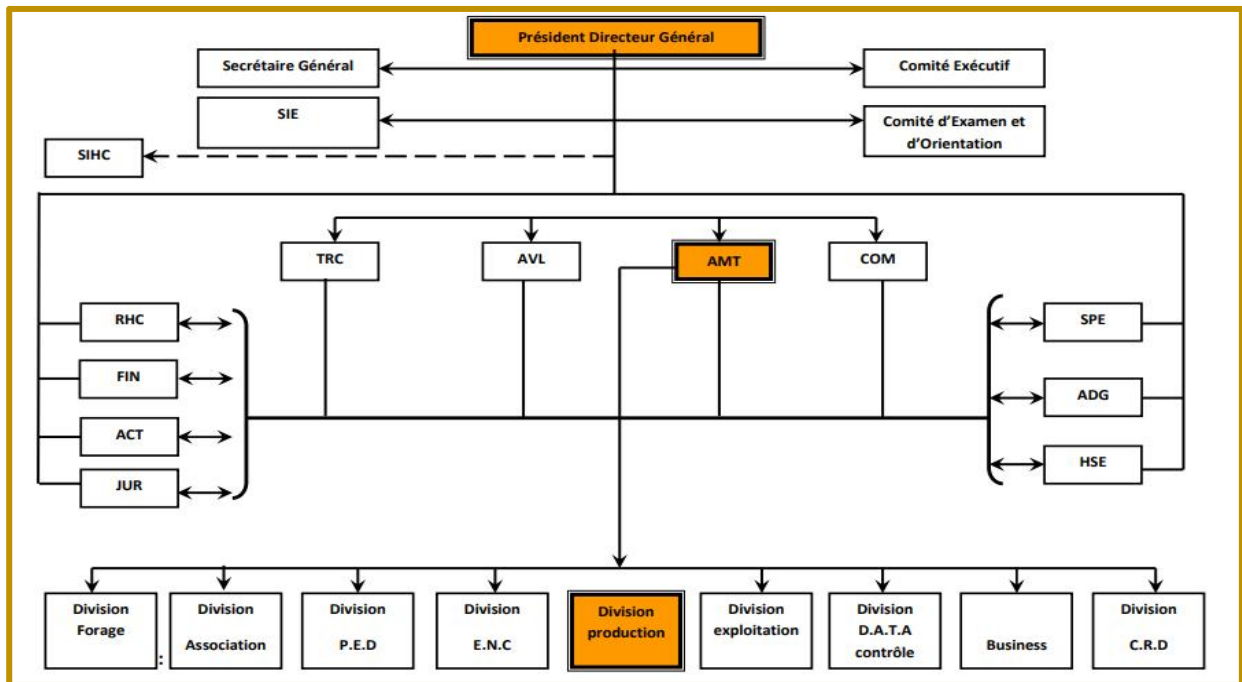


Figure 1: Organigramme de l'ensemble de la SONATRACH[1].

2.4 Organisation de la Raffinerie de Skikda:

La hiérarchie de la gestion de la raffinerie de Skikda comprend un Directeur au sommet duquel sont rattachés cinq services techniques de ligne, ainsi que deux employés, comme le montre l'organigramme[2].

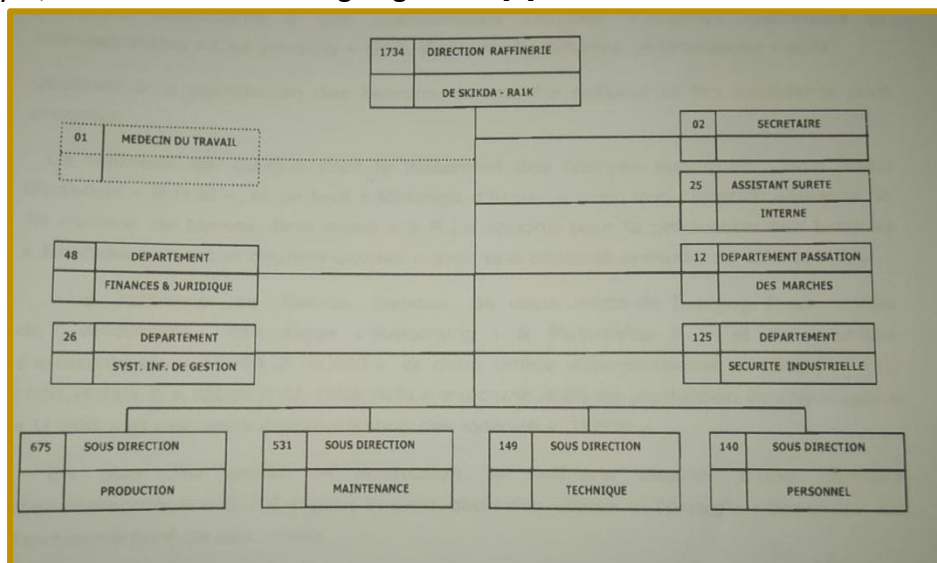


Figure 2: organigramme de la raffinerie de SKIKDA RA1K[2].

2.4.1 Présentation de la raffinerie de Skikda:

Le complexe de raffinerie de pétrole RA1/K de SKIKDA est chargé de traiter le pétrole brut de Hassi Massoud (18 millions de tonnes par an) ainsi que le brut réduit importé (277.000 tonnes par an)[2].

2.4.2 Situation géographique :

Située dans la zone industrielle, cette raffinerie se trouve à 7 kilomètres à l'est de Skikda et à 2 kilomètres de la mer. Elle s'étend sur une superficie de 190 hectares et compte actuellement environ 1280 employés. Elle reçoit du brut algérien provenant de Hassi Messaoud pour l'alimenter. Le pétrole brut est transporté à l'aide d'une pipe-line à une distance de 760 km des champs pétroliers jusqu'au complexe[2]



Figure 03 : Situation géographique de la Raffinerie de Skikda[2].

2.5. Description des diverses unités:

2.5.1 Département production I :

Les unités de production suivantes le composent :

- ✧ Unité de distillation de l'atmosphère 10/11 (TOPPING).
- ✧ MAGNAFORMING : unité 100 de reforming catalytique et de prétraitement.
- ✧ Unité de prétraitement 101/103 : transformation catalytique (PLATFORMING).
- ✧ Unités de traitement et de séparation des gaz (GPL) 30/31 et 104.
- ✧ Unité de distillation sous vide pour la fabrication de bitumes.
- ✧ Unité 200 pour extraire les plantes aromatiques[2].
- ✧ Unité 400 pour la cristallisation et la séparation du para-xylène (en construction).
- ✧ La quantité d'isomérisation du xylène en 500 est en cours de construction.

- ✧ L'hydrotraitement de Naphta A Unité 700 (en cours de démarrage).
- ✧ Unité 701 de l'isomérisation de Naphta A.
- ✧ Unité 702 de l'hydrotraitement de Naphta B
- ✧ Unité 703 de l'isomérisation de Naphta B.
- ✧ Unités de purification d'hydrogène 900-901[2].

2.5.2 Département production II:

Les unités de production suivantes le composent :

- ✧ Est, Sud et Nord des unités 600 de stockage, mélange et expédition (MELEX).
- ✧ Les unités et services annexes comprennent :
- ✧ Plus une unité 63 dédiée à la déminéralisation de l'eau.
- ✧ La unité 1061 est destinée au polissage (traitement) du condensat.
- ✧ La production d'azote est en cours d'essai dans l'unité 1111.
- ✧ L'unité 1082 est chargée de la production d'air service et d'air instrument.
- ✧ Le traitement des effluents (en arrêt), les tours de refroidissement, l'eau de service et l'eau anti-incendie sont tous fournis par une unité 1100.
- ✧ Unité de traitement des effluents 1101 (créée en 2013)
- ✧ Unités 1050-1051 comprennent une centrale thermique et des services (CTE 1&2)[2].

2.6 L'échangeur de chaleur:

2.6.1 Définition:

Un échangeur de chaleur est un dispositif destiné à transférer la chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid sans qu'ils ne se mettent en contact (à travers une paroi bien dimensionnée ou adaptée). Le transfert de chaleur Les températures d'entrée et les caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivités thermiques...) détermineront les transférées.
des coefficients de convection.

2.6.2 Structure de l'échangeur:

La structure de base d'un échangeur de chaleur à plaques est illustrée dans le schéma suivant (Figure 04). Chaque application a sa propre réalisation finale.

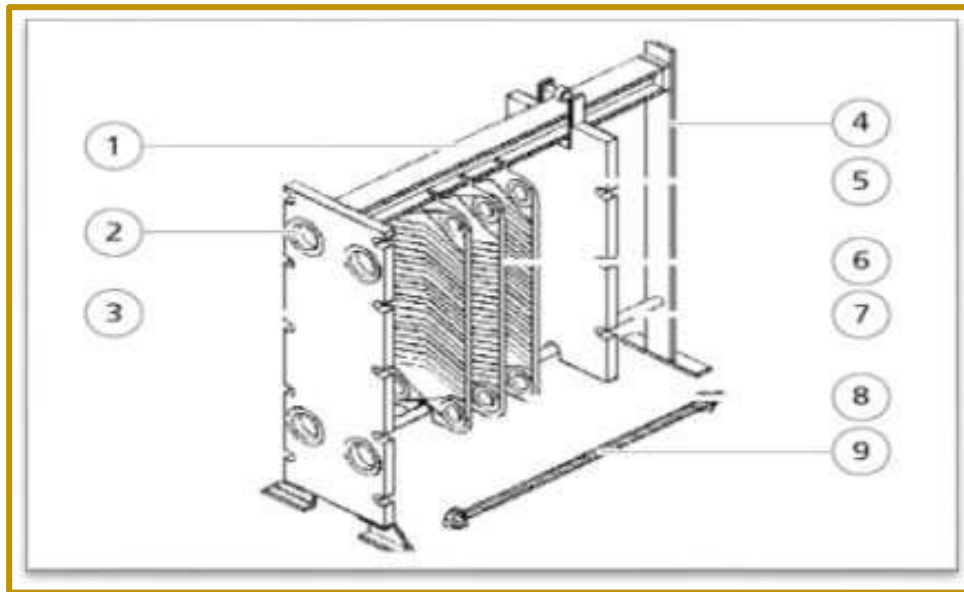


Figure 04: Structure générale d'un échangeur de chaleur (thermique).

N°	Pièce
1	Poutre de Support
2	Connexions
3	Plaque fixe
4	Colonne de Support
5	Plaque mobile
6	Plaques de l'échangeur
7	Barre de Guidage inférieure
8	Joints
9	Tirant

Tableau 01 : Composantes essentielles d'un échangeur de chaleur.

2.6.3 Matériaux utilisés dans les échangeurs de chaleur:

De nombreuses matières sont utilisées pour fabriquer des échangeurs de chaleur. Le choix des matériaux pour les différentes pièces de l'échangeur est principalement influencé par les conditions de service (température, pression et niveau de corrosivité du milieu). Les limites d'utilisation des aciers au carbone comprennent généralement la température de service des échangeurs de chaleur (de -30° à 475°C)[3].

Les tubes sont généralement fabriqués à partir de matériaux métalliques (acier, laiton). Les échangeurs où des fluides à haute température circulent produisent des céramiques. Les tubes en plastique (généralement de très petits diamètres) sont également utilisés en faisceaux ou intégrés dans des plaques minces pour les rigidifier [4].

2.6.4 Classification des échangeurs de chaleur:

Les échangeurs de chaleurs peuvent être classés en fonction de différents critères :

- ✧ Le processus de transfert consiste en un contact direct ou indirect.
 - ✧ Géométrie de la construction : tubes, plaques et surfaces à ailettes.
 - ✧ Les mécanismes de transfert de chaleur peuvent être de deux ou une phase.
- Les écoulements peuvent être parallèles, contre-courants ou croisés.

2.6.5. Le processus de transmission:

✧ Échangeurs avec contact direct:

Le processus de transmissionLe type le plus simple est un récipient ou une canalisation où les deux fluides sont directement mélangés et atteignent une température d'équilibre.

✧ Échangeurs avec contact indirect:

Une paroi sépare les deux fluides.

2.6.6.Géométrie de construction:

✧ Échangeurs tubulaires:

Les échangeurs utilisant des tubes (Figure 2) comme composant principal de la paroi d'échange sont les plus courants dans l'industrie pour des raisons économiques.

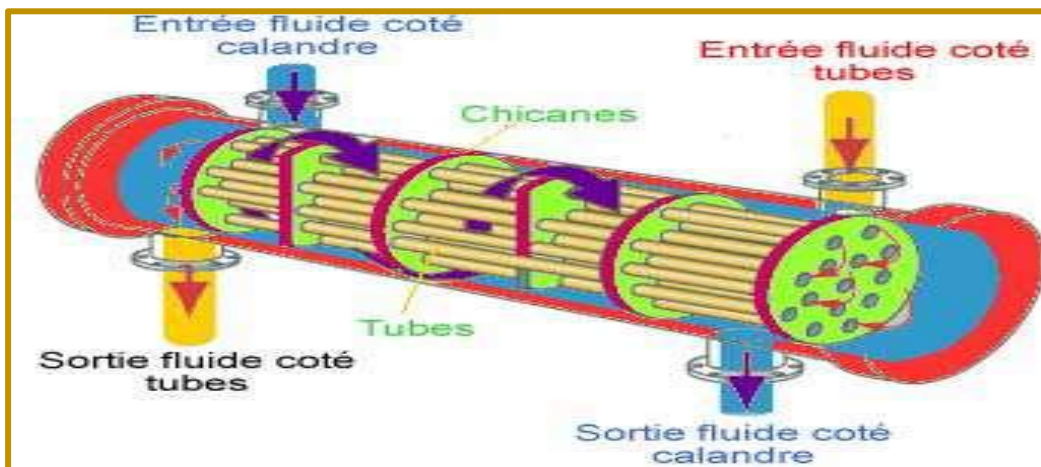


Figure 5 : Principe d'échangeur tubulaire

Il existe trois catégories distinctes en fonction du nombre de tubes et de leur arrangement, toujours conçus pour obtenir la meilleure efficacité pour une utilisation spécifique :

- **L'échangeur monotube :**

est un type d'échangeur où le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et prend généralement la forme d'un serpentín, comme indiqué dans la figure (03 a).

- **Échangeur coaxial :**

(figure 03 b), où les tubes sont généralement cintrés. Le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule généralement dans le tube intérieur.

- **Echangeurs multitubulaires :** peuvent être de quatre types :

- ✓ **Un échangeur à tubes distincts :**

est constitué de plusieurs tubes de petit diamètre qui sont maintenus écartés par des entretoises à l'intérieur d'un tube de diamètre adéquat. La forme de l'échangeur peut être rectiligne ou enroulée.

- ✓ **Échangeur à tubes rapprochés :**

(figure 03 d) : un ruban enroulé en spirale est placé autour de certains des tubes afin de les maintenir en place et d'assurer un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube. Les tubes s'appuient les uns sur les autres grâce aux rubans.

- ✓ **Échangeur à tubes ailettes :**

(figure 03e) :ces tubes améliorent le coefficient d'échange thermique.

- ✓ **Échangeur à tubes et calandre :**

(figure 03 f) :actuellement, c'est l'échangeur le plus utilisé.

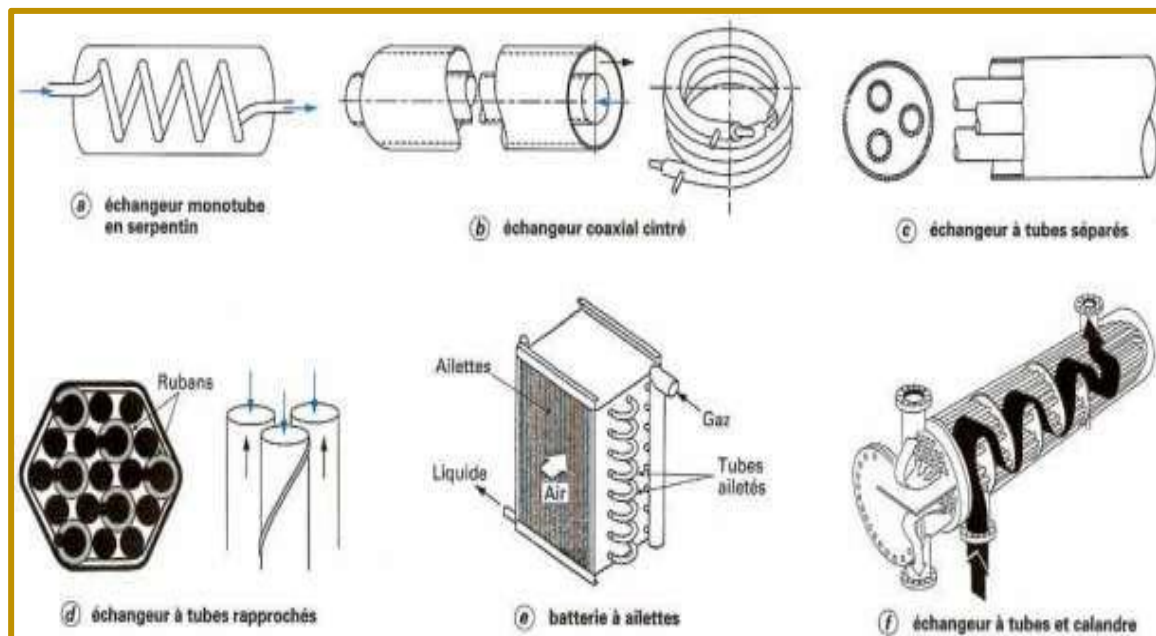


Figure 06 : Diverses variétés d'échangeurs tubulaires[5] .

2.6.7 Utilisation des échangeurs tubulaires:

Les échangeurs les plus basiques peuvent être représentés par deux tubes coaxiaux : l'un des fluides s'écoule dans le tube principal et l'autre dans l'espace annulaire, ce qui signifie que les deux fluides peuvent circuler dans le même sens ou en sens opposé. Même en soudant les tubes, il est difficile d'obtenir des surfaces d'échange importantes avec cette configuration sans engendrer des appareils très encombrants. De plus, il est préférable de disposer un faisceau de tubes dans une seule enveloppe, généralement cylindrique appelée calandre, où l'un des fluides circule dans les tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre.

Le parcours du fluide est rendu possible par des chicanes de différentes formes disposées principalement perpendiculairement à l'axe de la calandre dans ce type d'échangeur. Les routes plus étroites et sinueuses favorisent la turbulence, ce qui améliore les échanges (mais malheureusement, augmente également les pertes de charge). Les échangeurs liquide-liquide utilisent généralement cette disposition. Avec cette configuration, la compacité (surface d'échange par mètre cube) maximale est d'environ $500\text{m}^2/\text{m}^3$ [6].

✧ Un échangeur à plaques

(Figure. 04) est composé d'une série de plaques métalliques embouties qui permettent le transfert de chaleur entre deux fluides. Il est formé de :

- Les plaques sont placées entre les bâtiments fixes et mobiles. Deux barres support inférieures et supérieures sont utilisées pour placer et guider elles.
- Les bâtis : sont utilisés pour maintenir les plaques serrées en utilisant des tirants. Les deux bouteilles Un pied support soutient les guides.
- Un joint est utilisé par chaque plaque pour garantir l'étanchéité de l'échangeur et distribuer les fluides dans les canaux créés par les deux plaques.

En général, les fluides sont reliés au bâti fixe de l'appareil.

L'emboutissage des plaques en chevrons ou en cannelures (industrie alimentaire) favorise la turbulence des fluides et assure une bonne tenue à la pression.

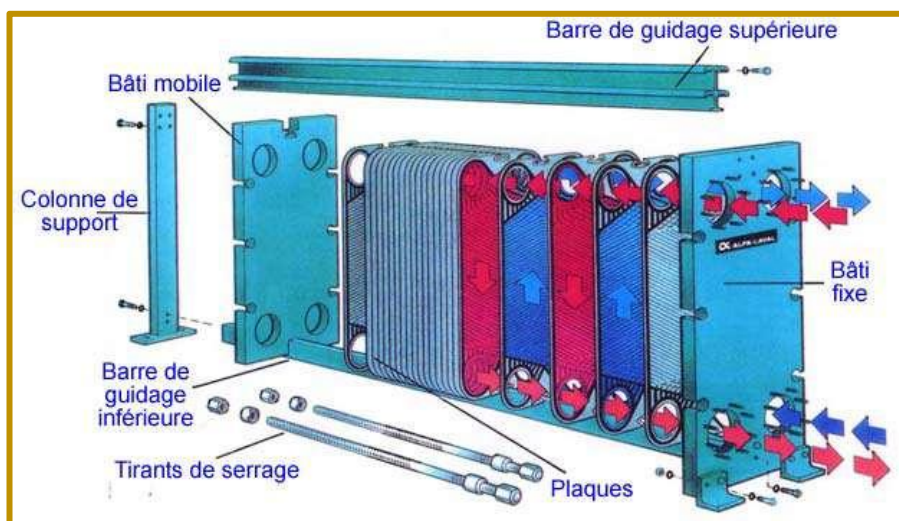


Figure 07 : Composition d'un échangeur à plaques.

Les fluides se déplacent alternativement entre les plaques. Les corrugations produisent des coefficients d'échange très élevés car l'écoulement est souvent turbulent même à faible vitesse. Les échangeurs à surface primaire et les échangeurs à surface secondaire sont distincts en fonction de la géométrie du canal utilisé.

✧ **Échangeurs à surface primaire:**

Les plaques qui composent les échangeurs à surface primaire peuvent être lisses, coruguées (ondulées ou à cannelures en chevrons), nervurées ou picotées. Bien que le profil de plaque ait un dessin très varié, il joue toujours un double rôle. améliorer la tenue à la pression et le transfert de chaleur.

✧ **Échangeurs à surface secondaire:**

Ces échangeurs sont fabriqués en acier inoxydable ou en aluminium et sont constitués d'un assemblage de tôles ondulées qui forment des ailettes séparées par des tôles planes.

2.6.8 Utilisation des échangeurs à plaques:

Ils sont largement utilisés dans certaines applications liquide-liquide, en particulier dans l'industrie alimentaire. Si l'on souhaite maintenir un niveau acceptable de perte de charge pour les échangeurs gaz-liquide ou gaz-gaz, il est nécessaire de réduire la vitesse de passage des gaz par rapport à celle des liquides en raison de la faible densité des gaz.

La réduction de la vitesse entraîne également une réduction du coefficient de convection fluide-paroi, ce qui nécessite une augmentation de la surface d'échange à volume égal.

Les échangeurs de gaz et de gaz utilisent généralement des surfaces d'échange formées de plaques planes séparées par des ailettes brassées sur elles, permettant aux deux fluides de circuler simultanément entre les plaques. Les ailettes ont deux utilisations principales : elles augmentent la surface d'échange et peuvent être disposées de différentes manières pour provoquer des interruptions dans les écoulements, favorisant ainsi la turbulence et améliorant les échanges thermiques.

Les échangeurs gaz-liquide nécessitent une surface d'échange avec des étendues différentes pour les deux fluides en contact. C'est pourquoi les batteries de tubes à ailettes ou les radiateurs sont utilisés dans les voitures.

2.6.9 Mécanismes de transfert de chaleur :

✧ **Échangeur sans changement de phase:**

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase sont ceux dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le second fluide sans changement de phase. Ainsi, les températures des fluides varient tout au long de l'échangeur.

✧ **Échangeur avec changement de phase:**

Trois cas distincts sont applicables aux échangeurs à changement de phase :

- Les machines frigorifiques sont équipées de ces échangeurs dans lesquels l'un des fluides se condense tandis que l'autre se vaporise.
- Le fluide primaire ne subit pas de changement d'état et la chaleur du fluide secondaire le fait se vaporiser. Ils sont connus sous le nom d'évaporateurs.
- Le fluide primaire se condense en transférant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, qui ne subit pas de transformation d'état.

✧ **Arrangement de l'écoulement:**

Plusieurs schémas d'écoulement peuvent être utilisés pour la circulation des agents dans les échangeurs de chaleur. Lorsque les fluides primaire et secondaire entrent par la même extrémité, dans le même sens et sortent par la même extrémité, on parle de co-courant (figure 07 (a)). Contrainte électrique : (figure 07 (b)) Les fluides entrent dans l'échangeur par des extrémités opposées, ont un sens d'écoulement opposé et sortent de l'échangeur par des extrémités opposées. Courant croisé (figure 07 (c)) lorsque les directions d'écoulement des deux fluides sont perpendiculaires l'une à l'autre. Lorsqu'un fluide change de direction ou de sens d'écoulement face à l'autre, on parle de courant mixte (figures 07 (d), 05 (e) et 07(f)). En fait, ce type de circulation est une combinaison des trois autres.

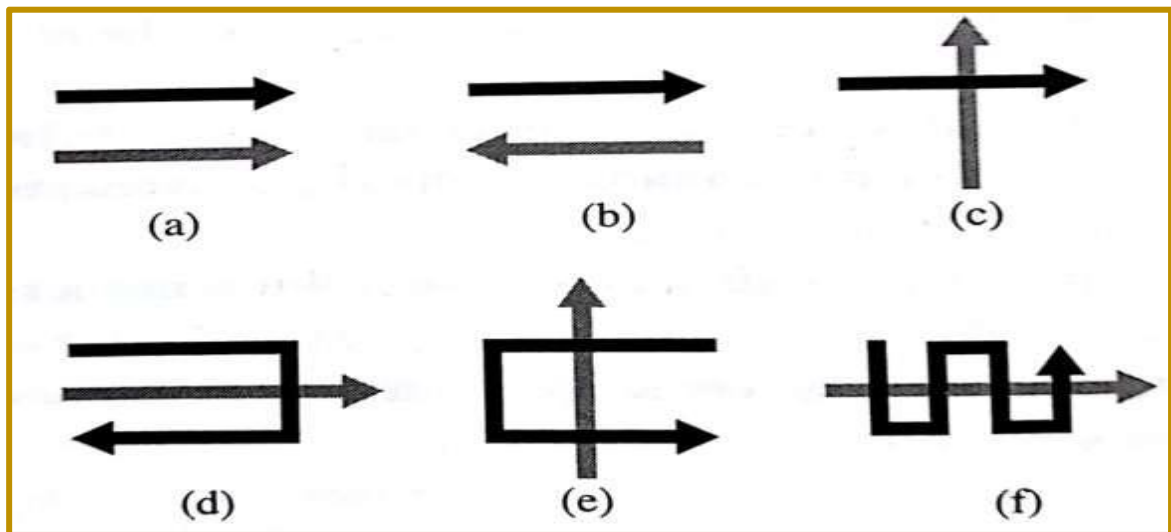


Figure 07 : Configuration d'écoulements des échangeurs de chaleur[7] .

2.6.10. Autres types d'échangeurs:

Ce sont des échangeurs où le fluide chaud cède une partie de son énergie à une matrice. Le passage intermittent du fluide chaud et du fluide froid sur la matrice permet à ces deux fluides de s'échanger de la chaleur. Les régénérateurs, les échangeurs de matrice tournant et les échangeurs statiques ou à valves font partie

de cette catégorie. Ce sont des échangeurs compacts avec une grande surface d'échange ; en raison de leur balayage alternatif, ils sont moins coûteux et moins encrassant. Cependant, le mouvement mécanique de la matrice, qui peut provoquer des pannes en raison du jeu des valves, peut entraîner un mélange partiel de fluides chauds et froids. On peut distinguer :

✧ **Échangeurs régénératifs rotatifs à matrice tournant:**

Ils présentent deux types différents d'écoulements. Un écoulement radial où la matrice est constituée d'un tambour tournant suivant un axe perpendiculaire à l'écoulement ; et un écoulement axial où la matrice est constituée d'un disque dont l'axe de rotation est parallèle à l'écoulement.

Parmi les applications de ce type :

- figurent la récupération de chaleur de l'air extrait d'une habitation pour préchauffer l'air neuf .
- la récupération d'énergie des gaz d'échappement.

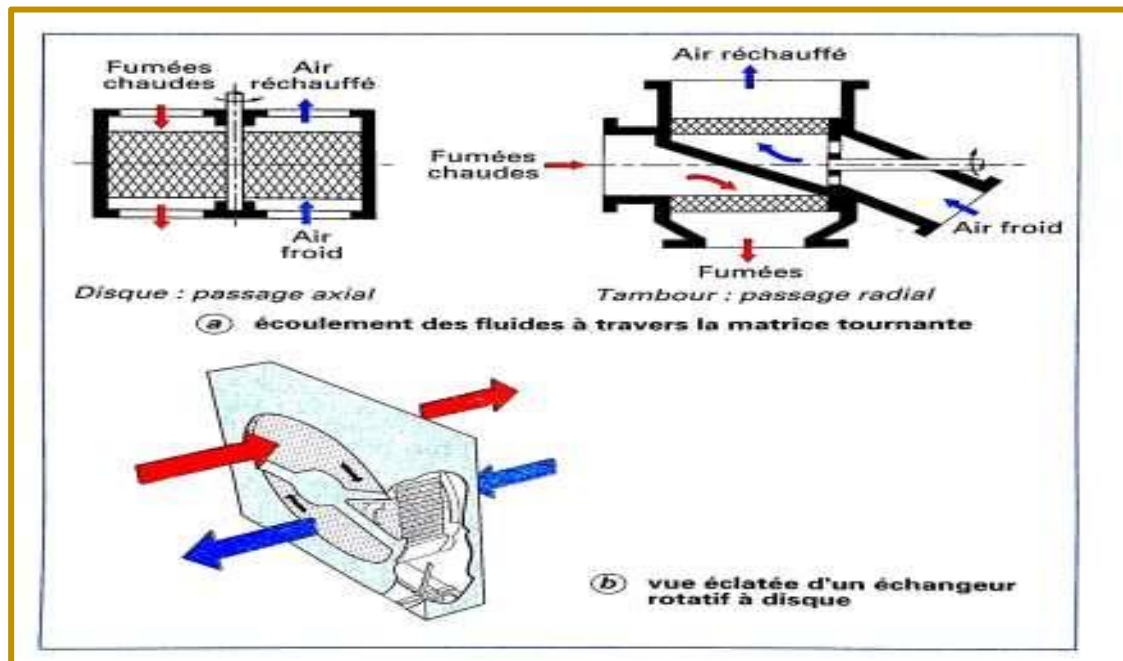


Figure 08 : Échangeurs régénératifs rotatifs à matrice tournant [9].

✧ **Échangeurs régénératifs statiques (ou à valves):**

dans lequel les courants chaud et froid traversent les matrices à la fois (Figure 08). Ces régénératifs sont largement utilisés dans la sidérurgie ou l'industrie du verre. Les régénératifs statiques en pièces céramiques à matrice ordonnée sont utilisés pour récupérer la chaleur des fumées sortant du four de fusion du verre. Les fumées chaudes et l'air carburant à préchauffer traversent successivement chaque échangeur. Un groupe de régénératifs par paire garantit le chauffage continu du bain de verre.

Les deux gaz subissent une permutation périodique (une inversion toutes les 30 minutes environ). Une campagne de production sur site industriel dure entre 4 et 12 années sans arrêt.

Les matériaux utilisés sont donc résistants aux températures élevées. Les régénérateurs sont conçus pour empêcher les passages de fluide de se boucher trop rapidement. Les pièces réfractaires de la matrice de stockage sont montées de manière parfaitement ordonnée.

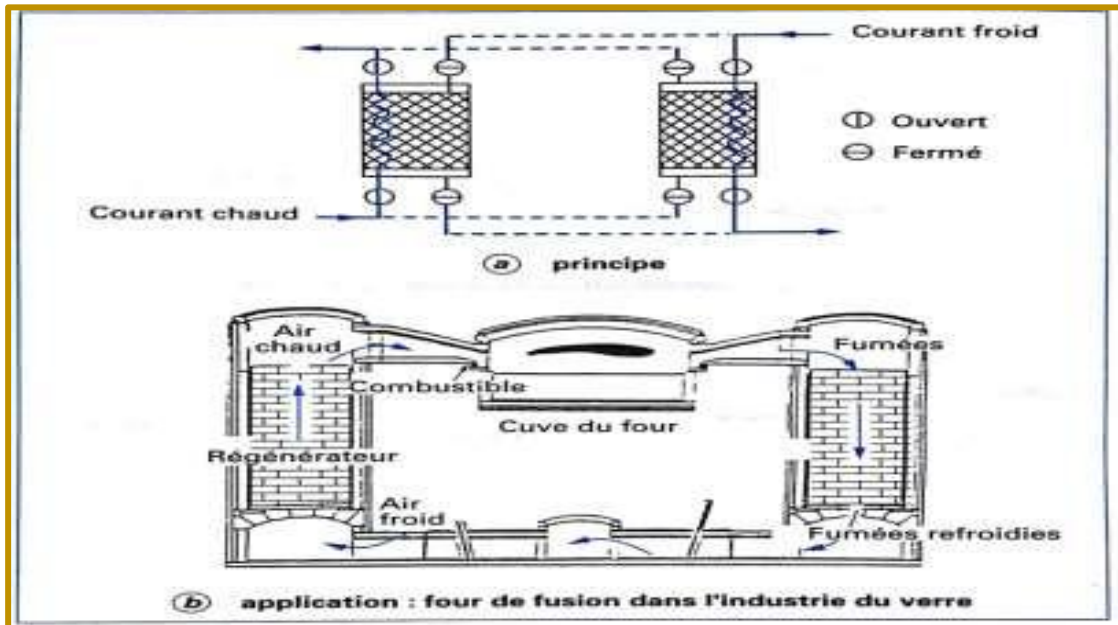


Figure 09: Échangeurs régénérateurs statiques [9].

✧ Échangeurs à caloducs:

Un caloduc est une enceinte étanche contenant un liquide en équilibre avec sa vapeur (Figure 08). Grâce à l'utilisation des phénomènes d'évaporation et de condensation du fluide interne, les caloducs ont une très grande conductivité thermique équivalente. La zone chauffée (évaporateur) contient le liquide qui s'évapore, tandis que la vapeur se condense dans la zone refroidie (condenseur). Le condensat est retourné à l'évaporateur : soit à cause des forces de capillarité développées dans un milieu poreux qui tapissent la paroi interne du caloduc. Ce capillaire peut être sous l'effet des forces de gravité ; pour ce faire, l'évaporateur se trouve plus bas que le condenseur. On parle de thermosiphon diphasique lorsque le réseau capillaire est réduit à un simple rainurage ; il peut même être complètement absent pour réduire les coûts de fabrication. Les caloducs sont placés perpendiculairement aux écoulements dans un échangeur à caloducs. En général, le fluide chaud et le fluide froid circulent à contre-courant et sont séparés l'un de l'autre par une plaque, qui maintient également les caloducs. Les échangeurs à caloducs sont principalement utilisés pour les échanges entre le gaz et le gaz (tels que la récupération de chaleur des fumées industrielles ou la climatisation), mais ils peuvent également être utilisés pour les échanges entre le gaz et le liquide, le liquide-liquide ou les générateurs de vapeur.

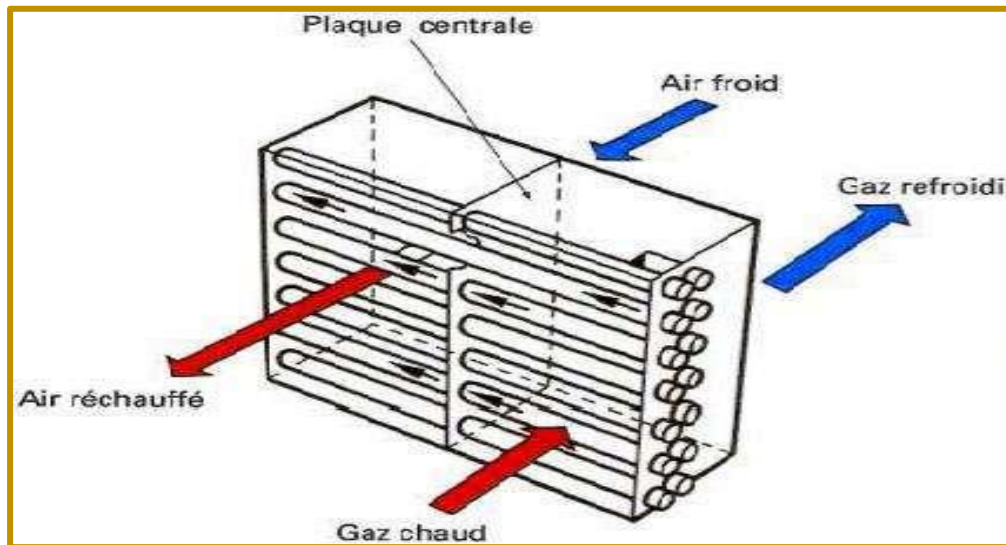


Figure 10: Échangeurs à caloducs.

✧ **Échangeur liquide-liquide:**

Les échangeurs liquide-liquide, comme les échangeurs spiraux, sont utilisés pour transférer des calories entre deux ou plusieurs liquides.

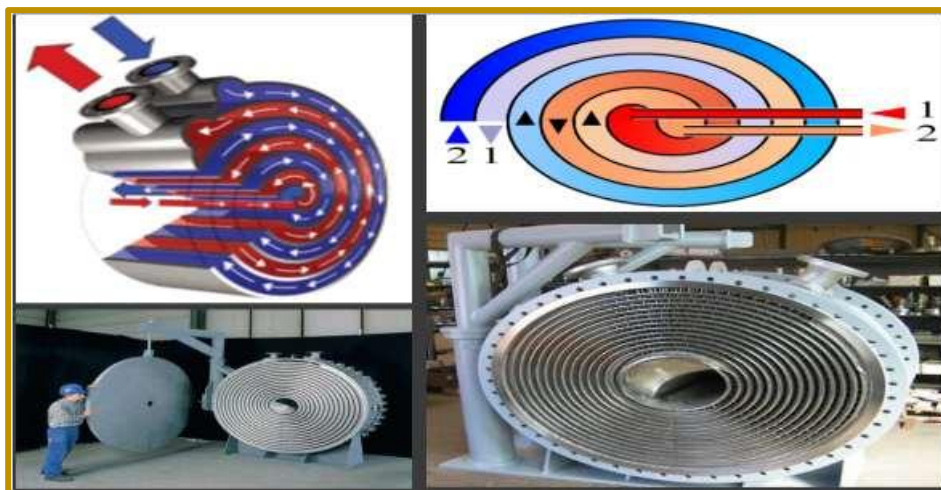


Figure 11: Échangeur spirale.

✧ **Échangeurs lamellaires:**

Il s'agit d'une variante de l'échangeur de type tubes et calandre (Figure 10), avec un faisceau constitué de tubes aplatis ou de lamelles. Ces lamelles sont créées à l'aide de deux plaques qui sont formées et soudées ensemble, formant un canal dans lequel l'un des fluides circule. Chaque lamelle peut contenir un élément interne qui permet un meilleur échange thermique et une meilleure tenue à la pression.

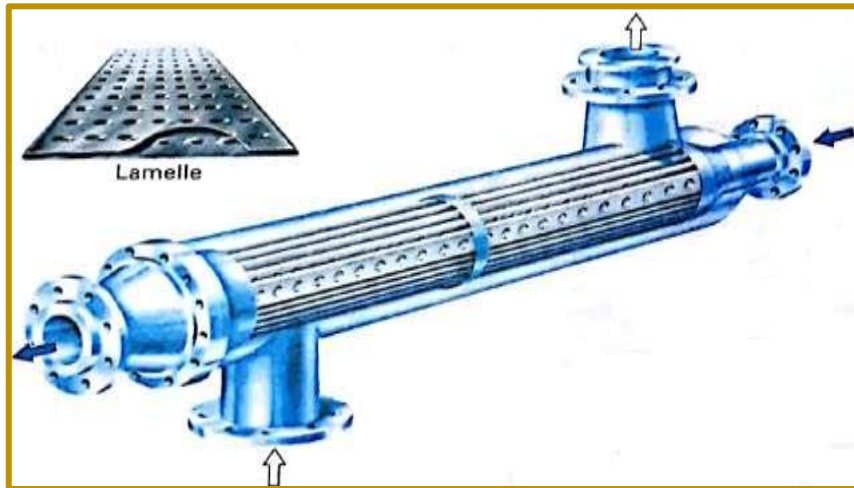


Figure 12: Échangeur de chaleur lamellaire .

✧ **Échangeurs à plaques brasées (liquide/gaz ou liquide/liquide):**

Ces échangeurs sont fabriqués à partir d'aluminium brasé (Figure 12). Les fluides circulent dans des passages définis par deux tôles planes successives et fermés par des barres latéralement. Les tôles ondulées (ondes) sont fabriquées en emboutissant du feuillard sur des presses spéciales et peuvent varier en hauteurs, en épaisseurs et en espacement. Chaque forme d'onde a ses propres propriétés hydrauliques et thermiques. Des échangeurs en acier inoxydable sont également utilisés pour certaines applications spécifiques touchant le domaine de l'aéronautique[10].

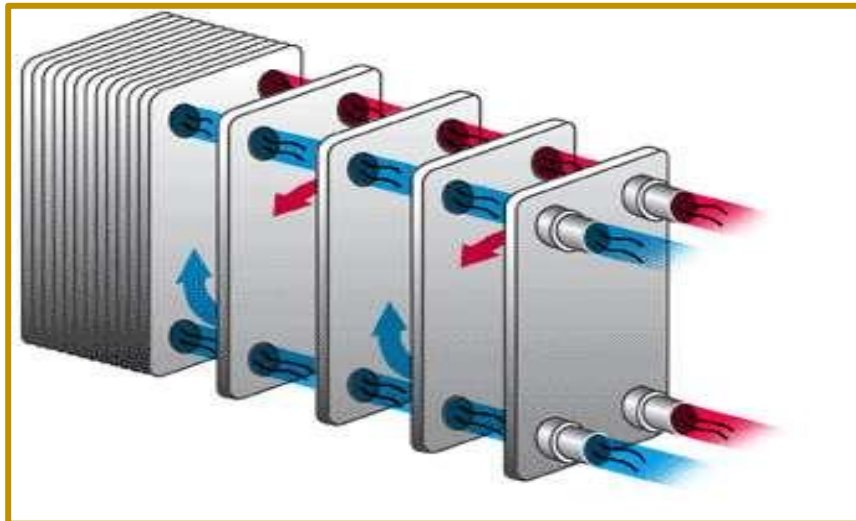


Figure 13 : Échangeur de chaleur à plaques brasées[10] .

2.6.11 Rôles des échangeurs:

✧ **Fonction réfrigération:**

Un réfrigérant refroidit un liquide ou un gaz en circulant un fluide auxiliaire, généralement l'eau.

✧ **Fonction réchauffage:**

Le terme "réchauffeur" désigne également la réchauffe d'un fluide de procédé, mais il est principalement utilisé pour désigner l'appareil qui réchauffe un produit stocké pour garantir sa pompabilité.

✧ **Fonction condensation**

- condenseur : est chargé de procéder à la condensation totale ou partielle de la vapeur en utilisant de l'eau ou un fluide de procédé suffisamment froid.
- Aérocondenseur : Il remplit la même fonction que le précédent en utilisant l'air comme fluide froid.
- Subcooler : il procède à la condensation de vapeur et au refroidissement généralement des condensats par circulation d'eau en même temps.

✧ **Fonction vaporisation:**

Dans cette configuration, il permet la vaporisation complète ou partielle d'un liquide de procédé, tandis que la chaleur est apportée par de la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé qui peut également condenser.

✧ **Fonction particulière:**

L'évaporateur est généralement utilisé pour décrire l'appareil qui concentre des solutions aqueuses par évaporation d'eau, mais il peut également désigner un vaporiseur et un chiller. Tous ces appareils fonctionnent sur le même principe que les échangeurs de chaleur par surface interposée entre deux fluides, effectuant simultanément la transmission par conduction et convection. De plus, la façon d'organiser la circulation des fluides de chaque côté de la paroi affecte leur efficacité.

2.6.12 L'encrassement des Echangeurs de chaleur:

L'encrassement est le terme utilisé pour décrire l'accumulation de dépôts indésirables sur les surfaces des échangeurs de chaleur. Ces dépôts provoquent une résistance au transfert de chaleur, ce qui réduit l'efficacité de l'échangeur de chaleur. L'encrassement peut être une matière cristalline, des particules ou des produits de réactions chimiques telles que la corrosion. La nature du dépôt est déterminée par le fluide (liquide ou gaz) qui passe à travers l'échangeur de chaleur. La décomposition d'un liquide organique dans un échangeur de chaleur, par exemple, peut être causée par la masse du fluide lui-même. Une certaine forme de contaminant dans le fluide,

souvent à très faible concentration, provoque le problème d'encrassement. par exemple, des micro-organismes ou des particules solides [11].

2.6.13 Classification : différents types d'encrassement:

L'encrassement peut être classé en fonction du mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, des conditions d'utilisation de l'échangeur ou du mécanisme dominant, même s'il ne contrôle pas la vitesse de dépôt : on distingue ainsi [12],[13],[14] :

- Encrassement spécifique.
- Retard.
- Corrosion
- Encrassement génétique.
- Encrassement à la suite d'une réaction chimique.
- Encrassement provoqué par la solidification.

Mais la majorité des dépôts réels proviennent de la combinaison d'au moins deux des types mentionnés (Figure 12), et un type peut prédominer et accélérer la contribution des autres. La plupart des recherches se sont concentrées uniquement sur le type d'encrassement particulaire (phénomène de déposition et de réentraînement)[15].



Figure 14: Echangeur sale et propre

✧ Encrassement particulaire:

La plupart des fluides industriels (liquides ou gazeux) transportent des particules en suspension de tailles allant d'une fraction de μm à quelques dizaines de μm . Une partie de ces particules se dépose inévitablement sur la surface d'échange (Figure 13)[16].

- L'eau de la chaudière contenant des substances corrosives.
- L'eau utilisée dans les tours de refroidissement.
- Les écoulements gazeux peuvent contenir des particules de poussières très chargées.
- Fumées de résidus solides de combustion produites dans les usines.



Figure 15: Dépôt de forte épaisseur dans un tube de surchauffeur de Chaudière MP.

✧ **Entarfrage:**

Il est généralement lié à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide (Figure 14)[17]. Ainsi, la composition des eaux utilisées dans l'industrie joue un rôle important. La formation d'incrustations adhérentes et dures sur les surfaces d'échange généralement métalliques est la façon dont l'entarfrage se matérialise. Deux conditions doivent être réunies pour qu'il y ait entarfrage :

- L'aspect thermodynamique est que la limite de solubilité doit être dépassée (saturation).
- La vitesse de déposition doit être suffisamment rapide : c'est l'aspect cinétique. [18][19].



Figure 16 : Entarfrage d'une chaudière à tubes de fumée (P=15 bar).

✧ **Corrosion:**

On distingue deux types de réactions chimiques ou électrochimiques qui se produisent entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement (Figure 15).

- La corrosion uniforme, qui se caractérise par une perte d'épaisseur régulière mais non forcément proportionnelle au temps.

La corrosion ou l'attaque sont limitées à des zones de très petites surfaces (environ 1 mm²).

- La corrosion fissurant à l'échelle microscopique inter granulaire ou trans granulaire.
- La corrosion sélective ou un seul élément d'un alliage est touché par une corrosion sélective[20].



Figure 16 : Importante corrosion

Les produits de corrosion peuvent servir de germes de nucléation pour des solutions sursaturées, piéger les particules en suspension, servir d'abri pour le développement de micro-organismes et même catalyser certaines réactions. L'encrassement par corrosion est un promoteur potentiel pour tous les autres types d'encrassement[21]. Le dépôt est créé par les produits de la réaction qui se forment et restent sur la surface d'échange. C'est un mécanisme de corrosion in situ. Lorsque la corrosion est causée par des produits de corrosion générés ex situ, l'encrassement correspondant est de type particulaire.

✧ **Encrassement biologique:**

Il peut être causé par trois grands types de micro-organismes :

- Les champignons, les algues et les bactéries[21].
- L'apport nutritif (hydrocarbures, ammoniacques) contribue au développement bactérien.
- La photosynthèse entraîne le développement des algues, tandis que le développement des champignons est principalement dû à l'apport de nutriments.

changements dans les conditions physiques ambiantes telles que le pH, l'humidité et la température.



Figure 17: Dépôt de slime bactérien, hydrocarbures et oxydes métalliques dans un échangeur de chaleur eau hydrocarbures (Raffinerie de pétrole).

✧ **Encrassement par réaction chimique:**

Il est dû à une réaction chimique qui se produit près d'une surface d'échange de chaleur et que les produits solides de la réaction s'y déposent. Cette réaction est souvent polymérisée, ce qui entraîne la formation d'un dépôt de substance à haut poids moléculaire[22][23].

✧ **Encrassement par solidification:**

Il s'agit de la solidification d'un liquide pur au contact d'une surface d'échange sous refroidissement. Il a fait l'objet de plusieurs études sur les pipes, soit théoriques, soit expérimentales[24].

✧ **Processus encrassement [25]:**

L'ensemble du processus d'encrassement est généralement considéré comme le résultat net de deux sous-processus simultanés : le dépôt et la suppression. Les sous-processus peuvent être résumés de la manière suivante :

- Formation d'encrassement dans la masse du fluide.
- Transport des matières encrassées à l'interface entre le dépôt et le fluide.
- Attachement/formation de la réaction à l'interface dépôt-fluide.
- Éliminer les dépôts d'encrassement.
- Transport de l'interface liquide-dépôt vers la masse du liquide.

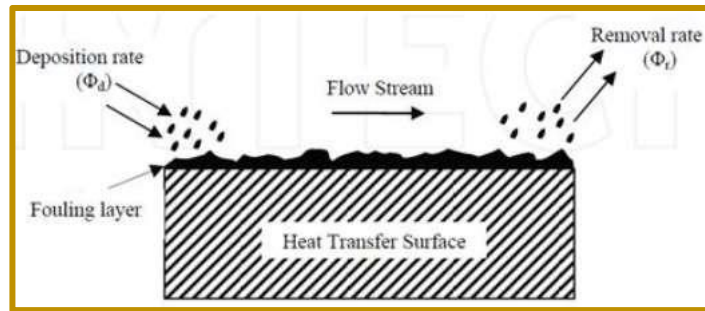


Figure 18 : Formation de dépôt

✧ **Conséquences de l'encrassement[24]:**

Comme mentionné précédemment, l'encrassement entraîne une consommation d'énergie supplémentaire.

- Le remplacement des appareils en mauvaise condition.
- Les coûts associés à l'arrêt des installations pour le démontage et le nettoyage.
- Les appareils des bureaux d'étude sont trop grands.

2.7 Conclusion:

En raison de leur importance dans les unités de production et de leur grande diversité, les échangeurs de chaleur sont utilisés dans de nombreuses applications et domaines industriels. Il est essentiel et nécessaire d'assurer une bonne rentabilité de ces unités et d'améliorer leur rendement, qui dépend souvent de l'état de surface des échangeurs et de leur fonctionnement, car ils dépendent souvent de l'état de surface des échangeurs. L'étude de ces appareils peut être numérique ou analytique. Le chapitre suivant abordera les techniques de calcul des échangeurs de chaleur.

Chapitre 3 :

Modélisation et

similarité

3.1 Introduction:

Au cours de ce chapitre, nous allons exposer les étapes essentielles de la modélisation et de la conception de notre système en utilisant les principaux concepts d'UML et le processus de raisonnement basé sur des cas concrets.

3.2 Langage de conception UML:

L'UML est un langage de modélisation visuelle principalement employé dans la conception et la documentation des systèmes logiciels. La conception d'un système est visualisée de manière standardisée avec UML, qui propose un ensemble de diagrammes qui représentent différents aspects du système, tels que la structure statique, le comportement dynamique et les interactions entre les composants. Le langage UML est employé afin de représenter les besoins, l'architecture, la conception détaillée et même la documentation des systèmes logiciels[1].

3.3 Les Diagrammes UML utilisés:

Les divers modèles d'UML employés dans notre étude comprennent :

✧ **Diagramme de cas d'utilisation :**

Les cas d'utilisation décrivent le comportement d'un système en se basant sur les actions et les réactions d'un utilisateur. Les limites du système et les relations entre le système et l'environnement sont définies par ces éléments.

✧ **Diagramme de classe:**

La structure statique d'un système est généralement exprimée par le diagramme de classe, qui représente les classes et les relations entre ces classes, qui peuvent être de dépendance, de généralisation ou d'association. Il inclut également des interfaces, des travail en équipe, etc.

✧ **Diagramme de séquence :**

La séquence de messages entre les objets lors d'une interaction est représentée par un diagramme UML (Unified Modeling Language). Un diagramme de séquence est constitué d'un ensemble d'objets, symbolisés par des chemins de vie, et les échanges de messages entre ces objets lors de leur interaction.

✧ **Diagramme d'activité :**

Un schéma d'activité est une variante des schèmes d'états-transitions, structuré en fonction des actions et principalement conçu pour illustrer le fonctionnement interne d'une méthode (la réalisation d'une opération) ou d'un cas d'usage.

3.4 Exigences fonctionnelles:

3.4.1 Diagramme de cas d'utilisation :

Le schéma de cas d'utilisation est illustré par la figure ci-dessous :

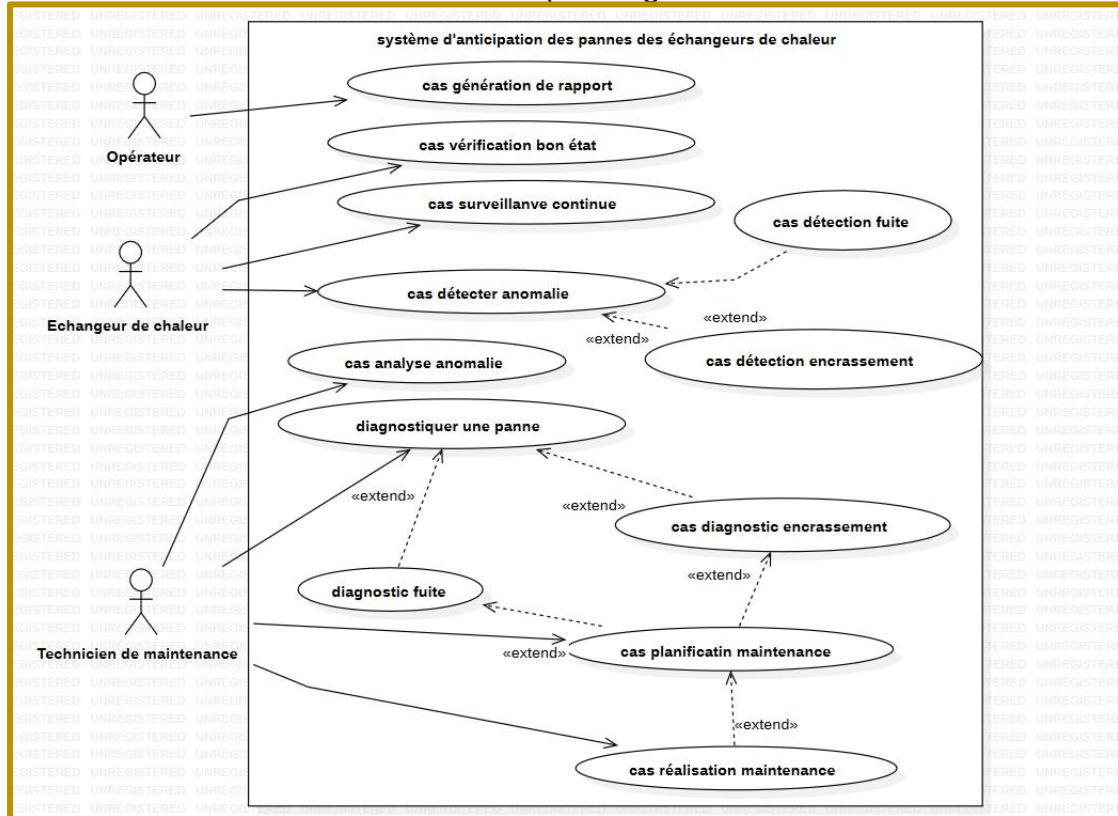


Figure 1 : Le diagramme de cas d'utilisation.

Le système de détection des pannes des échangeurs de chaleur comporte plusieurs acteurs clés : l'opérateur, le technicien de maintenance, et l'échangeur de chaleur. Les cas d'utilisation incluent la surveillance continue des échangeurs, la détection des anomalies, l'analyse des anomalies, le diagnostic des pannes, la planification et l'exécution de la maintenance, la vérification du bon fonctionnement post-maintenance, et la génération de rapports détaillés. Le raisonnement à base de cas intègre des scénarios spécifiques tels que la détection et le diagnostic de fuites et d'encrassements, et l'analyse des anomalies. Des extensions sont prévues pour les cas de diagnostic nécessitant une planification détaillée avant la maintenance, ainsi que pour la planification nécessitant des étapes supplémentaires avant la réalisation de la maintenance. Les relations « extend » montrent des extensions optionnelles basées sur des conditions spécifiques. Ce diagramme offre une vue structurée et complète du processus de surveillance, détection, et maintenance des échangeurs de chaleur, couvrant divers types de pannes (fuite, encrassement), et garantissant le bon fonctionnement.

3.4.2 Diagramme de classe:

Le diagramme de classe est donné par la figure suivante :

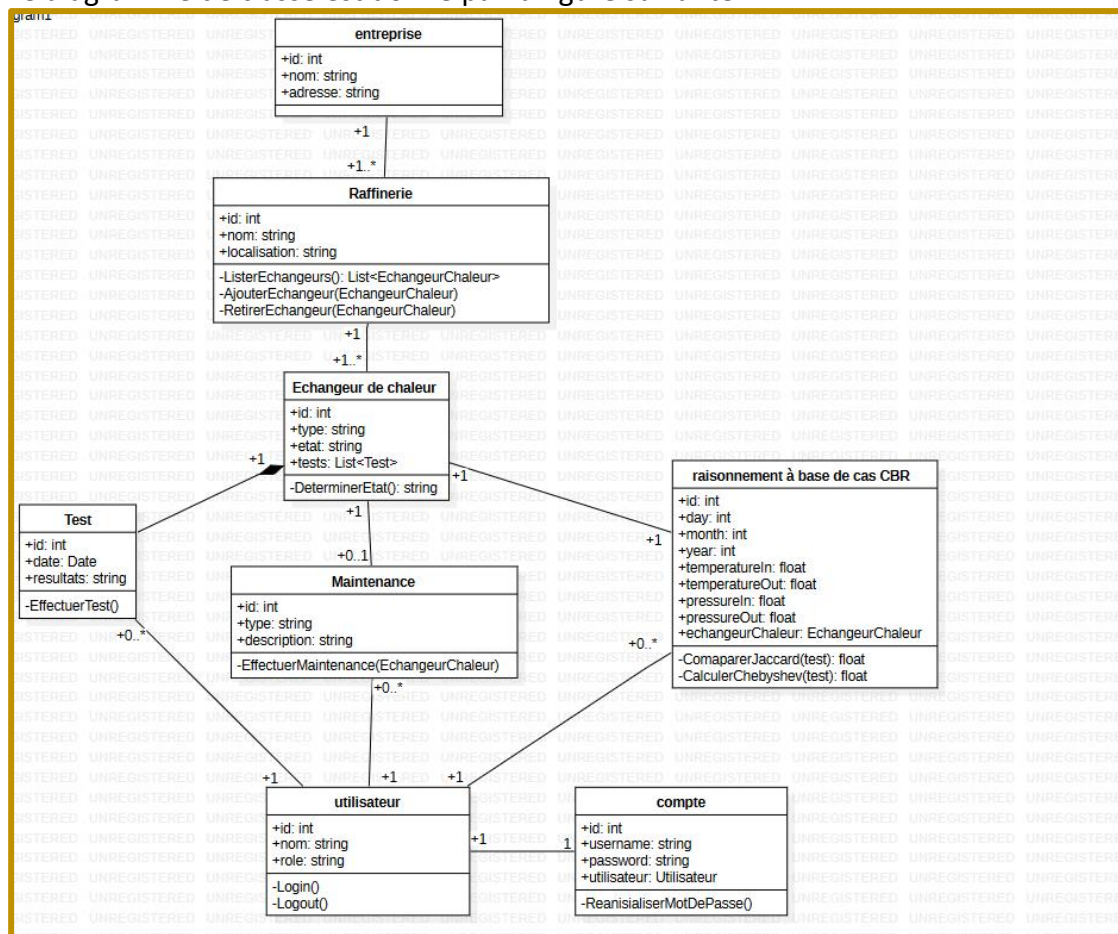


Figure2:Le diagramme de classe.

Le système de détection des pannes des échangeurs de chaleur est structuré autour de plusieurs classes principales : Utilisateur, Raffinerie, Entreprise, EchangeurChaleur, Compte, Maintenance et RaisonnementBaseCasCBR, chacune avec des attributs et méthodes spécifiques. La classe Test, avec des attributs généraux pour tout type de test . Les relations entre les classes, telles qu'entre Utilisateur et Compte, Entreprise et Raffinerie, Raffinerie et EchangeurChaleur, sont définies avec des multiplicités claires. RaisonnementBaseCaseCBR inclut des méthodes comme comparerJaccard et calculerChebyshev pour évaluer la similarité entre les tests et les cas précédents. Le diagramme est structuré pour une meilleure lisibilité, avec des associations et héritages clairement indiqués, offrant une représentation complète du système intégrant des fonctionnalités de test, de maintenance et de raisonnement basé sur les cas.

3.4.3 Diagramme de séquence:

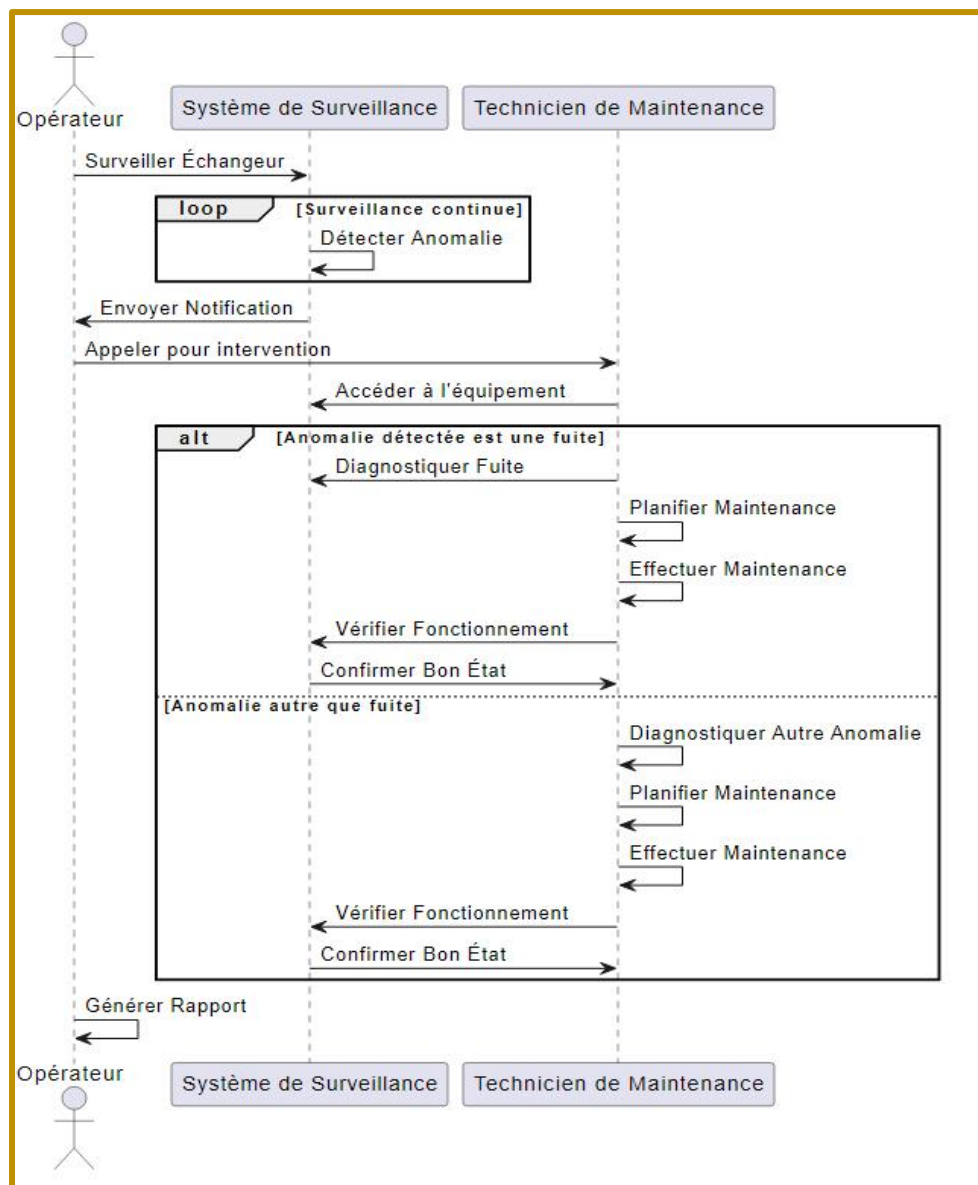


Figure 3: Le diagramme de séquence

Le diagramme de séquence illustre les interactions entre l'opérateur, le technicien de maintenance et le système de surveillance dans la détection des anomalies d'un échangeur de chaleur. L'opérateur surveille en continu l'échangeur via le système de surveillance. En cas de détection d'anomalie, le système alerte l'opérateur, qui peut alors appeler un technicien pour intervenir le technicien diagnostique et répare l'anomalie, qu'il s'agisse d'une fuite ou d'un autre problème (encrassement). Après la réparation, le système vérifie le bon fonctionnement de l'échangeur et confirme au technicien. Finalement, l'opérateur génère un rapport détaillant les événements et les actions entreprises. Le diagramme met en évidence les boucles de surveillance continue et les alternatives pour les différents types d'anomalies, intégrant un raisonnement à base de cas pour gérer les situations courantes et exceptionnelles.

3.4.4 Diagramme d'activité :

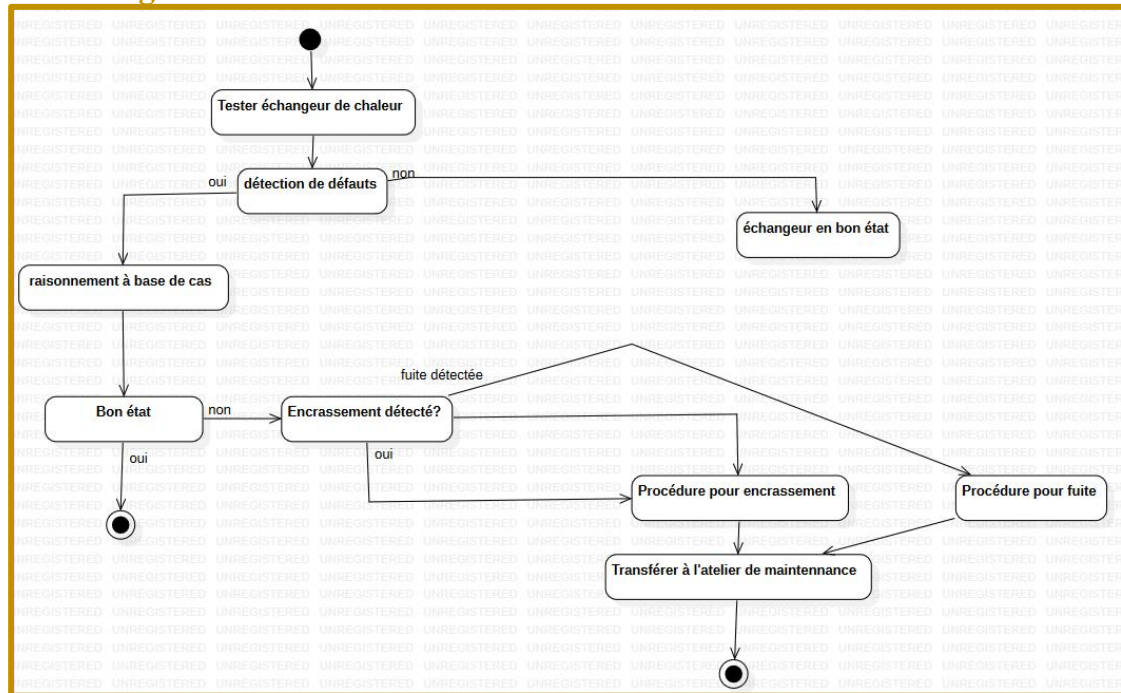


Figure 4: Le diagramme d'activité.

Le processus commence par le test de l'échangeur de chaleur pour détecter des pannes. Si les pannes sont détectées, le système utilise le raisonnement à base de cas(CBR), qui implique une analyse détaillée des résultats du test à l'aide de cas pré-enregistrés ou de modèles pour évaluer l'état de l'échangeur. En fonction du cas identifié (bon état, encrassement ou fuite), la procédure appropriée est appliquée. Si aucun défaut n'est détecté, le système confirme que l'échangeur est en bon état, mettant ainsi fin au processus. Le raisonnement à base de cas permet une interprétation détaillée et méthodique des résultats du test pour diagnostiquer et résoudre les problèmes potentiels des échangeurs de chaleur.

3.5 Le processus de recherche de cas :

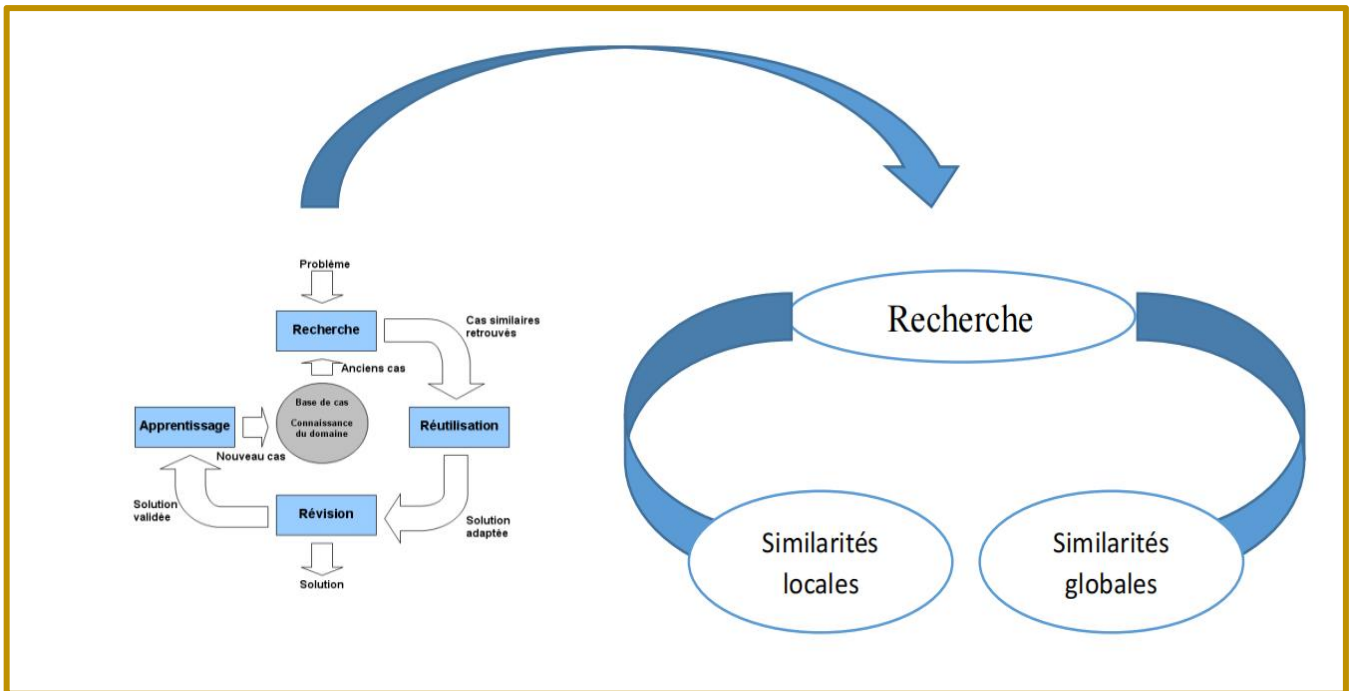


Figure5: Le processus de recherche de cas.

Dans ces mesures de similarité, on recherche des correspondances entre les descripteurs de ces cas qui sont ensuite retrouvés à l'aide d'un algorithme de recherche. L'objectif de ces mesures de similarité est de retrouver le cas de la base de cas qui est similaire au problème actuel, au sens qu'il est facilement adaptable à ce nouveau problème. Le degré de similarité est donc la fonction d'utilité/adaptabilité de la solution. Il existe plusieurs mesures qui dépendent de la représentation de cas. Nous distinguons les mesures suivantes :

- Des points communs qui augmentent la relative similarité entre deux situations.
- des différences qui font varier le degré de différence entre deux situations[2].

Plusieurs mesures varient en fonction de la représentation des cas. Nous différencions les dimensions :

- des points communs qui augmentent la relative similarité entre deux situations.
- des similitudes qui augmentent la différence entre deux situations.

Les indicateurs de similitude peuvent inclure :

3.5.1 Similarité locale:

où les mesures sont mises en place en fonction des caractéristiques des cas. Les mesures les plus courantes reposent sur l'idée de distance. Ces caractéristiques varient en fonction du type de descripteur (numérique, symbolique, taxonomique) :

- pour les valeur numériques : $sim(a, b) = 1 - (|a-b|)/range$

- pour les valeurs symboliques : $sim(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{pour } a = b \\ 0 & \text{pour } a \neq b \end{cases}$
- pour les valeurs de descripteurs symboliques (**multi-valeurs**) : $sim(a, b) = \frac{(card(a) \cap card(b))}{(card(a \cup b))}$
- pour les taxonomiques : $sim(a, b) = \frac{(h(commomode(a,b)))}{(\min(h(a),h(b)))}$

Les valeurs a et b sont des descripteurs.

- La cardinalité de l'ensemble est le card.
- La valeur absolue de la différence entre la borne supérieure et la borne inférieure est appelée range. Plus faible que toutes les valeurs.
- Le nombre d'échelons dans l'arbre taxonomique (dans l'hiérarchie) est égal à h.

3.5.2 Similarité globale:

Globales où les mesures sont mises en place au niveau de chaque cas ou objet en utilisant des similitudes locales. La similarité globale entre le cas cible et les différentes sources de cas de la base de cas est calculée par le système. Il n'y a pas de mesure de similarité parfaite. compatible avec tous les secteurs, donc diverses mesures sont employées, telles que par exemple : L'indice de Jaccard, également appelé coefficient de Jaccard, est une mesure utilisée en statistiques pour évaluer la **similarité** entre deux ensembles. Voici comment il fonctionne :

- **Indice de Jaccard (J) :**

Pour deux ensembles **A** et **B**, l'indice de Jaccard est défini comme le rapport entre la taille de leur intersection et la taille de leur union :

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

- **Distance de Jaccard :**

La distance de Jaccard mesure la **dissimilarité** entre les ensembles. Elle est simplement calculée en soustrayant l'indice de Jaccard de 1 :

$$D(A,B) = 1 - J(A,B)$$

L'indice de Jaccard est utile pour comparer des objets constitués d'attributs binaires (0 ou 1). Par exemple, il peut être utilisé pour évaluer la similarité entre des ensembles de données[3].

- **Distance de Chebyshev (ou distance de Tchebychev):**

entre deux points **A** et **B** dans un espace à **n** dimensions :

$$D(A, B) = \max_{i=1}^n |a_i - b_i|$$

Dans cette formule :

D(A,B)

Cette mesure s'avère bénéfique lorsque l'on veut évaluer la différence entre des vecteurs sur leurs dimensions. Prenons l'exemple d'une utilisation de données géospatiales ou d'informations[4].

3.6 Conclusion:

Nous avons pu représenter notre conception de manière claire et précise grâce à l'utilisation d'UML et à une compréhension du processus RàPC. Maintenant, nous pouvons mettre en place le système en toute confiance car nous disposons de l'infrastructure nécessaire. Une conception minutieuse et minutieusement réfléchie. Ce thème sera traité dans le prochain chapitre.

Chapitre 4 :

Implémentation

4.1 Introduction:

Après avoir terminé la conception du projet, nous entamons sa réalisation. Dans ce chapitre, on explique en détail comment installer notre application, en présentant les outils utilisés pour son développement ainsi que les interfaces principales.

4.2 Les outils utilisés pour la construction de l'application:

4.2.1 Le Langage de programmation Python:

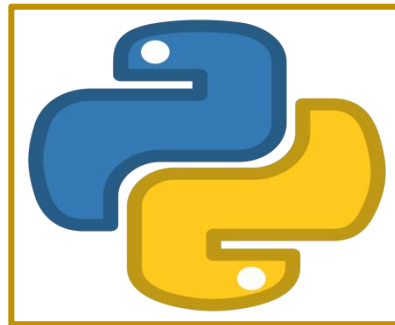


Figure1:Logo Python [1].

Python est un langage de programmation de premier ordre conçu pour une utilisation générale. Il a été créé par Guido van Rossum et est publié en 1991.

Python s'appuie sur une approche de conception axée sur la clarté du code, en mettant l'accent sur l'utilisation d'espaces significatifs. Il propose des structures qui facilitent une programmation précise à petite et grande échelle.

Un système de typage dynamique et une gestion automatique de la mémoire sont offerts par Python. Il supporte diverses approches de programmation, telles que l'orienté objet, l'impératif, le fonctionnel et le procédural, et possède une bibliothèque standard étendue et complète.

Python est un langage de programmation ouvert et de qualité supérieure, conçu pour fonctionner avec une variété de systèmes d'exploitation. Ce langage de programmation est considéré comme le plus puissant en raison de sa nature dynamique et variée. Python offre une interface conviviale avec une syntaxe extrêmement simple, ce qui est très motivant pour les novices et très encourageant pour les utilisateurs expérimentés[2].

4.2.2 Visual Studio Code (VS Code):



Figure2:Logo deVisual Studio Code (VS Code)[3].

Microsoft a développé Visual Studio Code, un éditeur de code extensible pour Windows, Linux et macOS[4]. Parmi les caractéristiques, on retrouve la possibilité de déboguer, de mettre en évidence la syntaxe, de compléter intelligemment le code (IntelliSense[5].), de générer des snippets, de refactoriser le code et d'intégrer Git. Le thème, les raccourcis clavier, les préférences et l'installation d'extensions permettent aux utilisateurs de modifier ces éléments et d'ajouter des fonctionnalités avancées. Visual Studio Code est basé sur le code source du logiciel libre et open source VS Code de Microsoft, qui est publié sous licence MIT permissive. Cependant, les binaires compilés sont considérés comme un logiciel gratuit pour toute utilisation, mais qui est propriétaire. Le sondage mené par Stack Overflow en 2023 a révélé que Visual Studio Code est considéré comme l'outil d'environnement de développement (IDE) le plus utilisé, avec plus de 73 % des 86 544 participants affirmant l'utiliser[6].

4.2.3 WampServer:



Figure3:Logo de WampServer[7].

WampServer (anciennement WAMP5) est un environnement de développement Web de type WAMP qui permet de faire fonctionner des scripts PHP localement (sans avoir besoin de se connecter à un serveur externe). WampServer est un environnement composé de trois serveurs (Apache, MySQL et MariaDB), d'un interpréteur de script (PHP) et de phpMyAdmin pour l'administration Web des bases MySQL. Avec une interface d'administration, il est possible de gérer et d'administrer ses serveurs en utilisant un tray icon (icône près de l'horloge de Windows). La principale innovation de WampServer 3 est la capacité d'installer et d'utiliser en un seul clic n'importe quelle version de PHP, Apache, MySQL ou MariaDB. Donc, chaque programmeur a la possibilité de reproduire avec précision son serveur de production sur sa machine locale[8].

4.2.4 MYSQL:



Figure4: Logo de MYSQL[9].

MySQL se distingue par sa robustesse et sa rapidité en tant que système de gestion de bases de données relationnelles. Une base de données facilite la manipulation efficace des informations, leur enregistrement, leur tri, leur lecture et leur utilisation pour des recherches. Le serveur MySQL supervise la gestion de l'accès aux données afin de garantir que plusieurs utilisateurs puissent utiliser simultanément une même base de données, ce qui permet un accès rapide et assure que seuls les utilisateurs autorisés peuvent accéder aux données. Ainsi, MySQL est un serveur multi-utilisateur et multithread.

Il fait appel à SQL (langage de requête structuré), le langage courant des requêtes de bases de données. Le développement de MySQL remonte à 1979, mais il est disponible depuis 1996. C'est la base de données open-source la plus utilisée à l'échelle mondiale et a été récompensée par le Linux Journal Readers' Choice Award plusieurs fois. MySQL est maintenant accessible sous une licence double. Il est libre d'utilisation sous licence open-source (GPL) à condition de se conformer aux conditions de cette licence. Si vous désirez commercialiser une application non GPL qui intègre MySQL, il est également possible d'acquérir une licence commerciale[10].

4.3 Quelques interfaces de notre application:

Nous présentons dans cette section les interfaces du système qui décrivent les différentes étapes de notre système.

4.3.1 L'interface principale:

Le tableau d'affichage de cette interface regroupe tous les cas de notre base de données. Elle inclut également un bouton d'ajout pour ajouter des cas, un bouton de modification pour modifier certaines données du cas et un bouton de suppression pour supprimer les cas qui sont affichés dans le tableau, ainsi qu'un bouton de nouveau cas pour ajouter un nouveau cas.

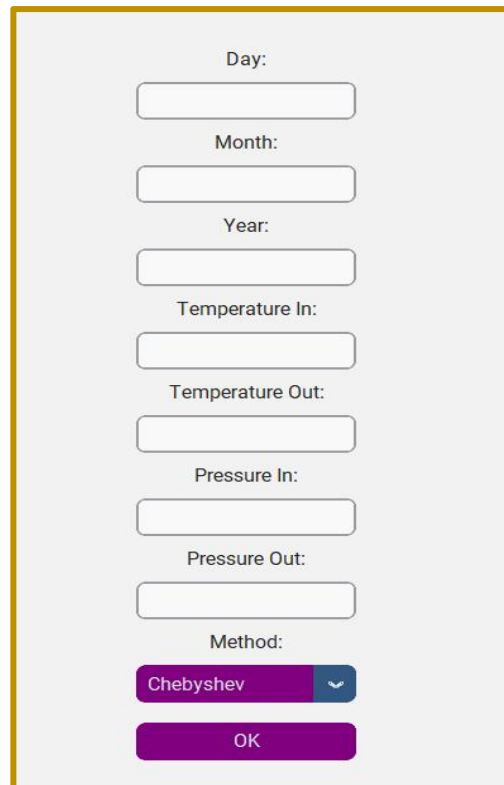
ID	Day	Month	Year	Temperature In	Temperature Out	Pressure In	Pressure Out	Result
1	18	9	2010	100	80	10	8	fuite
2	19	2	2011	110	90	12	11	encrassement
3	20	4	2013	120	115	15	14	bon état
4	21	5	2014	130	110	14	13	fuite
5	22	6	2016	125	100	13	12	encrassement
6	23	7	2017	115	95	11	10	fuite
7	24	10	2018	105	85	10	9	encrassement
8	25	6	2023	100	98	10	9	bon état
9	26	4	2023	110	108	12	11	bon état
10	27	1	2023	120	90	14	13	encrassement
11	28	2	2023	130	110	15	14	fuite
12	29	5	2022	140	120	16	15	fuite
13	30	3	2022	150	130	17	16	encrassement
14	1	1	2022	160	140	18	17	fuite
15	2	4	2012	170	150	19	18	encrassement
16	3	1	2015	180	160	20	19	bon état
17	4	6	2019	190	170	21	20	fuite
18	5	3	2021	200	180	22	21	encrassement
19	6	5	2020	210	190	23	22	bon état
20	7	4	2023	220	200	24	23	fuite
21	8	1	2024	230	210	25	24	encrassement
22	9	2	2024	240	220	26	25	bon état

Figure 5: L'interface principale

4.3.2 L'interface nouveau cas :

Cette interface aborde le raisonnement par cas une fois qu'un nouveau cas a été ajouté. Elle inclut également la possibilité de choisir la similarité (Jaccard et Chebyshev) pour calculer les taux de similarités et le résultat doit afficher à l'interface principale.

Figure 6: l'interface nouveau cas avec la méthode Jaccard.



Day:

Month:

Year:

Temperature In:

Temperature Out:

Pressure In:

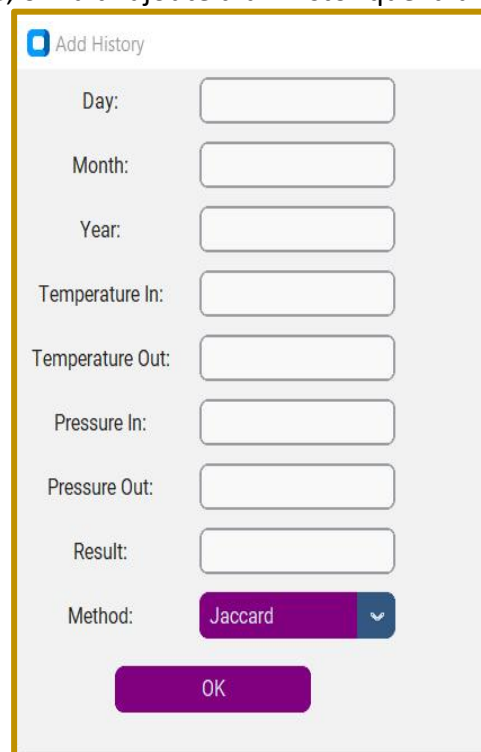
Pressure Out:

Method:
Chebyshev

Figure 7: l'interface nouveau cas avec la méthode Chebyshev.

4.3.3 L'interface ajouter un historique :

Dans cette interface, on fait l'ajoute d'un historique d'un cas présédent.



Add History

Day:

Month:

Year:

Temperature In:

Temperature Out:

Pressure In:

Pressure Out:

Result:

Method: Jaccard

Figure 8: l'interface ajouter un historique.

4.3.4 L'interface Service:

Toutes les informations de Sonatrach sont contenues dans cette interface de service. Elle comprend aussi les renseignements relatifs à la raffinerie et les échangeurs de chaleur.

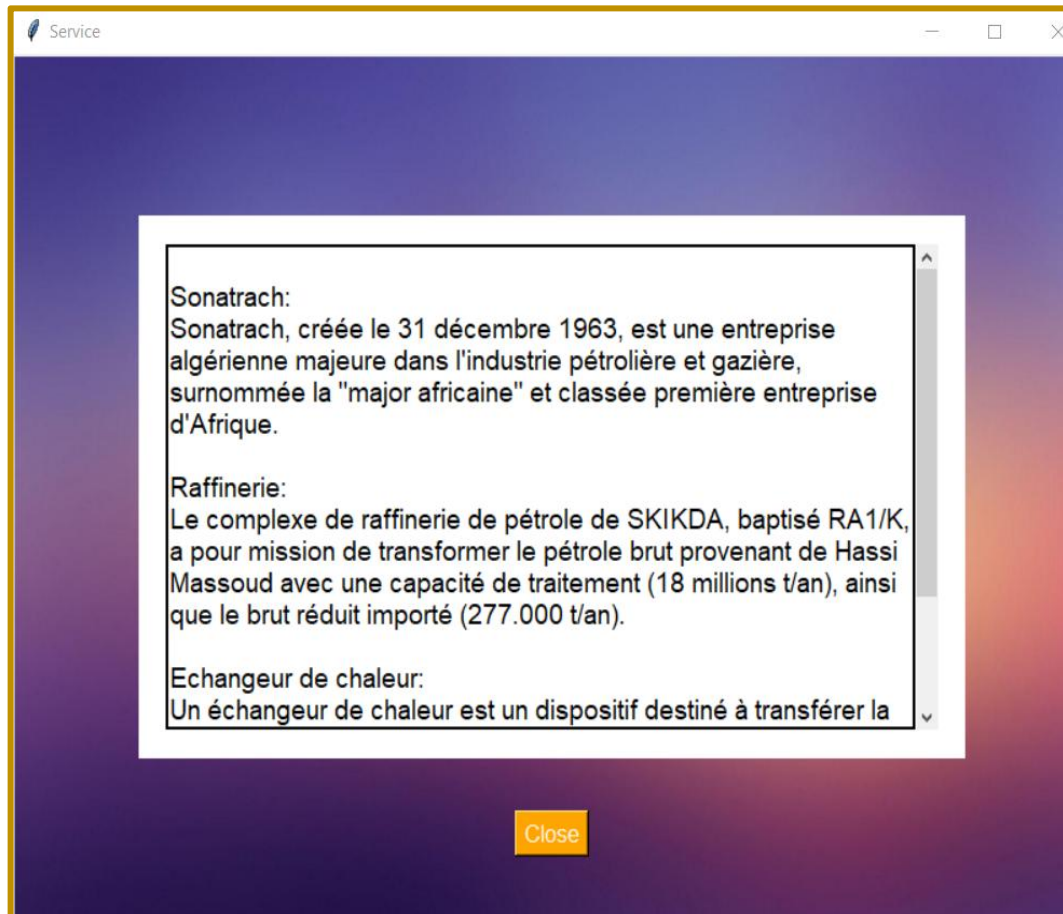


Figure 9: L'interface service.

4.3.5 L'interface s'inscrire:

L'utilisateur ouvre un compte dans cette interface en suivant les différentes étapes requises pour s'inscrire.

Inscription

Inscrivez-vous ici

Nom

Prénom

Numéro de téléphone

Adresse e-mail

ID du travailleur

Mot de passe

Confirmer le mot de passe

Figure 10: l'interface s'inscrire.

4.3.6 L'interface de connexion:

L'utilisateur peut se connecter à l'interface de connexion en utilisant son numéro d'identification unique et son mot de passe personnel, ce qui lui permet d'accéder à son compte.

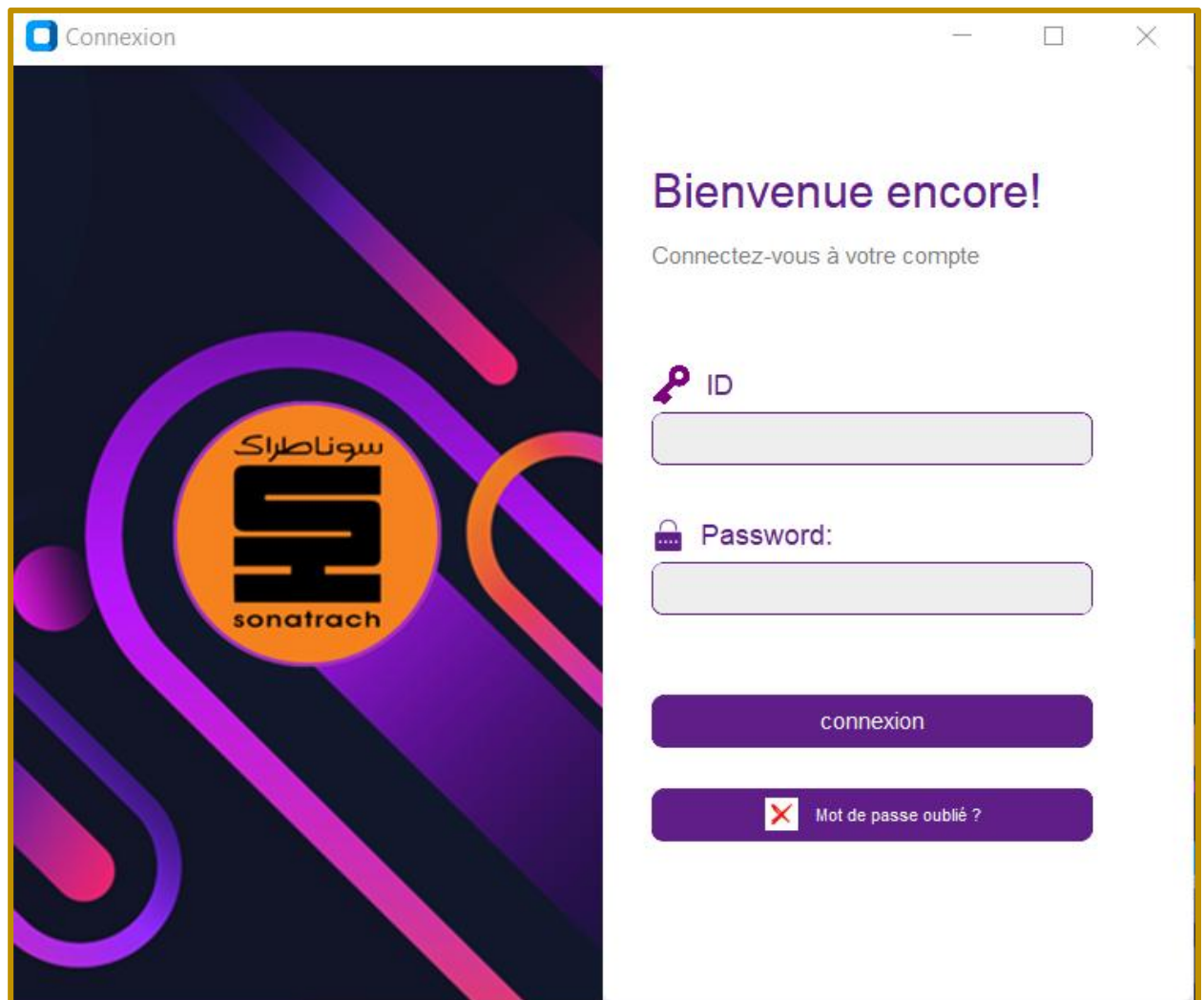


Figure 11: L'interface de connexion.

4.4 Conclusion:

Nous avons examiné dans ce chapitre la mise en œuvre qui permet de transformer le modèle conceptuel décrit précédemment en un logiciel informatique exécutable. Nous avons aussi exposé les instruments et les environnements de développement employés lors de cette procédure.

Conclusion générale

La réalisation d'un système à base de cas pour la détection des pannes des échangeurs de chaleur démontre l'efficacité des approches basées sur l'intelligence artificielle dans le domaine de la maintenance prédictive.

En utilisant des cas historiques de pannes, le système identifie les anomalies similaires dans les données actuelles, permettant ainsi une détection précoce et précise des défaillances. Cette approche a permis de réduire significativement les temps d'arrêt imprévus, améliorant la fiabilité et l'efficacité opérationnelle des échangeurs de chaleur. En orientant les efforts de maintenance de manière plus ciblée, le système optimise les interventions, réduit les coûts et prolonge la durée de vie des équipements.

Le système basé sur des cas présente également une grande souplesse et une grande adaptabilité, car il est possible de le mettre à jour en permanence avec de nouveaux cas afin de maintenir un niveau de performance élevé en fonction des conditions d'exploitation variables. Il est crucial d'avoir une capacité d'apprentissage continu afin de détecter précisément les pannes.

En fin, cette étude met en évidence le potentiel des systèmes basés sur des cas pour améliorer la maintenance des échangeurs de chaleur et offre des opportunités prometteuses pour l'intégration de l'intelligence artificielle dans d'autres systèmes industriels. Les conclusions obtenues sont prometteuses et indiquent la voie vers des solutions toujours plus performantes et adaptables.

Bibliographie

Chapitre 1:

- [1][AAM 94] Aamodt A. et Plaza E., Case Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. AI communications, IOS Press, Vol 7(1), pp. 39-59, 1994.
- [2][MAL 96] Malek M., Un modèle hybride de mémoire pour le raisonnement à partir de cas. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, 30 octobre 1996.
- [3][Aamodt & Plaza, 1994] Aamodt A. et Plaza E., Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. AI Communications, 7(i): pp 3959, 1994.
- [4][Schank, 1982] Schank R.C., Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People. Cambridge University Press, New York, NY, 1982.
- [5][Minsky, 1975] Minsky M., A framework for representing knowledge. In the psychology of Computer Vision, éditeur P.H. (Ed.)Winston, pages 211–279, New York, McGraw Hill, 1975.
- [6][Schank, 1982] Schank R.C., Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People. Cambridge University Press, New York, NY, 1982.
- [7][Gebhardt et al., 1997] Gebhardt F., Voß A., Gräther W., Schmidt-Belz B., Reasoning With Complex Cases. Kluwer academic publishers, 1997.
- [8][Kolodner, 1988] Kolodner, J., Workshop on case-based Reasoning, editor (1988) DARPA 88, Clearwater, Florida. Morgan Kaufmann, San Mateo.
- [9][Richter et al., 1993] Richter M.M., Wess S., Althoff K.D. et Maurer F., First European Workshop on Case-Based Reasoning, University of Kaiserslautern, Germany, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol 837, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- [10][Veloso et al., 1995] Veloso M., Carbonell J., Pérez A., Borrajo, D., Fink, E., et Blythe, J., Integrating Planning and Learning: The PRODIGY Architecture. Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, 7(1):81–120, 1995.
- [11][Fuchs et al., 2006] Fuchs B., Lieber J., Mille A. et Napoli A., Une première formalisation de la phase d'élaboration du raisonnement à partir de cas. Actes du 14ième atelier du raisonnement à partir de cas, Besançon, mars, 2006.

- [12][Mille, 1995] Mille A., Raisonnement basé sur l'expérience pour coopérer à la prise de décision, un nouveau paradigme en supervision industrielle. Thèse de doctorat, Université de Saint Etienne, 1995.
- [13][Reinartz et al., 2000] Reinartz T., Iglezakis I. et Roth-Berghofer T., On quality measure for case base maintenance. Lecture Note in Artificial Intelligence 1998, Advances in Case-Based Reasoning, 5th European Workshop, EWCBR 2000, pages 247-259, 2000.
- [14][Lieber, 2007] Lieber J., Application of the Revision Theory to Adaptation in Case-Based Reasoning: the Conservative Adaptation. In 7th International Conference on Case-Based Reasoning - ICCBR'07 4626 (2007) 239-253.
- [15][Kolodner, 1996] Kolodner J., Making the implicit explicit: Clarifying the principles of case-based reasoning. In Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons and Future Directions, pages 349–370, AAAI press, Mit Press, 1996.
- [16][Bergmann et al., 2003] Bergmann R., Althoff K.D., Breen S., Göker M., Manago M., Traphöner R. et Weiss S., Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications: The INRECA Methodology. Lecture Notes in Artificial Intelligence, LNAI 1612, Springer Verlag, Berlin, 2003.
- [17][Lamontagne, 2004] Lamontagne L., Une approche CBR textuel de réponse au courrier électronique. Thèse de doctorat, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, 2004.
- [18][Aha et al., 2001] Aha D.W., Breslow L.A. et Muñoz-Avila H., Conversational case-based reasoning. Applied Intelligence, vol 14, pp.9-32, 2001.
- [19][Lamontagne, 2004] Lamontagne L., Une approche CBR textuel de réponse au courrier électronique. Thèse de doctorat, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, université de Montréal, 2004.
- [20][Afouba et al., 2004] Afouba N.M., Kerbata S. et Labarang Z., Le raisonnement à partir de cas. : définitions et principes de fonctionnement. Rapport du projet d'intelligence artificielle, novembre 2004.
- [21][Malek, 2000] Malek M., Hybrid approaches for integrating neural networks and case-based reasoning : From loosely coupled to tightly coupled models. In Soft Computing in CaseBased Reasoning, éditeurs Tharam S. Dillon Sankar K. Pal et Daniel S. Yeung, pages 73-94, Mars 2000.
- [22][Main et al., 2000] Main J., Dillon T.S. et Shiu S.C.K., A tutorial on case-based reasoning. Soft Computing in Case Based Reasoning, pages : 1-28, 2000.
- [23][Fuchs et al., 2006] Fuchs B., Lieber J., Mille A. et Napoli A., Une première formalisation de la phase d'élaboration du raisonnement à partir de cas. Actes du 14ième atelier du raisonnement à partir de cas, Besançon, mars, 2006.

[24][Aamodt & Plaza, 1994] Aamodt A. et Plaza E., Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(i): pp 3959, 1994.

[25][Mille, 2006] Mille A., Traces based reasoning (TBR) definition, illustration and echoes with story telling. Rapport Technique RR-LIRIS-2006-002, LIRIS UMR 5205 CNRS/INSA de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1/Université Lumière Lyon 2/Ecole Centrale de Lyon, January 2006.

[26][Mille, 1999] Mill. A., Tutorial CBR : Etat de l'art de raisonnement à partir de cas. Plateforme AFIA'99, Palaiseau, 1999.

[27] Ivana Rasovska. Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques Thèse : Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance. Accessible à partir de l'url : http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/25/78/93/PDF/These_Ivana_finale.pdf.

[28] Maité DAMME, Romain TAVENARD, Stéphane VENZIN document : jCOLIBRI : Un atelier générique pour le raisonnement à partir de cas ? Accessible à partir de : http://liris.cnrs.fr/alain.mille/enseignements/Ecole_Centrale/projets_2006/jCOLIBRI.doc.

[29] Eric Buist. : Les éléments fondamentaux du raisonnement à base de cas. Accessible à partir de l'url : <http://www.ericbuist.com/me/travaux/cbr.pdf>.

Chapitre 2:

[1] <http://dSPACE.escalger.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1253/chapitre-3.pdf?sequence=7>.

[2] Rapport de projet de fin de formation: Suivi la qualité des produits isomérés Promotion 2015/2017.

[3] Site web: la récupération de la chaleur dans l'industrie des aliments et boissons. Htm.

[4] W. Technid." Raffinage et génie chimique Tome 1 et 2", 1965.

[5] Andre Bontemps " Echangeur de Chaleur ", Institut universitaire de technologie, département Génie thermique et Énergie, université Joseph Fourier.

[6] J.F. Saccadura. "Initiation aux transferts thermiques", 4^e tirage Paris, 1993.

[7] Ana Maria Bianchi, Yves Fautrelle, et AL. " Transferts Thermiques ", Agence Universitaire de la Francophonie, presses polytechniques et Universitaires Romandes, 2004.

- [8] Technique de L'ingénieur, traité génie énergétique, volume [BE5].
- [9] Martin Popiel, Richard Cadrin , "l'échangeur et son application", AQME, 9 mai 2012.
- [10] T . R. Bott ISBN : 0444821864 . Pub. Date : April 1995. Publisher : Elsevier Science & Technology Books p1.
- [11] Epstein.N, " Fouling In Heat Exchangers Fouling Of Heat Transfert " , 1981.
- [12] Knudsen J.G, Somerscales E, F, C Equipment ;Hemisphere,Wash DC , 1975.
- [13] Bott. M. N, Process Engineering P76, 1975.
- [14] Somerscales. E.F. C, Knudsen. J. G, personal Communication, (1), 1-4.(1977)
- [15] Nancollas, G. H. Reddy, M.M" The Crystallization Of Calcium Carbonate,Part IiCalcite Growth Mechanism " , J .Colloid Interface Sci 37,824-830. 1971
- [16] Rodier.J " L'analyse Chimique Et Physicochimique De L'eau " Editions Dunod, 1971.
- [17] Anastasios, J. Karablas " Scale Formation in Tubular Heat Exchangers Research Priorities " ,Research Institute, 2002.
- [18] Leconte, J. " Protection Contre La Corrosion ", Techniques de L'ingénieur A830.
- [19] Epstein, N " Fouling : Technical Aspects In Fouling Of Heat Transfer Equipment " , Somerscales Efc, Kundsens J G.Hemispheres,WASHDCP3, 1981.
- [20] Memento " Technique De L'eau De Degremont ET Nalco" Waters Hand Book- Mac Graw Hill Book Company.
- [21] Froment. G.F," Fouling Of Heat Transfer Surfaces by Coke Formation in Petrochemical Reactor " , Idem P 411,1991.
- [22] Lund.D, Sandhuc.N, " Chemical Reaction Fouling Due To Foods Staffs "Idem P 437, 1998.
- [23] Mostafa M. Awad Mansoura, " Fouling of Heat Transfer Surfaces", University, Faculty of Engineering, Mech. Power Eng. Dept.,Egypt p4/5.
- [24] M.Bennejah, N.Chaouni "Echangeur de Chaleur", Technologie, calcul et design- Edition Techip, Paris, France, 2014
- [25]R. Vidil, « les échangeurs à plaques et joints, description, éléments de dimensionnement », paris, Lavoisier, février 1982.

Chapitre 3:

- [1] Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I. (1999). The Unified Modeling Language User Guide. Addison-Wesley.

[2] Ivana Rasovska. Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques Thèse : Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance. Accessible à partir de l'url :

http://hal.archivesouvertes.fr/docs/00/25/78/93/PDF/These_Ivana_finale.pdf.

[3] <https://www.bonobosworld.org/fr/glossaire/indice-de-similarite-de-jaccard>

[4] <https://ichi.pro/fr/9-mesures-de-distance-en-science-des-donnees>.

Chapitre 4:

[1] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Python-logo-notext.svg>

[2] Derfoufi, Y. (2019). Programmation en langage Python.

[3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code

[4] Frederic Lardinois, « Microsoft Launches Visual Studio Code, A Free Cross-Platform Code Editor For OS X, Linux And Windows », TechCrunch, 29 avril 2015

[5] en) Microsoft, « IntelliSense in Visual Studio Code [archive] », sur code.visualstudio.com, 2 février 2023 (consulté le 25 février 2023).

[6] « Stack Overflow Developer Survey 2023 [archive] », sur Stack Overflow (consulté le 19 octobre 2023).

[7] <https://www.clubic.com/telecharger-fiche27009-wampserver.html>

[8] https://fr.wikipedia.org/wiki/WampServer#cite_note-wikidata-10fc604f5dfd3fd5e67bd057275939daf8206d1d-1.

[9] <https://fr.wikiversity.org/wiki/Fichier:Database-mysql.svg>.

[10] Welling, L., & Thomson, L. (2009). PHP et MySQL. Pearson Education France.