

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Mécanique



## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Electromécanique

**Parcours** : Master

**Spécialité** : Maintenance Industrielle

**Thème**

**Analyse des défauts de fonderie par la  
méthode de Pareto et le diagramme  
ABC**

Préparé par :

Mr. GHAZI BRAHIM  
Mr. MEDJADI ABDELKRIM

Soutenu publiquement le : .. / 07 / 2021, devant le jury composé de :

Mr. MAKROUSSI SAID	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
Mr. BENAMAR BADR	Maître de Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
Mr. HADDOUCHE KAMEL	Professeur (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
Mr. SAHRAOUI AISSAT	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur

Année universitaire : 2020 - 2021



# *Remerciements*

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donne la santé et la Volonté de terminer ce mémoire .*

*Tout d'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr.SAHRAOUI AISSAT, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel , pour sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire .*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin a la réalisation de ce travail.*





## *Dédicaces*

*Je donne ce diplôme aux bons parents qui ont été crédités*

*D'avoir terminé l'université.*

*À tous les amis, tous les professeurs, tous ceux qui m'ont  
soutenu*

*Et m'ont aidé avec tous les petits et les grands.*

*GHAZI BRAHIM*





# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents particulièrement généreux et à toutes les familles.*

*Et à tous les amis et professeurs gracieux. Et qui était avec moi  
sur mon cours.*

*Et à tous ceux qui ont contribué à ma vie scolaire avec une  
lettre.*

**MEDJADI ABDELKRIM**

## Liste des tableaux

Tableau I.1: Objectifs techniques de la maintenance.....	5
Tableau I.2: Niveaux de maintenance.....	13
Tableau III.1: Historique des défauts de fonderie fonte 2019.....	35
Tableau III.2: Défauts cumulés et zones ABC des défauts de fonderie fonte 2019.....	36
Tableau III.3: Historique des défauts de fonderie acier 2019.....	38
Tableau III.4: Représentation des zones ABC des défauts de fonderie acier 2019.....	39
Tableau III.5: Historique des défauts de fonderie fonte 2020.....	41
Tableau III.6: Pourcentage cumulé et zones ABC des défauts de fonderie fonte 2020.....	42
Tableau III.7: Historique des défauts de fonderie acier 2020.....	43
Tableau III.8: Représentation des zones ABC des défauts de fonderie acier 2020.....	44
Tableau III.9: Causes probables des défauts les plus redoutés.....	52

## Liste des figures

<b>FIG. I-1 : OBJECTIFS GÉNÉRAUX DE L'ENTREPRISE.....</b>	<b>4</b>
<b>FIG. I-2 : ORGANIGRAMME DE LA MAINTENANCE. ....</b>	<b>10</b>
<b>FIG. II-1 : PROCÉDÉ DE FONDERIE.....</b>	<b>16</b>
<b>FIG. II-2 : DÉFAUT DU TROU D'ÉPINGLE .....</b>	<b>18</b>
<b>FIG. II-3 : DÉFAUT DE COMBUSTION DU SABLE.....</b>	<b>18</b>
<b>FIG. II-4 : DÉFAUT D'INCLUSION DE SABLE .....</b>	<b>19</b>
<b>FIG. II-5 : DÉFAUT DU TROU DE SABLE .....</b>	<b>19</b>
<b>FIG. II-6 : DÉFAUT DE RECOUVREMENT A FROID.....</b>	<b>20</b>
<b>FIG. II-7 : BAVURES.....</b>	<b>20</b>
<b>FIG. II-8 : DÉFAUT D'EXÉCUTION .....</b>	<b>21</b>
<b>FIG. II-9 : DÉFAUT DE RETRAIT DE POROSITÉ.....</b>	<b>21</b>
<b>FIG. II-10 : DÉFAUT DE CAVITÉ DE RÉTRÉCISSEMENT .....</b>	<b>22</b>
<b>FIG. II-11 : DÉPRESSION DE RETRAIT .....</b>	<b>22</b>
<b>FIG. II-12 : DÉFAUT DE PEAU D'ÉLÉPHANT.....</b>	<b>23</b>
<b>FIG. II-13 : DÉFAUT DE VEINES.....</b>	<b>23</b>
<b>FIG. II-14 : DÉFAUT DE SURFACE RUGUEUSE .....</b>	<b>24</b>
<b>FIG. II-15 : DEFAUT DE DECALAGE OU DESAXAGE.....</b>	<b>24</b>
<b>FIG. II-16 : DEFAUT DE DOMMAGE MECANIQUE.....</b>	<b>25</b>
<b>FIG. II-17 : DEFAUT D'INCLUSION DE SCORIES .....</b>	<b>25</b>
<b>FIG. II-18 : ÉXCROISSANCES DE METAL A LA SURFACE DES PIECES.....</b>	<b>26</b>
<b>FIG. II-19 : DEFAUT DE FISSURE .....</b>	<b>26</b>
<b>FIG. II-20 : DEFAUT DE NODULATION ANORMAL .....</b>	<b>27</b>
<b>FIG. II-21 : DEFAUT DE DURETE INEGALE .....</b>	<b>27</b>
<b>FIG. II-22 : DEFAUT DE CHUTE DE SABLE.....</b>	<b>28</b>
<b>FIG. II-23 : PROBLEME DE DEFORMATION.....</b>	<b>28</b>
<b>FIG. II-24 : MARQUES DE REPARATION A LA SOUDURE.....</b>	<b>29</b>
<b>FIG. II-25 : MARQUES DUES AU MANQUE DE CHAUFFAGE.....</b>	<b>29</b>
<b>FIG. II-26 : DEFAUTS REFROIDISSEMENT DE COULEE .....</b>	<b>30</b>
<b>FIG. II-27 : CARBURES LIBRES MASSIFS .....</b>	<b>31</b>
<b>FIG. II-28 : REFROIDISSEMENT COURT.....</b>	<b>31</b>

<b>FIG. II-29 : DEF AUT D' ECAILLAGE.....</b>	<b>32</b>
<b>FIG. II-30 : FLOTTAISON EN GRAPHITE DE FONTE .....</b>	<b>32</b>
<b>FIG. III-1 : POURCENTAGE DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2019.....</b>	<b>36</b>
<b>FIG. III-2 : DIAGRAMME DE PARETO DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2019 .....</b>	<b>37</b>
<b>FIG. III-3 : ANALYSE ABC DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2019 .....</b>	<b>37</b>
<b>FIG. III-4 : POURCENTAGE DES DÉFAUTS DE FONDERIE ACIER 2019 .....</b>	<b>39</b>
<b>FIG. III-5 : DIAGRAMME DE PARETO DES DÉFAUTS DE FONDERIE ACIER 2019 .....</b>	<b>40</b>
<b>FIG. III-6 : ANALYSE ABC DES DÉFAUTS DE FONDERIE ACIER 2019.....</b>	<b>40</b>
<b>FIG. III-7 : POURCENTAGE DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2020.....</b>	<b>41</b>
<b>FIG. III-8 : DIAGRAMME DE PARETO DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2020 .....</b>	<b>42</b>
<b>FIG. III-9 : ANALYSE ABC DES DÉFAUTS DE FONDERIE FONTE 2020 .....</b>	<b>43</b>
<b>FIG. III-10 : POURCENTAGE DES DÉFAUTS DE FONDERIE ACIER 2020 .....</b>	<b>44</b>
<b>FIG. III-11 : DIAGRAMME DE PARETO DES DÉFAUTS FONDERIE ACIER 2020.....</b>	<b>45</b>
<b>FIG. III-12 : ANALYSE ABC DES DÉFAUTS DE FONDERIE ACIER 2020.....</b>	<b>45</b>
<b>FIG. III-13 : COMPARAISON DES DÉFAUTS EN % FONTE-ACIER 2019 .....</b>	<b>46</b>
<b>FIG. III-14 : COMPARAISON DES DÉFAUTS EN % FONTE-ACIER 2020 .....</b>	<b>47</b>
<b>FIG. III-15 : COMPARAISON DES DIAGRAMMES DE PARETO FONTE 2019-2020.....</b>	<b>48</b>
<b>FIG. III-16 : COMPARAISON DES DIAGRAMMES DE PARETO ACIER 2019-2020.....</b>	<b>49</b>
<b>FIG. III-17 : COMPARAISON DES DIAGRAMMES DE PARETO ACIER 2019 - FONTE 2019.....</b>	<b>50</b>
<b>FIG. III-18 : COMPARAISON DES DIAGRAMMES DE PARETO ACIER 2020 - FONTE 2020.....</b>	<b>51</b>

## **Liste d'abréviation**

**MTBF :** Mean Time Between Failure, Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement.

**MTTR :** Mean Time To Repair, Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

**TRS :** Taux de Rendement Synthétique.

**TPM :** Maintenance Productive Totale.

**AFNOR :** Association Française de Normalisation.

**ALFET :** Algérienne Fonderie et Tiaret



## Sommaire

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures.....	ii
Liste d'abréviation.....	iii
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Notions générales sur la maintenance et le service maintenance dans une entreprise.</b>	
Introduction .....	3
I.2- Generalites sur la maintenance .....	3
I.3- Definitions de la maintenance .....	3
I.4- Role de la fonction maintenance .....	3
I.5- Objectifs de la maintenance.....	4
I.5.1- Objectifs généraux .....	4
I.5.2- Objectifs techniques de la maintenance.....	5
I.5.3- Moyens d'action .....	6
I.6- La stratégie de maintenance .....	6
I.7- Les différents types de la maintenance.....	7
I.7.1- Maintenance corrective.....	7
I.7.1.1- Les opérations de la maintenance corrective.....	7
I.7.2- La maintenance préventive .....	8
I.7.2.1- Les Objectifs de la maintenance préventive .....	8
I.7.2.2- Maintenance préventive systématique.....	9
I.7.2.3- Maintenance préventive conditionnelle.....	9
I.7.3- Maintenance d'amélioration .....	9
I.8- Méthodes de la maintenance.....	9

I.9- Opérations de la maintenance .....	10
I.9.1- Opérations de la maintenance corrective .....	10
I.9.1.1- Dépannage .....	10
I.9.1.2- Réparation.....	10
I.9.2- Opérations de la maintenance préventive .....	11
I.9.2.1- Entretien.....	11
I.9.2.2- Surveillance .....	11
I.9.2.3- Révision .....	12
I.9.2.4- Préservation .....	12
I.10- Niveaux de maintenance.....	13
Conclusion.....	14

## **Chapitre II : Généralités sur les défauts de fonderie des pièces moulées.**

Introduction .....	16
II.2- Définition de fonderie .....	16
II.3- Les Type de fonderies .....	16
II.4- Le procédé de fonderie .....	17
II.5- Défauts courants de coulée.....	17
II.5.1- Évent et trou d'épingle .....	17
II.5.2- Défaut de combustion du sable .....	18
II.5.3- Inclusion du sable et du laitier.....	18
II.5.4- Défaut du trou de sable.....	19
II.5.5- Défaut de recouvrement à froid.....	20
II.5.6- Bavures.....	20
II.5.7- Défauts d'exécution .....	21
II.5.8- Défaut de retrait de porosité .....	21
II.5.9- Défaut de retrait de cavité .....	22

II.5.10- Dépression de retrait.....	22
II.5.11- Défaut de peau d'éléphant.....	23
II.5.12- Queue de rat (Défaut des veines) .....	23
II.5.13- Surface rugueuse .....	24
II.5.14- Défaut de décalage ou désaxage.....	24
II.5.15- Dommages mécaniques.....	24
II.5.16- Défaut d'inclusion du laitier.....	25
II.5.17- Défaut de soulèvement du moule .....	25
II.5.18- Fissure .....	26
II.5.19- Défaut anormal de nodulation .....	26
II.5.20- Défaut de dureté inégale.....	27
II.5.21- Défaut de chute de sable.....	28
II.5.22- Problème de déformation .....	28
II.5.23- Problème de réparation du soudage .....	29
II.5.24- Marques de manque de chauffage.....	29
II.5.25- Défaut de refroidissement de la coulée .....	30
II.5.26- Carbure libre massif .....	30
II.5.27- Défaut dû à un refroidissement court .....	31
II.5.28- Défaut d'écaillage .....	32
II.5.29- Flottaison de la fonte à graphite .....	32
Conclusion.....	33

### **Chapitre III : Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC**

Introduction .....	35
III.2- Historique des défauts de fonderie fonte 2019 .....	35
III.3- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2019 .....	36



III.4- Historique des défauts de fonderie acier 2019 .....	38
III.5- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie acier 2019.....	39
III.6- Historique des défauts de fonderie fonte 2020 .....	41
III.7- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2020 .....	42
III.8- Historique des défauts de fonderie acier 2020 .....	43
III.9- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie acier 2020.....	44
III.10- Comparaison des défauts en pourcent.....	46
III.10.1- Courbes fonte-acier 2019 .....	46
III.10.2- Courbes fonte-acier 2020.....	47
III.11- Comparaison des diagrammes de Pareto .....	47
III.11.1- Diagrammes de Pareto fonte 2019-2020.....	47
III.11.2- Diagrammes de Pareto acier 2019-2020 .....	48
III.11.3- Diagrammes de Pareto acier 2019 – fonte 2019 .....	49
III.11.4- Diagrammes de Pareto acier 2020 – fonte 2020 .....	50
Conclusion générale .....	<b>54</b>
Bibliographies.....	<b>57</b>
Résumé	

# **Introduction Général**

L'industrie de la fonderie est une industrie mère pour toutes les autres industries mécaniques et automobiles. C'est un procédé de fabrication polyvalent et couramment utilisé dans l'élaboration de pièces par moulage à partir des métaux ou alliages de récupération.

Dans le processus de moulage, le matériau liquide est versé dans un moule (cavité), qui correspond à la géométrie souhaitée de la pièce à produire. Ensuite, la pièce moulée est solidifiée et retirée du moule en tant que pièce solide.

Le moulage en sable est très courant et le plus largement utilisé dans la fabrication des pièces de fonderie. Cependant les défauts associés à ce procédé tels que les soufflures, les piqûres, les déformations et les fissures...etc, provoquent des imperfections et des dégradations de la qualité du produit fini et de la productivité.

La détérioration de la qualité des pièces moulées dans un moule en sable à vert est influencée par ses propriétés telles que la résistance au cisaillement, à la compression, la dureté, la perméabilité...etc, et par d'autres paramètres tels que le pourcentage de la bentonite, de l'humidité (eau), du noir minéral, de la granulométrie du sable ...etc.

Une étude et une analyse par le diagramme de Pareto et la méthode ABC est réalisée dans ce travail sur les défauts prélevés sur les pièces en fonte et en acier, fabriquées par l'Algérienne des Fonderie (ALFET-Tiaret) au cours de l'année 2019 et 2020.

Cette étude a pour objectifs d'identifier les défauts les plus nuisibles, qui provoqueront plus de rebuts et d'anomalies sur les pièces moulées et de se prononcer sur les causes probables engendrant ces défauts.

Pour atteindre cet objectif, le mémoire est subdivisé en 3 chapitres :

Le premier chapitre, est une présentation du thème, suivie par des notions générales sur la maintenance et le service de maintenance dans une entreprise.

Le deuxième chapitre, est une étude bibliographique sur les défauts de fonderie des pièces obtenues par coulée et les paramètres influençant ces défauts.

Dans le troisième chapitre, nous utiliserons le digramme de Pareto et l'analyse ABC, pour le diagnostic et l'analyse des défauts de coulée prélevés sur des pièces de fonderie en fonte et en acier au cours des deux dernières années.

Un récapitulatif sur le travail réalisé dans ce projet de fin d'études est présenté dans la conclusion générale.



# **Chapitre I : Notions générales sur la maintenance**

## **I.1- Introduction**

Quelque soient les efforts entreprise au stade de la conception et la fabrication des machines pour assurer leur sûreté de fonctionnement, des défaillances apparaissant au cours de leur exploitation, les causes d'apparition de ces défaillances sont variables. Elles vont du coût de simple remplacement d'une pièce détériorée à d'importants frais d'immobilisation pour la machine donnée, elles peuvent aussi provoquer de graves accidents corporels.

C'est pourquoi on fait appel à la maintenance afin de maintenir en état les machines et rétablir leur performance après défaillance. La maintenance implique un certain nombre de mesures organisationnelles, techniques et économiques. Après avoir démontré sa rentabilité la maintenance représente une fonction principale dans beaucoup d'entreprises industrielles et de services.

## **I.2- Généralités sur la maintenance**

La maintenance est la fonction qui doit permettre d'améliorer le taux de disponibilité des ressources de l'entreprise, de diminuer les gaspillages. Elle est définie comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé [1].

## **I.3- Définitions de la maintenance**

D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : « La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Dans une entreprise, maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité [1].

## **I.4- Rôle de la fonction maintenance**

Dans une entreprise, quel que soit son type et son secteur d'activité, le rôle de la fonction maintenance est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur tout en respectant le budget alloué. Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise, cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Un service de

maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit,

Comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût ... etc [2].

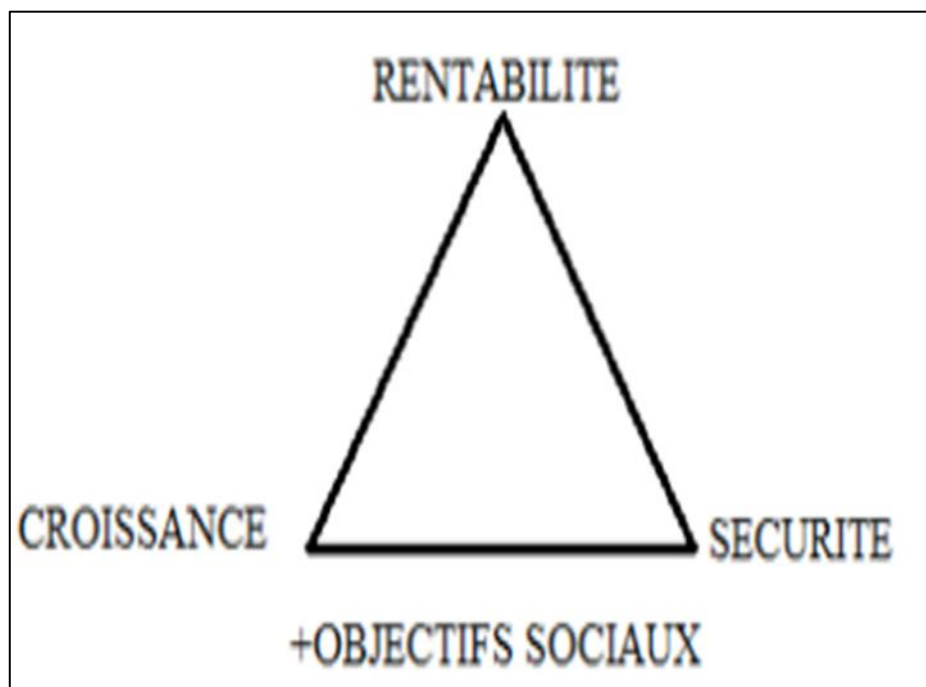
## I.5- Objectifs de la maintenance

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- ✓ La disponibilité et la durée de vie de bien
- ✓ La sécurité des hommes et des biens
- ✓ La qualité des produits
- ✓ La protection de l'environnement
- ✓ L'optimisation des couts de maintenance [3]

### I.5.1- Objectifs généraux

Les objectifs poursuivis par la fonction maintenance résultent des objectifs généraux qui, dans le cas d'une entreprise portent essentiellement sur la rentabilité, la croissance, la sécurité, ainsi que sur des objectifs sociaux (figure I.1).



**Fig. I-1** : Objectifs généraux de l'entreprise

La fonction maintenance doit, comme les autres fonctions, contribuer à la réalisation de cet objectif essentiel, à savoir la rentabilité et la compétitivité des entreprises et l'efficacité



des administrations. La sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance [2].

### I.5.2- Objectifs techniques de la maintenance

L'objectif est de mettre à la disposition de l'entreprise les moyens techniques (appareils, équipements, installations, locaux...) lui permettant d'accomplir son activité dans des conditions définies à un instant donné et ceci au meilleur coût.

Si par le passé, l'entretien à prendre en charge un équipement et à en assurer le bon fonctionnement par des méthodes empiriques basées sur l'expérience, la maintenance est une

Démarche plus rationnelle qui consiste à mettre en œuvre les moyens nécessaires et suffisants pour maîtriser la vie d'un équipement

	<b>Production par processus</b>	<b>Production/montage en série</b>	<b>Production par unités</b>	<b>Services de transport</b>	<b>Exploitation des services</b>
<b>Type d'équipement</b>	Spécialisé haute technologie	Machines-outils courantes	Équipement spécialisé spécifique à chaque étape de lancement des travaux	Parc relativement uniforme de technologie courante	Peu d'équipement propres mais des services auxiliaires
<b>Impératif d'exploitation</b>	Ne pas interrompre le flux, cela coûte cher	Maintenir chaque poste de travail à sa capacité maximale	À chaque nouvelle étape de la fabrication, l'appareillage nécessaire doit être disponible	Le nombre d'unités en révision doit être aussi faible que possible	À aucun moment, les services ne doivent être arrêtés
<b>Capacités particulières</b>	Connaissances approfondies du processus spécialisé	Connaissances des principaux types de machines-outils	Assurer la disponibilité du matériel spécialisé pour chaque étape	Prévoir une rotation rationnelle qui permet l'entretien systématique	Assurer sans interruption la fourniture du service auxiliaire

**Tableau I.1:** Objectifs techniques de la maintenance

Les objectifs techniques de disponibilité effective des équipements peuvent consister en :

- un taux maximum de disponibilité effective,

- un nombre minimum d'arrêts,
- un taux de fiabilité,
- des objectifs de MTBF et MTTR.

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS), de la méthode Japonaise TPM présente l'avantage de prendre en compte toutes les causes d'arrêts ou de pertes, à savoir :

- Panne,
- Changements de série et réglages,
- Passages à vide, micro-arrêts,
- Diminution de cadence,
- Pertes pour défaut de qualité,
- Pertes au démarrage.

Le TRS rassemble donc les pertes liées à la maintenance et les autres pertes, telles que celles pour le changement de série et démarrages.

Les fonctions maintenance et qualité sont étroitement liées dans la méthode TPM, qui consiste une méthode globale de management.

### **I.5.3- Moyens d'action**

Les moyens permettent de réaliser les objectifs précédents sont nombreux, ils portent sur :

- les moyens de la fonction maintenance : personnel, fournisseurs et équipement, sous-traitance, documentation, organisation générale et la gestion de ces moyens.
- les méthodes : maintenance préventive, systématique ou conditionnelle, corrective, et leur utilisation optimale.
- les outils de gestion : coût global de cycle de vie.
- l'amélioration systématique des équipements : fiabilité, maintenabilité disponibilité
- le système d'information et mesure, concernant les indicateurs techniques et financiers.
- l'utilisation de l'informatique.

## **I.6- La stratégie de maintenance**

La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre l'objectif de maintenance.

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- ✓ Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- ✓ Elaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- ✓ Organiser les équipes de maintenance.
- ✓ Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- ✓ Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- ✓ Etudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité.

## I.7- Les différents types de la maintenance

L'ensemble des actions (la maintenance) diffèrent selon les techniques mises en œuvre, à savoir :

- **La maintenance corrective** : palliative et curative.
- **La maintenance préventive** : systématique et conditionnelle ou prédictive
- **La maintenance amélioratrice** : (après ou hors défaillance).
- Une bonne maintenance consiste à mettre en œuvre, pour chaque équipement, chaque sous-ensemble voir chaque élément, la technique la mieux adaptée [4].

### I.7.1- Maintenance corrective

C'est une maintenance après la défaillance. La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation. La qualité du remède est directement liée à la qualité du diagnostic.

- **Défaillance** : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à compiler une fonction requise
- **Altération** : fonctionnement avec défaut (défaillance partielle)
- **Cessation** : arrêt (défaillance complète)

#### I.7.1.1- Les opérations de la maintenance corrective

- Une analyse des causes de la défaillance (diagnostic).
- Une remise en état (dépannage, réparation).
- **Dépannage (palliative)** : action de remise en état provisoire.
- **Réparation (curative)** : action de remise en bon état de fonctionnement définitif.

La maintenance corrective est appliquée quand les conséquences ne sont pas graves.

### **I.7.2- La maintenance préventive**

Qui consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est disponible pour la maintenance qu'à certains moments précis).

C'est une intervention de maintenance :

- Prévue : la date,
- Préparée : les outils de la maintenance,
- Programmée : selon un programme avant la date probable d'apparition d'une défaillance, elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation. Le but de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité de défaillance.
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de pannes.
- Faciliter la gestion des stocks (consommation prévue).
- Permettre de décider de la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- supprimer les causes d'accidents graves.

#### **I.7.2.1- Les Objectifs de la maintenance préventive**

- ✓ Augmenter la durée de vie de matériels et de sécurité
- ✓ Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- ✓ Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective.
- ✓ Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions (gestion de la maintenance).
- ✓ Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifications, etc.
- ✓ Supprimer les causes d'accidents graves.
- ✓ Diminuer les travaux urgents.

### **I.7.2.2- Maintenance préventive systématique**

La maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Cette méthode nécessite de connaître le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- équipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée) ;
- équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves ;
- équipements ayant un coût de défaillance élevé ;
- équipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service.

### **I.7.2.3- Maintenance préventive conditionnelle**

Elle est effectuée en fonction des conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée "juste à temps", avant que la défaillance ne devienne intolérable.

L'analyse de processus de défaillance peut faire évoluer ce type de maintenance.

Cas d'application de la maintenance préventive conditionnelle :

- Central de surveillance des stations nucléaire.
- Le niveau et la qualité d'huile de lubrification.
- La tension et l'intensité des matériels électriques.
- Les paramètres physiques (pression, débit, température).
- L'analyse des vibrations et des bruits.

### **I.7.3- Maintenance d'amélioration**

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration. Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique

## **I.8- Méthodes de la maintenance**

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise (figure I.2).

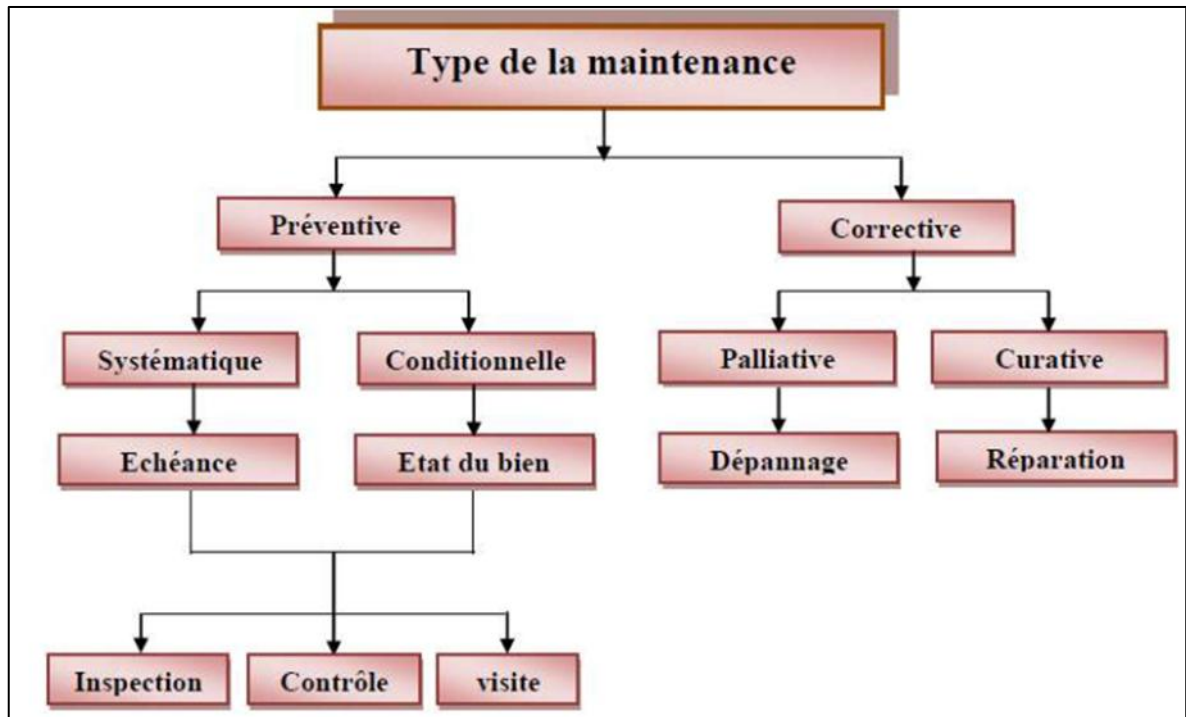


Fig. I-2 : Organigramme de la maintenance.

## I.9- Opérations de la maintenance

### I.9.1- Opérations de la maintenance corrective

#### I.9.1.1- Dépannage

Action sur un matériel en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder des résultats provisoires avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps. Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

#### I.9.1.2- Réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite



d'un incident ou d'une défaillance soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

### **I.9.2- Opérations de la maintenance préventive**

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions :

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.

- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.

- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.

- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

#### **I.9.2.1- Entretien**

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes.

Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, ...). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

#### **I.9.2.2- Surveillance**

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

**Inspection** : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.

**Contrôle** : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :

- comporter une activité d'information,
- inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des actions correctives.

**Visite** : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

### **I.9.2.3- Révision**

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance.

### **I.9.2.4- Préservation**

Elle comprend les opérations suivantes :

- ✓ **mise en conservation** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation,
- ✓ **mise en survie** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.
- ✓ **mise en service** : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

## I.10- Niveaux de maintenance

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en cinq niveaux de maintenance

Niveau	Type des travaux	Personne d'intervention	Moyens
<b>1<sup>er</sup> niveau</b>	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité	Pilote ou conducteur du système	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
<b>2<sup>ème</sup> niveau</b>	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	Technicien habilité	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechange disponibles sans
<b>3<sup>ème</sup> niveau</b>	Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures	Technicien spécialisé	Outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle.
<b>4<sup>ème</sup> niveau</b>	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Equipe encadrée par un technicien spécialisé	Outillage générale et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle
<b>5<sup>ème</sup> niveau</b>	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées a un atelier central	Equipe complète et polyvalente	Moyens proches de la fabrication

**Tableau I.2:** Niveaux de maintenance

## Conclusion

La maintenance est une fonction complexe qui, selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement équilibrées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

Pour être efficace, il faut d'abord avoir une idée aussi claire que possible des mécanismes qui influent sur les grandeurs significatives (nombre de pannes, temps de réparation, délais logistiques, coûts de maintenance préventive, coûts du stockage des matières, actions de communication, etc.). Il faut ensuite mesurer ces grandeurs et construire des indicateurs pour juger de l'état du système maintenance et pour identifier les points faibles de ce système. Sans oublier le côté HSE (Hygiène – Sécurité et Environnement) et avoir pour devise : pas d'accident et pas d'atteinte à l'environnement.

## **Chapitre II : Présentation des défauts de fonderie des pièces moulées**

## II.1-Introduction

La pièce obtenue par le procédé de fonderie doit être exempte de défauts apparents ou cachés, elle doit présenter la forme et les dimensions requises pour son utilisation, et elle doit présenter une résistance suffisante vis-à-vis des différentes sollicitations auxquelles elle sera soumise.

Ces défauts ou ces imperfections qui affectent les pièces moulées et qui influent considérablement sur le bon fonctionnement de l'entreprise deviennent de plus en plus importants si les circonstances de formation de ces défauts sont mal maîtrisées et les remèdes nécessaires pour pousser ce problème sont inexistantes.

Dans ce chapitre nous allons discerner les principaux défauts de fonderie qui affectent les pièces moulées. Les défauts constatés sont ceux cachés ou visibles à l'œil nu.

## II.2- Définition de fonderie

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire, après refroidissement, une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.



Fig. II-1 : Procédé de fonderie

Les techniques employées dépendent de l'alliage fondu, des dimensions, des caractéristiques et des quantités de pièces à produire. C'est le plus souvent une industrie de sous-traitance très dépendante des secteurs acquéreurs : automobile, sidérurgie, matériel de manutention, équipement industriel, matériel électrique, aéronautique, armement, )etc. [5]

## II.3- Les Type de fonderies

Plusieurs types de fonderies sont utilisés dans plusieurs domaines, on distingue :

- Fonderie des métaux ferreux : fonte et acier.



- Fonderie des métaux non ferreux : cuivre, zinc et alliages.
- Fonderie des alliages légers : aluminium, zamac, et autres alliages légers.
- Fonderie d'art.
- Fonderie des cloches.
- Fonderie typographique.

#### **II.4- Le procédé de fonderie**

Le procédé se compose des activités principales suivantes :

- fusion et traitement des métaux : l'atelier de fusion,
- préparation de moules et de noyaux : l'atelier de moulage,
- coulée du métal en fusion dans le moule, refroidissement en vue de la solidification et démoulage : l'atelier de coulée,
- finition du produit moulé brut : l'atelier de finition.

Différentes options peuvent être choisies concernant le procédé en fonction du type de métal, de la taille de série et du type de produit. En général, la principale division au sein du secteur est fondée sur le type de métal (ferreux ou non ferreux) et sur le type de moules utilisé (moules perdus ou moules permanents). Si toutes les combinaisons sont possibles, en général, les fonderies ferreuses utilisent principalement des moules perdus (moulage en sable) et les fonderies non ferreuses des moules permanents (coulée sous pression) [6].

Le choix des procédés de moulage dépend du métal à couler. En général la température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule [7].

#### **II.5- Défauts courants de coulée**

Les défauts courants de coulée affectant les pièces en fonte et en acier obtenues par moulage en sable, sont répertoriés comme suit [8]. :

##### **II.5.1- Événement et trou d'épingle**

Il s'agit d'une sorte de défaut de cavité, qui est également divisé en sténopé et trou de soufflage souterrain. Pinhole est un trou très petit, certains pourraient être vus sur la surface. Trou de soufflage souterrain ne peut être vu après l'usinage ou le meulage. La plupart des événements souterrains peuvent être trouvés après l'usinage ou le meulage. Si la surface est plane, notre fonderie pourrait les inspecter au moyen d'un détecteur à ultrasons

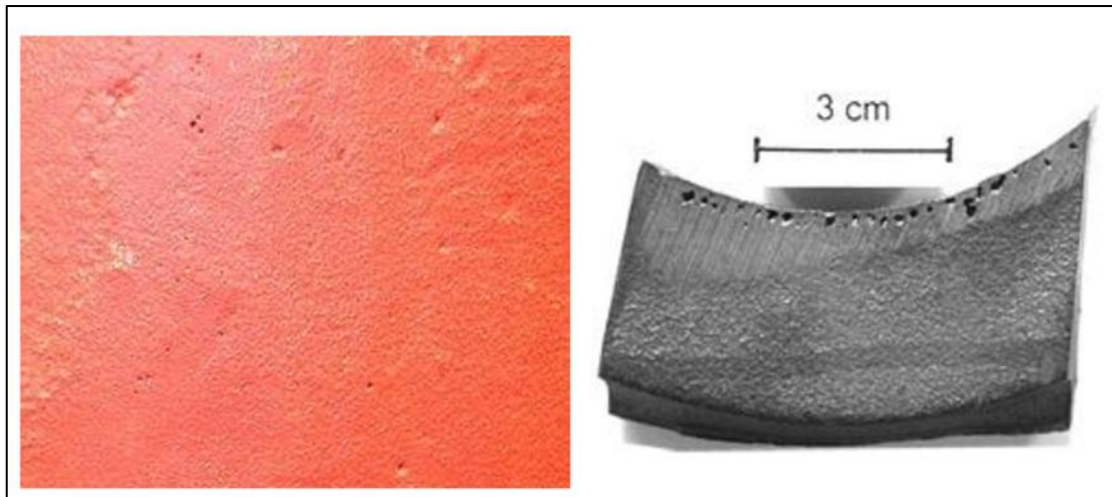


Fig. II-2 : Défaut du trou d'épingle

### II.5.2- Défaut de combustion du sable

Ce défaut comprend la combustion chimique et la pénétration du métal. Ceci est causé par un sable pauvre ou le métal a pénétré dans des moules de sable (figure II.3).



Fig. II-3 : Défaut de combustion du sable

### II.5.3- Inclusion du sable et du laitier

Ces défauts sont également appelés croûte ou gale noircissante. Ce sont des défauts d'inclusion. On dirait qu'il y a des scories à l'intérieur des pièces moulées en métal (figure II.4).



**Fig. II-4 :** Défaut d'inclusion de sable

#### **II.5.4- Défaut du trou de sable**

Le trou de sable est un type de défaut typique de cavité de rétrécissement. Vous pourriez voir les trous vides après le sablage ou le processus d'usinage. Le sable en tombant dans les moules de sable, il est enroulé dans le métal liquide, ce qui donne des trous de sable.

C'est un problème qui est lié à l'humidité du sable, ou à la vitesse d'écoulement du métal trop élevée (figure II.5).



**Fig. II-5 :** Défaut du trou de sable

### II.5.5- Défaut de recouvrement à froid

C'est une fissure avec des bords ronds. Ce défaut est dû à une faible température de fusion ou un mauvais système de coulée. Ce n'est pas seulement un défaut de surface, mais la qualité de la pièce à cette position sera très mauvaise, donc peut être fragile (figure II.6).



Fig. II-6 : Défaut de recouvrement a froid

### II.5.6- Bavures

Les bavures, aussi appelées fin de coulée, est une mince projection hors de la surface des pièces coulées en métal (figure II.7). C'est un problème de coulée et qui peuvent être éliminées par ébarbage.



Fig. II-7 : Bavures



### II.5.7- Défauts d'exécution

Il s'agit d'une sorte de défaut de coulée incomplète, ce qui rend la coulée inachevée. Le bord du défaut est rond et lisse (figure II.8).

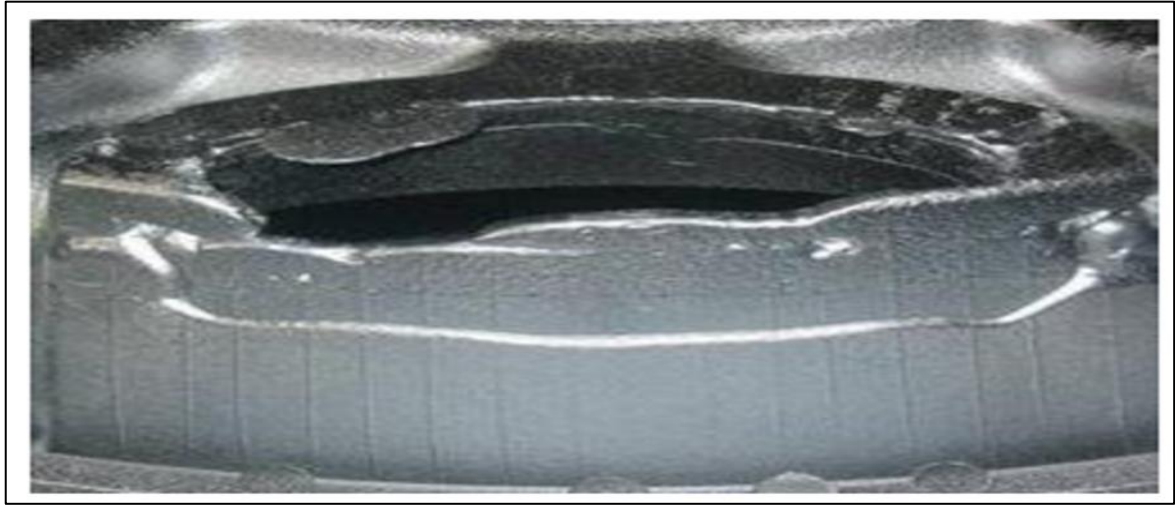


Fig. II-8 : Défaut d'exécution

### II.5.8- Défaut de retrait de porosité

Les défauts de retrait comprennent, le retrait dispersé, le micro- retrait et la porosité. Pour une grande porosité sur la surface, vous pourriez les voir facilement, mais pour un petit retrait dispersé, vous pouvez les voir après l'usinage. La figure II.9 montre le retrait de porosité. La densité du métal est très faible, de nombreux petits trous pourraient être vus après l'usinage.



Fig. II-9 : Défaut de retrait de porosité

### II.5.9- Défaut de retrait de cavité

Ceux-ci sont également appelés trous de retrait (figure II.10), qui est un type de défaut de retrait grave, vous pouvez voir ces trous facilement sur la surface rugueuse des pièces coulées en métal.



Fig. II-10 : Défaut de cavité de rétrécissement

### II.5.10- Dépression de retrait

Ce défaut est également un type de défaut de retrait, qui ressemble à une région déformée à la surface des pièces moulées en métal. Ce défaut n'est pas grave en tant que cavité de retrait, mais cause toujours une mauvaise qualité de surface et peut avoir des défauts à l'intérieur de la pièce (figure II.11).

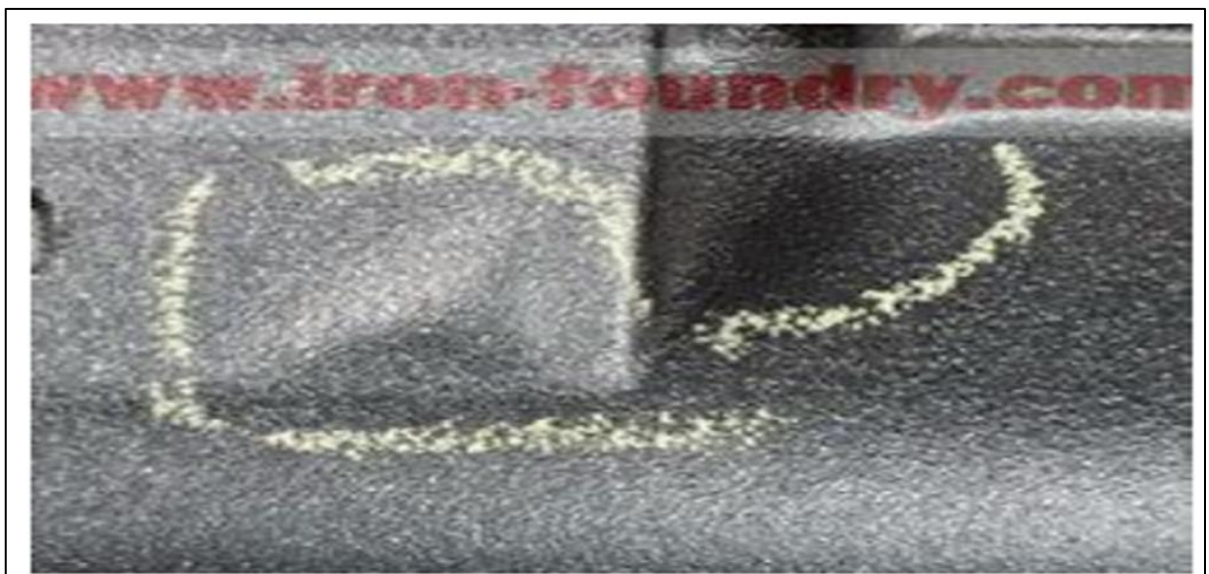


Fig. II-11 : Dépression de retrait



**II.5.11- Défaut de peau d'éléphant**

C'est un type de défaut de surface, qui provoque des surfaces de formes irrégulières ou ridées. Ce défaut est causé par la mauvaise température du métal fondu, ou par de mauvais moules en sable (figure II.12).



**Fig. II-12 :** Défaut de peau d'éléphant

**II.5.12- Queue de rat (Défaut des veines)**

Ce défaut ressemble à de nombreux sillons creux ou de petites traces d'écoulement d'eau à la surface des pièces moulées en métal (figure II.13). Parfois, c'est en raison de la basse température du métal fondu, ou le système d'évent défectueux



**Fig. II-13 :** Défaut de veines

### II.5.13- Surface rugueuse

La surface grossière est également une sorte de défaut de surface. Les surfaces rugueuses normales ne peuvent pas être considérées comme des défauts, mais une surface trop rugueuse et inégale sera un défaut (figure II.14).



Fig. II-14 : Défaut de surface rugueuse

### II.5.14- Défaut de décalage ou désaxage

Ce défaut de moule est dû au décalage des parties du modèle. Cela provoquera la dislocation au niveau de la ligne de séparation. Près de la ligne de séparation, le côté gauche peut être plusieurs millimètres plus bas ou plus haut qu'un autre côté (figure II.15).



Fig. II-15 : Défaut de décalage ou désaxage

### II.5.15- Dommages mécaniques

Ce n'est pas un défaut de coulée, mais c'est un vrai problème de qualité de coulée que vous pouvez rencontrer. Ce sont les dommages (figure II.16) lors des processus d'usinage ou de livraison.



**Fig. II-16 :** Défaut de dommage mécanique

#### **II.5.16- Défaut d'inclusion du laitier**

Ce défaut est également appelé inclusion exogène, laitier piégé (figure II.17). Pendant le processus de fusion du métal, on doit éliminer complètement la saleté et les inclusions, sinon ces inclusions seront versées dans les pièces moulées.



**Fig. II-17 :** Défaut d'inclusion de scories

#### **II.5.17- Défaut de soulèvement du moule**

En raison du flottement du métal liquide, la croûte superficielle du moule est surélevée, ce qui a fait que la partie supérieure de la coulée est devenue plus haute ou plus épaisse que la partie inférieure, on aura des excroissances de métal à la surface des pièces (figure II.18).

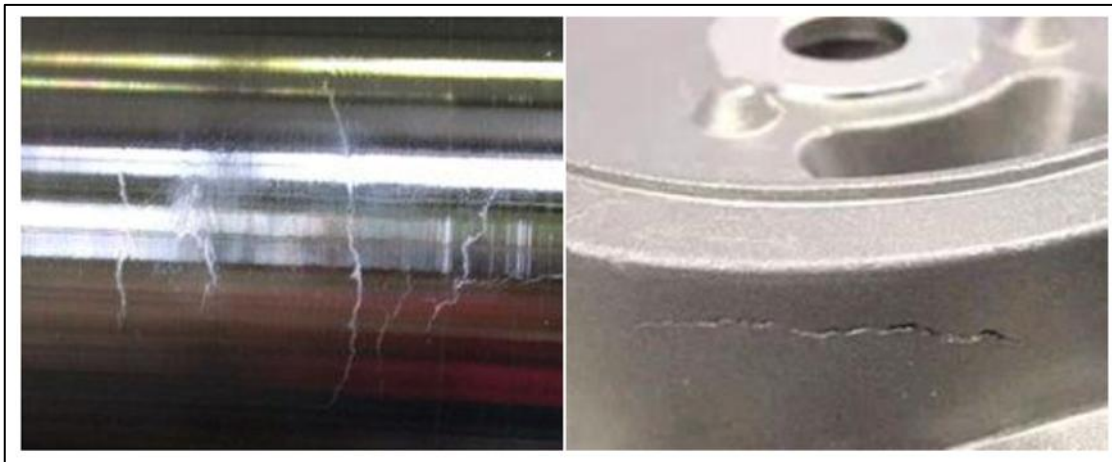




**Fig. II-18 :** Excroissances de métal à la surface des pièces

#### **II.5.18- Fissure**

Le défaut de fissure se produit normalement à l'intérieur des pièces moulées en métal. Ce défaut réduira les propriétés physiques des pièces moulées en métal. Il y a aussi des fissures à la surface (figure II.19).



**Fig. II-19 :** Défaut de fissure

#### **II.5.19- Défaut anormal de nodulation**

Ceci est également appelé défaut de sous-nodulisation. Pour de nombreuses raisons, la sphéroïdisation (globulation) du graphite pour la fonte ductile sera affectée, ce qui causera donc le mauvais taux de sphéroïdisation. Au microscope métallographique, vous pouvez voir très peu de globules de graphite, et beaucoup de graphite en forme de ver (figure II.20).

C'est un problème de matériau. Si tel est le cas, ses propriétés mécaniques ne répondront pas aux exigences de la norme, ce qui peut entraîner la rupture des produits de coulée en service.



**Fig. II-20 :** Défaut de nodulation anormal

#### **II.5.20- Défaut de dureté inégale**

Cela signifie la dureté inégale sur les mêmes surfaces. La dureté n'est pas uniforme, certaines endroits peuvent avoir une dureté très élevée. Lors de l'usinage dans des positions plus dures, l'usinage deviendra plus difficile (figure II.21).



**Fig. II-21 :** Défaut de dureté inégale

**II.5.21- Défaut de chute de sable**

Ce défaut est dû à la chute de certains blocs de sable du moule de sable, ils provoqueront donc des trous de sable de forme similaire ou incomplets (figure II.22). C'est le problème des moules de sable, qui peuvent ne pas être assez serrés ou le taux d'humidité du sable est trop important.



**Fig. II-22 :** Défaut de chute de sable

**II.5.22- Problème de déformation**

Ce problème entraînera des tolérances surdimensionnées pour la planéité et la rectitude (figure II.23). Il s'agit d'un défaut très fréquent pour les coulées longues, et les coulées plates avec une épaisseur de paroi mince. Les raisons sont la déformation naturelle pendant le processus de refroidissement dans des moules en sable, ou dans l'air, parfois, le sablage excessif pourrait également causer ce problème.



**Fig. II-23 :** Problème de déformation



**II.5.23- Problème de réparation du soudage**

Après une réparation à la soudure, même à l'usinage ou au meulage, les marques (figure II.24) de soudure seront toujours visuelles. Ces marques sont considérées comme des défauts, si une haute qualité de surface est exigée.



**Fig. II-24 :** Marques de réparation à la soudure

**II.5.24- Marques de manque de chauffage**

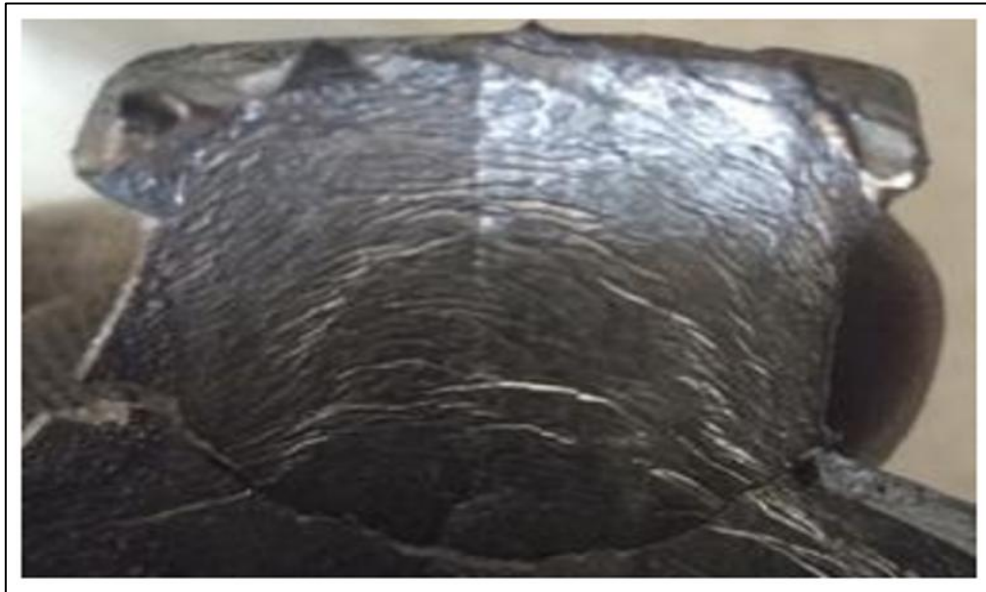
La fonte froide (manque de chauffage) pourrait réduire efficacement le retrait pour les positions clés, donc l'utilisation de la fonte froide est très courante dans les fonderies. Ce défaut peut facilement être détecté par inspection visuelle (figure II.25).



**Fig. II-25 :** Marques dues au manque de chauffage

**II.5.25- Défaut de refroidissement de la coulée**

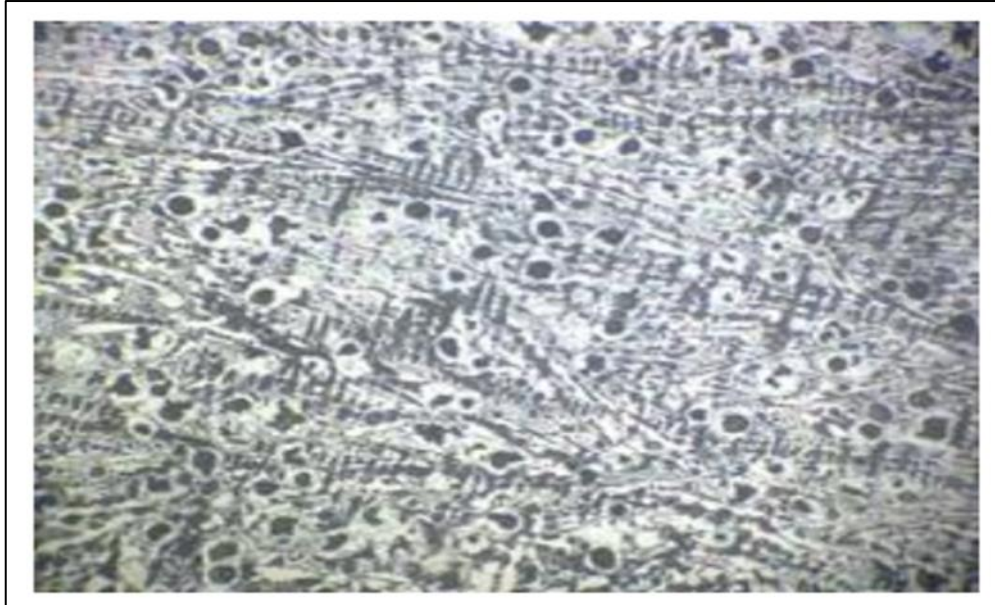
Il est également appelé comme "fer blanc". La surface des pièces moulées présentant ce défaut sera extrêmement blanche (figure II.26), brillante et lisse. Les pièces moulées défectueuses seront fragiles et cassantes, donc pendant l'usinage, certains bords et pointes seront cassés. Ce défaut est causé par la température basse des moules de sable, et prématurément par le refroidissement rapide du métal chaud. Le traitement thermique de recuit approprié pourrait résoudre ce défaut.



**Fig. II-26 :** Défauts refroidissement de coulée

**II.5.26- Carbure libre massif**

Il s'agit d'un grave défaut, qui touche les fontes ductiles. En raison des défauts de refroidissement et d'une mauvaise inoculation, il y aura des carbures libres massifs (figure II.27), ce qui entraînera une fragilité et une propriété de soudage médiocre des pièces moulées en fonte ductile. Un traitement thermique de recuit à haute température pourrait améliorer sa qualité.



**Fig. II-27 :** Carbures libres massifs

#### **II.5.27- Défaut dû à un refroidissement court**

Il s'agit d'un défaut de surface (figure II.28), mais causera de graves problèmes s'il est situé dans des endroits clés de la pièce. Des éléments d'alliage (par exemple les ferroalliages) qui ne se sont pas complètement dissous dans le bain peuvent être enveloppés par du métal liquide, émergés en surface et donnés ce type de défaut.



**Fig. II-28 :** Refroidissement court

**II.5.28- Défaut d'écaillage**

Il s'agit d'une peau en métal très fine à la surface des pièces moulées (figure II.29), causée par un sur chauffage ou un temps de maintien lent ou à cause de l'existence de couches d'air à l'intérieur du moule. C'est un défaut de surface, il peut donc normalement être éliminé par rectification.



**Fig. II-29 :** Défaut d'écaillage

**II.5.29- Flottaison de la fonte à graphite**

Ce défaut est un problème lié au matériau. Il est causé en raison de la basse température de coulée et de la haute teneur en carbone. Ce défaut est très nocif, il donnera des matériaux très fragiles. Sur la surface cassée (figure II.30), vous pouvez voir la surface noire évidente causée par ce défaut.



**Fig. II-30 :** Flottaison en graphite de fonte

**- Conclusion**

Dans le présent chapitre, nous avons présenté les défauts apparents et cachés de fonderie dans les pièces moulées utilisées dans plusieurs industries.

Ces défauts qui influent considérablement sur le bon fonctionnement d'une entreprise et risqueraient même de mettre l'avenir de celle-ci en péril, sont dus, d'une part, à la qualité du sable de moulage, à ces caractéristiques d'utilisation et d'autre part, aux mauvais traitements thermiques réalisés sur ces pièces et ceux dus aux opérateurs et aux machines défectueuses.

**Chapitre III : Diagnostic et analyse des  
défauts de coulée par la méthode de Pareto  
et le diagramme ABC**



### III.1- Introduction

Les données sur les défauts de fonderie sont procurées de l'Algérienne des Fonderies (ALFET – Tiaret). Elles concernent les défauts prélevés au niveau de différentes unités de fabrication au cours des années 2019 et 2020 sur les pièces de fonderie fabriquées en fonte et en acier.

En se basant sur ces données, le chapitre III sera consacré à l'analyse de ces défauts en utilisant le diagramme de Pareto et l'analyse ABC.

### III.2- Historique des défauts de fonderie fonte 2019

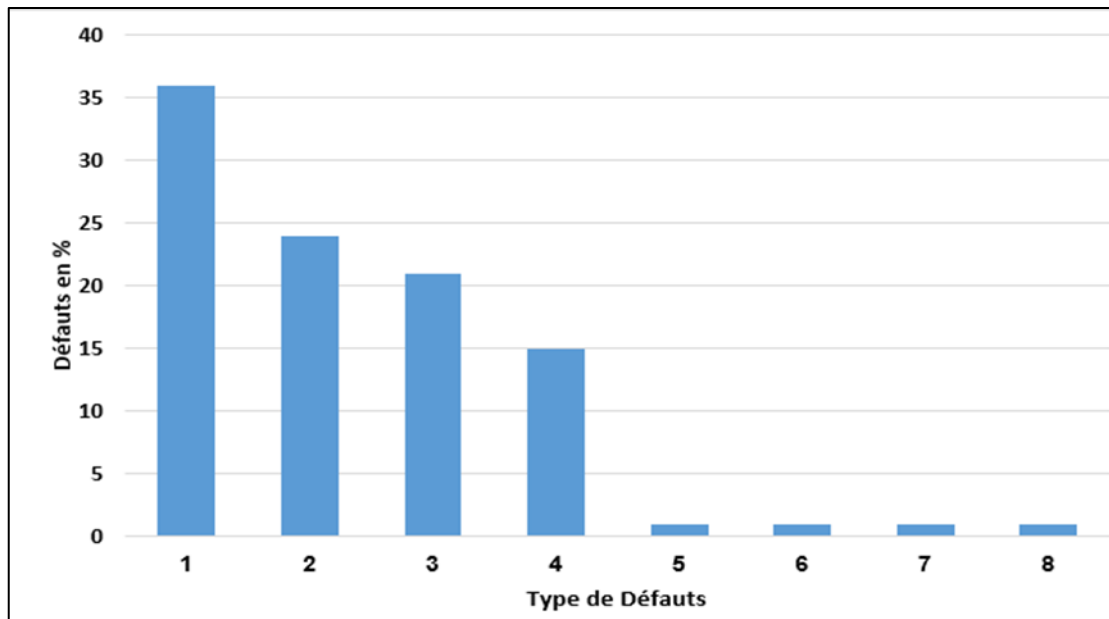
L'historique couvrant l'année de maintenance 2019 prend en considération les différents défauts de fonderie fonte prélevés au niveau d'ALFET (Algériennes des Fonderie). Le tableau III.1 représente ces défauts en %.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %
1	Métallisation	36
2	Soufflures	24
3	Retassures	21
4	Manque	15
5	Variations	1
6	Inclusions	1
7	Fissures	1
8	Autres	1

**Tableau III.1:** Historique des défauts de fonderie fonte 2019

La figure III.1 illustre ces pourcentages dans un ordre décroissant.

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC



**Fig. III-1 :** Pourcentage des défauts de fonderie fonte 2019

### III.3- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2019

Le tableau III.2 représente le pourcentage des défauts cumulés déterminé à partir du pourcentage des défauts de fonderie fonte 2019. La dernière colonne du tableau représente les zones A, B et C déterminées à partir du diagramme de Pareto.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %	Défauts cumulés en %	ABC
1	Métallisation	36	36	A
2	Soufflures	24	60	A
3	Retassures	21	81	A
4	Manque	15	96	B
5	Variations	1	97	C
6	Inclusions	1	98	C
7	Fissures	1	99	C
8	Autres	1	100	C

**Tableau III.2:** Défauts cumulés et zones ABC des défauts de fonderie fonte 2019

A partir des données du tableau III.2, on présente le pourcentage des défauts et le pourcentage des défauts cumulés en fonction du type de défauts. Ce qui nous permet de tracer le diagramme de Pareto de la figure III.2.

### Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

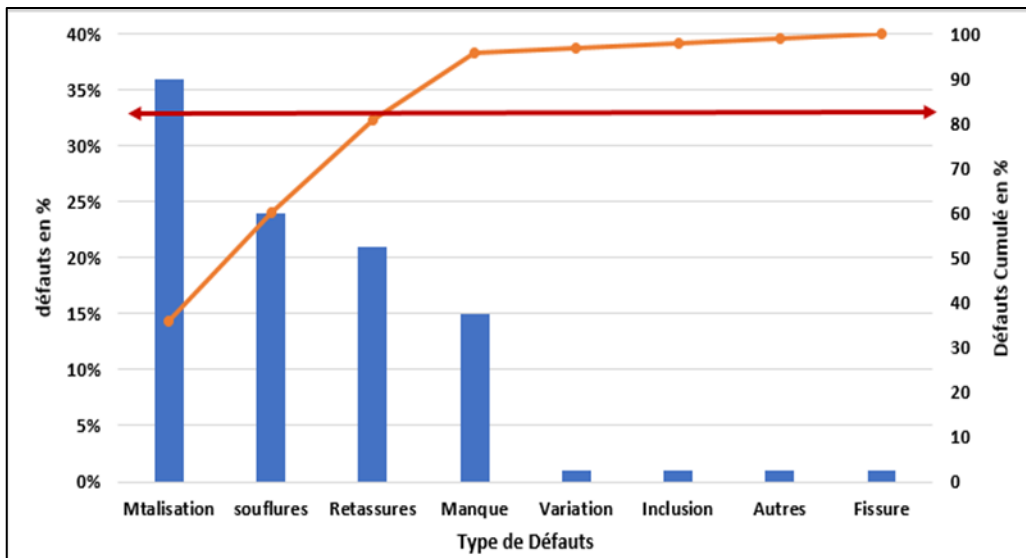


Fig. III-2 : Diagramme de Pareto des défauts de fonderie fonte 2019

Le diagramme de la figure ci-dessus démontre que les trois premiers défauts sont responsables de 80% des rebuts dans les pièces fabriquées en fonte. Un regard plus attentif doit être porté sur ces défauts.

Le graphe de la figure III.3 représente l'analyse ABC des défauts de fonderie fonte au cours de l'année 2019.

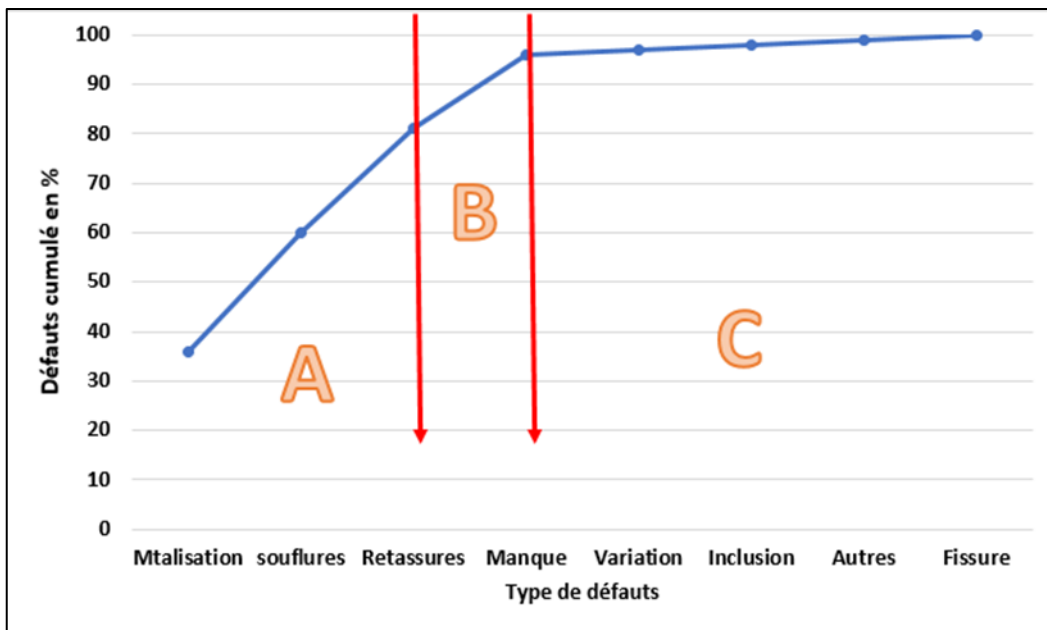


Fig. III-3 : Analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2019

L'analyse ABC de la figure ci-dessus montre que 81% des rebuts est causé par 3 des défauts, qui sont : la métallisation, les soufflures et les retassures.

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

---

**Zone A :** Les défauts 1, 2 et 3 influent sérieusement sur la qualité des pièces fabriquées, le coût de production et qui sollicitent une intervention rapide des services concernés pour déterminer les causes (emprisonnement des gaz à l'intérieur du moule, humidité du sable trop élevée, etc) probables de ces défauts.

**Zone B :** Le manque de matière (affaissement, arrachement) représente à lui seul environ 15% des défauts prélevés. Des actions simples peuvent remédier à ce problème.

**Zone C :** Le reste des défauts représentent environ 5% de la totalité des défauts. Des interventions basiques peuvent corriger ces anomalies.

### III.4- Historique des défauts de fonderie acier 2019

Les défauts de fonderie prélevés au cours de l'année 2019 sur les pièces en acier sont classés dans un ordre décroissant et données au tableau III.3.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %
1	Métallisation	36
2	Déformations	35
3	Variations (désaxage)	12
4	Fissures	7
5	Autres	4
6	Manque	4
7	Retassures	1
8	Soufflures	1

**Tableau III.3:** Historique des défauts de fonderie acier 2019

Les défauts en pourcent en fonction du type de défauts sont présentés sur la figure III.4.

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

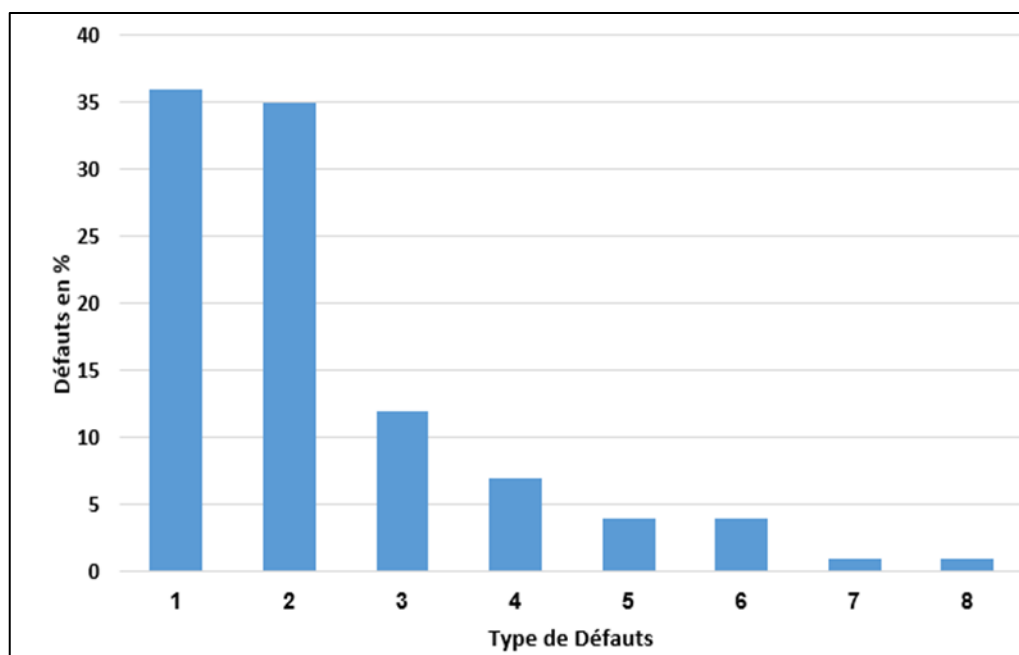


Fig. III-4 : Pourcentage des défauts de fonderie acier 2019

### III.5- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie acier 2019

Le tableau III.4 représente le pourcentage et le pourcentage cumulé des défauts de fonderie en acier calculé sur la dernière colonne.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %	Défauts cumulés en %	ABC
1	Métallisation	36	36	A
2	Déformations	35	71	A
3	Variations (désaxage)	12	83	B
4	Fissures	7	90	B
5	Autres	4	94	B
6	Manque	4	98	C
7	Retassures	1	99	C
8	Soufflures	1	100	C

**Tableau III.4:** Représentation des zones ABC des défauts de fonderie acier 2019

Un diagramme Pareto (figure III.5) sera dressé et une analyse ABC (figure III.6) sera réalisée pour les différents défauts cumulés en % représentés sur le tableau ci-dessus.

### Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

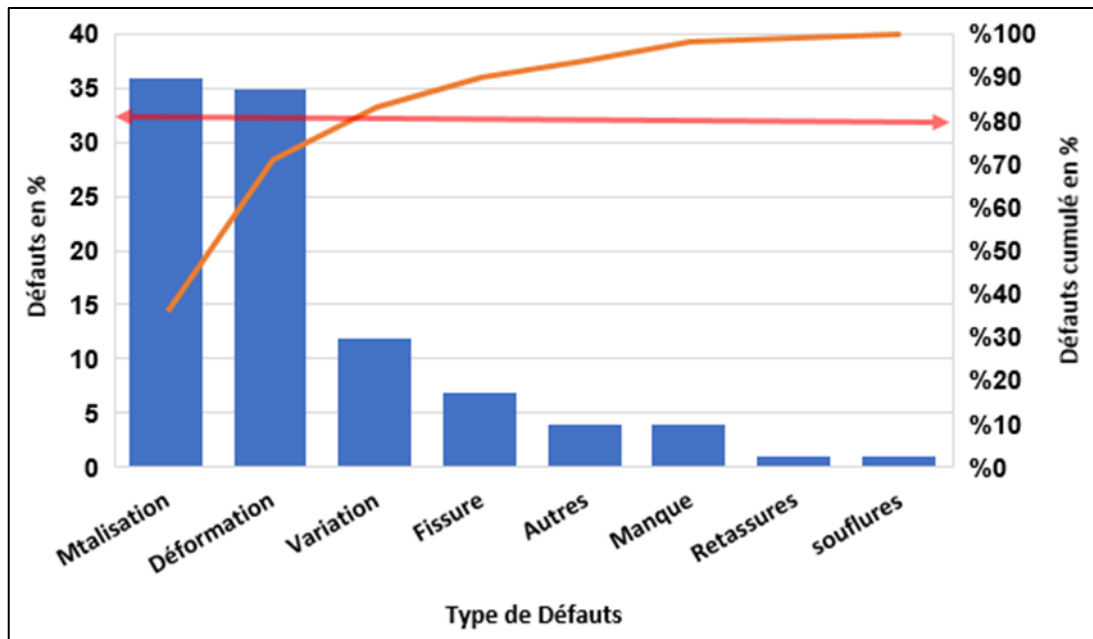


Fig. III-5 : Diagramme de Pareto des défauts de fonderie acier 2019

Le diagramme de la figure ci-dessus montre que les défauts de métallisation et de déformations sont responsables de plus de 70% des imperfections qui affectent les pièces moulées en acier. Par conséquent, il est nécessaire de jeter un regard complet sur ces deux défauts.

Le graphe de la figure suivante représente la répartition en zones ABC des défauts de fonderie prélevés sur les pièces en acier pendant l'année 2019.

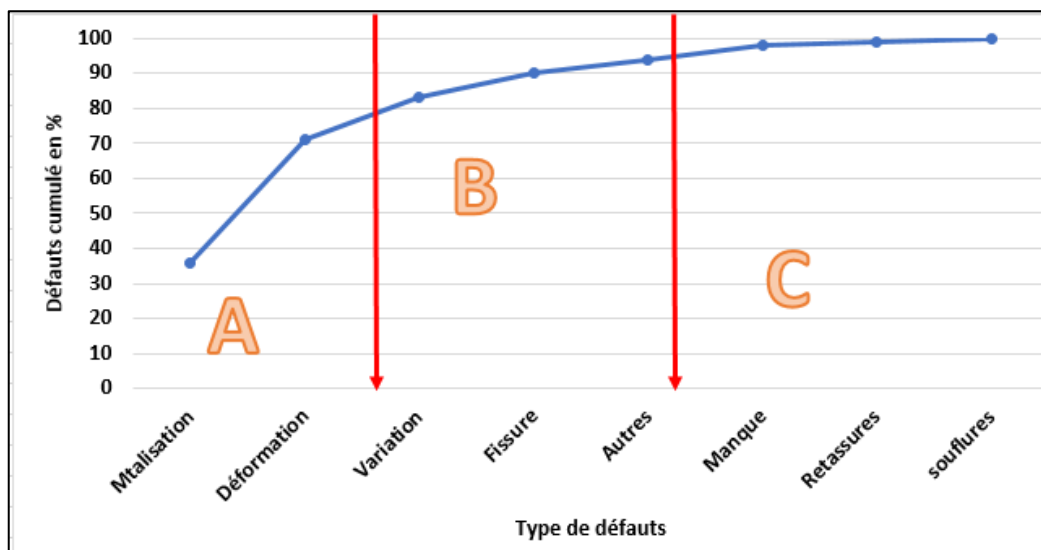


Fig. III-6 : Analyse ABC des défauts de fonderie acier 2019

L'analyse ABC de la figure III.6 montre que :



## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

**Zone A :** 71% des défauts cumulés sont causés par les deux premiers défauts (1 et 2). C'est la zone de priorité qui correspond à des actions préventives pour remédier à ces défauts.

**Zone B :** Les défauts 3, 4 et 5 représentent 23% des défauts cumulés. Un contrôle et un entretien quotidien des sables de moulage, des moules, des machines de moulage, ...etc, peuvent permettre une réduction de ce type de défauts.

**Zone C :** Enfin dans cette zone les défauts 6, 7 et 8 restants ne sont responsables que de 6% des défauts cumulés. C'est la zone des défauts à négliger.

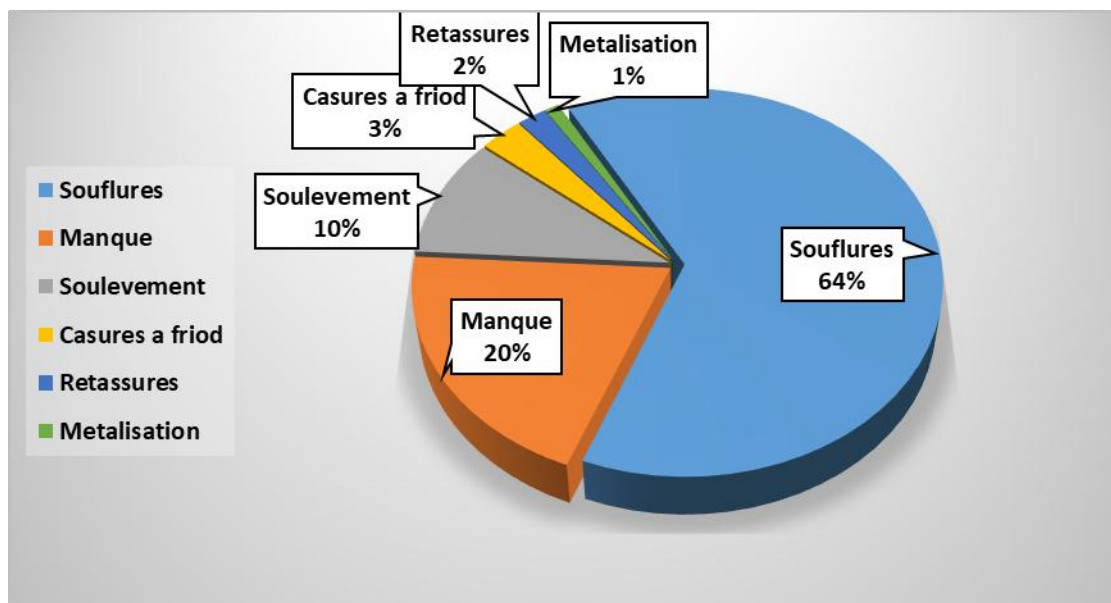
### III.6- Historique des défauts de fonderie fonte 2020

Le dépouillement de l'historique des défauts pendant l'année 2020 donne les résultats présentés sur le tableau ci-dessous.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %
1	Soufflures	64
2	Manque	20
3	Soulèvement	10
4	Cassures a froid	3
5	Retassures	2
6	Métallisation	1

**Tableau III.5:** Historique des défauts de fonderie fonte 2020

Ces défauts au nombre de 6 sont présentés par leur pourcentage sur la figure III.7.



**Fig. III-7 :** Pourcentage des défauts de fonderie fonte 2020

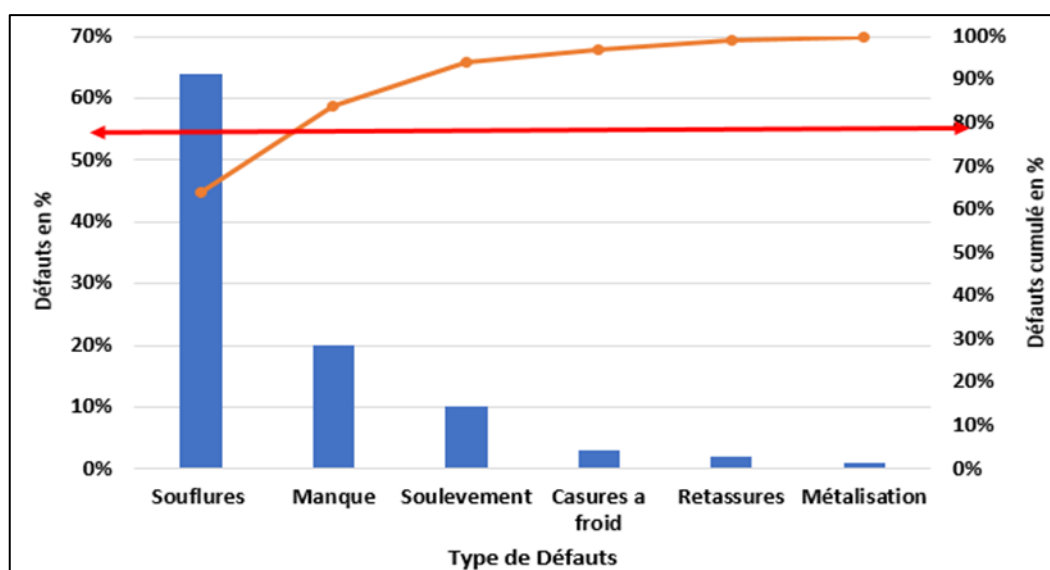
### III.7- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2020

Le tableau III.6 regroupant le pourcentage des défauts cumulés, indique clairement les défauts critiques (zone A) et qui nécessitent une intervention en priorité.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %	Défauts cumulés en %	ABC
1	Soufflures	64	64	A
2	Manque	20	84	B
3	Soulèvements	10	94	B
4	Cassures à froid	3	97	C
5	Retassures	2	99	C
6	Métallisation	1	100	C

**Tableau III.6:** Pourcentage cumulé et zones ABC des défauts de fonderie fonte 2020

A partir du tableau ci-dessus, on construit le diagramme de Pareto de la figure III.8.



**Fig. III-8 :** Diagramme de Pareto des défauts de fonderie fonte 2020

En analysant le graphique de Pareto, on constate que les soufflures présentent à elles seules 64% des défauts sur les pièces réalisées. Ces défauts sont ceux sur lesquels il faudra agir prioritairement par une évacuation abondante de l'air et des gaz de l'empreinte et une augmentation de la perméabilité du moule.

Le graphique de la figure III.9 illustre l'analyse ABC des données relevées sur le tableau III.6

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

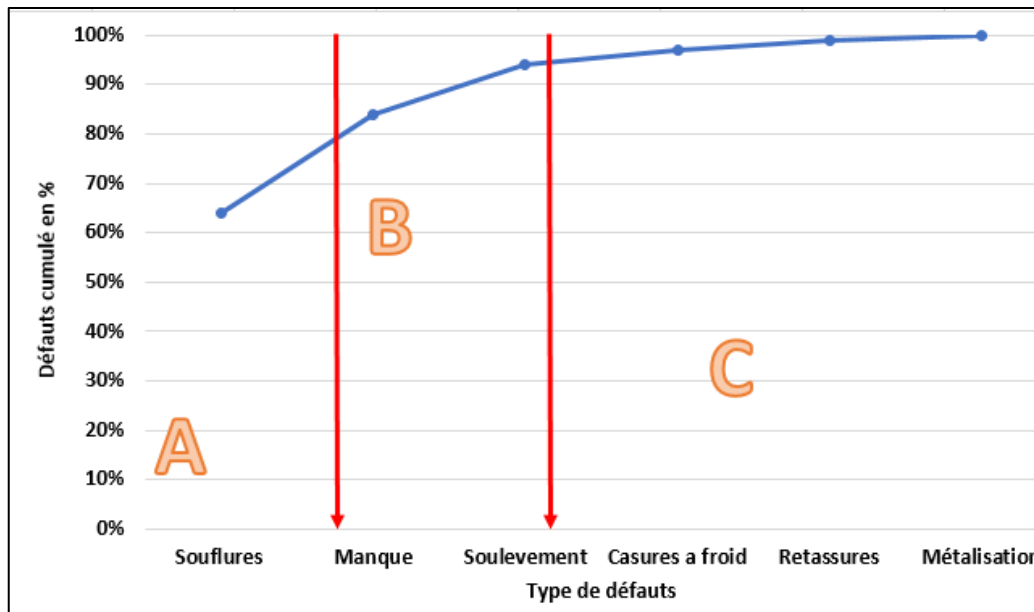


Fig. III-9 : Analyse ABC des défauts de fonderie fonte 2020

A partir du diagramme ABC tracé, nous remarquons que 64% des défauts cumulés sont causés par les soufflures. Ce défaut est situé dans la zone A. C'est dans cette zone que des interventions préventives sont nécessaires.

**Zone B :** Cette zone est moins prioritaire que la zone A. On remarque que 20% des défauts cumulés sont occasionnés par le manque de métal et le soulèvement. C'est une zone qui nécessite moins d'importance mais des contrôles sont à envisager.

**Zone C :** Les cassures à froid, les retassures et la métallisation ne présentent que 6% des anomalies prélevées sur les pièces moulées.

### III.8- Historique des défauts de fonderie acier 2020

L'historique des défauts en pourcent relevés en fonction du type de défauts de fonderie des pièces réalisées en acier au cours de l'année 2020 est représenté sur le tableau ci-dessous.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %
1	Déformations	50
2	Fissures	28
3	Autres	10
4	Métallisation	7
5	Manque	4
6	Variations	1

Tableau III.7: Historique des défauts de fonderie acier 2020

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

A partir du tableau III.7, on construit le diagramme des défauts en % de la figure III.10.

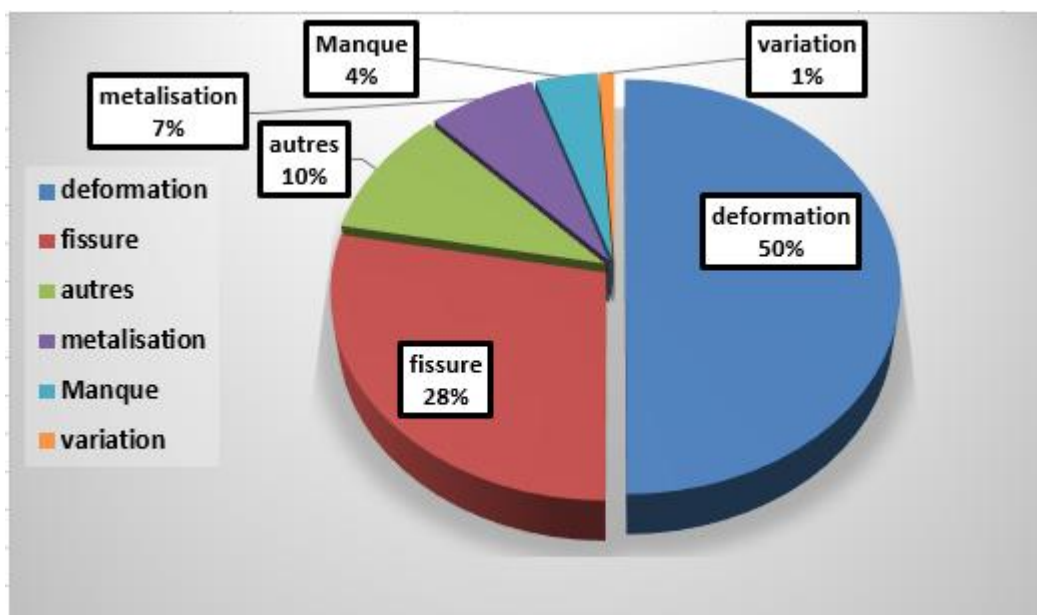


Fig. III-10 : Pourcentage des défauts de fonderie acier 2020

### III.9- Diagramme de Pareto et analyse ABC des défauts de fonderie acier 2020

Nous présentons sur la dernière colonne du tableau III.8 les limites des zones A, B et C, déterminées après le calcul du pourcentage des défauts cumulés.

Numéro	Type de Défauts	Défauts en %	Défauts cumulés en %	ABC
1	Déformations	50	50	A
2	Fissures	28	78	A
3	Autres	10	88	B
4	Métallisation	7	95	B
5	Manque	4	99	C
6	Variations	1	100	C

Tableau III.8: Représentation des zones ABC des défauts de fonderie acier 2020

A partir de ces données, on présente le pourcentage des défauts et le pourcentage des défauts cumulés en fonction du type de défauts, ce qui nous permet de tracer le diagramme de Pareto de la figure III.11.

### Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

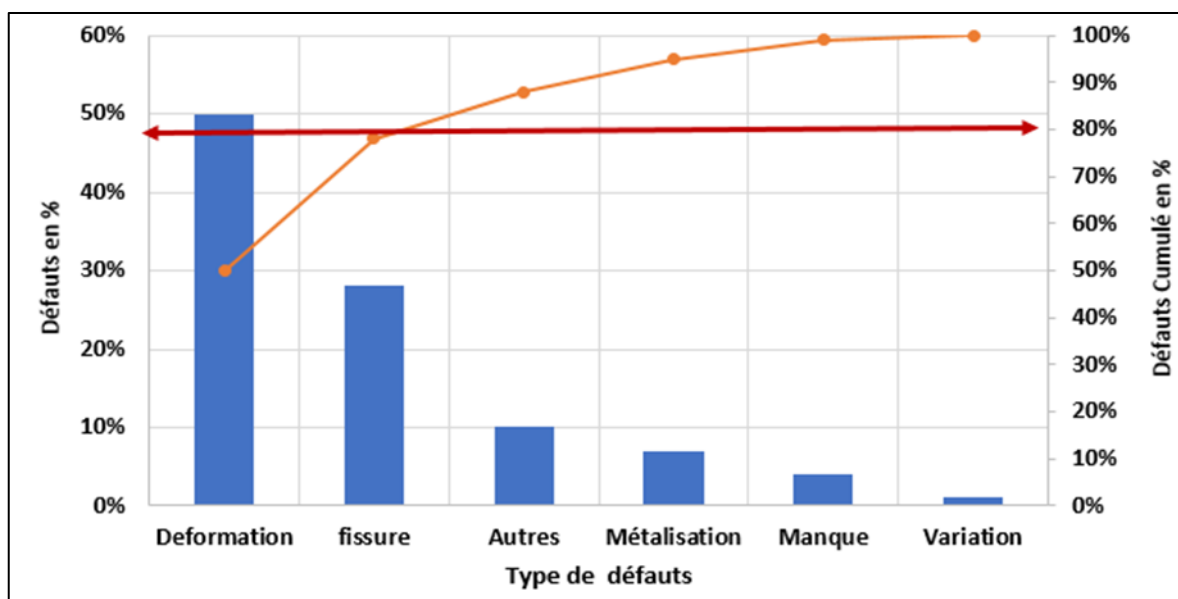


Fig. III-11 : Diagramme de Pareto des défauts fonderie acier 2020

Le diagramme de la figure ci-dessus montre que les déformations et les fissures présentes sur les pièces fabriquées en aciers sont responsables de 78% des rebuts au cours de l'année 2020. Par conséquent, il est nécessaire de jeter un regard complet et attentif sur ces deux défauts.

Le graphique de la figure III.12 illustre l'analyse ABC des données relevées sur le tableau III.8.

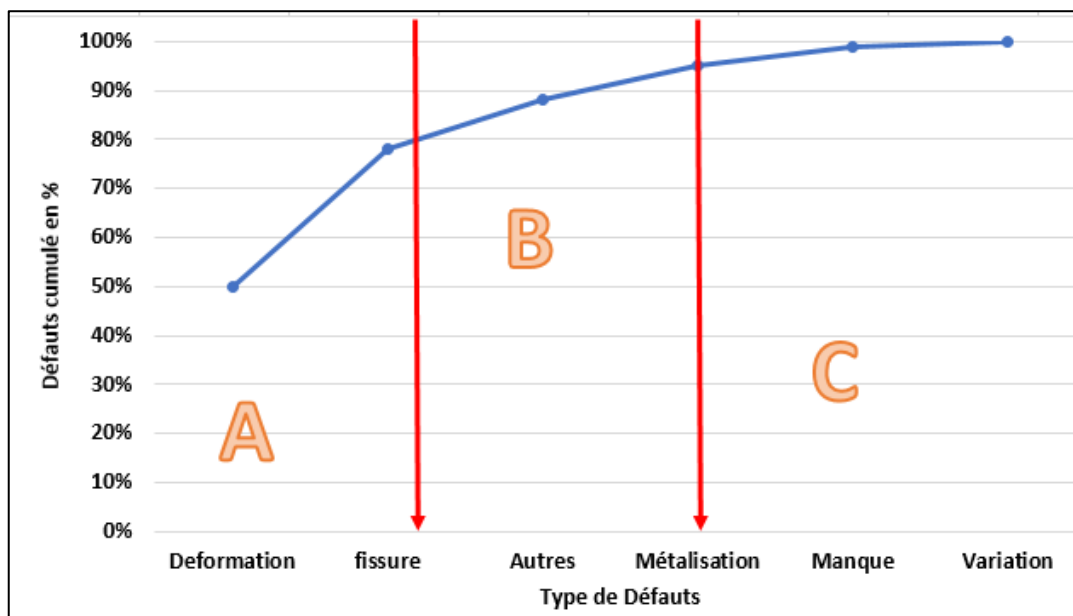


Fig. III-12 : Analyse ABC des défauts de fonderie acier 2020

## Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

L'analyse ABC de la figure montre que 78% des imperfections sur les pièces moulées constituent la zone A, 17% des défauts forment la zone B et 5% font la zone C.

**Zone A :** Les défauts 1 et 2 influent sérieusement sur la qualité des pièces fabriquées et nécessite une maîtrise du procédé de moulage et des traitements thermiques.

**Zone B :** C'est une zone qui nécessite moins d'importance, mais des contrôles sont à envisager pour éviter la métallisation et autres défauts.

**Zone C :** Les défauts 5 et 6 représentent environ 5%. Ces défauts peuvent être négligés.

### III.10- Comparaison des défauts en pourcent

#### III.10.1- Courbes fonte-acier 2019

En comparant les courbes de la figure III.13, nous remarquons que les mêmes défauts se répètent au niveau de la fonderie acier et fonte, avec un nombre plus important pour l'acier. Le défaut de métallisation commun aux deux nuances (acier et fonte) représente le % le plus élevé. Les soufflures et les retassures représentent des % très importants sur les pièces en fonte que sur les pièces en acier avec des % de l'ordre de 1%. Les déformations sont prélevées sur les pièces en acier et non pas sur les pièces en fonte.

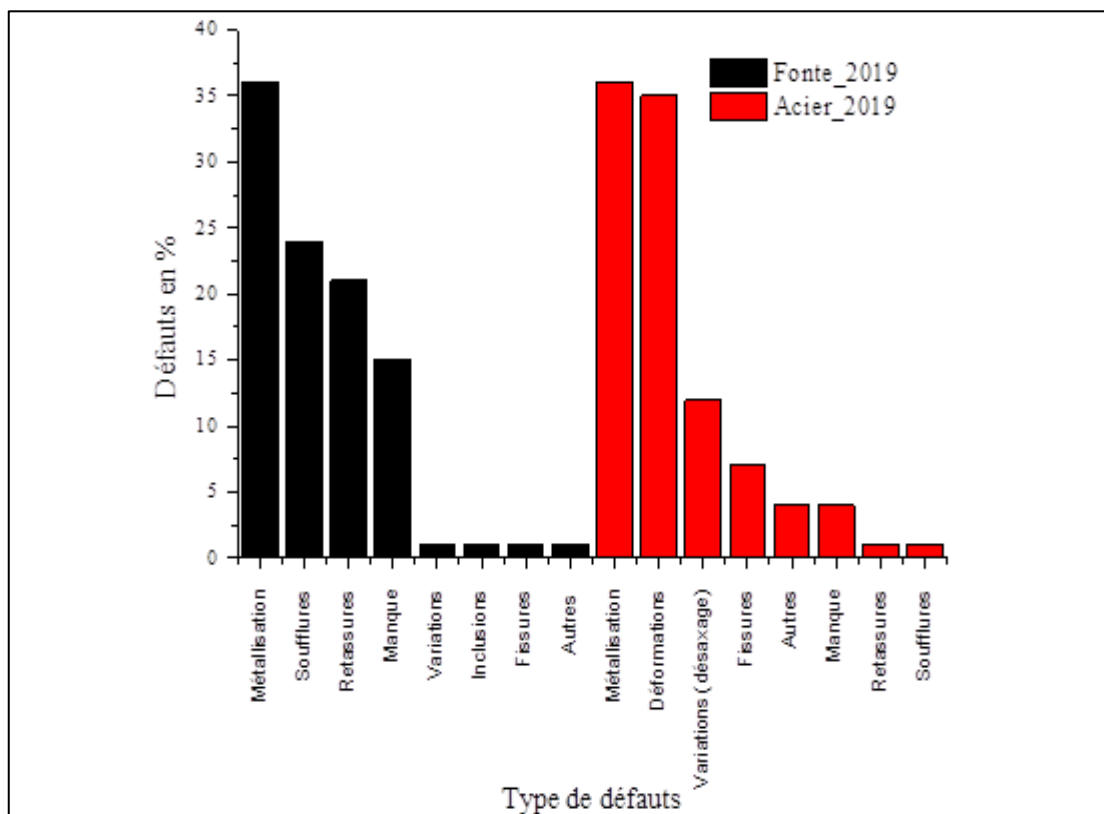


Fig. III-13 : Comparaison des défauts en % fonte-acier 2019



### III.10.2- Courbes fonte-acier 2020

Nous constatons que le nombre de défauts à diminuer par rapport à l'année 2019. Nous remarquons (figure III.14) aussi, que les déformations demeurent le problème majeur pour les pièces en acier et que les soufflures posent de sérieux problèmes pour les pièces coulées en fonte.

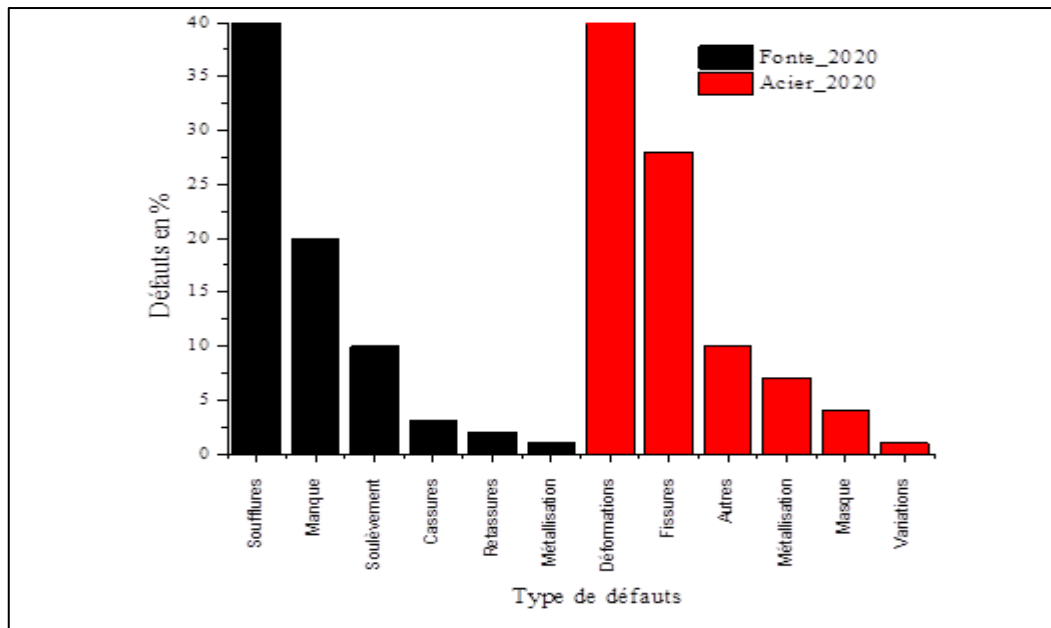


Fig. III-14 : Comparaison des défauts en % fonte-acier 2020

### III.11- Comparaison des diagrammes de Pareto

#### III.11.1- Diagrammes de Pareto fonte 2019-2020

En comparant les deux diagrammes (figure III.15), on constate que le pourcentage des défauts cumulés en 2020 est supérieur à celui des défauts en 2019. 4 défauts se répètent chaque année. Toutefois, 2 défauts seulement sont responsables de 80% des imperfections en 2019 et 3 défauts en 2020.

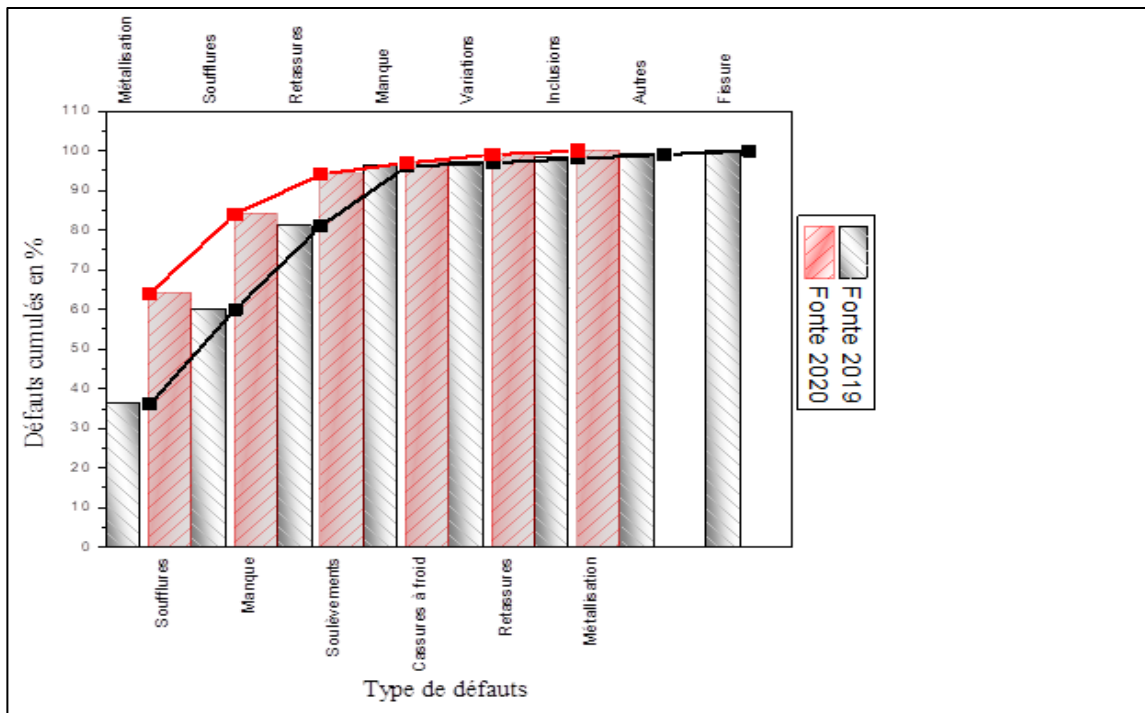


Fig. III-15 : Comparaison des diagrammes de Pareto fonte 2019-2020

### III.11.2- Diagrammes de Pareto acier 2019-2020

D'après la comparaison entre le diagramme de Pareto acier 2019 et le diagramme de Pareto acier 2020 (figure III.16), nous constatons que le pourcentage de défauts cumulés en 2020 reste toujours supérieur à celui de 2019. Les soufflures, les déformations et le défaut de métallisation, représentent à eux seuls plus de 80% des anomalies dans les pièces fabriquées en acier chaque année.

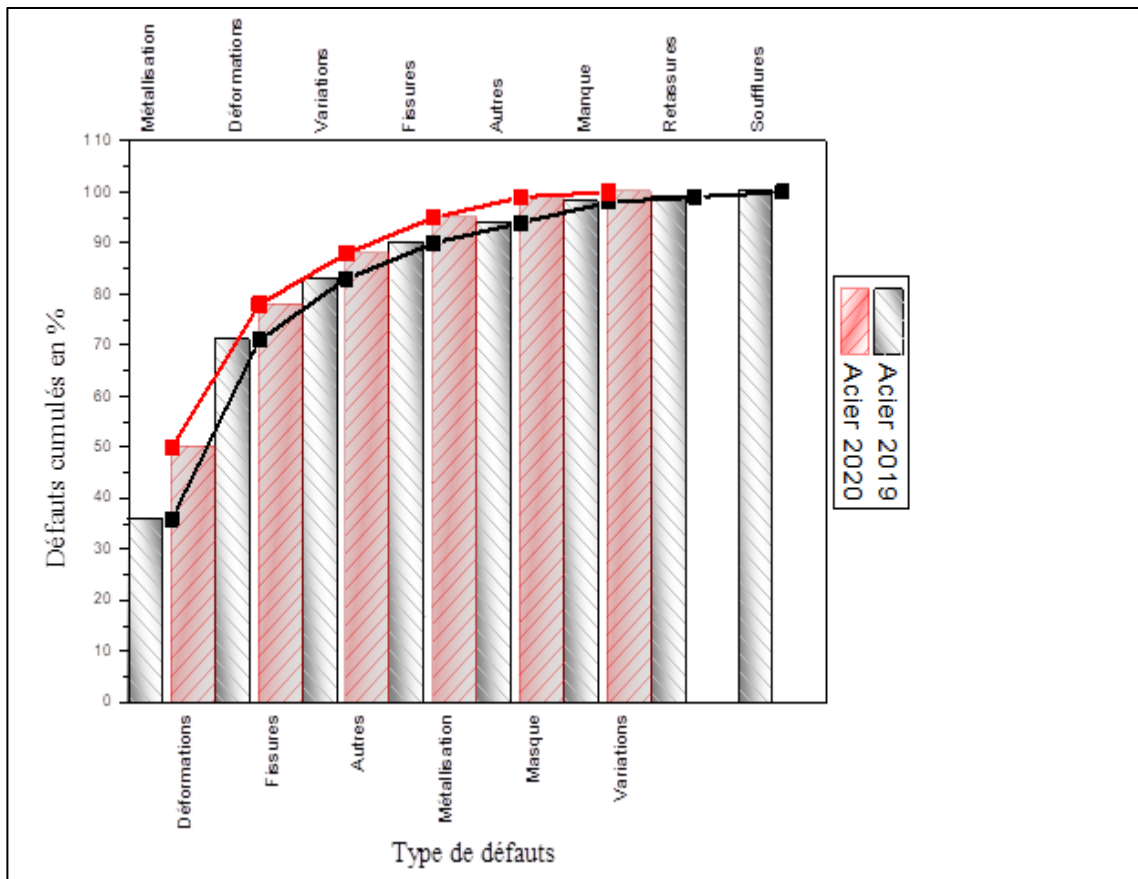


Fig. III-16 : Comparaison des diagrammes de Pareto acier 2019-2020

### III.11.3- Diagrammes de Pareto acier 2019 – fonte 2019

En comparant le diagramme de Pareto acier 2019 au diagramme fonte 2019, nous concluons que la plupart des défauts qui ont émergé sur les pièces en acier se sont les mêmes sur celles en fonte. Cependant, seulement les 3 premiers défauts causent 80% des graves lacunes sur les pièces.

Les défauts cumulés sur les pièces en acier représentent des taux plus importants que ceux sur les pièces en fontes pour les 3 premiers défauts.

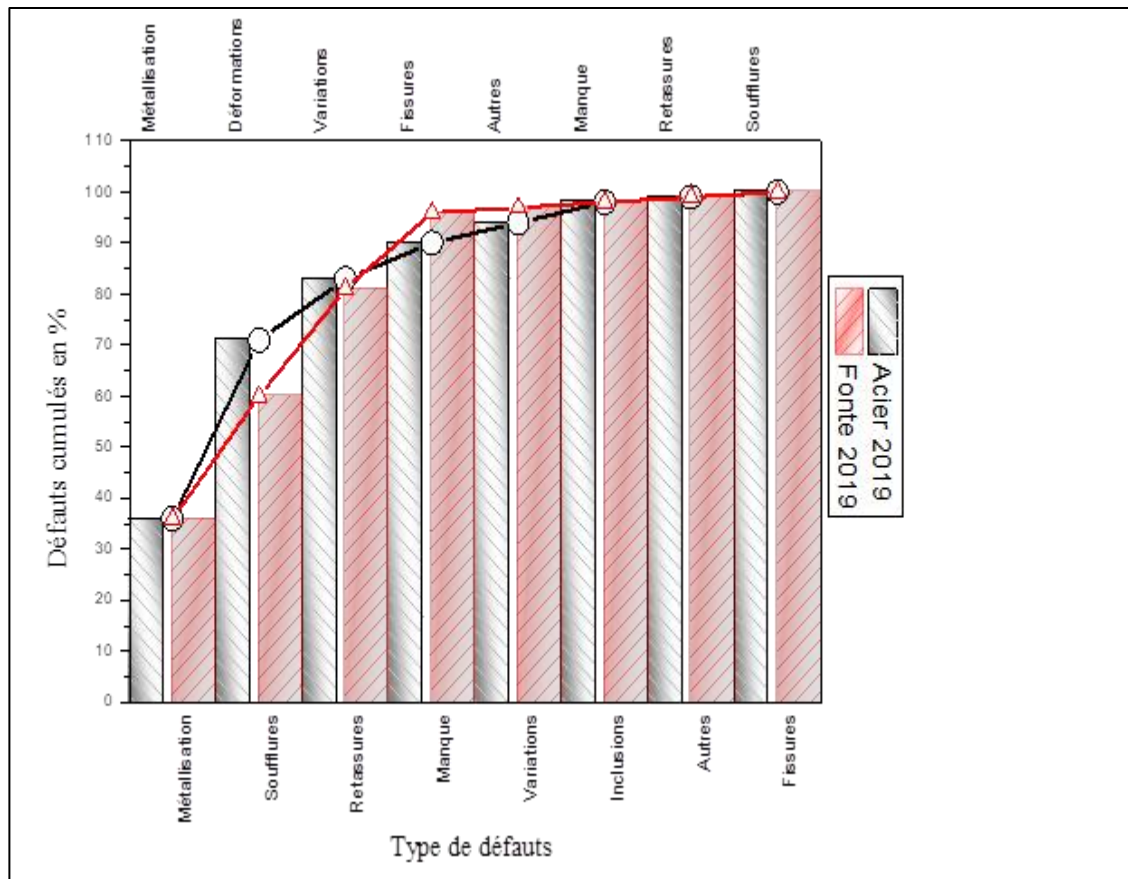


Fig. III-17 : Comparaison des diagrammes de Pareto acier 2019 - fonte 2019

### III.11.4- Diagrammes de Pareto acier 2020 – fonte 2020

D'après notre comparaison entre le diagramme acier 2020 et le diagramme fonte 2020, nous constatons que le taux des défauts sur les pièces en fonte est plus élevé que sur les pièces en acier. Une diminution du nombre de défauts (2 défauts) responsables des 80% des imperfections est observée par rapport à l'année 2019, ce qui montre une bonne implication du service qualité dans le savoir-faire et la maîtrise des causes engendrant les défauts imputables au moulage par sable.

Les soufflures, déformations, fissures et le manque de métal restent les anomalies les plus pénalisantes pendant l'année 2020.

### Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

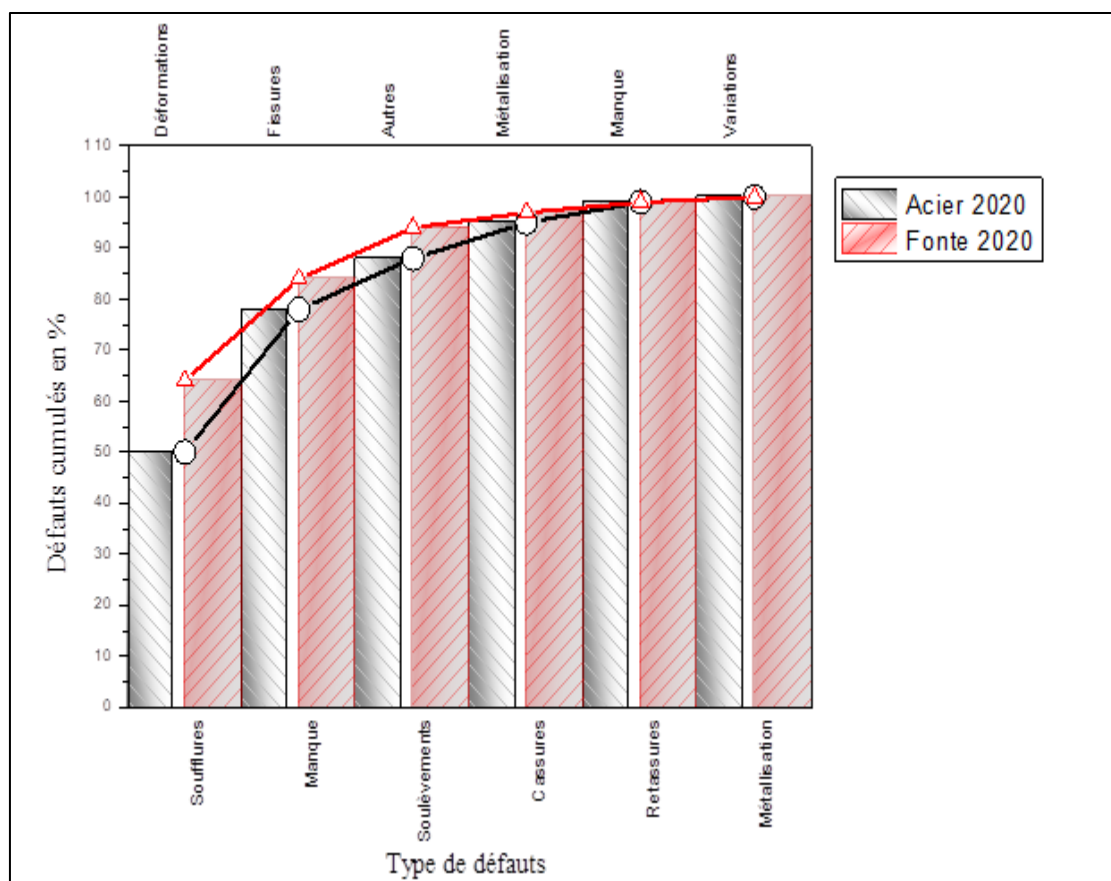


Fig. III-18 : Comparaison des diagrammes de Pareto acier 2020 - fonte 2020

### Chapitre III Diagnostic et analyse des défauts de coulée par la méthode de Pareto et le diagramme ABC

Type de défauts	Causes probables
<b>Soufflures</b>	1) Les soufflures et les piqures se produisent du fait des gaz inclus dans le métal en cours de solidification. 2) Teneur en gaz du bain trop élevée (matières premières, mode de fusion, atmosphère, etc..) ; le gaz dissous se dégage lors de la solidification. 3) S'agissant d'acier moulé, de fonte : formation d'oxyde de carbone, par réaction du carbone avec l'oxygène présent comme gaz ou à l'état d'oxyde. 4) Trop forte humidité des moules.
<b>Retassures</b>	1) Humidité du sable trop élevée, 2) Les gaz dégagés par le moule.
<b>Déformations</b>	1) pièce non dense (présence de cavités internes), 2) Faible dureté, 3) Retrait irrégulier, causé par un décochage prématuré.
<b>Fissures</b>	1) Présence de fissures internes, 2) Sévérité du milieu de trempe trop élevée.
<b>Métallisation</b> (casse de noyau, mauvais remoulage des noyaux ou déplacement des noyaux lors de la coulée)	1) Mauvaise qualité des noyaux, 2) Mauvaise qualité des liants, 3) Vitesse de coulée très importante§

**Tableau III.9:** Causes probables des défauts les plus redoutés

Nous remarquons que pendant les deux dernières années, les soufflures, retassures, déformations, fissures et le défaut de métallisation ont engendrés le plus d'anomalies sur les pièces moulées par ALFET-Tiaret. Les causes probables de ces défauts sont présentées dans le tableau III.9.



## **Conclusion Générale**

### Conclusion générale

Pour être compétitive, la fonderie est astreinte à concevoir et à fabriquer des produits dans les plus brefs délais avec des coûts de plus en plus bas, des défauts de moins en moins fréquents et d'excellents états de surfaces.

La présence de défauts apparents ou cachés et la prolifération des pièces rebutées pose de sérieux problèmes aux entreprises concernées et peut même mettre l'avenir de celles-ci en péril.

En examinant les pièces fabriquées par la fonderie de Tiaret et vu la gravité du problème posé par la présence d'importantes imperfections sur ces pièces, nous avons envisagé par le biais de notre projet de fin d'études d'apporter une analyse détaillée et de fournir des informations relatives à ce problème en utilisant le diagramme de Pareto et l'analyse ABC.

Le présent travail été scinder en trois chapitres :

Le premier chapitre été dédié à une présentation des notions générales et des définitions de la maintenance.

Nous avons exposé dans le deuxième chapitre les défauts les plus fréquents affectant les pièces moulées en sable à vert.

Une analyse des défauts de fonderie est réalisée dans le troisième chapitre. Cette analyse est effectuée en exploitant l'historique des expertises des défauts de fonderie fonte et acier au niveau de la fonderie de Tiaret.

Cette analyse nous a permet d'identifier les défauts les plus pénalisants et de dégager les actions préventives, correctives et amélioratives à apporter sur ces produits par l'utilisation du diagramme de Pareto et Analyse ABC.

Le diagramme de Pareto nous a permet de localiser rapidement les défauts les plus influents sur la qualité des pièces fabriquées.

L'analyse ABC nous a permet de distinguer les valeurs critiques de ces défauts en les séparant en trois zones (A, B et C). La zone A correspondant généralement aux 80% des défauts cumulés, ainsi qu'aux interventions les plus conséquentes et aux dépenses les plus coûteuses.

Enfin, nous avons constaté à l'issue de ce travail que les défauts les plus nuisibles sont les soufflures, retassures, déformations, fissures et le défaut de métallisation et qui nécessitent de la part du service de maintenance de la fonderie de Tiaret une investigation sérieuse sur les causes et les remèdes à apporter pour cerner ces imperfections.

# **Bibliographies**

## **Bibliographies**

- [1] M. MRABET Mohammed El Amin , Contribution à la conception d'un outil d'aide au diagnostic des systèmes de productions , Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen , 2016-2017.
- [2] ADDOUN Abdelkrim , Optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC appliquée au ventilateur de l'entreprise ALZINC , Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen , 2015.
- [3] Abderahim GHERBAL , Maintenance des moteurs a essence , Université Kasdi Merbah - Ouargla , 2018/2019
- [4] Benameur Abdeldjalil , Etude de la pompe a boue national – oil well , Université Ibn Khaldoun – Tiaret , 2013
- [5] DJEMILI LOTFI , Etude de fabrication d'une pièce <JUMELLE> et modélisation sous SolidWorks , Université Badji Mokhtar –Annaba- , 2014/2015.
- [6] Document BREF forges et fonderies - Document intégral – AIDA.
- [7] S. BENSAAD , Fonderie et Soudage , moulage et soudage-1pdf.
- [8] <http://www.iron-foundry.com/blog.files/Common%20Metal%20Casting%20Defects.pdf>

## ملخص

وتعاني أجزاء المسبك من عيوب داخلية وخارجية وتشوهات، بسبب بعض الخصائص الرملية غير الصحيحة، والنماذج غير الصحيحة، ونظام الصب غير الصحيح، ومشاكل العمل.

واستناداً إلى تاريخ عيوب مسبك الحديد والفولاذ المصبوغة، يستخدم الرسم البياني Pareto وتحليل ABC لتحديد أكثر العيوب تخوفاً من هذه العيوب التي تعوق الأداء السليم للشركة. ويرد في هذا العمل إخطار بالأسباب المحتملة التي تسبب هذه العيوب.

وتنتج القوالب المفخخة، والتخفيضات، والتشوهات، والشقوق، والافتقار إلى المعادن، أكثر الشذوذ على الأجزاء التي ألقاها ALFET-Tiaret.

**الكلمات المفتاحية:** المسبك، تشخيص، عيوب، الرسم البياني، تحليل ABC , Pareto

## Résumé

Les pièces de fonderie sont assujetties à des défauts internes, externes et à des déformations, en raison de certaines propriétés de sable incorrectes, un modèle incorrect, un système de coulée incorrect et des problèmes de main d'œuvre.

Sur la base de l'historique des défauts de fonderie fonte et acier, le diagramme de Pareto et l'analyse ABC sont utilisés pour cerner les plus redoutés parmi ces défauts et qui entravent le bon fonctionnement d'une entreprise. Une notification sur les causes probables provoquant ces imperfections est portée dans ce travail.

Les soufflures, retassures, déformations, fissures et le défaut de métallisation engendrent le plus d'anomalies sur les pièces moulées par ALFET-Tiaret.

**Mots Clés :** fonderie, diagnostic, défauts, diagramme, analyse ABC , Pareto

## Abstract

Foundry parts are subject to internal, external and deformation defects, due to some incorrect sand properties, incorrect model, incorrect casting system and labour problems.

Based on the history of cast iron and steel foundry defects, the Pareto diagram and the ABC analysis are used to identify the most feared of these defects that hinder the proper functioning of a company. A notification on the probable causes causing these imperfections is carried in this work.

Blow molds, cuts, deformations, cracks and the lack of metallization produce the most anomalies on the parts cast by ALFET-Tiaret.

**Key Words :** Foundry, diagnosis, defects, diagram, analysis ABC , Pareto